

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
MINAS

**CONVERSÃO DO PROGRAMA BMINES DE ELEMENTOS FINITOS PARA  
UTILIZAÇÃO EM MICROCOMPUTADORES**

Dissertação de Mestrado  
por

Fábio Augusto Rodrigues da Nóbrega

Campina Grande (PB)  
1995



Fábio Augusto Rodrigues da Nóbrega

**CONVERSÃO DO PROGRAMA BMINES DE ELEMENTOS FINITOS PARA  
UTILIZAÇÃO EM MICROCOMPUTADOES**

---

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia de Minas da Universidade Federal da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia de Minas.

**Área de Concentração:** Lavra de Minas

**Orientador:** Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima  
DMG/UFPB

Campina Grande, (PB)  
1995

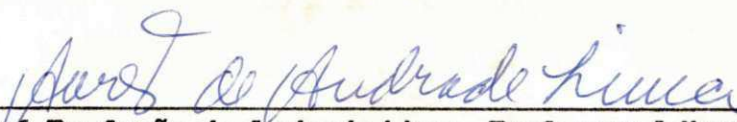




N754c Nobrega, Fabio Augusto Rodrigues da  
Conversao do programa BMINES de elementos finitos para  
utilizacao em microcomputadores / Fabio Augusto Rodrigues  
da Nobrega. - Campina Grande, 1995.  
v.  
  
Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) -  
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e  
Tecnologia.  
  
1. Lavra de Mina - 2. Programa BMINES 3. Dissertacao I.  
Lima, Aarao de Andrade, Dr. II. Universidade Federal da  
Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 622.2:004.438(043)

Dissertação defendida e aprovada em 18 de dezembro de 1995 pela banca  
examinadora constituída pelos professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima - Professor Adjunto IV - DMG/UFPB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Francisco de Assis Tejo - Professor Adjunto IV - DEE/UFPB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Lins Rollm Filho - Professor Adjunto IV - DEM/UFPE

“ Se os meus escritos valerem alguma coisa, possam os que os tiverem (...) utilizá-los do melhor modo que entenderem ”.

(DESCARTES)

## DEDICATÓRIA

A minha mãe Avani que sempre apostou e acreditou em mim, proporcionando-me, na medida do possível, as condições necessárias para que eu viesse a crescer em todos os sentidos, pelo apoio incontesti, pela compreensão nas muitas horas de ausência, pelo carinho demonstrado e pelo amor dedicado.

## AGRADECIMENTOS

No segundo semestre de 1992, na qualidade de graduado em engenharia de minas, pela Universidade Federal da Paraíba, decidi ingressar no curso de mestrado em engenharia de minas, escolhendo a área de concentração de lavra de minas

Naquela ocasião, um dos objetivos pretendidos, de ordem didática, foi tentar traduzir o comportamento do meio rochoso modificado por escavações através de simulação matemática simplificada, embora significativa, capaz de favorecer a apreensão dos fenômenos físicos envolvidos.

Desse exercício, reformulando em função das necessidades mais urgentes de equipamentos e do tipo de possível usuário disponíveis, resultou o trabalho ora cedido ao domínio público, consubstanciado na presente dissertação, incluindo não só as deduções apresentadas para explicar o modelo, como também um programa de computador.

Cabe registrar e agradecer o apoio e estímulo incondicional do orientador desta pesquisa prof. Aarão de Andrade Lima, sem o qual esta experiência singular não teria sido possível.

Agradeço, ainda, aos meus pais pelo esforço e dedicação.

Aos colegas engenheiros de minas Arlindo José Bazante, Alexandre Buriel de Macedo e Silvana Mônica Vaz, suas palavras de estímulo foram de vital importância na continuidade do trabalho.

A Universidade Federal da Paraíba, especificamente a Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas pela oportunidade para a realização deste trabalho.

As secretárias do mestrado Maria do Carmelo M. Coutinho e Maria Eleonora M. Coutinho, por suas valiosas contribuições.

Aos professores Jorge Roberto de Oliveira Cabral e Eduardo Jorge Lira Bonates, coordenador e ex-coordenador do curso de pós-graduação, suas ações permitiram elevar o nível e dar credibilidade ao curso junto a comunidade acadêmica, repercutindo na qualidade dos trabalhos produzidos por seus alunos.

Finalmente, ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.

## LISTA DE FIGURAS APRESENTADAS

Figura 2.1 - Material Estratificado (Transversalmente Isotrópico) .....	23
Figura 2.2 - Região Bidimensional Com Uma União de Elementos Triangulares .....	25
Figura 2.3 - Vista Isométrica do Elemento Triangular Com Deslocamento Linear (Modelo Plotado em Três Dimensões) .....	25
Figura 2.4 - Problema de Domínio $\Omega$ e Fronteira $\Gamma$ .....	32
Figura 2.5 - Região do Plano de Tensões Dividido em Elementos Triangulares .....	35
Figura 3.1 - Elemento de Treliça Tridimensional .....	45
Figura 3.2 - Elemento de Viga Tridimensional.....	46
Figura 3.3 - Elemento Nodal Variável Bidimensional .....	47
Figura 3.4 - Configurações de Pontos Nodais Para Elementos Bidimensionais .....	48
Figura 3.5 - Elemento Nodal Variável Tridimensional .....	49
Figura 3.6 - Configurações de Pontos Nodais para Elementos Tridimensionais .....	50
Figura 3.7 - Elemento de Casca Espessa Tridimensional .....	51
Figura 3.8 - Combinação Tridimensional de Elementos de Fratura/Elemento de Origem .....	54
Figura 3.9 - Orientações dos Eixos das Coordenadas Locais Para Diversas Combinações de Conectividade Entre Elementos Bidimensionais de Fraturas/Elemento de Origem .....	55

Figura 3.10 - Orientações dos Eixos das Coordenadas Locais Para Diversas Combinações de Conectividade Entre Elementos Tridimensionais de Fraturas/Elementos de Origem .....	56
Figura 3.11 - Modelos Materiais Disponíveis no Programa BMINES .....	60
Figura 3.12 - Método de Armazenamento da Matriz de Rigidez Usado no Programa BMINES .....	74
Figura 3.13 - Pilhas de Memória Central Usada para a Decomposição da Matriz de Rigidez .....	75
Figura 3.14 - Bloco Diagrama da Execução do Programa BMINES .....	78
Figura 3.15 - Bloco Diagrama do Segmento ATOMSH .....	79
Figura 3.16 - Bloco Diagrama do Segmento BMCALC .....	80
Figura 3.17 - Bloco Diagrama do Segmento BMOUTP .....	80
Figura 3.18 - Exemplo do Redutor de Largura de Banda de Matriz .....	84
Figura 3.19 - Operações nas Matrizes de Força, Deslocamento e Deslocamento incremental .....	86
Figura 3.20 - Geração da Matriz de Rigidez Global a Partir dos Dados do Elemento .....	88
Figura 3.21 - Diagrama de Blocos Bidimensionais .....	91
Figura 3.22 - Diagrama de Blocos Tridimensionais .....	91
Figura 3.23 - Convenção para a Definição das Faces de um Bloco Diagrama Tridimensional .....	92
Figura 3.24 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração dos Pontos da Grade .....	93



Figura 3.25 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração das Zonas .....	94
Figura 3.26 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração das Linhas Zonais, Colunas e Planos .....	95
Figura 3.27 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração para a Definição dos Pontos Intermediários .....	96
Figura 3.28 - Zona Bidimensional Cuja Forma e Coordenadas São Expressas Por Funções de Forma Parabólicas .....	99
Figura 3.29 - Zona Tridimensional Cuja Forma e Coordenadas são Expressas Por Funções de Forma Parabólicas .....	99
Figura 3.30 - Localização do Ponto Intermediário .....	103
Figura 3.31 - Modo Opcional de Especificação do Refinamento da Malha .....	106
Figura 3.32 - Especificação da Superfície de Condições Controladas Usando a Convenção Para a Numeração dos Pontos da Grade da Figura 3.26 .....	109
Figura 4.1 - Listagem do Programa-Fonte BMIN0.FOR .....	119
Figura 5.1 - Problema-Exemplo 1 - Teste Brasileiro .....	152
Figura 5.2 - Distribuição de Tensão no Plano de Elementos Adjacentes ao Eixo Y .....	154
Figura 5.3 - Distribuição de Tensão no Plano de Elementos Adjacentes ao Eixo X .....	155
Figura 5.4 - Cilindro de Parede Espessa Submetido à Pressão Interna .....	158

Figura 5.5 - Problema-Exemplo 2a - Cilindro Elástico de Parede Espessa Submetido à Pressão Interna .....	159
Figura 5.6 - Comparação Entre as Soluções das Versões Original e Modificada do Elemento Finito e a Solução Analítica Para Um Cilindro Elastoplástico Submetido à Pressão Interna .....	161
Figura 5.7 - Shaft Circular em Um Campo de Tensão Biaxial .....	164
Figura 5.8 - Malha do Elemento Finito Para o Problema-Exemplo 3 .....	165
Figura 5.9 - Perfis da Tensão para $\theta = 7,5$ Graus .....	167
Figura 5.10 - Perfis da Tensão para $\theta = 37,5$ Graus .....	168
Figura 5.11 - Tensões e Deflecções de uma Viga em Balanço .....	170
Figura 5.12 - Malhas Usadas na Análise do Suporte da Viga .....	170
Figura 5.13 - Distribuição de Tensão nas Seções da Viga Usando o Elemento da Malha 4 x 16 .....	172
Figura 5.14 - Distribuição da Tensão de Cisalhamento nas Seções da Viga Usando o Elemento da malha 4 x 16 .....	173
Figura 6.1 - Tela de Abertura do FORTRAN Visual Workbench .....	176
Figura 6.2 - Barra de Ferramentas do FORTRAN Visual Workbench .....	177
Figura 6.3 - Barra de Status do FORTRAN Visual Workbench .....	178
Figura 6.4 - Menu de Abertura do Programa MALHA_2 .....	183
Figura 6.5 - Apresentação da Malha Total e Faixa Específica da Malha .....	184
Figura 6.6 - Apresentação da Malha Total e Parcial com Numeração dos Elementos .....	185

Figura 6.7 - Apresentação da Malha Total e Parcial com a Numeração dos Nós .....	186
Figura 6.8 - Apresentação da Malha Total e Parcial com a Numeração dos Elementos e dos Nós .....	187
Figura 6.9 - Menu de Definição das Novas Coordenadas .....	188
Figura 6.10 - Apresentação da Malha Total e de Faixas Específicas Previamente Definidas .....	189
Figura A.1 - Diagrama da Seqüência das Opções Permitidas Para o Programa BMINES .....	219
Figura A.2 - Convenção de Sinais Para Elementos Contínuos Bi e Tridimensionais .....	244
Figura A.3 - Convenção de Sinais Para Elementos de Treliça e Viga .....	251
Figura A.4 - Tipos de Elementos .....	252
Figura A.5 - Sistema de Renumeração da Malha .....	260
Figura A.6 - Coordenadas Cilíndricas .....	284
Figura A.7 - Coordenadas Esféricas .....	284
Figura D.1 - Ilustração da Subdivisão da Deformação Para melhorar a Precisão da Tensão .....	317
Figura D.2 - Modelos Materiais Disponíveis no Programa BMINES.....	321

Figura D.3 - Módulo Volumétrico e Relação Pressão/Deformação Volumétrica Para o Modelo Exponencial .....	329
Figura D.4 - Módulo de Cisalhamento Versus Deformação Volumétrica Para o Modelo Experimental .....	330
Figura D.5 - Relações do Módulo Volumétrico e Deformação Volumétrica da Pressão Para o Modelo Polinomial .....	334
Figura D.6 - Taxa de Carregamento de Poisson Versus Pressão Para o Modelo Polinomial .....	335
Figura D.7 - Relações Originadas Pela Exponencial no Modelo do Módulo Variável da Pressão .....	337
Figura D.8 - Relação Entre o Módulo Volumétrico e Deformação Volumétrica da Pressão Para o Modelo Linear de Subintervalos .....	340
Figura D.9 - Módulo de Cisalhamento Versus Deformação Volumétrica Para o Modelo Linear de Subintervalos .....	341
Figura D.10 - Superfície de Escoamento Polinomial Geral .....	343
Figura D.11 - Casos Especiais de Superfície de Escoamento Polinomial .....	347
Figura D.12 - Superfície de Escoamento Parabólica .....	349
Figura D.13 - Modelo "cap model" Para Rochas .....	353
Figura D.14 - Modelo "cap model" Para Solos .....	357
Figura D.15 - Orientação dos Planos de Isotropia .....	364

Figura D.18 - Projeção do Critério de Fraturamento Por Tração no Plano	
$\sigma_1 \sigma_2$ .....	383
Figura D.19 - Tensão e Relações Compressivas Tensão/Deformação	
Para o Aço .....	383
Figura D.20 - Tensão e Relação Tensão/Deformação Para o Concreto	
Composto .....	384
Figura D.21 -Sistemas de Coordenadas Para Transformação das Áreas do Aço	388
Figura D.22 - Modelo “cap” Para o Concreto .....	392
Figura E.1 - Mapeamento Bidimensional de Alguns Elementos .....	396
Figura E.2 - Mapeamento Tridimensional de Alguns Elementos .....	397
Figura E.3 - Plotagem das Coordenadas Curvilíneas Para Elementos Cúbicos e Parabólicos .....	400
Figura E.4 - Regras Para a Unicidade do Mapeamento (a) e (b) .....	401
Figura E.5 - Compatibilidade Necessária na Subdivisão do Espaço Real .....	402

**LISTA DE TABELAS APRESENTADAS**

Tabela 2.1 - Aplicação do Método dos Elementos Finitos na Engenharia .....	17
Tabela 2.2 - Etapas Envolvidas na Análise de um problema de Elementos Finitos.....	31
Tabela 3.1 - Capacidades do Programa BMINES .....	42
Tabela 3.2 - Características do Programa BMINES .....	42
Tabela 3.3 - Modelos Materiais de Elementos Disponíveis no Programa BMINES .....	59
Tabela 4.1 - Descrição do Conteúdo dos Arquivos do Programa BMINES ....	117
Tabela 4.2 - Características do Código do Programa BMINES (Versões Original e Modificada) .....	118
Tabela 6.1 - Resumo das Funções da Barra de Ferramentas .....	177
Tabela 6.2 - Resumo das Informações Mostradas na Barra de Status .....	178
Tabela D.1 - Modelos Materiais Disponíveis .....	322

## LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS

**Elementos de matrizes**

$C^e$	Matriz do módulo da tangente tensão/deformação elementar
$K^e$	Matriz de rigidez elementar
$Q$	Matriz do gradiente da tensão
$S$	Matriz dos coeficientes da tensão
$f^e$	Vetor de força nodal elementar
$\Delta S$	Matriz do incremento da tensão
$\delta^e$	Deslocamento nodal elementar

**Matrizes globais**

$C$	Matriz do módulo da tangente tensão/deformação
$F$	Vetor de força global
$F_g$	Vetor das forças gravitacionais
$K$	Matriz de rigidez global
$K(u)$	Matriz de rigidez instantânea
$P$	Vetor de cargas externas

**Problema de valor de contorno**

$i, j, k$	índices
$\Omega$	Domínio do problema
$\Omega^e$	Domínio do elemento (subdomínio)
$\Gamma$	Fronteira do problema
$\Gamma^e$	Fronteira do elemento

**Elasticidade**

<b>B</b>	Matriz do deslocamento da deformação (matriz diferenciada)
<b>B</b>	Módulo volumétrico (constante elástica volumétrica)
$\bar{\mathbf{B}}$	Matriz média
$\bar{B}_i$	Primeiro momento da matriz <b>B</b> , na direção da i-ésima coordenada
<b>D</b>	Matriz do módulo do material (matriz de elasticidade)
<b>E</b>	Módulo de elasticidade (Módulo de Young)
<b>G, <math>\mu</math></b>	Módulo de cisalhamento
<b>u</b>	vetor dos deslocamentos
<b>u, v e w</b>	Componentes do vetor dos deslocamento
$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$	Componentes tangenciais do tensor das deformações
$\epsilon$	tensor das deformações
$\epsilon^T$	Tensor das deformações
$\epsilon_0$	Deformação inicial
$\sigma$	Tensor das tensões
$\sigma^T$	Tensor das tensões
$\sigma_x, \sigma_y$ e $\sigma_z$	Componentes normais do tensor das tensões
$\sigma_0$	Tensão inicial
$\bar{\sigma}$	Tensor das tensões no centróide do elemento
$\bar{\sigma}_i$	Componente do gradiente do vetor das tensões na direção da i-ésima coordenada
$\tau_{xy}, \tau_{yz}$ e $\tau_{zx}$	Componentes tangenciais do tensor das tensões.
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	Componentes normais do tensor das deformações
<b>v</b>	Taxa de Poisson



## Elementos Isoparamétricos

$N_i, N_j, N_k$	Funções de interpolação
$h_i$	Função de forma isoparamétrica expressada em termos de coordenadas curvilineares
$i, j, k, l$	Pontos nodais
$r, s, t$	Coordenadas triangulares
$\Omega^e$	Domínio do elemento $\subset \Omega$
$\Gamma^e$	Fronteira de $\Omega^e$
$x_1, x_2, x_3, x, y, z$	Coordenadas cartesianas
$\xi, \eta$	Coordenada curvilínea para elementos bidimensionais
$\xi, \eta, \zeta$	Coordenada curvilínea para elementos tridimensionais

## Outros

$C_j$	Coeficientes indeterminados
$E$	Constante da mola,
$E_\zeta$	Módulo de Young em relação às direções de anisotropia
$F$	Função potencial
$G_j$ e $g_j$	Funções ou operadores conhecidos
$a_i$	Parâmetro desconhecido
$e$	Elemento
$\{f(x,y)\}$	Vetor deslocamento
$\{f\}$	Deslocamentos horizontal e vertical
$f'_t$	Esforço da tensão não confinada do concreto
$I_1, I_2$ e $I_3$	Invariantes da deformação

$J_1, J_2$ e $J_3$	Invariantes do tensor das tensões
$L$	Operador diferencial
$\{u\}_e$	Deslocamento no elemento
$\{\Delta u\}_e$	Deslocamento virtual
$\bar{\alpha}_{x_s}, \bar{\beta}_{x_s}$ e $\bar{\gamma}_{x_s}$	Ângulos entre o eixo $x$ e as direções do aço $x_s, y_s$ e $z_s$
$\beta$	Ângulo anti-horário do plano de anisotropia para a direção de maior tensão principal
$\gamma$	Orientação de $\beta$
$\{\varepsilon\}$	Vetor da deformação
$\dot{\varepsilon}_i^p$	Componentes principais do vetor da taxa de deformação plástica
$\phi(f)$	Função do critério de escoamento estático $f$
$\Phi_j$	Funções de aproximação apropriadamente
$\delta_i$	Deslocamento no nó $i$
$\{\delta\}_e$	Deslocamentos nodais de um elemento
$\delta E$	Energia interna
$\delta w$	Trabalho virtual
$\{\sigma\}$	Vetor da tensão
$\sigma_2$	Tensão principal compressiva máxima
$\{\sigma E\}$	Vetor da componente da deformação virtual
$\eta$	Coefficiente de viscosidade
$\mu_m$	Deformação volumétrica elástica mínima
$\mu_Z$	Compactação permanente
$\nu_{\zeta\eta}, \nu_{\zeta\xi}$	Taxa de Poisson em relação às direções principais de anisotropia

## SUMÁRIO

## VOLUME I

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	vi
<b>LISTA DE FIGURAS APRESENTADAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS APRESENTADAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS</b> .....	xvi
<b>SUMÁRIO</b> .....	xx
<b>RESUMO</b> .....	xxxvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xxxvii
<b>CAPÍTULO 1 - CONHECIMENTO DO PROBLEMA</b> .....	01
1.0 - INTRODUÇÃO .....	01
1.1 - MOTIVAÇÃO .....	03
1.2 - OBJETIVOS .....	04
1.3 - JUSTIFICATIVA .....	05
1.4 - PORTABILIDADE DA APLICAÇÃO .....	06
1.5 - OTIMIZAÇÃO DE CÓDIGO .....	07
1.6 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	09
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	11
2.1 - FUNDAMENTOS DOS ELEMENTOS FINITOS .....	11
2.2 - HISTÓRICO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	12
2.3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	14

2.4 - EQUAÇÕES BÁSICAS DA MECÂNICA DOS SÓLIDOS .....	18
2.4.1 - TENSÕES .....	18
2.4.2 - DEFORMAÇÃO E CINEMÁTICA .....	19
2.4.3 - EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS DE MATERIAIS ELÁSTICOS .....	20
2.5 - DESCRIÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	24
2.6 - DESLOCAMENTOS - APROXIMAÇÕES .....	26
2.7 - FORMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS FINITOS ...	28
2.7.1 - DISCRETIZAÇÃO DO CONTÍNUO .....	32
2.7.2 - FUNÇÕES DE FORMA OU DE INTERPOLAÇÃO .....	34
2.7.3 - DEFORMAÇÕES .....	37
2.7.4 - MATRIZ DE RIGIDEZ .....	39
<b>CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA BMINES .....</b>	<b>41</b>
3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA BMINES .....	41
3.2 - BIBLIOTECA DE ELEMENTOS .....	44
3.2.1 - ELEMENTO DE TRELIÇA TRIDIMENSIONAL .....	45
3.2.2 - ELEMENTO DE VIGA TRIDIMENSIONAL .....	46
3.2.3 - ELEMENTO DE TENSÃO NO PLANO BIDIMENSIONAL, DEFORMAÇÃO PLANA E ELEMENTOS COM EIXO DE SIMETRIA.....	47
3.2.4 - ELEMENTO SÓLIDO TRIDIMENSIONAL .....	49
3.2.5 - ELEMENTO DE CASCA ESPESSA TRIDIMENSIONAL .....	51
3.2.6 - ELEMENTO DE JUNTA BI E TRIDIMENSIONAL .....	52
3.3 - MODELOS DE MATERIAIS .....	58
3.4 - FORMULAÇÃO DAS EQUAÇÕES DOS ELEMENTOS FINITOS .....	61
3.4.1 - FORMULAÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS .....	61

3.4.2 - FORÇAS INTERNAS .....	63
3.4.3 - SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO NÃO-LINEARES .....	68
3.4.4 - SOLUÇÃO DE BANDA .....	71
3.5 - ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA .....	75
3.6 - SIMULAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE CONSTRUÇÃO E ESCAVAÇÃO .....	81
3.7 - ESTADO INICIAL DE TENSÃO .....	82
3.8 - REDUTOR DE LARGURA DE BANDA .....	82
3.9 - SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES .....	85
3.10 - OPÇÃO NÃO - DESCARREGADO .....	88
3.11 - GERAÇÃO DA MALHA .....	89
3.12 - GERAÇÃO DO BLOCO DIAGRAMA .....	90
3.12.1 - CONVENÇÃO PARA DEFINIÇÃO DAS FACES E DOS LADOS DO BLOCO DIAGRAMA .....	92
3.12.2 - CONVENÇÃO PARA NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA GRADE DE UM BLOCO DIAGRAMA .....	93
3.12.3 - CONVENÇÃO PARA NUMERAÇÃO DAS ZONAS DO BLOCO DIAGRAMA .....	94
3.12.4 - CONVENÇÃO PARA A NUMERAÇÃO DAS LINHAS ZONAIS, COLUNAS E PLANOS DO BLOCO DIAGRAMA .....	95
3.12.5 - CONVENÇÃO PARA REFERÊNCIA DOS PONTOS IMEDIATOS .....	96
3.13 - GERAÇÃO DA MALHA BÁSICA USANDO BLOCO DIAGRAMA .....	97
3.14 - REFINAMENTO SELETIVO .....	98
3.15 - CAPACIDADES ADICIONAIS DA GERAÇÃO DA MALHA USANDO O BLOCO DIAGRAMA .....	107
3.15.1 - CONDIÇÕES DAS SUPERFÍCIES CONTROLADAS .....	107

3.15.2 - GERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FRONTEIRA .....	110
3.15.3 - COEFICIENTES DE CARGA .....	110
3.16 - GERAÇÃO MANUAL DE MALHA .....	112
3.17 - CONSTRUÇÃO DA MALHA CUMULATIVA .....	113
3.17.1 - DESCRIÇÃO GERAL .....	113
3.17.2 - RENUMERAÇÃO MANUAL .....	115
<b>CAPÍTULO 4 - MODIFICAÇÕES INTRODUZIDAS NO PROGRAMA BMINES ...</b>	<b>116</b>
4.1 - DESCRIÇÃO GERAL .....	116
4.2 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN1.FOR	120
4.2.1 - PROGRAM BMINES .....	120
4.2.2 - SUBROUTINE AJTRAN .....	121
4.2.3 - SUBROUTINE LOGX .....	121
4.2.4 - SUBROUTINE LOGY .....	122
4.2.5 - SUBROUTINE PACUR .....	122
4.2.6 - SUBROUTINE SETIW .....	123
4.2.7 - SUBROUTINE STATUS .....	124
4.2.8 - SUBROUTINE SECOND .....	124
4.3 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN2.FOR	125
4.3.1 - SUBROUTINE ERRPRO .....	125
4.4 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN3.FOR	125
4.4.1 - SUBROUTINE ATOMSH .....	125
4.4.2 - SUBROUTINE APLT3D .....	125
4.4.3 - SUBROUTINE ATOMPT .....	125
4.4.4 - SUBROUTINE ATRNS3 .....	125
4.4.5 - SUBROUTINE AUTOBC .....	126

4.4.6 - SUBROUTINE BLDID .....	126
4.4.7 - SUBROUTINE CMBNOD .....	126
4.4.8 - SUBROUTINE ELDATA .....	126
4.4.9 - SUBROUTINE ELTAPE .....	126
4.4.10 - SUBROUTINE FLM .....	127
4.4.11 - SUBROUTINE FORMLM .....	127
4.4.12 - SUBROUTINE GENEL .....	127
4.4.13 - SUBROUTINE GENLOD .....	129
4.4.14 - SUBROUTINE GENNOD .....	129
4.4.15 - SUBROUTINE LINK .....	130
4.4.16 - SUBROUTINE LODDOF .....	130
4.4.17 - SUBROUTINE NMSH .....	130
4.4.18 - FUNCTION NODE .....	130
4.4.19 - SUBROUTINE NPDATA .....	131
4.4.20 - SUBROUTINE NPD1 .....	131
4.4.21 - SUBROUTINE NPGEN .....	131
4.4.22 - SUBROUTINE PT3 .....	132
4.4.23 - SUBROUTINE RD1 .....	132
4.4.24 - SUBROUTINE RDA3 .....	132
4.4.25 - SUBROUTINE RDACTIV .....	132
4.4.26 - SUBROUTINE RDLCD .....	133
4.4.27 - SUBROUTINE RDMD .....	134
4.4.28 - SUBROUTINE REFEL .....	134
4.4.29 - SUBROUTINE REMESH .....	134
4.4.30 - SUBROUTINE RENEL .....	135
4.4.31 - SUBROUTINE RENNOD .....	135

4.4.32 - SUBROUTINE RESTRT .....	135
4.4.33 - SUBROUTINE STBDY .....	136
4.4.34 - SUBROUTINE SETKNP .....	136
4.4.35 - SUBROUTINE WTA .....	136
4.4.36 - SUBROUTINE WTADD .....	136
4.4.37 - SUBROUTINE ZONE .....	137
4.5 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN4.FOR	137
4.5.1 - SUBROUTINE BEAM .....	137
4.5.2 - SUBROUTINE BLDB .....	137
4.5.3 - SUBROUTINE JACTRS .....	138
4.6 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN5.FOR	138
4.6.1 - SUBROUTINE BMCALC .....	138
4.6.2 - SUBROUTINE ALLOC .....	138
4.6.3 - SUBROUTINE BACKUP .....	139
4.6.4 - SUBROUTINE BMSTRT .....	139
4.6.5 - SUBROUTINE BSTIF .....	140
4.6.6 - SUBROUTINE CDCMP .....	140
4.6.7 - SUBROUTINE CONECT .....	140
4.6.8 - SUBROUTINE DECOMP .....	140
4.6.9 - SUBROUTINE KFORM .....	140
4.6.10 - SUBROUTINE LDTBL .....	141
4.6.11 - SUBROUTINE REREAD .....	141
4.6.12 - SUBROUTINE STORP .....	141
4.6.13 - SUBROUTINE TDRUM .....	142
4.6.14 - SUBROUTINE YLDFUN .....	142



4.7 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN7.FOR	142
4.7.1 - SUBROUTINE DEFUSE .....	142
4.7.2 - SUBROUTINE JNTELM .....	142
4.7.3 - SUBROUTINE JTFLOW .....	143
4.7.4 - SUBROUTINE TAUMAX .....	145
4.8 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN8.FOR	145
4.8.1 - SUBROUTINE BMOUTP .....	145
4.8.2 - SUBROUTINE DATPL .....	146
4.8.3 - SUBROUTINE DISPRO .....	146
4.8.4 - SUBROUTINE DODEF .....	146
4.8.5 - SUBROUTINE HISPRN .....	147
4.8.6 - SUBROUTINE OUTPAD .....	147
4.8.7 - SUBROUTINE OUTPEL .....	147
4.8.8 - SUBROUTINE OUTPRO .....	147
4.8.9 - SUBROUTINE PLT3D .....	148
4.8.10 - SUBROUTINE PLT3DF .....	148
4.8.11 - SUBROUTINE PNTEX .....	148
4.8.12 - SUBROUTINE QCLOT .....	148
4.8.13 - SUBROUTINE SIGPRO .....	148
4.8.14 - SUBROUTINE SLINK .....	149
<b>CAPÍTULO 5 - EXEMPLOS PARA VALIDAÇÃO DO PROGRAMA MODIFICADO</b>	<b>150</b>
5.1 - PROBLEMA - EXEMPLO 1 - TENSÃO EM UM ESPÉCIME ELÁSTICO SUBMETIDO AO TESTE BRASILEIRO .....	151
5.2 - PROBLEMA - EXEMPLO 2A - CILINDRO ELÁSTICO DE PAREDE ESPESSE SUBMETIDO À PRESSÃO INTERNA .....	156

5.3. - PROBLEMA - EXEMPLO 2b - CILINDRO ELASTOPLÁSTICO DE PAREDE ESPESSE SUBMETIDO À PRESSÃO INTERNA .....	160
5.4 - PROBLEMA- EXEMPLO 3 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO EM TORNO DE UM SHAFT CIRCULAR EM UM CAMPO DE TENSÃO BIAXIAL .....	164
5.5 - PROBLEMA EXEMPLO 4 - TENSÕES E DEFLECCÕES DE UMA VIGA EM BALANÇO .....	169
<b>CAPÍTULO 6 - INTERFACE GRÁFICA - O PROGRAMA MALHA_2.FOR .....</b>	<b>174</b>
6.1 - BREVE DESCRIÇÃO DO AMBIENTE INTEGRADO DE DESENVOLVIMENTO (IDE) FORTRAN VISUAL WORKBENCH .....	175
6.1.1 - BARRA DE FERRAMENTAS .....	176
6.1.2 - BARRA DE STATUS .....	178
6.2 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA MALHA_2.FOR .....	179
6.3 - CODIFICAÇÃO DO PROGRAMA .....	179
6.4 - CONFIGURAÇÃO MÍNIMA NECESSÁRIA PARA A EXECUÇÃO DO PROGRAMA MALHA_2.EXE .....	181
6.5 - PREPARAÇÃO DO SISTEMA. ....	182
6.6. - PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO PROGRAMA MALHA_2.EXE .....	182
6.7 - DETALHAMENTO DAS OPÇÕES DO MENU DE ABERTURA .....	184
6.7.1 - OPÇÃO (1) - PLOTAR APENAS A MALHA .....	184
6.7.2 - OPÇÃO (2) - PLOTAR A MALHA COM OS NÚMEROS DOS ELEMENTOS	185
6.7.3 - OPÇÃO (3) - PLOTAR A MALHA COM OS NÚMEROS DOS NÓS .....	186
6.7.4 - OPÇÃO (4) - PLOTAR A MALHA COM OS NÚMEROS DOS ELEMENTOS E DOS NÓS .....	187
6.7.5 - OPÇÃO (5) - SELECIONAR UMA REGIÃO DA MALHA .....	187

6.7.6 - OPÇÃO (6) - RESTAURAR SELEÇÃO PARA A MALHA TOTAL .....	189
6.7.7 - OPÇÃO (7) - IMPRIMIR TELA ANTERIOR .....	189
6.7.8 - OPÇÃO (0) - SAIR DO PROGRAMA .....	190
6.8 - RESULTADOS DO PROGRAMA MALHA_2.EXE .....	190

## **CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS**

<b>FUTUROS</b> .....	191
7.1 - ANÁLISE CRÍTICA DO TRABALHO E DOS RESULTADOS .....	191
7.2 -SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	193
7.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	194
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	195

## **VOLUME II**

<b>APÊNDICE A - MANUAL DO USUÁRIO</b> .....	217
A.1 - Dados de Controle da Execução do Programa e Opções do Programa .....	217
A.2 - Inicialização Geral do Programa e Job .....	220
A.2.1 - Exemplo de um Job .....	220
A.3 - Definição dos Dados de Entrada .....	221
Grupo de Dados 1 - Opções do Programa .....	223
Grupo de Dados 2 - Opções de Inicialização do Programa .....	225
Grupo de Dados 3 - Opção de Geração da Malha - Entrada de Dados com *START e ADD.....	226

Grupo de Dados 4 - Geração da Malha do Diagrama de Blocos.....	227
Grupo de Dados 4.1 - Parâmetro de Controle .....	227
Grupo de Dados 4.2 - Coordenadas Globais X .....	229
Grupo de Dados 4.3 - Coordenadas Globais Y .....	230
Grupo de Dados 4.4 - Coordenadas Globais Z.....	231
Grupo de Dados 4.5 - Propriedades do Material.....	232
Grupo de Dados 4.6 - Subdivisões da Linhas Zonais.....	233
Grupo de Dados 4.7 - Subdivisões das Colunas Zonais.....	234
Grupo de Dados 4.8 - Subdivisões dos Planos Zonais .....	235
Grupo de Dados 4.9 - Pontos Intermediários e Suas Coordenadas Globais.....	236
Grupo de Dados 4.10 - Parâmetros de Controle Para a Fórmula do Coeficiente de Carga .....	237
Grupo de Dados 4.11 - Parâmetros de Controle dos Coeficientes de Carga.....	238
Grupo de Dados 4.12 e 4.12.1 - Parâmetros de Controle Para as Condições de Fronteira Geradas Automaticamente .....	239
Grupo de Dados 4.12.2 - Parâmetros Para Carga e Fronteira .....	240
Grupo de Dados 4.12.3 - Números da Fórmula do Coeficiente de Carga Para as Componentes da Tensão .....	243
Grupo de Dados 5.0 - Geração Manual da Malha - Dados de Entrada *GENE ...	245
Grupo de Dados 5.1 - Parâmetros de Controle .....	245
Grupo de Dados 5.2 - Converte Elementos Existentes em Elementos de Juntas.	246
Grupo de Dados 5.3 - Elementos Gerados.....	247
Grupo de Dados 5.3.1 - Conjunto de Propriedades Mecânicas por Grupo de Elementos.....	247
Grupo de Dados 5.3.2 - Parâmetros da geração de Elementos .....	248
Grupo de Dados 5.4 - Pontos Nodais gerados .....	253

Grupo de Dados 5.5 - Cargas Geradas.....	254
Grupo de Dados 6.0 e 6.1 - Dados de Controle de Desenho da Malha .....	255
Grupo de Dados 6.2 - Plano de Desenho e Vetor de Visada .....	256
Grupo de Dados 6.3 - Planos de Corte Para o Desenho .....	257
Grupo de Dados 7.0 - Opção de Geração de "link" .....	258
Grupo de Dados 7.1 - Opção de Renumeração de Nós .....	258
Grupo de Dados 7.1.1 - Controle de Renumeração .....	258
Grupo de Dados 7.1.2 - Renumeração Manual da Malha .....	259
Grupo de Dados 7.2 - Dados de Controle de Desenho Para a Malha Final .....	261
Grupo de Dados 7.3 - Horizonte de Desenho e Vetor de Visada .....	262
Grupo de Dados 7.4 - Plano de Corte Para Desenho .....	263
Grupo de Dados 7.5 - Ativação/Dasativação de Elementos e Parâmetros de Controle .....	264
Grupo de Dados 7.6 - Ativação/Desativação de Elementos .....	265
Grupo de Dados 7.7 - Elemento de Tensão Inicial .....	266
Grupo de Dados 7.8 - Dados de Treliza e Viga.....	267
Grupo de Dados 7.9 - Propriedades do Material.....	268
Grupo de Dados 7.9.1 - Módulo do Material e Densidade .....	268
Grupo de Dados 7.9.2 - Controles de Propriedade do Material .....	269
Grupo de Dados 7.9.3 - Critério Para Propriedades do Material.....	270
Grupo de Dados 7.9.4 - Coeficientes dos Módulos de Elasticidade Transversais	271
Grupo de Dados 7.9.5 - Módulos Volumétricos e Coeficientes de Inelasticidade.	272
Grupo de Dados 7.10 - Percentagem de Reforço Com Aço .....	274
Grupo de Dados 7.11 - Direções das Barras de Reforço .....	275
Grupo de Dados 7.12 - Controle da Carga de Peso Próprio.....	276
Grupo de Dados 7.13 - Parâmetros da Sobrecarga Estática.....	277

Grupo de Dados 8.0 e 8.1 - Controle do Pós-Processador - Saída - Entrada de dados .....	278
Grupo de Dados 8.2 - Opções de Controle de Impressão .....	279
Grupo de Dados 8.3 - Definição da Transformação Local .....	281
Grupo de Dados 8.4 - Controle de Impressão .....	285
Grupo de Dados 8.5 - Controle de Desenho.....	286
Grupo de Dados 8.6 - Plotagem de Forma Deformada .....	287
Grupo de Dados 8.6.1 - Definição da Plotagem de Forma Deformada .....	287
Grupo de Dados 8.6.2 - Definição do Vetor de Visada .....	289
Grupo de Dados 8.6.3 - Plano de Corte Para o Desenho .....	290
Grupo de Dados 8.7 - Contorno do Desenho .....	291
Grupo de Dados 8.7.1 -Definição do Contorno do Desenho .....	291
Grupo de Dados 8.7.2 - Definição do Vetor de Visada .....	292
Grupo de Dados 8.7.3 - Definição dos Elementos de Contorno .....	293
Grupo de Dados 8.7.4 - Definição das Componentes do Contorno .....	294
Grupode Dados 8.7.5 - Definição do Nível de Contorno .....	295
Grupo de Dados 8.7.6 - Arquivo do Título do Contorno .....	296
Grupo de Dados 8.8 - Dados do Desenho .....	297
Grupo de Dados 8.8.1 - Especificação dos Dados do Desenho.....	297
Grupo de Dados 8.8.2 - Agrupamento da Definição do Desenho .....	299
Grupo de Dados 9.0 - Modificação dos Dados de Entrada .....	300
<b>APÊNDICE B - ARQUIVOS UTILIZADOS NO BMINES .....</b>	<b>301</b>
B.1 - Arquivos Utilizados no Segmento ATOMSH .....	301
B.2 - Arquivos Utilizados no Segmento BMCALC.....	302

B.3 - Conteúdos do Arquivo de União de ATOMSH.....	303
B.4 - Conteúdos do Arquivo de Reinicialização do Segmento BMCALC .....	304
B.5 - Conteúdos do Arquivo de Dados do Segmento BMCALC .....	305
B.6 - Conteúdos do Arquivo de Elementos .....	306

### **APÊNDICE C - CONTEÚDOS DOS BLOCOS COMUNS ROTULADOS .**

<b>IWD, IUNITS e IGEOM .....</b>	<b>307</b>
C.1 - Conteúdo do Bloco Comum IWD.....	307
C.2 - Conteúdo do Bloco Comum IUNITS.....	308
C.3 - Conteúdo do Bloco Comum IGEOM .....	309

### **APÊNDICE D - DEFINIÇÕES DOS MODELOS DOS MATERIAIS.....**

D.1 - Definições Básicas dos Coeficientes das Propriedades do Material .....	311
D.2 - Algoritmos de Convergência Para a Tensão e Rigidez.....	315
D.3 - Módulo de Modelos Elásticos, Constante .....	323
D.3.1 - Módulo do Modelo Isotrópico, Constante .....	323
D.3.2 - Módulo do Modelo Anisotrópico, Constante .....	324
D.4 - Módulo do Modelo Variável Elástico e Isotrópico .....	325
D.4.1 - Exponencial na Deformação .....	326
D.4.2 - Polinomial na Deformação .....	330
D.4.3 - Exponencial na Pressão .....	335
D.4.4 - Modelo Linear em Subintervalos .....	338
D.5 - Modelos Não-Elásticos, Isotrópicos Exceto o Concreto .....	342
D.5.1 - Critério de Escoamento Idealmente Plástico Com Uma Superfície de ....	342
Escoamento Polinomial.....	342

D.5.2 - Critério de Escoamento Idealmente Plástico Com Uma Superfície de Escoamento Parabólico.....	348
D.5.3 - Modelo "Cap Model" Para Rochas .....	352
D.5.4 - Modelo "Cap Model" Para Solos .....	356
D.6 - Modelos Não-Elasticos, Anisotrópicos Exceto o Concreto .....	360
D.6.1 - Módulo Constante, Modelo de Escoamento Anisotrópico .....	360
D.6.2 - Módulo Variável, Modelo de Esforço Coesivo Variável .....	362
D.7 - Modelos Viscosos .....	368
D.7.1 - Modelo Sólido Viscoelástico de Três Parâmetros .....	368
D.7.2 - Modelo Viscoelástico de Maxwell .....	372
D.7.3 - Modelo Viscoplastico .....	375
D.8 - Modelos Para o Concreto .....	377
D.8.1 - Módulo Variável Para Concreto Simples ou Armado .....	378
D.8.1.1 - Propriedades do Aço .....	384
D.8.1.2 - Transformação da Área do Aço .....	385
D.8.2 - Modelo Plástico "Cap Model" Para Concreto Simples .....	389
D.9 - Modelos de Juntas .....	392
 <b>APÊNDICE E - ELEMENTOS ISOPARAMÉTRICOS</b> .....	 396
E.1 - Utilização das Funções de Forma no Estabelecimento das Transformações da Coordenada .....	398
E.2 - Conformidade Geométrica de Elementos .....	401
E.3 - Variação da Função Desconhecida Dentro dosElemento Distorcidos40 Curvilineares. Continuidade .....	403



**E.4 - Avaliação das Matrizes dos Elementos (Transformação em Coordenadas**

$\xi, \zeta, \eta$ ) .....	403
----------------------------	-----

**APÊNDICE F - ENTRADA DE DADOS DOS PROBLEMAS-EXEMPLOS****PARA A VALIDAÇÃO DA VERSÃO MODIFICADA ..... 407**

F.1 - Entrada de Dados Usada Para Definir o Problema-Exemplo 1 .....	407
--	-----

F.2 - Entrada de Dados Usada Para Definir o Problema-Exemplo 2a .....	409
---	-----

F.3 - Entrada de Dados Usada Para Definir o Problema-Exemplo 2b .....	410
---	-----

F.4 - Entrada de Dados Usada Para Definir o Problema-Exemplo 3 .....	411
--	-----

F.5 - Entrada de Dados Usada Para Definir o Problema-Exemplo 4 .....	415
--	-----

F.5.1 - Malha do Tipo 4 X 16.....	415
-----------------------------------	-----

**APÊNDICE G - SAÍDA DE DADOS DOS PROBLEMAS-EXEMPLOS PARA****A VALIDAÇÃO DA VERSÃO MODIFICADA ..... 417**

G.1 - Saída dos Resultados do Problema-Exemplo 1 - Teste Brasileiro.....	417
--	-----

**G.2 - Saída dos Resultados do Problema-Exemplo 2a - Elastic**

Thick-Walled Cylinder .....	435
-----------------------------	-----

**G.3 - Saída dos Resultados do Problema-Exemplo 2b - Elasto Plastic**

Thick Walled Cylinder.....	443
----------------------------	-----

**G.4 - Saída dos Resultados do Problema-Exemplo 3 - Cylindrical Shaft In a**

Biaxial Stress Field.....	470
---------------------------	-----

**G.5 - Saída dos Resultados do Problema-Exemplo 4a - Cantilever Beam - 4 X 16**

Element Mesh.....	510
-------------------	-----

**APÊNDICE H - ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA MALHA\_2.EXE,  
PARA OS PROBLEMAS - EXEMPLOS CITADOS NO**

<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>525</b>
H.1 - Entrada de Dados do Problema Exemplo 1 - Teste Brasileiro .....	525
H.2 - Entrada de Dados do Problema Exemplo 2a - Elastic Thick-Walled Cylinder .....	528
H.3 - Entrada de Dados do Problema Exemplo 2b - Elasto Plastic Thick Walled Cylinder.....	529
H.4 - Entrada de Dados do Problema Exemplo 3 - Cylindrical Shaft In a Biaxial Stress Field .....	530
H.5 - Entrada de Dados do Problema Exemplo 4 - Cantilever Beam 4 X 16 Element Mesh .....	534

**APÊNDICE I - SAÍDAS GRÁFICAS DOS RESULTADOS DOS PROBLEMAS -  
EXEMPLOS PROCESSADOS PELO PROGRAMA**

<b>MALHA_2.EXE .....</b>	<b>537</b>
I.1 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 1- Teste Brasileiro .....	537
I.2 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 2a- Elastic Thick-Walled Cylinder.....	538
I.3 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 2b- Elasto Plastic Thick-Walled Cylinder.....	538
I.4 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 3- Cylindrical Shaft In a Biaxial Stress Field .....	539
I.5 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 4- Cantilever Beam 4 X 16 Element Mesh .....	541

## RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados por usuários de softwares de análise numérica, advém das necessidades de hardware que estes necessitam para gerar soluções consistentes de problemas extensos e, ainda, de sua complexidade no que se refere à manipulação e compreensão das saídas de dados. Frequentemente, alguns softwares são projetados para funcionar em grandes plataformas, ficando sua utilização restrita a usuários que tenham acesso àqueles equipamentos, necessitando, ainda, de um conhecimento avançado das características da máquina e do sistema operacional. Se faz necessário, então, um manual do usuário detalhado e de fácil manuseabilidade.

Esta dissertação propõe a conversão do programa BMINES, de elementos finitos, desenvolvido pelo Bureau of Mines, projetado para funcionar em mainframes, para microcomputadores, bem como um aperfeiçoamento de sua documentação (guia do usuário).

A idéia é unir os poderosos recursos deste software, para a criação de uma ferramenta através da qual o usuário possa analisar os efeitos das tensões a que são submetidas vários tipos de estruturas. Para facilitar a visualização dos resultados uma interface gráfica foi acoplada ao programa, permitindo uma melhor compreensão destes resultados

A versão modificada do programa BMINES, aqui apresentada, foi validada por meio de alguns problemas-exemplos fornecidos com o programa original. Nenhuma diferença significativa foi observada nos resultados fornecidos por ambas as versões.

## ABSTRACT

One of the great difficulties arising from the use of numerical analysis software packages comes from the requirements of hardware required for generating consultant solutions of large problems, and are also related to the manipulation and interpretation of output. Frequently, some software packages are designed for large systems and therefore their utilization becomes restricted to users having access to those type of equipments and also needing an advanced knowledge of the characteristics of the machine and operating systems. Thus, a user's manual of great detail and easy to use is required.

This dissertation presents the conversion for microcomputers of BMINES computer code, for finite elements, developed by US Bureau of Mines, which was designed for mainframe computers. Also, a detailed documentation of the code and a user's manual is provided.

The basic idea is to link the powerful resources of that software package for creating a tool useful for the analysis of stress acting in a varied class of structures. In order to improve the interpretation of results, a graphics interface has been added to the code, so that a better understanding of the results is possible.

The modified version of BMINES code presented here has been validated by means of some of the sample problems provided with the original code. No significant differences have been observed in the results yielded by both versions of the code.

## CAPÍTULO 1

### CONHECIMENTO DO PROBLEMA

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Todo fenômeno na natureza, em particular o mecânico, pode ser descrito com o auxílio das leis da física, expressas em termos de equações algébricas, diferenciais ou integrais.

Muitos engenheiros e cientistas que estudam os fenômenos físicos são envolvidos com duas questões importantes:

- Formulação matemática do processo físico;
- Análise numérica do modelo matemático.

A formulação matemática de um processo físico requer conhecimento do problema e, muito freqüentemente, certas ferramentas matemáticas. A formulação resulta em enunciados matemáticos, com a freqüente utilização de equações diferenciais, cujas soluções permitem a compreensão do comportamento do processo físico. O desenvolvimento do modelo matemático é obtido através do conhecimento do funcionamento do processo. Em uma simulação numérica, usa-se um método numérico e um computador para avaliar o modelo matemático e estimar as características do processo.

Na maioria dos casos, o processo de derivação das equações que regem muitos problemas não é excessivamente complexo sendo, entretanto, a obtenção de suas soluções por métodos de análise direta uma tarefa exaustiva. Em tais casos, métodos de aproximação de análise são um meio alternativo de encontrar soluções. Entre estes, o

método das diferenças finitas e os métodos variacionais como o de Rayleigh-Ritz e o método de Galerkin são mais freqüentemente usados na literatura.

Na aproximação de uma equação diferencial por diferenças finitas, as derivadas são substituídas por quocientes das diferenças divididas (ou a função é expandida em uma série de Taylor) que envolvem os valores da solução em pontos discretos da malha no domínio. As equações algébricas resultantes são resolvidas, depois de impostas as condições de fronteira, para os valores da solução nos pontos da malha.

Na solução de uma equação diferencial por um método variacional, a equação é inserida em uma forma equivalente de integral ponderada. A aproximação da solução sobre o domínio é definida como uma combinação linear ( $\sum C_j \Phi_j$ ) de funções de aproximação apropriadamente escolhidas,  $\Phi_j$ , e coeficientes  $C_j$  indeterminados. Os coeficientes  $C_j$  são determinados de tal modo que a proposição equivalente à equação diferencial original é satisfeita.

Os vários métodos variacionais como o de Rayleigh-Ritz, Galerkin e o método dos mínimos quadrados, diferem uns dos outros na escolha da forma da integral, função ponderada e/ou funções de aproximação.

O método dos elementos finitos se sobressai entre os tradicionais métodos variacionais por possuir um procedimento sistemático para a derivação das funções de aproximação sobre sub-regiões do domínio. O método é dotado de três feições básicas que explicam sua superioridade sobre os outros métodos concorrentes. Primeiro, um domínio geometricamente complexo do problema é representado como uma coleção de subdomínios geometricamente simples chamados elementos finitos.

Segundo, sobre cada elemento finito, as funções de aproximação são desenvolvidas usando a idéia básica de que qualquer função contínua pode ser representada por uma combinação linear de polinômios algébricos.

Terceiro, as relações algébricas entre os coeficientes indeterminados (valores nodais) são obtidas pela satisfação das equações governantes, freqüentemente no sentido de uma integral ponderada, sobre cada elemento. Assim, o método dos elementos finitos pode ser visto como uma aplicação particular do elemento discreto de Rayleigh-Ritz ou o método dos resíduos ponderados. Nele, as funções de aproximação são tomadas como polinômios algébricos, e os parâmetros indeterminados representam os valores da solução no número finito de pontos pré-selecionados, chamados nós, na fronteira e no interior do elemento. As funções de aproximação são desenvolvidas usando os conceitos da teoria da interpolação e são, dessa forma, chamadas funções de interpolação ou funções de forma. O grau das funções de interpolação depende do número de nós no elemento e da ordem da equação diferencial que está sendo resolvida.

## 1.1 - MOTIVAÇÃO

Durante as últimas três décadas, com o advento e aprimoramento dos computadores digitais, foram desenvolvidos vários métodos para solucionar problemas de mecânica dos meios contínuos, utilizando-se técnicas numéricas. Estas técnicas têm se tornado uma ferramenta na análise das tensões em complemento às técnicas experimentais. Dentre estas técnicas, o método dos elementos finitos emergiu como o de mais ampla utilização, devido à sua generalidade. De um modo particular, este método tem se destacado na

solução de problemas práticos em diversos campos, incluindo a elasticidade, plasticidade e mecânica dos fluidos.

O método dos elementos finitos já provou ser bastante versátil, podendo ser utilizado em diversas áreas do conhecimento (engenharias e ciências físicas em geral).

A utilização do método dos elementos finitos na mecânica das rochas, vem sendo largamente popularizada, o que tem trazido muitos avanços nesta área. O Programa BMINES, objeto desta dissertação, é um programa de aplicação específica do método dos elementos finitos na área de mecânica de rochas, desenvolvido para o Bureau of Mines dos Estados Unidos. Sua utilização possibilita a determinação das tensões que atuam nos maciços rochosos, permitindo um melhor planejamento de escavações e projetos de sistemas de suporte, sem o comprometimento da segurança nem da vida útil de projetos de mineração.

## 1.2 - OBJETIVOS

Para que um método sofisticado de cálculo seja bem utilizado, é essencial que tanto sua formulação numérica quanto sua programação sejam realizadas com critérios que possam, no futuro, de acordo com o avanço do conhecimento e das necessidades, sofrer as necessárias modificações que permitam melhorar seu desempenho. Nesse sentido, os principais objetivos que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- Adaptação do programa BMINES, de elementos finitos, para a linguagem FORTRAN padrão removendo os comandos e/ou sintaxes específicas da extensão do FORTRAN - CDC, para a qual o programa foi originalmente concebido, obtendo-se assim, a sua



portabilização entre plataformas específicas, possibilitando a sua aplicação em microcomputadores;

- Aperfeiçoamento da documentação do programa (Guia do Usuário), em linguagem simples, clara e concisa, possibilitando melhores informações a futuros usuários, sem prejuízo da compreensão e manipulação do programa propriamente dito;

- Obtenção de saída gráfica para a malha, tanto para visualização em monitor, como em saída de impressora.

### 1.3 - JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa é justificada por alguns importantes aspectos, entre os quais:

- O programa BMINES é de aplicação específica na área da mecânica das rochas. Existe no mercado uma grande quantidade de programas que utilizam a técnica dos elementos finitos e não são especificamente direcionados à engenharia de minas. Desse modo, sua utilização é de grande importância, pois trata-se de um programa especialista;

- Existe a disponibilidade do programa BMINES em código-fonte, o que permite novas alterações, complementações e aperfeiçoamentos. Essas facilidades motivaram o desenvolvimento da pesquisa que poderá contribuir com um melhoramento no desempenho do programa;

- O programa BMINES também apresenta uma utilidade didática, o que permite que sejam feitos testes e avaliações de novas opções. Esta justificativa prende-se tanto ao

fato da avaliação dentro do programa propriamente dito, quanto a partir de outros programas existentes, que serviriam como base para futuras comparações;

- O programa BMINES foi inicialmente desenvolvido na extensão FORTRAN - CDC, ficando seu funcionamento restrito àqueles computadores, uma vez que possui uma série de rotinas que dependem das características intrínsecas da máquina, principalmente nos aspectos relacionados a entrada e saída de dados. Sua transposição para outras extensões da linguagem FORTRAN, certamente traz grandes benefícios para pesquisadores em mecânica das rochas;
- O programa BMINES pode ser adaptado para funcionar em microcomputadores, uma vez que este não necessita de recursos sofisticados de *hardware* nem de grandes espaços de memória RAM para ser executado;
- A adaptação do programa BMINES para microcomputadores permite, ainda, que uma maior extensão de usuários tenha acesso a essa nova versão modificada, visto que o acesso a computadores de grande porte é bastante restrito.

#### 1.4 - PORTABILIDADE DA APLICAÇÃO

Um programa de computador é chamado de totalmente portátil caso ele esteja escrito de maneira que possa ser executado, sem apresentar mudança no comportamento, após ter seu código-fonte recompilado (mas sem nenhuma modificação), em qualquer tipo de computador, independentemente da plataforma (combinação tipo de CPU com sistema operacional).

Para tanto, é necessário que o programa seja escrito em uma linguagem de programação de alto nível, com compiladores disponíveis para todas as plataformas. Deve-se observar que, uma linguagem com estas características só pode usar recursos comuns a todas as plataformas, penalizando, portanto, a eficiência dos programas e o grau de utilização dos recursos específicos disponíveis em cada plataforma.

A existência de uma linguagem de programação que permita a portabilidade total é, claramente, um ideal difícil de ser atingido. Em consequência disto, não se pode garantir a portabilidade completa (entre plataformas) de programas, a qual depende da forma pela qual o programador utiliza os recursos da linguagem. Portanto, é o programador que determina em que medida seu programa será portátil ou não.

A utilização de comandos e de sintaxes não-convencionais, penalizou bastante a execução do programa BMINES em outra máquina diferente da que foi originalmente desenvolvido.

### **1.5 - OTIMIZAÇÃO DE CÓDIGO**

Em programação, otimizar um código significa torná-lo mais legível, de fácil manutenção, programas menores, mais rápidos e mais eficientes. A máxima otimização de um programa só é conseguida se levada em conta durante todo o processo de desenvolvimento de um aplicativo, que pode ser dividido em três etapas básicas: planejamento, implementação/codificação, e geração de código.

No planejamento do aplicativo, devem ser verificadas todas as características necessárias ao programa. A escolha de estratégias de execução e algoritmos são particularmente importantes. Neste ponto, a otimização fica mais por conta do analista,

que pode ainda utilizar programas estatísticos e de simulação de eventos para verificar quais as rotinas e como elas podem ser automatizadas.

Uma vez completado este passo, deve-se implementar tudo o que foi planejado. O programador deverá conhecer suficientemente o objetivo do projeto bem como a ferramenta que está utilizando. É chegado o momento de transformar seqüências de comandos nas chamadas funções padronizadas, que poderão ser utilizadas em diversos pontos do programa. É também hora de verificar quais blocos de comando devem ou não ser convertidos em funções. Às vezes, no caso de rotinas curtas, vale a pena incluir o código diretamente na seqüência dos comandos, em vez de fazer uma chamada de função, que pode inclusive ser do mesmo tamanho da própria função depois de compilada.

A partir do código fonte de um aplicativo, é preciso gerar um programa executável compacto. Esta é a tarefa do compilador, que deve ser configurado com uma série de parâmetros de otimização (os tipos de otimização desejada podem ser, basicamente, de dois tipos: por tamanho ou por velocidade).

Uma das aplicações de otimização por tamanho ocorre nos programas DOS que não ofereçam suporte à DPMS (DOS Protected Mode Interface) ou que precisem ser executados em máquinas 8086/8088 ou 80286 (nessas máquinas o processador não tem o modo protegido (32 bits) e só pode endereçar 1Mb diretamente). Otimizar a velocidade, geralmente significa aumentar o tamanho do programa. Uma das formas de aumentar a velocidade do programa gerado é através do conjunto de instruções do processador, para o qual o programa é gerado, o que pode limitar o uso do programa em máquinas específicas.

É importante lembrar que a otimização tem cada vez mais peso na geração de aplicativos, especialmente quando se deseja abranger uma área específica do mercado, tendo um código mais compacto que aproveite ao máximo as potencialidades do sistema operacional e do processador.

## 1.6 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

- O Capítulo II traz uma breve revisão dos fundamentos do método dos elementos finitos, que serviu como embasamento para o desenvolvimento do programa objeto deste estudo;
- O Capítulo III comenta as características do programa BMINES, tais como suas capacidades, suas limitações, enfocando a maneira como este soluciona os problemas propostos;
- O Capítulo IV lista e descreve as modificações introduzidas no programa fonte, que permitiram que o programa pudesse funcionar em versões não CDC do FORTRAN e em microcomputadores. Dentre estas modificações, são mostrados os comandos da linguagem que tiveram que ser modificados, o redimensionamento de variáveis, alterações nas unidades lógicas de entrada e saída de dados, buscando otimização no gerenciamento da memória disponível do computador;
- O Capítulo V apresenta e descreve os exemplos usados para validar o programa modificado;
- O Capítulo VI apresenta e descreve o programa MALHA\_2, um plotador de malhas planas de elementos finitos, desenvolvido para permitir uma melhor visualização da

geometria dos problemas executados no programa BMINES, como uma interface gráfica, facilitando a depuração dos dados de entrada.

- O Capítulo VII apresenta as conclusões obtidas no decorrer desta pesquisa e lista algumas sugestões para trabalhos futuros;
- A seguir é apresentada a bibliografia consultada e que serviu de base para este trabalho;
- O manual do usuário do programa descrito no Capítulo IV é apresentado como Apêndice A. O Apêndice B apresenta os arquivos utilizados pelo programa BMINES (versões original e modificada); para transferir, armazenar e recuperar dados. O Apêndice C apresenta o conteúdo dos blocos comuns rotulados IWD, IUNIT e IGEOM, usados pelo programa BMINES (versões original e modificada). O Apêndice D apresenta a definição dos modelos de materiais, disponíveis na biblioteca de materiais do programa BMINES (versões original e modificada). O Apêndice E apresenta a definição e a formulação de elementos isoparamétricos. O Apêndice F mostra as entradas de dados dos diversos problemas-exemplos usados para validar o programa modificado. O Apêndice G apresenta as saídas dos problemas-exemplos processados pelo BMINES (versão modificada). O Apêndice H ilustra as entradas dos dados do programa MALHA\_2.EXE, dos problemas-exemplos processados pelo programa BMINES (versão modificada). Finalmente, o Apêndice I ilustra as saídas gráficas dos problemas-exemplos processados por MALHA\_2.EXE.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 - FUNDAMENTOS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos tem se desenvolvido simultaneamente com o crescente uso de computadores mais velozes.

Embora o método originalmente tenha sido desenvolvido para uso na análise estrutural, no início da década de sessenta a natureza geral da teoria na qual é baseado tornou possível sua aplicação com sucesso para solução de problemas em outros campos da engenharia.

As estruturas na engenharia convencional podem ser vistas como um grupo de elementos estruturais interconectados em um número discreto de pontos nodais. Se as relações entre força e deslocamento para elementos individuais são conhecidas é possível, usando várias técnicas bastante conhecidas de análise estrutural, derivar as propriedades e estudar o comportamento da estrutura como um todo (Livesly, 1964; Timoshenko, 1965;).

Em um corpo elástico contínuo, o verdadeiro número de pontos de interconexão é infinito, e nisto consiste a maior dificuldade de sua solução numérica. O conceito de elementos finitos, como originalmente introduzido por Turner et al (Turner, 1956), esforça-se para vencer esta dificuldade assumindo que o corpo contínuo pode ser dividido em elementos interconectados somente em um número finito de pontos nodais, nos quais alguns esforços, representativos da distribuição das tensões atuando nos elementos do contorno, podem ser introduzidos. Se tal suposição é permitida, o problema é reduzido ao tipo estrutural convencional, sujeito a tratamento numérico.

O método dos elementos finitos é aplicável a muitos problemas do tipo não-estrutural. As propriedades essenciais de um elemento são as mesmas encontradas na análise estrutural. Desse modo, pode-se fazer uma analogia com o tipo estrutural, na formulação do procedimento geral de montagem e solução de um problema.

## 2.2 - HISTÓRICO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Pesquisadores em engenharia mecânica e matemática aplicada têm participado no desenvolvimento do método dos elementos finitos. Durante o período de 1850 a 1860, teorias sobre a torção e encurvamento de vigas foram unificadas, e os fundamentos do campo da análise estrutural foram estabelecidos. Por aproximadamente 100 anos, a análise estrutural esteve restrita ao estudo de sistemas de vigas e treliças unidimensionais, sendo uma importante característica que um elemento sempre era conectado a duas juntas. Na metade dos anos 50, elementos estruturais bidimensionais conectados a mais de duas juntas foram desenvolvidos pela indústria aeronáutica, de modo a permitir o modelamento de elementos de membrana fina conectados ao tradicional elemento estrutural unidimensional.

Ritz, em 1909, desenvolveu um poderoso método de aproximação da solução de problemas no campo da mecânica dos meios contínuos. Esse trabalho envolve a aproximação de um funcional potencial em termos de funções empíricas de magnitudes desconhecidas. A minimização do funcional com relação a cada função empírica desconhecida resulta em um grupo de equações que são resolvidas para as magnitudes desconhecidas. Uma das limitações iniciais do método de Ritz é que as funções empíricas devem obrigatoriamente satisfazer as condições de contorno do problema em todo o domínio de solução.



Em 1941, Hrenikoff introduziu o chamado método da estrutura, no qual um plano elástico foi representado como um conjunto de barras e vigas.

Courant, em 1943, desenvolveu uma extensão significativa do método de Ritz, pela introdução de funções lineares separadas sobre áreas triangulares e pela utilização do princípio da energia potencial mínima, aplicando o método na solução de problemas de torção.

Certas características importantes do método dos elementos finitos podem ser encontradas nos trabalhos de Hrenikoff (1941) e Courant (1943). Sua apresentação formal é atribuída a Turner, Clough, Martin e Topp (1956) e Argyris e Kelsey (1960).

O método de Ritz, como usado por Courant, foi idêntico ao método de elementos finitos independentemente apresentado por Clough, vários anos mais tarde. Naturalmente, a razão pela qual o método dos elementos finitos se tornou sucesso em 1960, advém do fato de que um grande número de operações numéricas inerentes ao método podiam ser realizadas pelo recente desenvolvimento do computador digital, ferramenta esta que não estava disponível para Courant em 1943.

Em 1960, Clough introduziu inicialmente a terminologia dos elementos finitos em seu trabalho "The Finite Element Method in Plane Stress Analysis". Neste trabalho, o método foi apresentado como uma extensão da técnica da análise estrutural para a solução de problemas na mecânica dos meios contínuos.

Na metade dos anos 60, pesquisadores em mecânica dos meios contínuos e análise estrutural reconheciam que o método estendido de Ritz e o método de elementos finitos eram idênticos. O método de elementos finitos tem sido aplicado a problemas em três dimensões, problemas envolvendo não-linearidades material e geométrica, problemas com dependência do tempo, e problemas em muitas outras áreas, além da análise estrutural.

O sucessivo avanço da pesquisa envolvendo o estudo dos elementos finitos geralmente resulta no desenvolvimento de um programa de computador para ser usado em soluções práticas de problemas de engenharia. Para que o programa seja uma ferramenta efetiva de análise, deve ser baseado em teorias e técnicas de três diferentes disciplinas. Primeiro, a aproximação usada para revelar as propriedades dos vários elementos finitos deve ser baseada em um sólido princípio fundamental da mecânica dos meios contínuos. Segundo, o método numérico selecionado para integração espacial, solução de equações, avaliação dos autovalores e as soluções temporais devem ser precisas e eficientes. Terceiro, a implementação no computador da técnica numérica de solução usada, deve ser considerada com muita atenção se o número de operações numéricas deve ser minimizado.

Existem vários pacotes de análise estrutural no mercado, que utilizam o método dos elementos finitos. Entre eles estão: ADINA (Automatic Dynamic Analysis System), ANSY (Engineering Analysis System), MSC / NASTRAN / NASA (Structural Analysis), os programas da série SAP, inicialmente desenvolvidos para mainframes (SOLIDSAP, SAP3, SAPIV e, recentemente o SAP80 e SAP90). Encontram-se, ainda, o STAP (Static Analysis Program), EASE2 e o BMINES, desenvolvido pelo *Bureau of Mines*, objeto de estudo desta pesquisa.

### 2.3 - APLICAÇÃO DO MÉTODO

Não é possível obter solução matemática analítica para muitos problemas na engenharia. Uma solução analítica é uma expressão matemática que dá os valores desejados de uma quantidade desconhecida em qualquer local em um corpo, e como consequência é válida para um número infinito de locais no corpo. Soluções analíticas podem ser obtidas

somente para determinadas situações simplificadas. Para problemas envolvendo propriedades complexas do material e condições de fronteira, o engenheiro lança mão de métodos numéricos que geram soluções aproximadas, mas aceitáveis. Em muitos dos métodos numéricos, as soluções fornecem valores aproximados de quantidades desconhecidas somente em um número discreto de pontos no corpo. O processo de seleção apenas em um certo número discreto de pontos em um corpo pode ser chamado discretização. Uma das maneiras para se discretizar um corpo ou uma estrutura é dividi-lo em um sistema de corpos menores equivalentes, ou unidades. A união de tais unidades representa então o corpo original. Em lugar da solução do problema para o corpo inteiro em uma única operação, as soluções são formuladas para cada unidade constituinte e combinadas para obter a solução para o corpo ou estrutura original. Esta aproximação é conhecida como da parte para o todo. Ainda que o procedimento da análise seja considerado, desse modo, simplificado, a quantidade de dados a ser manuseada depende do número de pequenos corpos nos quais o corpo original é dividido. Para um grande número de subdivisões acontece uma tarefa exaustiva no manuseio do volume de dados manualmente, e o computador passa, então, a ser indispensável como recurso de cálculo.

Muitos dos métodos numéricos desenvolvidos antes do advento do computador, foram posteriormente adaptados para serem operados nele.

Talvez o mais conhecido seja o método das diferenças finitas (Forsythe, 1960). Outros tipos de métodos clássicos que foram adaptados para computadores são os métodos residuais, como mínimos quadrados, e os métodos variacionais, como por exemplo, o método de Ritz (Crandall, 1956).

Em contraste com as técnicas acima mencionadas, o método dos elementos finitos é essencialmente um produto da era do computador digital, mesmo considerando que o

conceito fundamental de elementos finitos tenha sido vislumbrado por Courant, já nos anos quarenta (Courant, 1943).

O método pode ser sistematicamente programado para acomodar problemas complexos como materiais não-homogêneos, procedimentos de tensão-deformação não-linear e condições de contorno complicadas. É difícil acomodar estas complexidades nos outros métodos acima mencionados. Outro aspecto favorável do método dos elementos finitos é a variedade de níveis nos quais podemos desenvolver uma compreensão da técnica. Deve-se tomar uma aproximação física ou intuitiva para o aprendizado e uso do método. Esta aproximação é similar à extensão de conceitos familiares da análise de estruturas, formadas como corpos unidimensionais, a problemas envolvendo estruturas de duas e três dimensões. De outro modo, deve-se desenvolver uma interpretação matemática rigorosa do método.

O método dos elementos finitos é aplicado a uma grande faixa de problemas de valor de contorno na engenharia. Em um problema de valor de contorno, uma solução é procurada na região do corpo, enquanto na fronteira da região o valor das variáveis dependentes (ou suas derivadas) é prescrito (Crandall, 1956). O método dos elementos finitos é, geralmente, mais eficiente que o método dos elementos de fronteira, para a solução de problemas elásticos com domínios definidos (Lima, 1988). Na Tabela 2.1, são mostrados exemplos de aplicações específicas do método, para as três maiores categorias de problemas de valor de contorno: problema de equilíbrio ou no estado estacionário, problemas de autovalor e problemas de propagação ou transitórios (Crandall, 1956).

**TABELA 2.1**  
**Aplicação do Método dos Elementos Finitos na Engenharia**

<b>CAMPO DE ESTUDO</b>	<b>PROBLEMA DE EQUILÍBRIO</b>	<b>PROBLEMA DE AUTOVALORES</b>	<b>PROBLEMA DE PROPAGAÇÃO</b>
Engenharia Estrutural Mecânica Estrutural e Eng. Aeroespacial	Análise de vigas, placas, cascas; de estruturas híbridas ou complexas; Análise de tensões no plano e no espaço; Torção de seções prismáticas.	Estabilidade das estruturas Frequências naturais e modos de vibrações de estruturas. Abatimento linear viscoelástico	Propagação das ondas de tensão. Resposta dinâmica das estruturas e cargas periódicas; Termoelasticidade e termoviscosidade; Problemas viscoelásticos
Mecânica dos Solos, Eng. de Fundações e Mecânica das Rochas	Análise de tensões no plano e no espaço; Problemas de construção e escavação e de estabilidade de rampas; Análise de barragens, túneis, etc; Estado de infiltração estacionário de fluidos em solos e rochas	Frequências naturais e modos de vibração das combinações de estruturas de solos.	Infiltração temporária em solos e rochas. Consolidação do fluxo em poros deformados; Propagação de ondas de tensões em solos e rochas.
Hidrodinâmica Engenharia Hidráulica Reservas de águas.	Soluções para o fluxo do potencial de fluidos e soluções para o fluxo viscoso dos fluidos. Estado estacionário de infiltração em aquíferos e poros; Análise das estruturas hidráulicas e barragens.	Período natural e modos de oscilação em containers rígidos e flexíveis.	Estudos de salinidade e poluição de estuários (difusão); Transporte de sedimentos; Instabilidade do fluxo do fluido; Propagação de onda; Infiltração temporária em poros e aquíferos.
Engenharia Nuclear	Análise da estrutura de contenção de reatores; Estado estacionário da distribuição da temperatura no reator e em suas estruturas.		Análise da dinâmica da estrutura de contenção do reator; Análise termo-viscoelástica da estrutura de reatores; Instabilidade da distribuição da temperatura em reatores e em suas estruturas.

FONTE: Elementary Finite Element Method, 1979 (C. S. DESAI)

A maior parte das aplicações do método está no domínio da mecânica dos sólidos (incluindo estrutural, solos e mecânica das rochas). Os problemas nestes campos são usualmente fixados por uma das três aplicações: método dos deslocamentos, método do equilíbrio e o método misto. O programa BMINES, bem como os demais códigos de elementos finitos de aplicação geral, estão implementados com base no método dos deslocamentos.

Os deslocamentos são definidos como quantidades primárias desconhecidas do método dos deslocamentos; as tensões são definidas como quantidades primárias no método do equilíbrio; e alguns deslocamentos e algumas tensões como quantidades primárias desconhecidas no método misto.

## 2.4 - EQUAÇÕES BÁSICAS DA MECÂNICA DOS SÓLIDOS

### 2.4.1 - TENSÕES

O estado de tensões em um volume elementar de um corpo carregado é definido em termos de seis componentes da tensão, expresso vetorialmente como:

$$\sigma^T = [ \sigma_x \sigma_y \sigma_z \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} ] \quad 2.1$$

onde  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  são as componentes normais do tensor das tensões e  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  e  $\tau_{zx}$  as componentes tangenciais do tensor das tensões. As componentes do tensor das tensões que atuam na face positiva do volume elementar em uma direção de coordenadas positivas são positivas; aquelas que agem em uma face negativa em uma direção negativa também são positivas; todos os outros casos serão negativas. A face

positiva é aquela na qual o vetor normal é dirigido para fora do elemento pontual na direção positiva.

Se os eixos coordenados são os eixos das tensões principais, o tensor da tensão se torna:

$$\sigma^T = [\sigma_1 \ \sigma_2 \ \sigma_3 \ 0 \ 0 \ 0] \quad 2.2$$

Os invariantes do tensor das tensões são:

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad 2.3$$

$$J_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1 \quad 2.4$$

$$J_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{yx}^2 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \quad 2.5$$

### 2.4.2 - DEFORMAÇÃO E CINEMÁTICA

Para o caso de tensões no plano, as deformações de interesse são aquelas que ocorrem no plano e são definidas em termos de deslocamentos pela seguinte relação (Timoshenko, 1951):

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad 2.6$$

Correspondendo às seis componentes das tensões, equação 2.6, o estado de deformação em um ponto pode ser dividido em seis componentes da deformação, dadas pelo seguinte vetor (Timoshenko, 1951; Wang, 1953):

$$\varepsilon^T = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx}] \quad 2.7$$

As deformações principais correspondem às tensões principais, assim para estas coordenadas:

$$\varepsilon^T = [ \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 0 0 0 ] \quad 2.8$$

Do mesmo modo, os seguintes invariantes da deformação são análogos aos invariantes da tenção (Timoshenko, 1951):

$$I_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad 2.9$$

$$I_2 = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) = \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \varepsilon_3 \varepsilon_1 \quad 2.10$$

$$I_3 = \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z + \frac{1}{4} (\gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx} - \varepsilon_x \gamma_{yz}^2 - \varepsilon_y \gamma_{zx}^2 - \varepsilon_z \gamma_{xy}^2) = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \quad 2.11$$

Aqui, os fatores de 1/4 provêm da diferença nas definições da engenharia: deformação e tensor da deformação, por exemplo:

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} \quad 2.12$$

$$\varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \gamma_{xz} \quad 2.13$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{1}{2} \gamma_{yz} \quad 2.14$$

### 2.4.3 - EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS DE MATERIAIS ELÁSTICOS

A Lei de Hooke para o estado de deformação uniaxial, diz que a deformação é proporcional à tensão. No caso mais geral de corpos tridimensionais, seis componentes de tensão e deformação serão mostradas. Como uma extensão natural da Lei de Hooke, cada uma das seis componentes pode ser expressa como uma função linear das seis componentes da deformação, e virse-versa (Sokolnikoff, 1956).



Tais relações constituintes são generalizadas na Lei de Hooke:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \dots & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \dots & C_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & \dots & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad 2.15$$

ou simplesmente:

$$\sigma = C \varepsilon \quad 2.16$$

e

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & \dots & D_{16} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & \dots & D_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{61} & D_{62} & D_{63} & \dots & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad 2.17$$

ou simplesmente:

$$\varepsilon = D \sigma \quad 2.18$$

onde  $\sigma$  e  $\varepsilon$  são os vetores representando as tensões e deformações respectivamente, e  $D$  é a matriz de elasticidade que contém as propriedades do material.

As equações 2.17 e 2.18 representam as leis constitutivas para um material linear, elástico, anisotrópico e homogêneo. As matrizes  $C$  e  $D$  são simétricas (Timoshenko, 1951; Wang, 1953). Desse modo, uma descrição constitutiva completa de um sólido anisotrópico necessita de avaliação experimental de 21 constantes elásticas (Hearman, 1961; Lekhnitskii, 1963).

Certos materiais exibem simetria com respeito aos planos no corpo. Assim o número de constantes materiais se reduzem das 21 necessárias, no caso anisotrópico (Hearnam, 1961; Lekhnitskii, 1963; Zienkiewicz, 1966). Por exemplo a equação 2.17 (pág. 21) para um material ortotrópico é expressa em termos de nove constantes:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad 2.19$$

A equação tensão-deformação para materiais ortotrópicos pode ser escrita em termos do módulo de Young e coeficientes de Poisson (Hearnam, 1961; Lekhnitskii, 1963)

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{yx}}{E_y} \sigma_y - \frac{\nu_{zx}}{E_x} \sigma_z \quad ; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}} \quad 2.20$$

$$\epsilon_y = - \frac{\nu_{xy}}{E_x} \sigma_x + \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_{zy}}{E_z} \sigma_z \quad ; \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}} \quad 2.21$$

$$\epsilon_z = - \frac{\nu_{xz}}{E_z} \sigma_x - \frac{\nu_{yz}}{E_y} \sigma_y + \frac{\sigma_z}{E_z} \quad ; \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G_{zx}} \quad 2.22$$

Estas equações podem ser invertidas para se obterem os valores dos elementos de [C] na equação 2.17 (pág. 21). Apesar de haver vinte e um parâmetros materiais na equação 2.18 (pág. 21), somente nove deles são independentes, logo:

$$\frac{E_x}{\nu_{xy}} = \frac{E_y}{\nu_{yx}} \quad 2.23$$

$$\frac{E_y}{\nu_{yz}} = \frac{E_z}{\nu_{zy}} \quad 2.24$$

$$\frac{E_z}{\nu_{zx}} = \frac{E_x}{\nu_{xz}} \quad 2.25$$

a matriz **D** pode ser obtida da relação isotrópica tensão-deformação (Timoshenko, 1951).

Tomando as equações 2.20, 2.21 e 2.22 (pág. 22) e resolvendo, temos:

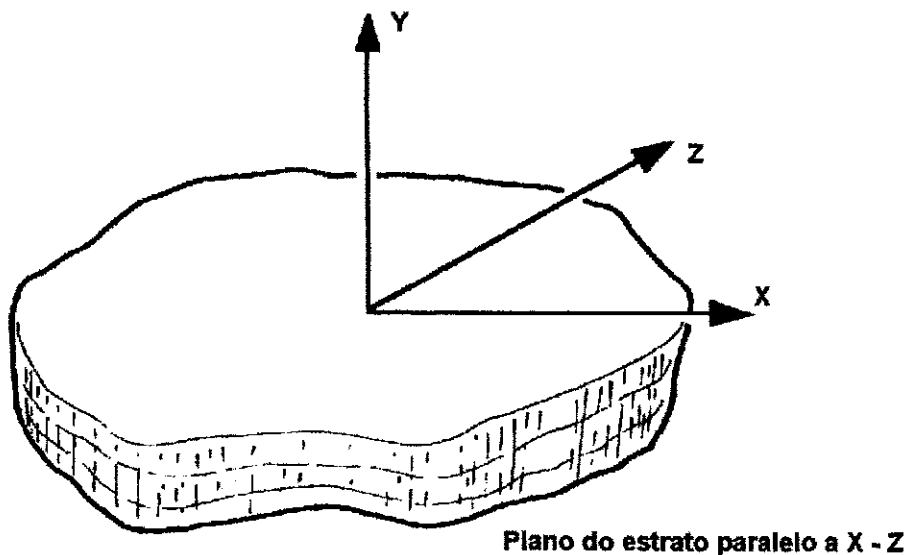
$$[\mathbf{D}] = \frac{\mathbf{E}}{1+\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad 2.26$$

Onde E é o módulo de elasticidade e  $\nu$  é a taxa de Poisson.

Se a análise bidimensional é aplicada, a simetria das propriedades deve existir, implicando em no máximo seis constantes independentes na matriz **D**. Assim, pode-se escrever:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ & d_{22} & d_{23} \\ \text{simetria} & & d_{33} \end{bmatrix} \quad 2.27$$

Há, ainda, um caso de particular interesse na prática, qual seja um material estratificado ou transversalmente isotrópico, no qual existe uma simetria rotacional das propriedades dentro do plano do estrato. Este material processa apenas cinco constantes elásticas independentes. Tomando o eixo y como perpendicular ao estrato (desprezando a deformação inicial) (Figura 2.1).



**Figura 2.1 - Material Estratificado (transversalmente isotrópico)**

As equações para  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xz}, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}$  são as mesmas 2.20, 2.21 e 2.22 (pág. 22), onde as constantes  $E_x, \nu_x$  ( $G_x$  é independente) estão associadas com o comportamento do estrato no plano e  $E_y, G_y$  e  $\nu_y$  com a direção normal a eles. A matriz **D** em duas dimensões se torna:

$$\text{Como : } \frac{E_1}{E_2} = n \quad 2.28$$

$$\text{e } \frac{G_2}{E_2} = m \quad 2.29$$

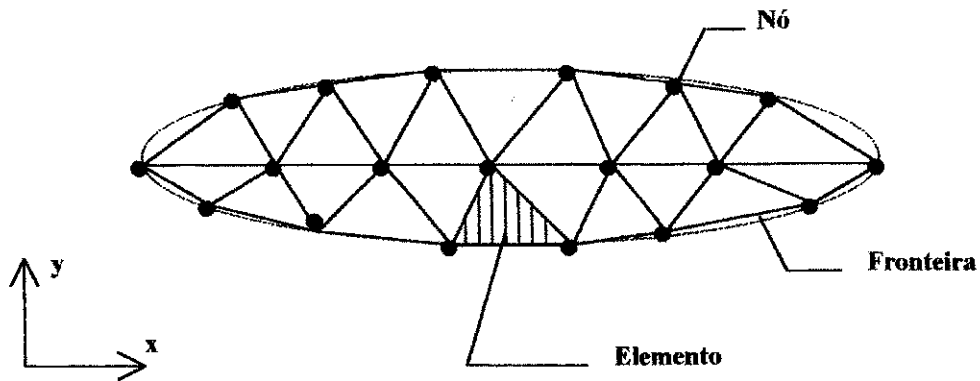
$$D = \frac{E_2}{(1 - \nu_2^2)} \begin{bmatrix} n & \nu_2 & 0 \\ \nu_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & m(1 - \nu_2^2) \end{bmatrix} \quad 2.30$$

## 2.5 - DESCRIÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Em resumo, a base do método dos elementos finitos é a representação de um corpo ou uma estrutura por uma junção de subdivisões chamadas elementos, Figura 2.2. Estes elementos são considerados interconectados em articulações que são chamadas nós ou pontos nodais.

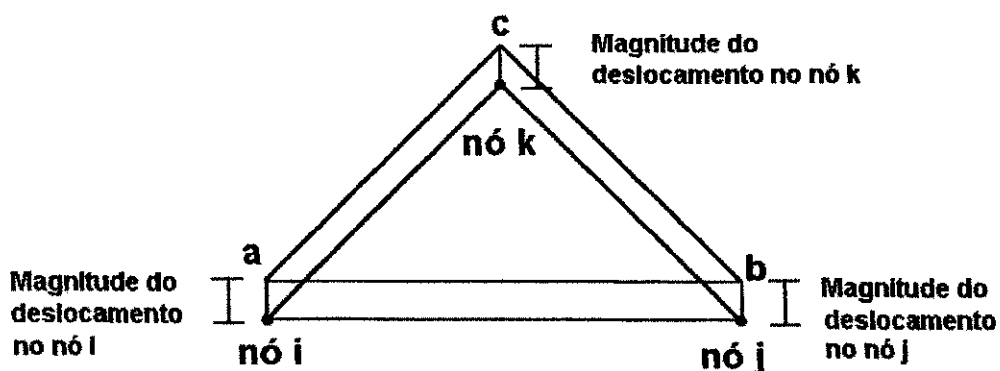
Funções polinomiais simples são escolhidas para aproximar a distribuição ou variação dos deslocamentos reais no interior de cada elemento finito. Estas funções são chamadas funções de deslocamento ou modelos de deslocamento. As magnitudes ou amplitudes desconhecidas das funções de deslocamento, são os deslocamentos (ou as derivadas dos deslocamentos) nos pontos nodais, Figura 2.3. Assim, a solução final produzirá o deslocamento aproximado em locais discretos no corpo, nos pontos nodais. Um modelo de deslocamento pode ser expresso de várias maneiras, tais como

polinômios e funções trigonométricas. Os polinômios oferecem facilidade na manipulação matemática e têm sido usados na aplicação da técnica dos elementos finitos.



**FIGURA 2.2 - Região Bidimensional com uma União de Elementos Triangulares**

Um princípio variacional da mecânica, tal como o princípio da energia potencial mínima, é freqüentemente empregado para obter a série de equações de equilíbrio para cada elemento. A energia potencial de um corpo ou estrutura elástica carregada, é representada pela soma da energia interna armazenada como um resultado das deformações e da energia potencial das cargas externas. Se o corpo está no estado de equilíbrio, esta energia é um mínimo. Este é um enunciado simplificado do princípio da energia potencial mínima.



**FIGURA 2.3 - Vista Isométrica do Elemento Triangular com Deslocamento Linear. Modelo Plotado em Três Dimensões.**

As equações de equilíbrio para um corpo inteiro são obtidas pela combinação das equações para os elementos individuais, de forma que a continuidade dos deslocamentos é preservada na interconexão dos nós. Estas equações são modificadas para um dado deslocamento nas condições de contorno e então são solucionadas para se obter os deslocamentos desconhecidos.

Em muitos tipos de problemas, a solução desejada está em termos de deformação ou tensão, ao contrário dos deslocamentos ou forças nodais. Desta forma, podem ser necessários cálculos adicionais.

## **2.6 - DESLOCAMENTOS - APROXIMAÇÕES**

Em muitos campos da engenharia a solução de distribuição das tensões e deformações em um corpo elástico é necessária. Casos especiais destes tipos de problemas podem variar entre planos (tensões ou deformações bidimensionais), sólidos com simetria axial, placas e cascas, e sólidos em três dimensões. Em todos os casos o número de interconexões entre qualquer elemento isolado, por alguma fronteira imaginária e pelos elementos da vizinhança, é infinito. Torna-se, portanto, difícil imaginar como tais problemas podem ser discretizados, da forma como foi visto para estruturas simples. A dificuldade pode ser contornada da seguinte maneira:

- a) O corpo contínuo é dividido por linhas ou superfícies imaginárias em um certo número de elementos finitos;

b) Assume-se que os elementos são interconectados em um número discreto de pontos nodais situados no seu contorno. Os deslocamentos destes pontos são os parâmetros básicos desconhecidos do problema;

c) Um grupo de funções é escolhido para definir univocamente o estado dos deslocamentos no interior de cada elemento finito, em relação a seus próprios deslocamentos nodais;

d) As funções de deslocamento, agora, definem univocamente o estado de deformação de um elemento em termos de deslocamentos nodais. Estas deformações, juntas com quaisquer deformações iniciais e com as propriedades constituintes do material, definirão o estado de tensões no elemento e, desse modo, também em suas fronteiras;

e) Um sistema de forças concentradas nos nós e equilibrando as tensões da fronteira, para quaisquer cargas distribuídas pode ser determinado.

Uma série de aproximações é introduzida. Primeiro, nem sempre é fácil garantir que as funções de deslocamento escolhidas satisfarão os requisitos de continuidade dos deslocamentos entre elementos adjacentes. Assim, as condições de compatibilidade em tais linhas podem ser violadas. Segundo, pela concentração de forças equivalentes nos nós, condições de equilíbrio são satisfeitas no sentido global. Violação local das condições de equilíbrio em cada elemento e nas suas fronteiras ocorrem freqüentemente.

A escolha da forma do elemento e da forma da função de deslocamento para casos específicos, requer habilidade do engenheiro, e, obviamente, o grau de aproximação que pode ser obtido em muito dependerá destes fatores.

Estas aproximações, aqui esboçadas, são conhecidas como formulação do deslocamento (Clough, 1960).

Desse modo, o processo descrito é justificado apenas intuitivamente, mas o que de fato foi sugerido é equivalente à minimização da energia potencial total do sistema em termos de um determinado campo de deslocamento. Se este campo de deslocamento é definido de um modo adequado, então a convergência para os resultados corretos deve ocorrer. O processo é equivalente ao procedimento de Ritz (Ritz, 1909).

O reconhecimento da equivalência do método dos elementos finitos com um processo de minimização foi proposto por Clough e Szmelter (Szmelter, 1959; Clough, 1965). Contudo, Courant, Prager e Synge propuseram métodos que, em essência, são idênticos (Courant, 1943; Prager, 1947).

## **2.7 - FORMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS FINITOS**

A maior distinção do método dos elementos finitos em relação a outros métodos é a divisão de um dado domínio em uma série de subdomínios, chamados elementos finitos.

A subdivisão de um todo em partes, apresenta duas vantagens:

- Permite uma representação precisa de geometrias complexas e a inclusão de diferentes materiais;
- Permite a representação precisa da solução dentro de cada elemento, possibilitando um destaque dos efeitos locais (grandes gradientes da solução).

Algumas outras características merecem comentário:

- Pode-se discretizar um domínio, dependendo da sua forma, em uma malha de mais de um tipo de elemento. Por exemplo, na aproximação de um domínio irregular, pode ser usada uma combinação de retângulos e triângulos;



- As equações que governam os problemas, geralmente são complexas. Normalmente, são equações diferenciais. Em muitos casos, estas equações não podem ser resolvidas sobre um elemento, por duas razões. Primeiro, não permitem a solução exata. Segundo, as equações discretas obtidas no método variacional não podem ser resolvidas independentemente do restante dos elementos, devido a junção dos elementos estar sujeita a certas condições de continuidade, condições de fronteira, e/ou condições iniciais;
- O número e a localização dos nós em um elemento depende da geometria do elemento, do grau de aproximação do polinômio e da forma integral das equações;
- A junção dos elementos, no caso geral, é baseada na idéia de que a solução (e possivelmente suas derivadas para equações de ordem superior) é contínua nas fronteiras interelementares;
- A junção dos elementos finitos está sujeita às condições de fronteira e/ou iniciais. As equações discretas associadas com a malha dos elementos finitos são resolvidas apenas após todas as condições de contorno e/ou iniciais terem sido aplicadas;
- Há três fontes de erros em uma solução do método de elementos finitos: a) aquelas referentes à aproximação do domínio; b) aquelas referentes à aproximação da solução e c) aquelas referentes à manipulação numérica (integração numérica e erros de arredondamento no computador). A estimação destes erros, em geral, não é um problema simples. Entretanto, sob certas condições, eles podem ser estimados para um dado elemento e problema;
- A precisão da convergência da solução dos elementos finitos depende da equação diferencial, de sua forma integral e do elemento usado. Precisão se refere à diferença

entre a solução exata e a solução dos elementos finitos, enquanto que convergência se refere à precisão atingida à medida que o número de elementos na malha cresce;

- Quando as condições de continuidade de montagem são trocadas pelas condições de contato, o método é conhecido como método do elemento discreto (DEM - Discrete Element Method). Neste método, elementos individuais podem ter movimento finito (deslocamentos e rotações). Tais métodos têm aplicação na mecânica das rochas (mineração e abertura de túneis), mecânica do gelo, e outros campos onde um contínuo é desintegrado durante a deformação.

A geometria dos elementos usados para representar o domínio de um problema deverá ser tal que as funções de aproximação possam ser univocamente derivadas. As funções de aproximação não dependem somente da geometria mas, também, do número e localização dos nós no elemento e das quantidades a serem interpoladas. Uma vez que as funções de aproximação tenham sido desenvolvidas, o procedimento para se obter as relações algébricas entre os coeficientes desconhecidos (que dá valores da solução nos nós dos elementos finitos) é exatamente a mesma como a usada por Rayleigh-Ritz.

O método dos elementos finitos não apenas supera as deficiências dos métodos variacionais tradicionais, mas também é favorecido com as características de uma técnica computacional consistente.

As etapas básicas envolvidas na análise de elementos finitos de um dado problema são mostradas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2

## Etapas Envolvidas na Análise de um Problema de Elementos Finitos

<p>1 - Discretização de um domínio em uma coleção de elementos finitos pré-selecionados.</p> <p>a) Construção da malha de elementos finitos com elementos pré-selecionados;  b) Número de nós e de elementos;  c) Geração das propriedades geométricas necessárias ao problema.</p>
<p>2 - Derivação das equações do elemento para todos os elementos da malha</p> <p>a) Construção de uma formulação variacional equivalente, restringida a um elemento;  b) Atribui que a variável <math>u</math> é da forma:</p> $u = \sum_{i=1}^n u_i N_i$ <p>e a substitui no passo 2, para obter as equações dos elementos na forma: <math>\mathbf{K}^e \mathbf{u}^e = \mathbf{F}^e</math> ;</p> <p>c) Derivação ou escolha, se já disponível na literatura, das funções de interpolação <math>N_i</math> e computação dos elementos das matrizes.</p>
<p>3 - Montagem das equações dos elementos para obter a equação de todo o problema.</p> <p>a) Identificação das condições de continuidade interelementar entre as variáveis primárias (relação entre grau de liberdade local e graus de liberdade global - conectividade de elementos) pelo relacionamento dos nós dos elementos aos nós globais;  b) Identificação das condições de equilíbrio entre as variáveis secundárias (relação entre a fonte ou componentes de força locais e as componentes de força globalmente especificadas);  c) Montagem das equações dos elementos usando as etapas 3a e 3b.</p>
<p>4 - Imposição das condições de fronteira do problema</p> <p>a) Identificação dos graus de liberdade primários globais especificados;  b) Identificação dos graus de liberdade secundários globais especificados.</p>
<p>5 - Solução do sistema algébrico resultante</p>
<p>6 - Pós-processamento dos resultados</p> <p>a) Computação do gradiente da solução ou outras quantidades desejadas dos graus de liberdade primários computados na etapa 5;  b) Representação dos resultados na forma tabular ou gráfica.</p>

FONTE: Finite Element Method, 1993 (J.N. REDDY)

**2.7.1 - DISCRETIZAÇÃO DO CONTÍNUO**

Muitos problemas de engenharia e física podem ser resolvidos através de equações diferenciais apropriadas e, condições de fronteira podem ser impostas em uma ou mais funções desconhecidas.

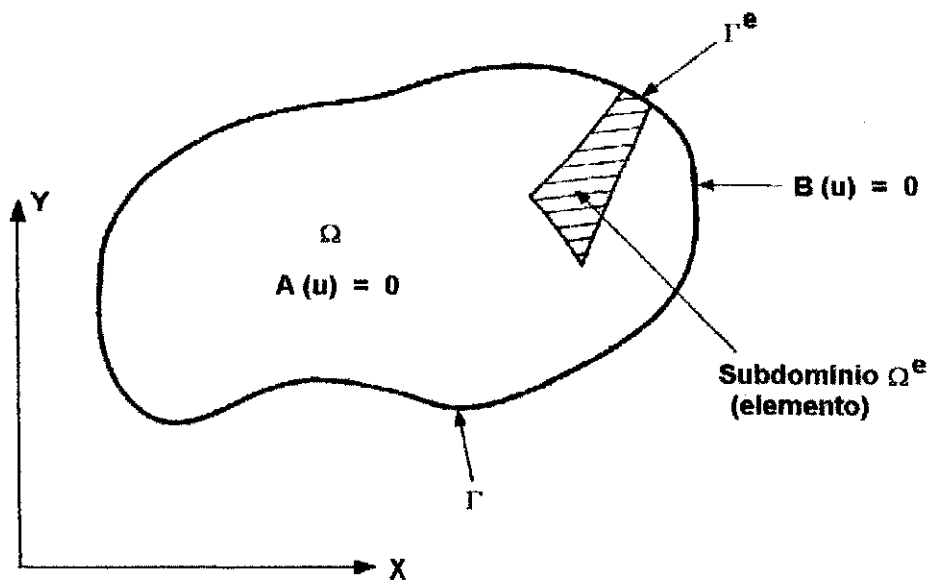
Seja uma função desconhecida  $u$ , tal que satisfaça uma certa equação diferencial

$$A(u) = \begin{Bmatrix} A_1(u) \\ A_2(u) \\ \vdots \\ A_n(u) \end{Bmatrix} = 0 \tag{2.31}$$

em um domínio  $\Omega$  (Figura 2.4 ), sujeita a certas condições de contorno

$$B(u) = \begin{Bmatrix} B_1(u) \\ B_2(u) \\ \vdots \\ B_n(u) \end{Bmatrix} = 0 \tag{2.32}$$

na fronteira  $\Gamma$  do domínio  $\Omega$  (Figura 2.4).



**Figura 2.4 - Problema de Domínio  $\Omega$  e Fronteira  $\Gamma$**

A função procurada pode ser um valor escalar ou pode representar um vetor de muitas variáveis. Similarmente, a equação diferencial pode ser única ou um sistema de equações diferenciais simultâneas.

O processo dos elementos finitos, sendo uma aproximação, procura uma solução da forma:

$$u \approx \hat{u} = \sum_i^r N_i a_i = \mathbf{N} \mathbf{a} \quad 2.33$$

onde  $N_i$  são as funções de forma escritas em termos de variáveis independentes. Todos ou alguns dos parâmetros  $a_i$  são desconhecidos. Temos que,

$$\int_{\Omega} G_j(\hat{u}) d\Omega + \int_{\Gamma} g_j(\hat{u}) d\Gamma = 0 \quad (j=1-n) \quad 2.34$$

onde  $G_j$  e  $g_j$  são funções ou operadores conhecidos.

Como as funções  $G_j$  e  $g_j$  são integráveis temos que:

$$\int_{\Omega} G_j d\Omega + \int_{\Gamma} g_j d\Gamma = \sum_{e=1}^m \left( \int_{\Omega^e} G_j d\Omega + \int_{\Gamma^e} g_j d\Gamma \right) \quad 2.35$$

onde  $\Omega^e$  é o domínio de cada elemento e  $\Gamma^e$  sua fronteira.

Se as equações diferenciais são lineares, isto é, se pudermos escrever 2.31 e 2.32 (pág. 32) como:

$$A(u) = Lu + p = 0 \quad \text{em } \Omega, \quad 2.36$$

$$B(u) = Mu + t = 0 \quad \text{em } \Gamma, \quad 2.37$$

então o sistema de aproximação da equação 2.32 (pág. 32) produzirá uma série de equações da forma:

$$K_a + f = 0 \quad 2.38$$

com

$$K_{ij} = \sum_{e=1}^m K_{ij}^e \quad 2.39$$

e

$$f_i = \sum_{e=1}^m f_i^e \quad 2.40$$

## 2.7.2 - FUNÇÕES DE FORMA OU DE INTERPOLAÇÃO

Um elemento triangular “e” é definido pelos nós i, j, k e pelas linhas de contorno. Sabe-se que:

- Os elementos são subdomínios caracterizados por um conjunto de nós ou pontos nodais;
- Os nós são caracterizados por suas coordenadas;
- As variáveis fundamentais são os deslocamentos dos pontos nodais;
- Os deslocamentos internos de um elemento qualquer são obtidos por interpolação de seus deslocamentos nodais. Essa interpolação é realizada pelas funções de forma ou de interpolação.

Os deslocamentos no subdomínio  $\Omega_e$  (Figura 2.5) são expressos em função dos deslocamentos nodais:

$$\{u\}_e = [N] \{\delta\}_e \quad 2.41$$

Onde as componentes de  $[N]$  são funções da posição  $(x,y)$  e  $\{\delta\}_e$  representa a série de deslocamentos nodais para um elemento em particular. No caso de tensões no plano, por exemplo

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u(x,y) \\ v(x,y) \end{Bmatrix} \tag{2.42}$$

representa os deslocamentos ortogonais de um ponto no elemento e

$$\{\delta_i\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} \tag{2.43}$$

representa os deslocamentos no nó  $i$ .

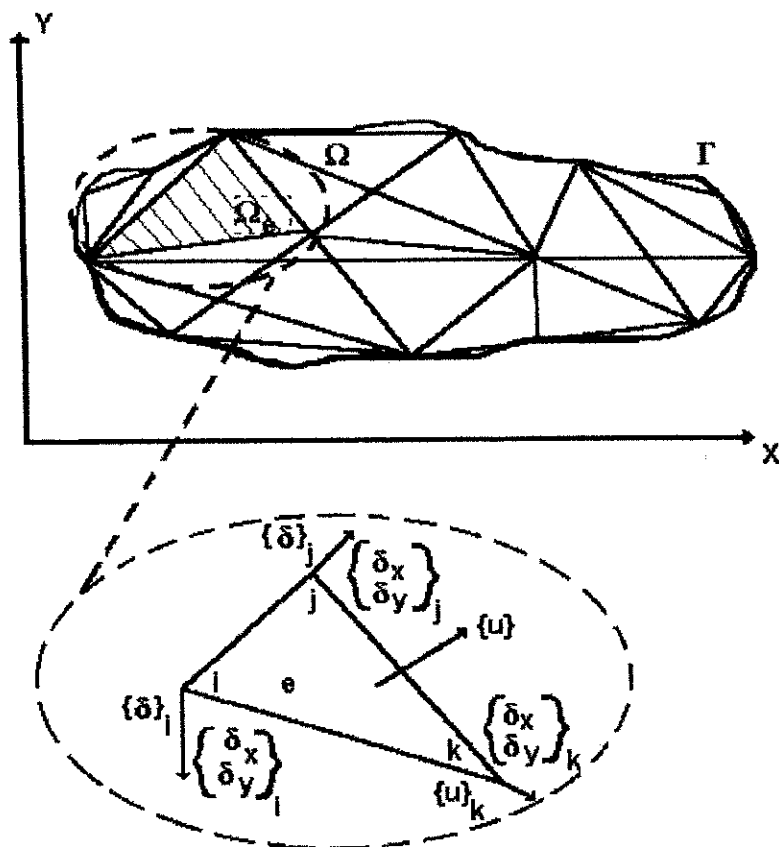


Figura 2.5 - Região do Plano de Tensões Dividido em Elementos Triangulares.

$$\begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix} = [N_1]\{\delta\}_1 + [N_2]\{\delta\}_2 + [N_3]\{\delta\}_3$$

Onde:

$$[N_1]\{\delta\}_1 = \begin{bmatrix} N_1(x,y) & 0 \\ 0 & N_1(x,y) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta x_1 \\ \delta y_1 \end{Bmatrix}$$

2.45

$$[N_2]\{\delta\}_2 = \begin{bmatrix} N_2(x,y) & 0 \\ 0 & N_2(x,y) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta x_2 \\ \delta y_2 \end{Bmatrix}$$

2.46

$$[N_3]\{\delta\}_3 = \begin{bmatrix} N_3(x,y) & 0 \\ 0 & N_3(x,y) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta x_3 \\ \delta y_3 \end{Bmatrix}$$

2.47

Temos que:

$$u_x = N_1\delta x_1 + N_2\delta x_2 + N_3\delta x_3$$

2.48

$$u_y = N_1\delta y_1 + N_2\delta y_2 + N_3\delta y_3$$

2.49

$$\Leftrightarrow \begin{Bmatrix} u(x,y) \\ v(x,y) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1\delta x_1 + N_2\delta x_2 + N_3\delta x_3 \\ N_1\delta y_1 + N_2\delta y_2 + N_3\delta y_3 \end{bmatrix}$$

2.50

Portanto,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1(x,y) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_1(x,y) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_2(x,y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_3(x,y) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta x_1 \\ \delta y_1 \\ \delta x_2 \\ \delta y_2 \end{Bmatrix}$$

2.51

$$N = [N_1 : N_2 : N_3]$$

2.52

$$[N_1] = \begin{bmatrix} 0 & N_1 \\ N_1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.53

$$[N_2] = \begin{bmatrix} 0 & N_2 \\ N_2 & 0 \end{bmatrix}$$

2.54

$$[N_3] = \begin{bmatrix} 0 & N_3 \\ N_3 & 0 \end{bmatrix}$$

2.55



Por fim,

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad 2.56$$

A função de forma goza das seguintes propriedades:

$$N_i(x_i, y_i, z_i) = 1 \quad 2.57$$

$$N_i(x_j, y_j, z_j) = 0, \text{ para } i \neq j \quad 2.58$$

Ou seja,

$$\text{no nó } i \Rightarrow N_i = 1, N_j = N_k = 0 \quad 2.59$$

$$\text{no nó } j \Rightarrow N_j = 1, N_i = N_k = 0 \quad 2.60$$

$$\text{no nó } k \Rightarrow N_k = 1, N_i = N_j = 0 \quad 2.61$$

As funções  $N_i$ ,  $N_j$  e  $N_k$  devem ser escolhidas para os deslocamentos nodais apropriados quando as coordenadas destes nós são inseridas na equação 2.41 (pág. 34).

### 2.7.3 - DEFORMAÇÕES

Com deslocamentos conhecidos em todos os pontos do elemento a deformação pode ser determinada para qualquer ponto. Estas serão sempre resultado de uma relação que pode ser escrita em notação matricial:

$$\varepsilon = Lu \quad 2.62$$

Onde  $L$  é um operador diferencial.

A equação 2.62 (pág. 37) pode ser aproximada como:

$$\hat{\varepsilon} = B\delta \tag{2.63}$$

com:

$$B = LN \tag{2.64}$$

Para o caso de tensões no plano as deformações de interesse são aquelas que ocorrem no plano e são definidas em termos de deslocamentos pela seguinte relação (Timoshenko, 1951), que define o operador L:

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [L]\{u\} \tag{2.65}$$

Onde  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  e  $\gamma_{xy}$  podem ser obtidos da equação 2.6 (pág. 19).

Da equação 2.41 (pág. 34), com as funções de forma  $N_i$ ,  $N_j$  e  $N_k$ , já determinadas, a matriz [B] é facilmente obtida:

$$\{\varepsilon\}_e = [L][N]\{\delta\}_e = [L] \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_k & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_k \end{bmatrix} \tag{2.66}$$

$$= [L][N] = [B] \tag{2.67}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial x} \end{bmatrix} = [B] \tag{2.68}$$

Assim,

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & \vdots & \frac{\partial N_j}{\partial x} & 0 & \vdots & \frac{\partial N_k}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & \vdots & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \vdots & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & \vdots & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \vdots & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{i,x} \\ \delta_{i,y} \\ \delta_{j,x} \\ \delta_{j,y} \\ \delta_{k,x} \\ \delta_{k,y} \end{Bmatrix} \quad 2.69$$

$$= \{\epsilon\} = [B]\{\delta\}_e \quad 2.70$$

Se a forma linear destas funções é adotada, então as deformações são constantes ao longo de todo o elemento.

#### 2.7.4 - MATRIZ DE RIGIDEZ

Seja a relação entre deslocamentos incrementais  $\{\delta\}$  e a deformação  $\{\epsilon\}$  definida pela equação 2.70, onde a matriz  $[B]$  é a matriz da função de forma diferenciada, como mostrado na equação 2.68 (pág. 38); seja, ainda, a relação entre a tensão incremental  $\{\sigma\}$  e a deformação incremental  $\{\epsilon\}$  definida pela equação 2.16 (pág. 21), onde  $[C]$  é a matriz do módulo da tangente tensão/deformação. Aplicando o deslocamento virtual  $\{\Delta u\}$ , ao elemento, o trabalho virtual produzido pelo incremento da força nodal  $\{f\}$  é:

$$\delta w = \{\delta u\}^T \{\Delta F\} \quad 2.71$$

O incremento virtual na energia interna  $\delta E$ , resultante do deslocamento virtual produzido pelo incremento da força nodal é:

$$\delta E = \int_V \{\delta \epsilon\}^T \{\Delta \sigma\} dv \quad 2.72$$

Onde  $\{\delta\epsilon\}$  é o vetor das componentes da deformação virtual compatível com os deslocamentos virtuais, e a integração é executada sobre o volume do elemento.

Usando as equações 2.70 (pág. 39) e 2.16 (pág. 21), a equação 2.72 (pág. 39) pode ser reescrita como:

$$\delta E = \int_v \{\delta u\}^T [B]^T [C] [B] \{\Delta u\} dv \quad 2.73$$

Removendo os vetores de deslocamento incremental e virtual e fazendo o trabalho virtual igual ao incremento virtual na energia interna, a equação do elemento é:

$$\{\Delta F\} = [K] \{\Delta u\} \quad 2.74$$

Onde a matriz de rigidez  $[K]$  é:

$$[K] = \int_v [B]^T [C] [B] dv \quad 2.75$$

## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA BMINES

#### 3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA BMINES

O BMINES é um programa de Elementos Finitos bi e tridimensional, não-linear, usado na análise de sistemas estruturais e geológicos, especificamente aplicado aos problemas na mineração envolvendo a simulação de escavações e construções.

As capacidades, bem como as limitações do programa, estão apresentadas na Tabela 3.1. Os tipos de elementos disponíveis no BMINES são apresentados na Tabela 3.2a e os tipos de modelos não-lineares que podem ser associados aos elementos são listados na Tabela 3.2b. Os elementos de viga e casca espessa são restritos a comportamento elástico; todos os outros elementos podem ter representação por modelos não-lineares.

Os elementos podem ser unidos e formar um único modelo, podendo, ainda, alguns deles, serem seletivamente desativados para simular uma seqüência de escavação e outros seletivamente ativados para simular uma seqüência de construção de um sistema de suporte.

O programa foi projetado para realizar análises práticas, e foi feito um grande esforço para minimizar as dificuldades durante sua utilização.

**TABELA 3.1**  
**Capacidades do Programa BMINES**

• Geometrias bi e tridimensionais
• Pequenas deformações
• Materiais com propriedades homogêneas e não homogêneas
• Materiais isotrópicos e anisotrópicos
• Viscoelasticidade e viscoplasticidade
• Autocarregamento devido à gravidade
• Simulação de uma seqüência de escavação e construção
• Estado inicial de tensões
• Carregamento estático ativo
• Geração de malha
• Plotagem de malha
• Impressão e plotagem de resultados

Fonte: Agbabian Associates, 1981.

**TABELA 3.2**  
**Características do Programa BMINES**

<b>a) Elementos Disponíveis</b>
• Viga tridimensional
• Tirante ou treliça
• Quadrilátero com simetria de revolução
• Quadrilátero plano
• Hexaedro
• Casca espessa tridimensional
• Plano de junta
• Junta com simetria de revolução
• Junta tridimensional
<b>b) Modelos de Materiais Não-Lineares Disponíveis</b>
• Módulo variável;
• Módulo elástico ou módulo variável com plasticidade ideal. Admite função, pode ser isotrópica ou anisotrópica;
• Módulo elástico não-linear com critério de fratura plástica ideal e tensão de capeamento com encruamento;
• Módulo de variável anisotrópica com critério de fratura anisotrópico;
• Módulo de Viscoelasticidade (sólidos com três parâmetros);
• Módulo de Viscoplasticidade;
• Modelo de concreto (reforçado e não-reforçado).

Fonte: Agbabian Associates, 1981.

Por exemplo, a preparação da entrada de dados, das condições de fronteira e dos dados dos elementos são extremamente entediantes, por envolverem uma grande quantidade de informações. Para reduzir este trabalho, foi incorporado ao programa um gerador de malha. O modelo de elementos finitos pode ser plotado para verificar a malha final

O programa BMINES usa o método da rigidez direta da análise estrutural. Graus de liberdade são definidos nos pontos nodais e as matrizes elementares de rigidez são reunidas para formar uma matriz de rigidez global simétrica. As forças nos pontos nodais, que incluem cargas externas e forças de resistência interna, são expressas em um vetor de carga global associado à matriz de rigidez global por uma técnica de solução da equação. O processo envolve a triangularização da matriz de rigidez global (é usada a forma de decomposição de Choleski), redução do vetor de carga com sua substituição na matriz de rigidez triangularizada. Uma parte das operações de redução é localmente executada usando variáveis de dupla precisão, para reduzir a propagação do erro. Estas operações são executadas na memória residente ou fora dela (memória estendida), dependendo do espaço de memória alocado disponível, eliminando, desse modo, quaisquer problemas de limitação de tamanho.

A saída de dados no BMINES inclui impressão e plotagem de soluções. Deslocamentos nos pontos nodais e de elementos de tensão e deformação podem ser impressos seletivamente, assim como todos os nós e elementos. Os invariantes das tensões também podem ser impressos na mesma base. A saída do *plotter* consiste da impressão de malhas deformadas, contornos de soluções calculadas e dados gerais (tensão versus nível de carregamento, etc.). Para estas plotagens o programa BMINES lança mão de um *plotter* de pena, que utiliza rotinas desatualizadas do programa CALCOMP 936, desenvolvido pela IBM em 1978.

O BMINES possui uma capacidade de reinicializar uma determinada fase do cálculo; desse modo, problemas muito grandes podem ser divididos durante suas execuções. Esta capacidade é útil no monitoramento do cálculo e na redução de falhas das máquinas durante a execução do programa.

Uma tentativa foi feita para aumentar a vida útil do programa, para tornar mais simples o acréscimo de novos elementos e para expandir a descrição do modelo do material.

### 3.2 - BIBLIOTECA DE ELEMENTOS

A biblioteca de elementos do programa BMINES é formada por seis diferentes tipos de elementos:

- 1 - Elemento de Treliça;
- 2 - Elemento de Viga tridimensional;
- 3 - Elemento de Tensão no Plano Bidimensional, Deformação Plana e Elemento com Simetria Axial ou de Revolução;
- 4 - Elemento sólido Tridimensional;
- 5 - Elemento de Casca Espessa Tridimensional;
- 6 - Elemento de Fratura ou Junta Bi e Tridimensional.

Todos os elementos são isoparamétricos com exceção do elemento de viga. As propriedades de rigidez do elemento de viga derivam diretamente das equações diferenciais para o deslocamento da teoria da vigas usada na engenharia. As propriedades de rigidez do elemento de treliça derivam de uma maneira similar àquelas dos elementos de viga., tendo como diferença a exclusão da curvatura na formulação da rigidez para o elemento de treliça. Os elementos bidimensionais, os elementos sólidos tridimensionais e os elementos de casca espessa, foram inicialmente desenvolvidos por



Wilson et alii (1974). Observa-se que os elementos de viga e casca espessa podem ter apenas propriedades isotrópicas lineares elásticas. Todos os outros elementos são capazes de ter propriedades do material não-linear. Os tipos de elementos de treliça e de viga incorporados no programa BMINES são mostrados nas Figuras 3.1 e 3.2, seguidos de uma rápida descrição.

### 3.2.1 - ELEMENTO DE TRELIÇA TRIDIMENSIONAL

O elemento de treliça tridimensional, também chamado de elemento de barra é elastoplástico e isoparamétrico (ver Apêndice E, pág. 396), capaz de transmitir somente uma componente da tensão, chamada de tensão axial (Figura 3.1). É considerado como um elemento tridimensional de treliça tendo em vista seu comportamento mecânico ser formulado em termos de três graus de liberdade em cada extremidade, tornando-o desse modo, adequado para o uso em modelos de elementos finitos tridimensionais. O modelo padrão de operação para este elemento é como em um "plano de tensão", elemento de treliça, significando que apenas a tensão axial é transmitida. Um elemento de treliça no plano de tensão também está disponível. Este elemento é mais corretamente descrito como um elemento de membrana o qual transmite tensão ou compressão na direção para fora do plano.

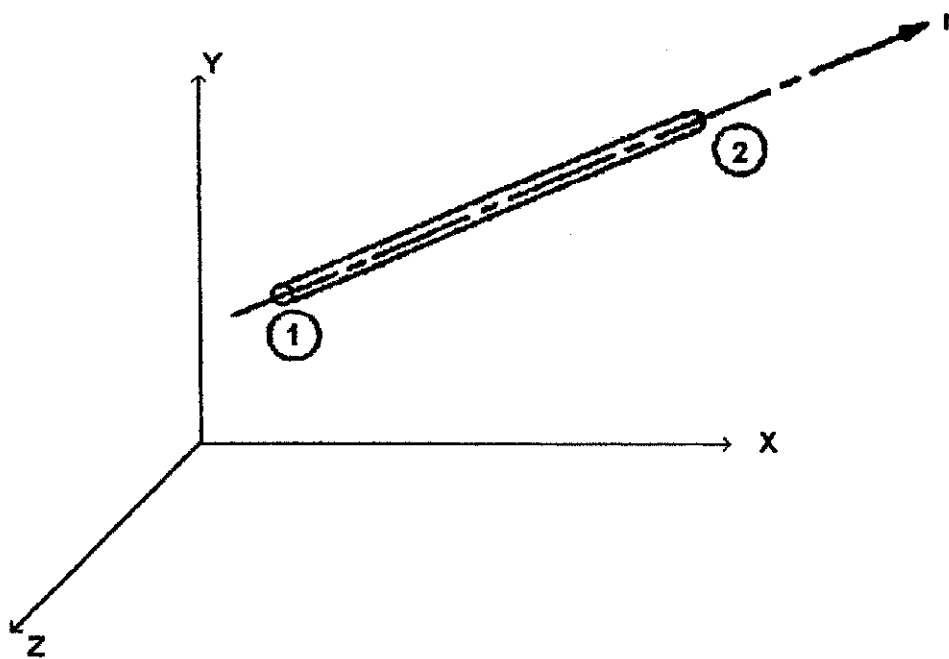


Figura 3.1 - Elemento de Treliça Tridimensional

### 3.2.2 - ELEMENTO DE VIGA TRIDIMENSIONAL

O elemento de viga disponível no programa BMINES é elástico, não-isoparamétrico, prismático, reto e tridimensional, submetido a três translações e três rotações em cada extremidade.

As propriedades do elemento de viga nos eixos locais  $r$ ,  $s$ ,  $t$  estão diretamente contidas no programa e assim sendo, as vigas com as propriedades de uma seção arbitrária podem ser modeladas. A Figura 3.2 ilustra este caso. As propriedades das seções estão especificadas por um eixo de simetria axial, duas áreas de cisalhamento e por três momentos principais de inércia, dois associados com a curvatura e um com a torção. O módulo de massa e o módulo de cisalhamento são necessários para definir as propriedades do material do elemento de viga.

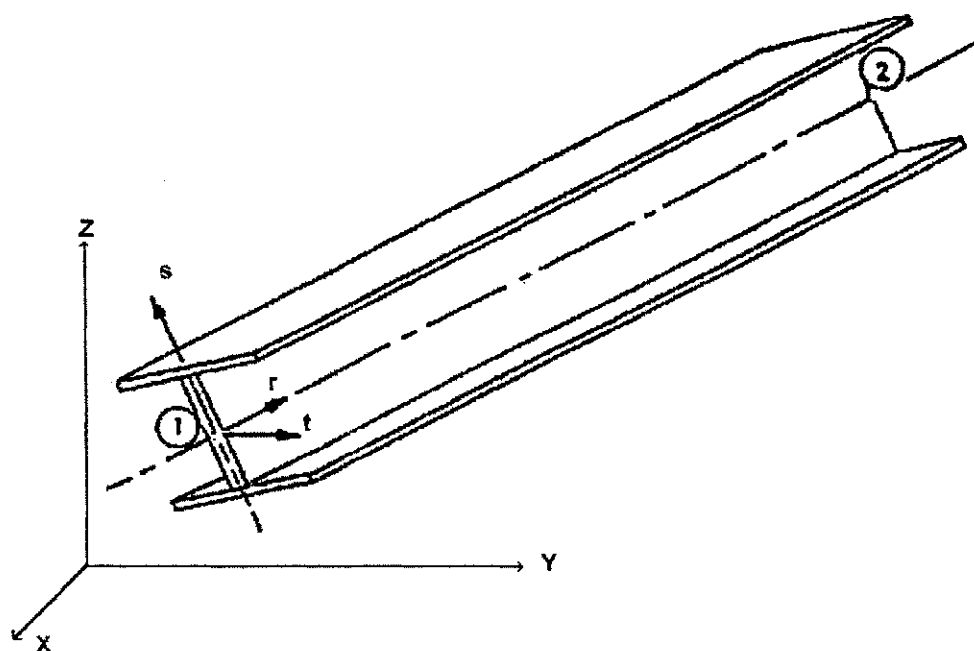


Figura 3.2 - Elemento de Viga Tridimensional

### 3.2.3 - ELEMENTO DE TENSÃO NO PLANO BIDIMENSIONAL, DEFORMAÇÃO PLANA E ELEMENTO COM EIXO DE SIMETRIA

Um elemento finito isoparamétrico de nó variável está disponível para o plano bidimensional de tensão, deformação plana e análises de simetria. Os elementos podem ter de 4 a 8 nós onde qualquer combinação dos nós de 5 a 8 pode ser omitida. A Figura 3.3 ilustra este caso. Algumas das configurações de pontos nodais mais usadas são mostradas na Figura 3.4. A opção do nó variável segue o modelamento efetivo de malhas grosseiras para malhas refinadas de elementos finitos. As tensões são calculadas no centro dos elementos.

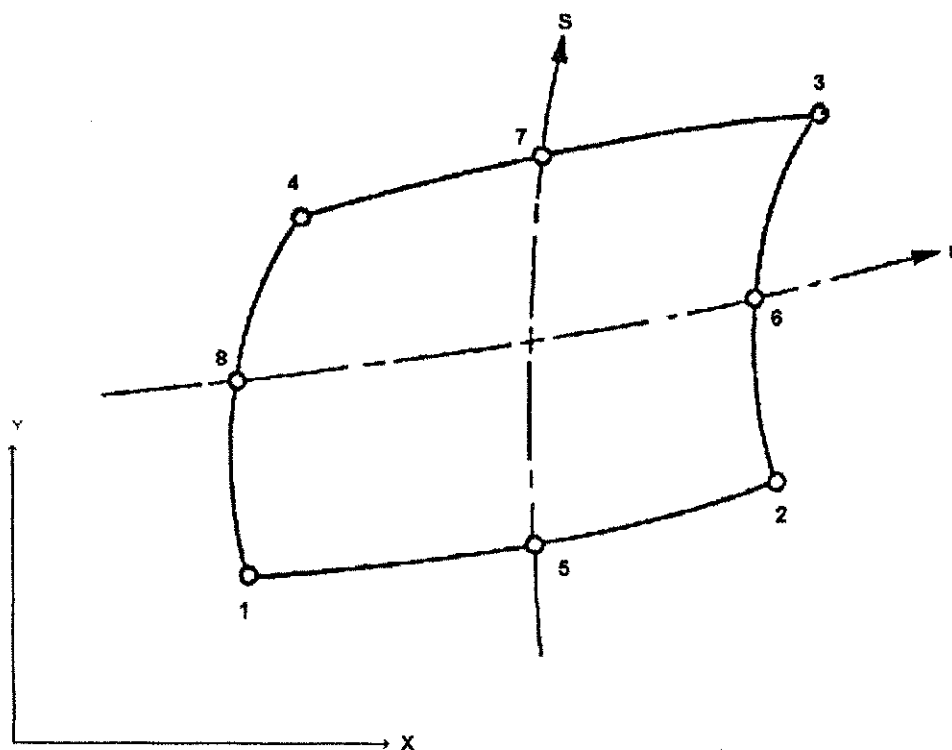


Figura 3.3 - Elemento Nodal Variável Bidimensional

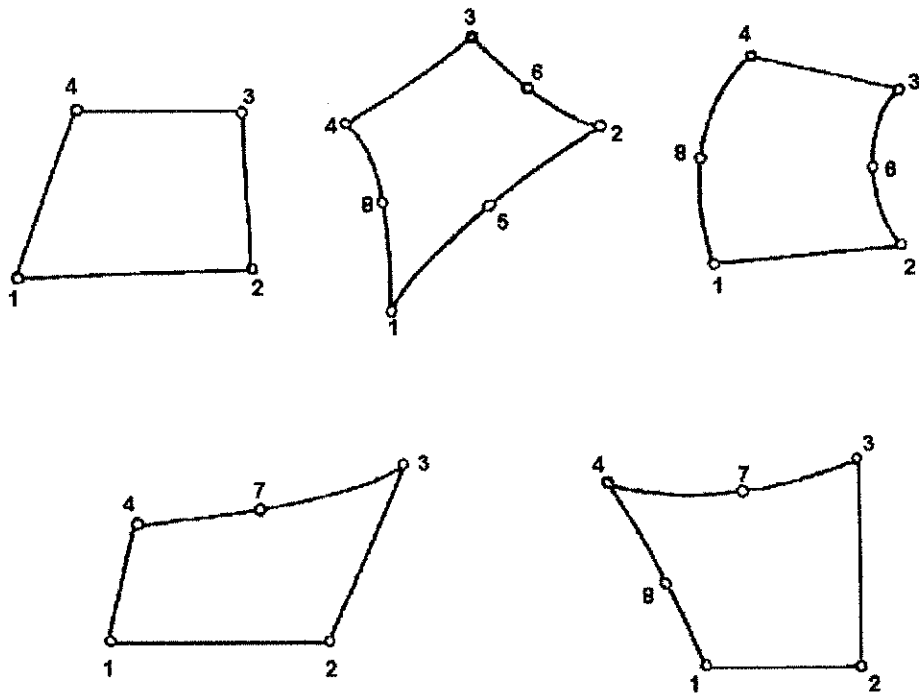


Figura 3.4 - Configurações de Pontos Nodais para Elementos Bidimensionais

### 3.2.4 - ELEMENTO SÓLIDO TRIDIMENSIONAL

Pode ser usado um elemento nodal tridimensional, isoparamétrico contendo de 8 a 20 nós, com três graus de liberdade translacional por ponto nodal. Os primeiros 8 nós estão situados nos cantos do elemento e os nós de 9 a 20 correspondem aos meios dos lados. A Figura 3.5 ilustra este caso. Algumas das configurações dos pontos nodais mais usadas são mostradas na Figura 3.6. As tensões são calculadas no centro do elemento.

No caso de elemento bidimensional, a opção da escolha de diferentes combinações dos nós segue efetivamente o modelamento do elemento finito.

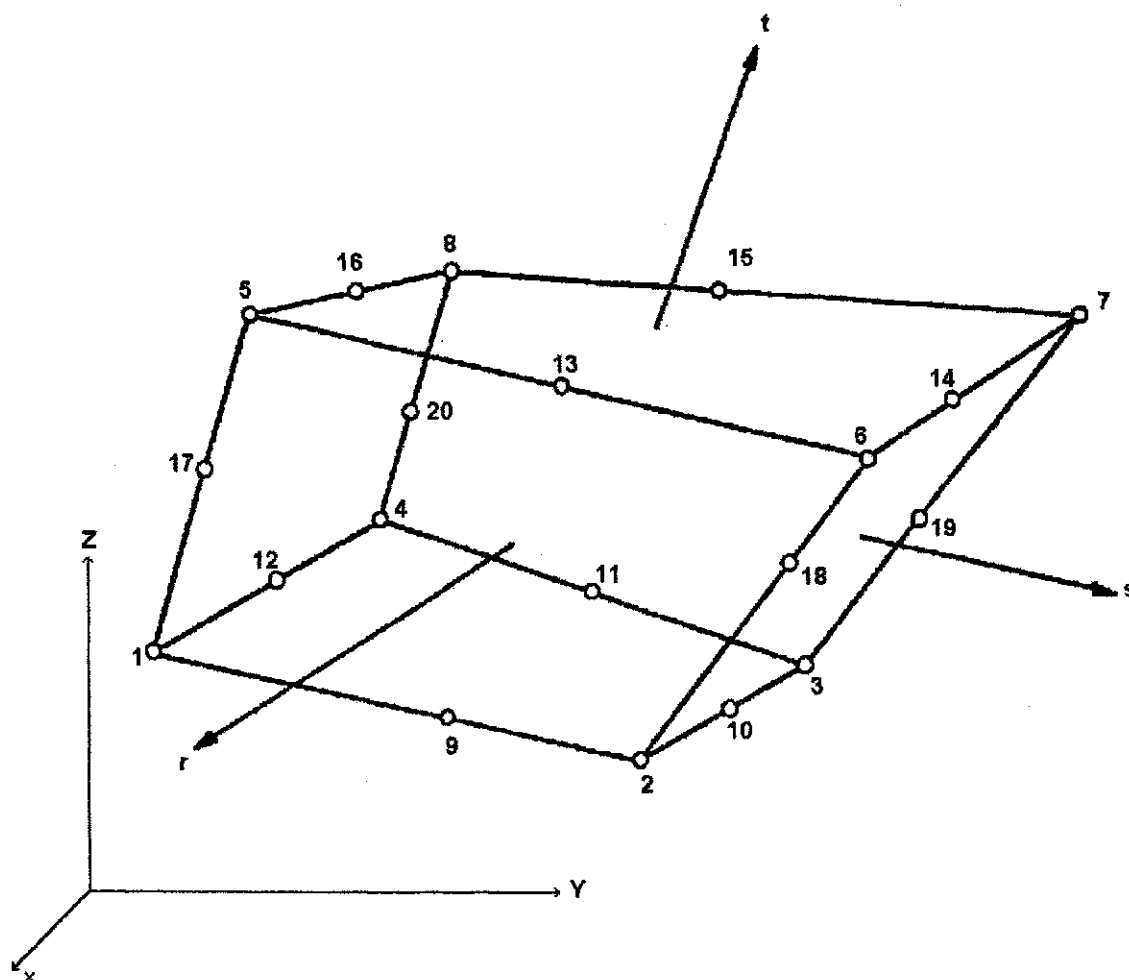


Figura 3.5 - Elemento Nodal Variável Tridimensional

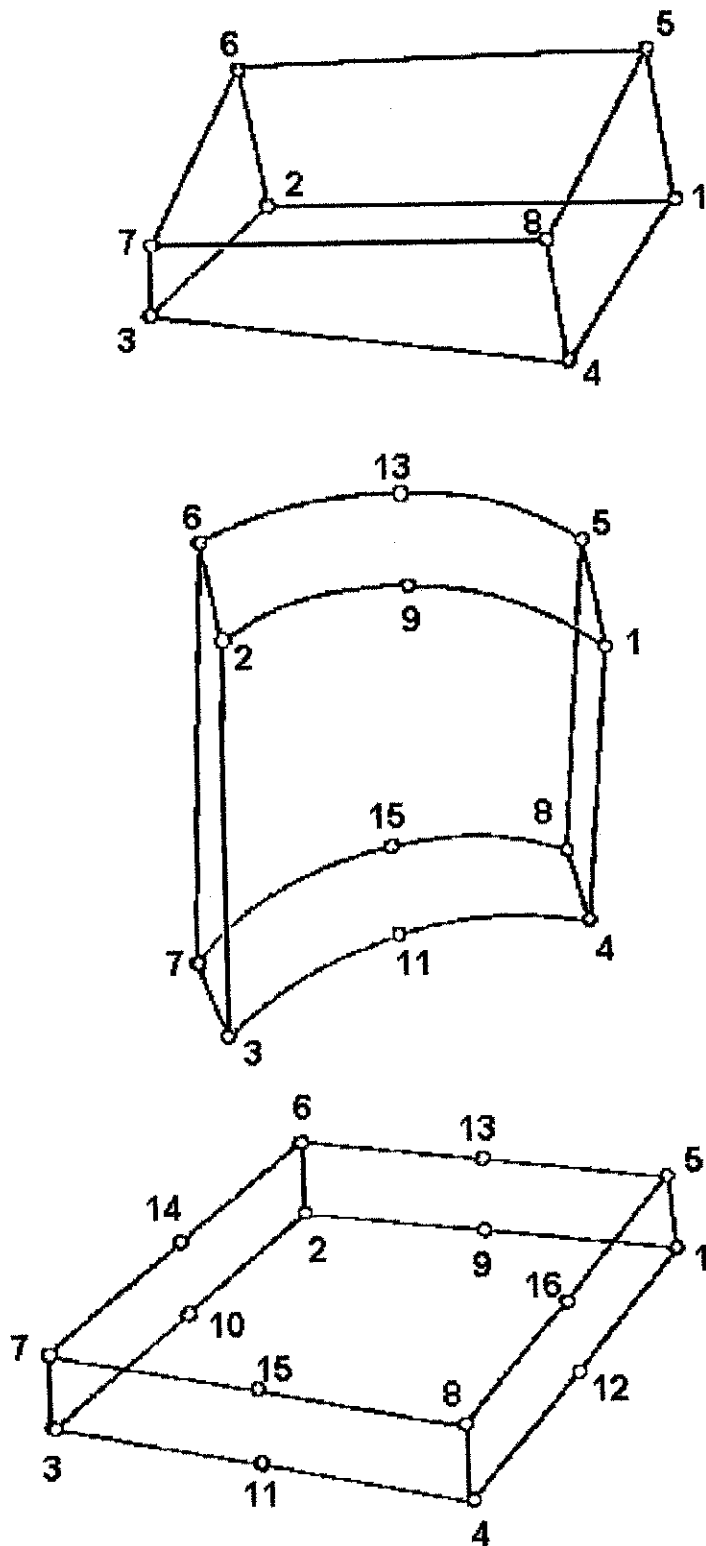
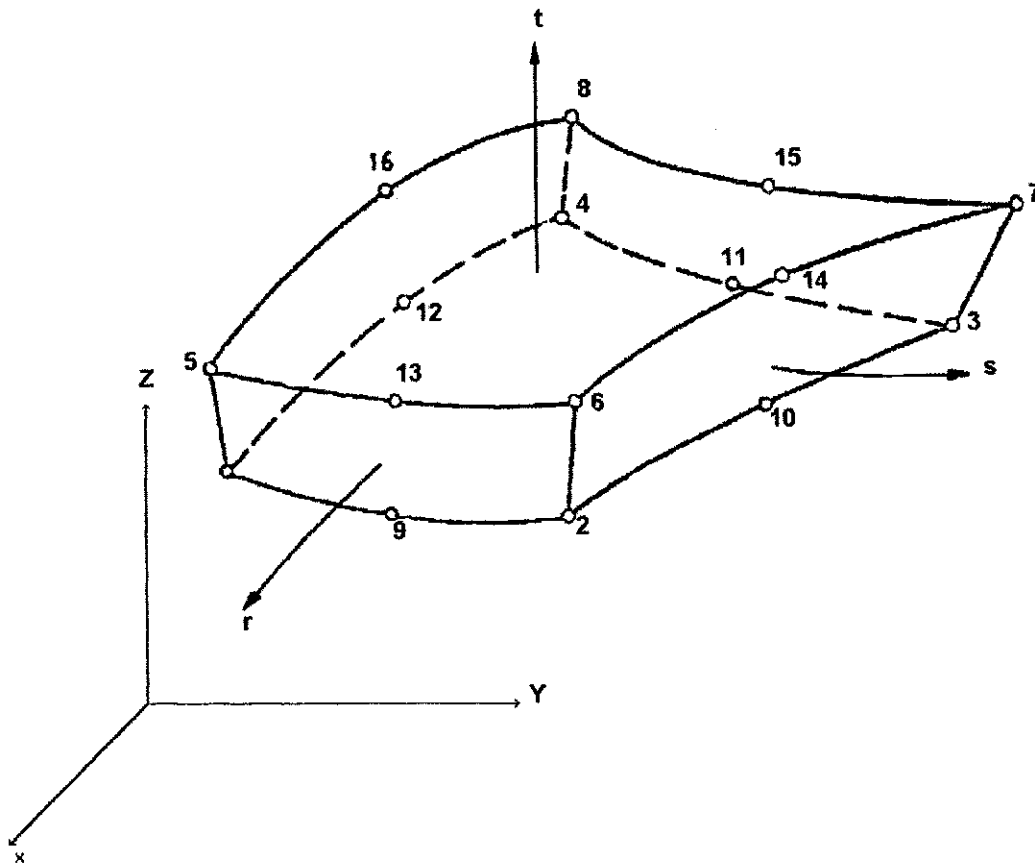


Figura 3.6 - Configurações de Pontos Nodais para Elementos Tridimensionais

**3.2.5 - ELEMENTO DE CASCA ESPESSA TRIDIMENSIONAL**

O elemento de casca espessa é um elemento sólido encurvado, tridimensional e isoparamétrico, com 16 nós, onde cada nó tem três deslocamentos desconhecidos e é mostrado na Figura 3.7. O elemento de casca é uma extensão do elemento sólido tridimensional de 8 nós descrito na seção anterior. A adição dos nós de 9 a 16 e a introdução das funções de forma que são associadas com os momentos de variação da linearidade, permite que o elemento de casca espessa seja capaz de melhor representar os momentos de curvatura..



**Figura 3.7 - Elemento de Casca Espessa Tridimensional**

### 3.2.6 - ELEMENTO DE JUNTA BI E TRIDIMENSIONAL

Este tipo de elemento representa juntas nas rochas, falhas, interfaces e descontinuidades similares em sistemas contínuos. O elemento de fratura tem a capacidade de representar as principais características do comportamento da deformação das fraturas rochosas tais como deslocamento e deslizamento. O termo deslocamento significa a facilidade de ocorrer a separação entre dois blocos contíguos entre si que estiveram inicialmente em contato. O contato subsequente pode também se desenvolver pelo movimento de dois blocos em direção um do outro. O termo deslizamento significa o movimento relativo ao longo da superfície da fratura ou falha quando a força de cisalhamento excede a resistência ao cisalhamento da junta.

Vários estudos foram realizados para desenvolver um modelo discreto de elementos que representasse o comportamento das juntas. Godmam, Taylor e Brekke (1968) desenvolveram um elemento bidimensional simples e retangular com 8 graus de liberdade. Este elemento não tem espessura e, portanto, os blocos adjacentes do elemento contínuo podem penetrar um no do outro. Zienkiewicz et alii (1970) defendem o uso do elemento isoparamétrico contínuo com propriedade do material não-linear para o cisalhamento e tensões normais, assumindo deformação uniforme na direção da espessura. Dificuldades numéricas podem advir do mau condicionamento da matriz de rigidez devido a termos muito grandes fora da diagonal ou muito pequenos na diagonal que são gerados, em certos casos, por estes elementos.

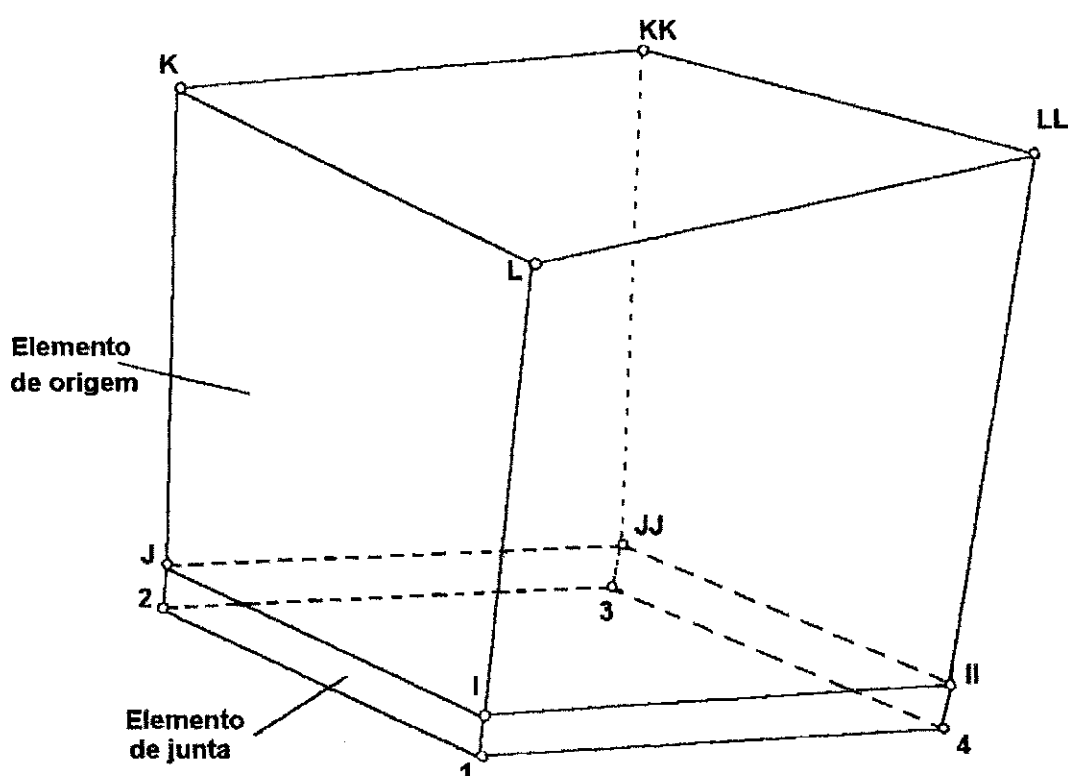
Para evitar tais dificuldades numéricas, o programa BMINES tem incluído um elemento de fratura bidimensional que faz uso dos deslocamentos relativos como graus de liberdade independentes, Agbabian Association (1976a). A mudança dos graus de liberdade de um lado da superfície de deslizamento é transformada no deslocamento



relativo entre os dois lados da superfície de deslizamento. Conseqüentemente, os termos rigidez e força são modificados e a solução da equação determina estes deslocamentos diretamente. O deslocamento absoluto pode ser prontamente determinado pelo acréscimo do deslocamento relativo de um dado nó ao deslocamento do nó referenciado.

Uma vez que os deslocamentos relativos são, freqüentemente, muito pequenos, se comparados aos deslocamentos absolutos, a operação inversa de tentar determinar os deslocamentos relativos a partir dos deslocamentos absolutos seria de precisão questionável, uma vez que os deslocamentos absolutos estariam fora da solução da equação. O uso dos graus de liberdade relativos causa alguns inconvenientes significativos na construção da malha o que será discutido a seguir.

A Figura 3.8 mostra um elemento de fratura tridimensional junto com seu elemento de origem contínuo. Os nós que são desconhecidos são posicionados em termos dos deslocamentos relativos e são numerados I, J, JJ e II e seus correpondentes são 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Uma configuração típica bidimensional pode ser observada ainda na Figura 3.8, pelo fato do elemento de origem ser representado apenas pela face IJKL e o elemento de fratura pela face 12JI. A necessidade de ter um elemento de fratura e um elemento par contínuo em uma combinação unificada é conseqüência direta do uso dos deslocamentos relativos. As deformações em um elemento contínuo devem ser determinadas dos deslocamentos absolutos dos seus pontos nodais. Contudo, se este elemento está adjacente ao elemento de fratura, no mesmo lado com seu nó relativo, os deslocamentos absolutos podem ser determinados somente se os deslocamentos dos nós de referência no outro lado da interface são conhecidos.



**Figura 3.8 - Combinação Tridimensional de Elementos de Fratura/Elemento de Origem**

Qualquer elemento quadrilátero com 4 nós, elemento com eixo de simetria com 4 nós ou elemento quadrangular de 8 nós, sem forma não-compatível, pode servir como elemento de fratura de origem. Feito isso, alguns dos nós se tornam nós relativos. É essencial que se saiba durante os cálculos quais nós são relativos a quais nós. Esta informação depende da face do elemento de origem à qual o elemento de fratura está conectado. Os nós do elemento de origem são arranjados pelo usuário ou pelo gerador de malha dentro do módulo designado pelas letras I, J, K, L, II, JJ, KK, LL, como mostrado na Figura 3.9. Existe apenas um arranjo ou designações de letras para os nós do elemento de origem. Conhecidos os valores dos nós para um elemento bidimensional e, conhecidos os nós aos quais o elemento de fratura está conectado, pode-se determinar o código da face correspondente, Figura 3.9. É possível, então, determinar a ordem na qual as referências dos nós (nomeados ① e ②) possam ser listados. Similarmente, a Figura 3.10 mostra apenas um modelo de numeração de nós de um elemento de origem tridimensional. Seis

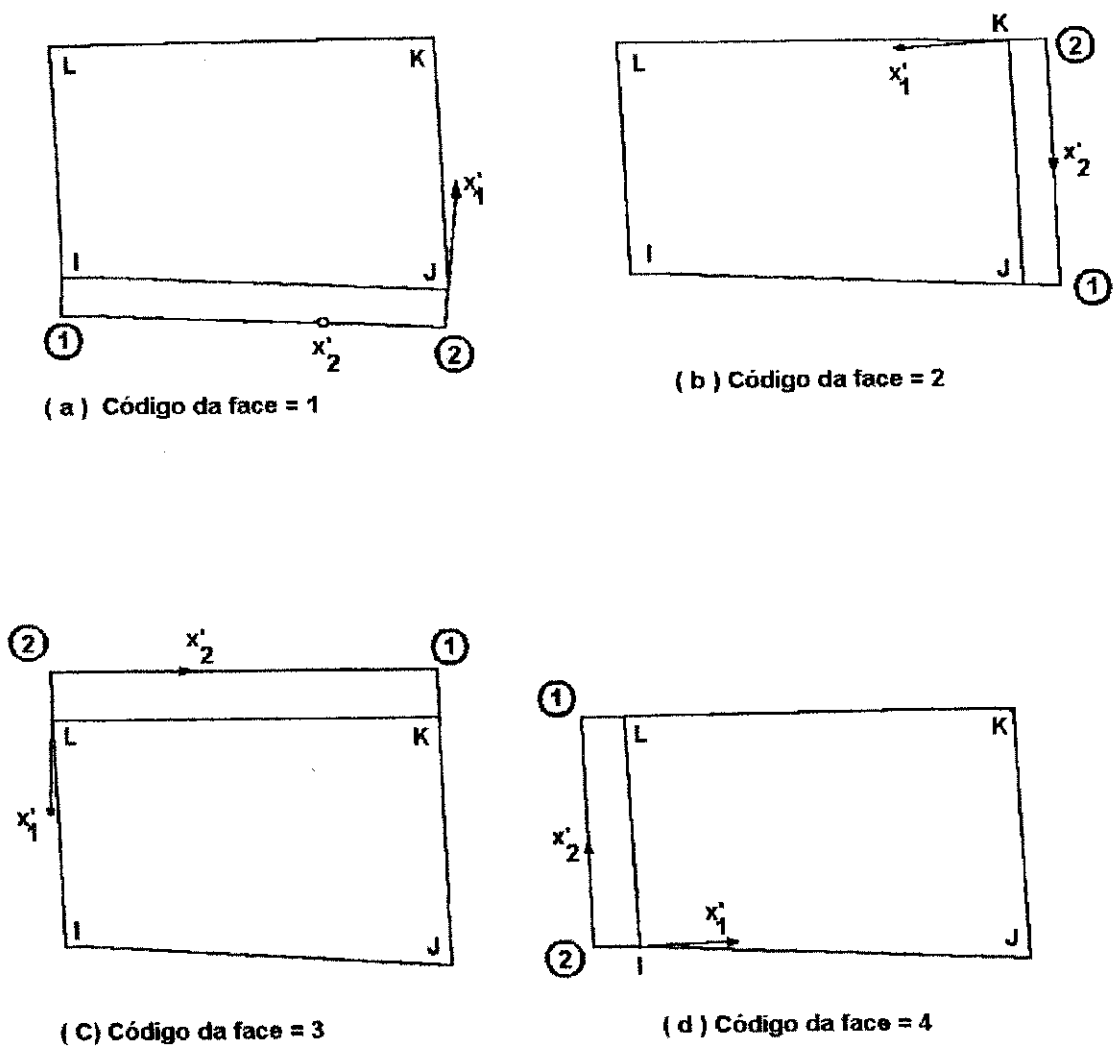
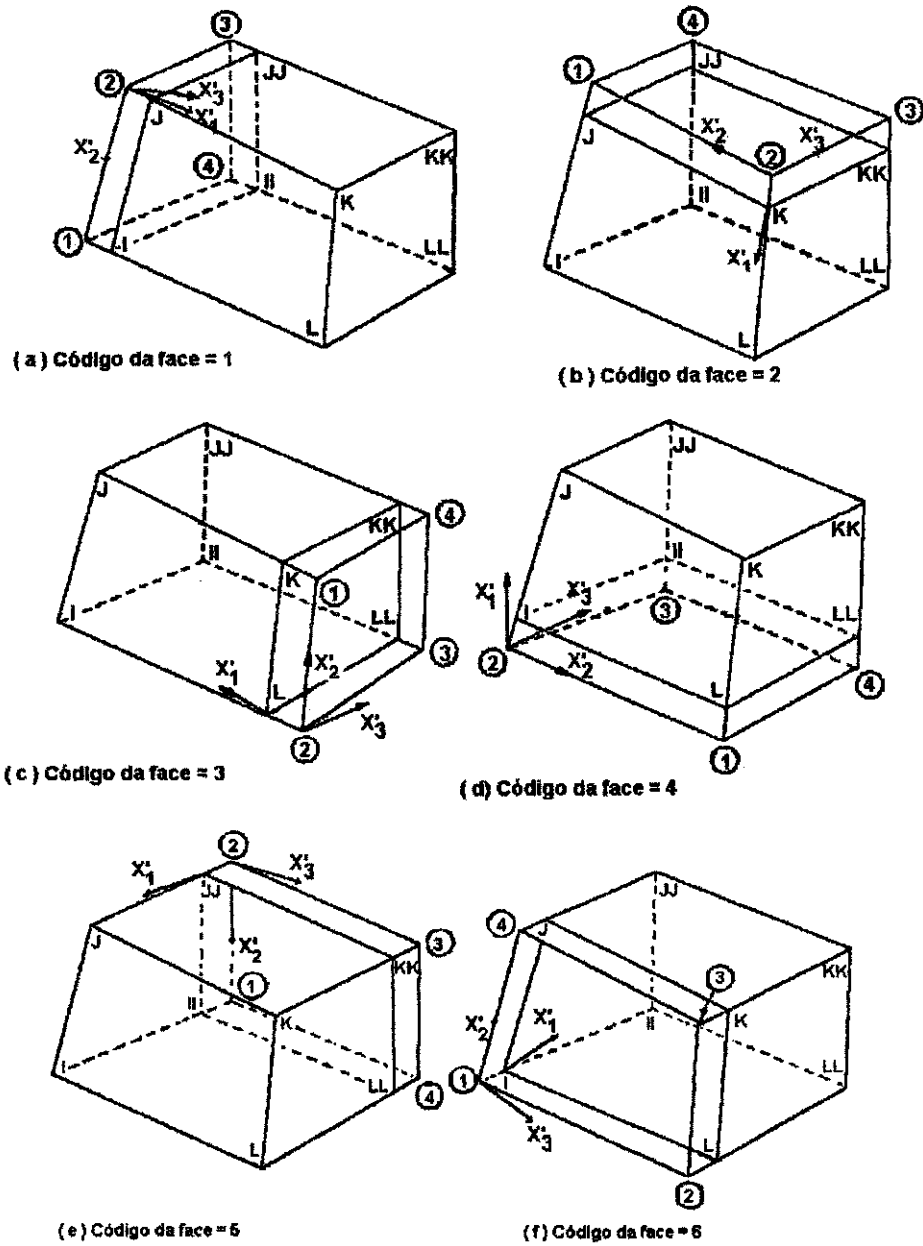


Figura 3.9 - Orientações dos Eixos das Coordenadas Locais Para Diversas Combinações de Conectividade entre Elementos Bidimensionais de Fraturas/Elementos de Origem



**Figura 3.10 - Orientações dos Eixos das Coordenadas Locais para Diversas Combinações de Conectividade entre Elementos Tridimensionais de Fraturas/Elementos de Origem**

Seis diferentes diagramas são necessários para mostrar as seis diferentes faces às quais o elemento de fratura pode ser conectado.

As Figuras 3.9 (pág. 55) e 3.10 (pág. 56) também mostram o sistema de coordenadas locais para o elemento de fratura. Em ambos os casos, bi e tridimensional, os eixos  $x_1'$  é normal ao plano de fratura e direcionado para dentro do elemento de origem, enquanto o eixo  $x_2'$  indica a direção do nó ② ao nó ①. No caso de elemento de fratura tridimensional, o eixo  $x_3'$  é determinado como o terceiro membro de um termo usando a regra da mão direita.

Foi tratado anteriormente que a geração da malha apresenta problemas pela presença de nós relativos. As equações que governam os deslocamentos destes nós são formuladas em termos das diferenças dos deslocamentos entre estes nós relativos e seus respectivos referenciados. Se outros elementos forem conectados a um nó relativo em particular, de forma que destes outros elementos tomados os deslocamentos daquele nó, seja absoluto ou relativo, para algum outro nó de referência, haveria inconsistência quando as equações de todos os elementos fossem conectadas em um sistema global.

Assim, é necessário que se um nó é considerado relativo a um dos elementos a ele conectado, todos os elementos conectados a ele devem ser considerados como nós relativos, e todos devem considerá-lo relativo ao nó de referência.

A consequência desta limitação é que apenas a combinação do elemento que é legalmente nomeado para unir com uma combinação de elemento de fratura/origem, é outra combinação de elemento fratura/origem. Como resultado, as interfaces das fraturas são mais eficientemente modeladas como superfícies planas estendendo-se por todo o modelo de elementos finitos.

Outras limitações também se aplicam à combinação do elemento de origem/fratura:

1 - Apenas elementos quadriláteros de 4 nós, elementos com eixo de simetria de 4 nós ou elemento quadrangular de 8 nós são permitidos como elementos de origem;

2 - O elemento de origem pode não ter modelo incompatível;

3 - Apenas uma face do elemento de origem pode ser interface da fratura.

### **3.3 - MODELOS DE MATERIAIS**

As pesquisas para o modelamento do comportamento da tensão/deformação de estruturas, solos e materiais rochosos que estão disponíveis no programa BMINES são especificamente discutidas nesta seção. Os modelos disponíveis são: linear, bilinear e não-linear elástico, elastoplástico e modelos viscoplásticos. Os tipos de modelos disponíveis na biblioteca de materiais são apresentados no Apêndice D (pág. 310). A Figura 3.11 (pág. 60) ilustra os modelos disponíveis.

A Tabela 3.3 mostra quais os modelos de materiais ilustrados na Figura 3.11 (pág. 60) podem ser usados com os elementos disponíveis na biblioteca de elementos finitos.

Tabela 3.3

## Modelos Materiais de Elementos Disponíveis no Programa BMINES

Modelo Material	Elemento					
	I	II	III	IV	V	VI
Elástico, isotrópico, módulo constante	x	x	x	x	x	
Elástico, anisotrópico, módulo constante			x	x		
Elástico, isotrópico, esponencial na deformação, módulo constante			x	x		
Elástico, isotrópico, módulo polinomial variável			x	x		
Elástico, isotrópico, esponencial na pressão, módulo variável			x	x		
Elástico, isotrópico, linear por subintervalos, módulo variável			x	x		
Perfeitamente plástico, superfície de escoamento polinomial constante ou módulo variável	x		x	x		
Perfeitamente plástico, superfície de escoamento parabólica constante ou módulo variável	x		x	x		
Modelo "cap model" para rochas, modulo constante ou variável			x	x		
Modelo "cap model" para solos, módulo constante ou variável			x	x		
Modelo de escoamento anisotrópico			x	x		
Modelo de esforço coesivo variável, módulo variável			x			
Sólido tridimensional viscoelástico			x	x		
Modelo viscoelástico de Maxwell			x	x		
Modelo viscoplástico			x	x		
Concreto simples, módulo variável			x	x		
Concreto reforçado, módulo variável			x	x		
Concreto simples, "cap model" plástico, módulo constante			x	x		
Modelo para juntas						x
OBS: Elemento I → Treliça tridimensional Elemento II → Viga tridimensional Elemento III → Nó bidimensional padrão ou variável, quadrilateral com eixo de simetria Elemento IV → Nó sólido tridimensional padrão e variável Elemento V → Casca tridimensional Elemento VI → Fraturas bi e tridimensionais						

Fonte: Agbabian Associates, 1981.

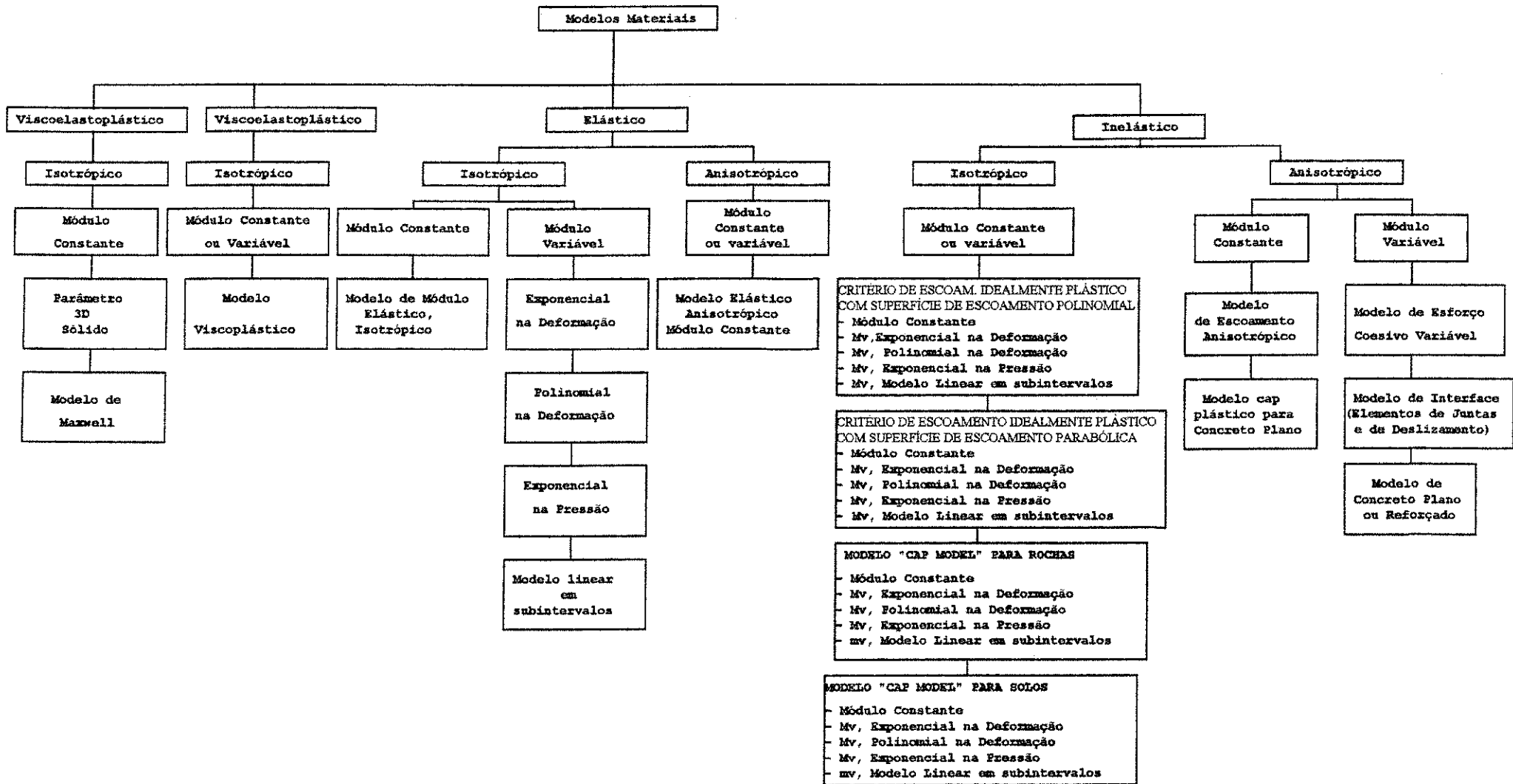


Figura 3.11 - Modelos Materiais Disponíveis no Programa BMINES



### **3.4 - FORMULAÇÃO DAS EQUAÇÕES DOS ELEMENTOS FINITOS**

A maior operação computacional executada pelo programa BMINES é a determinação do deslocamento nodal incremental para um dado nível de carregamento. Esta seção discute a formulação e a solução das equações envolvidas nesta operação. A formulação das equações é efetivada no nível do elemento. Ela envolve a computação da matriz de rigidez do elemento e a computação do vetor de forças internas, que será discutido na seção 3.4.2 (pág. 63). A solução das equações é executada no nível global e será discutida na seção 3.4.3 (pág. 68).

#### **3.4.1 - FORMULAÇÃO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS**

A computação da matriz de rigidez dos elementos consome grande quantidade de tempo de processamento, devido às manipulações numéricas na construção, na multiplicação e na integração de matrizes pelo método de Gauss (quadratura de Gauss). Muitos destes processos computacionais podem ser executados no início do cálculo e armazenados a cada novo carregamento, passo a passo, reduzindo, desse modo, o esforço computacional despendido toda vez que a matriz de rigidez é reformulada. A aceitação de certas limitações no módulo do elemento tensão/deformação permite que grandes proporções de cálculos sejam executadas progressivamente eliminando, desse modo, as repetições adicionais. Três diferentes opções estão disponíveis para a computação do elemento de rigidez, cada uma envolvendo um número diferente de limitações. Para elementos que satisfaçam as limitações, cada método produz o mesmo resultado apresentando, contudo, variações na quantidade de tempo consumido.

A primeira opção do elemento de rigidez se refere à computação da matriz de rigidez elementar. Em uma dada fase do carregamento, é finalizada pela validação da equação 2.75 (pág. 40) usando o método de Gauss (quadratura de Gauss). Este é um procedimento de integração numérica onde o integrando é validado em vários pontos específicos da integração dentro do elemento, multiplicado por um fator de peso e posteriormente acumulado. Uma economia significativa no espaço computacional pode ser realizada pelo fato de que a matriz **B** não muda a cada passo do cálculo, ainda que a matriz **C** certamente possa fazê-lo. A primeira opção computacional para a matriz de rigidez elementar, é o cálculo preliminar e o armazenamento da matriz **B**, validada em cada ponto da integração dentro do elemento. Usando esta opção, a computação do elemento da matriz de rigidez é um problema de validação da matriz **C** em cada um dos pontos de integração, fracionando as matrizes **B** para todos os pontos de integração fora da região de armazenamento, efetuando multiplicações e adicionando os resultados.

A segunda opção consiste na redução do esforço computacional, que pode ser realizada para o caso especial de um elemento, para o qual a matriz **C** não varia ponto a ponto dentro do elemento. É possível, ainda, para a matriz **C**, variar de um passo a outro. Os termos da matriz **C** não necessitam permanecer dentro do integrando da equação 2.75 (pág. 40). Realizando-se a multiplicação da matriz e organizando-se todos os termos da matriz dos coeficientes **C**, o resultado é uma nova matriz na qual cada termo contém vários coeficientes da matriz **C**, cada um multiplicado por uma integral envolvendo apenas as funções de forma diferenciadas. Desse modo, as funções de forma não variam passo a passo e as integrações são possíveis de serem realizadas no início. Esta opção é referenciada como uma função de forma pré-integrada. Sobre ela a computação do elemento de rigidez acrescenta a multiplicação dos termos da matriz **C**, para um dado

nível de funções de forma pré-integradas e, acrescentados os resultados nas localizações apropriadas ao elemento da matriz de rigidez.

A terceira opção para a manipulação da matriz de rigidez é dita como opção de rigidez. Esta opção impõe a limitação adicional que, além da não variação ponto a ponto dentro do elemento, a matriz **C** não varia a cada nível de carregamento. Neste caso, todos os termos da equação 2.75 (pág. 40) permanecem constantes durante o cálculo. Assim sendo, a integração total é realizada no início do cálculo e o elemento da matriz de rigidez é auto armazenado. Esta opção é particularmente ideal para elementos elásticos mas também pode ser usada para elementos não-lineares nos casos onde ele é preferido para explicar somente a não-linearidade através do vetor de correção de carga.

### 3.4.2 - FORÇAS INTERNAS

Considerando que um modelo de elementos finitos esteja em equilíbrio perfeito, o incremento do vetor força consiste meramente dos incrementos na extremidade da carga aplicada. Contudo, para a análise não-linear dos modelos de elementos finitos não é real assumir que existe equilíbrio em qualquer tempo considerado. É desejável, por isso, incluir o erro no equilíbrio nodal com os incrementos em cargas externamente aplicadas no incremento do vetor de carga. Uma vez que as reações nodais internas estão em equilíbrio com cargas externas sendo aplicadas é possível computar a soma do incremento na carga externa e o erro no equilíbrio como:

$$\Delta F_n = \{F_{n+1}\} + \{F_g\} - \Sigma\{F_{ne}\} \quad 3.1$$

onde  $\{F_{n+1}\}$  é o vetor total das cargas externas para o nível (n+1),  $\{F_g\}$  é o vetor das forças gravitacionais (independente do nível de carga),  $\Sigma\{F_{ne}\}$  é o somatório das forças

nodais internas para todos os elementos e  $\Delta \mathbf{F}_n$  é o incremento do vetor de carga, contendo o erro no equilíbrio expresso em termos das componentes da força nodal.

O trabalho externo realizado pelo vetor força interna devido aos deslocamentos virtuais  $\{\delta u\}$  é:

$$\delta w = \{\delta u\}^T \{F\} \quad 3.2$$

enquanto o incremento na energia interna é:

$$\delta E = \int_V \{\delta \epsilon\}^T \{\sigma\} dv \quad 3.3$$

Equacionando estes dois parâmetros e observando a equação 2.73 (pág. 40), o vetor força interna é expresso por:

$$\mathbf{f} = \int_V [\mathbf{B}]^T \{\sigma\} dv \quad 3.4$$

Como no caso do elemento matriz de rigidez, o vetor força interna é computado pela aplicação do método de Gauss à equação 3.4.

Seja a distribuição linear de tensões através do elemento, expressa pela fórmula:

$$\sigma = \mathbf{S} \mathbf{X} \quad 3.5$$

onde  $\mathbf{S}$  é uma matriz (6 x 4) dos coeficientes da tensão e  $\mathbf{X}$  é definida como:

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} 1 \\ x' \\ y' \\ z' \end{Bmatrix} \quad 3.6$$

onde  $(x', y', z')$  é um sistema de coordenadas locais passando através do centróide do elemento e sendo alinhados paralelamente ao sistema de eixos  $x, y, z$ . Da equação 3.5 e 3.6 (pág. 64) é óbvio que  $\mathbf{S}$  consiste de quatro vetores coluna:

$$\mathbf{s} = [\{\bar{\sigma}\}; \{\bar{\alpha}_x\}; \{\bar{\alpha}_y\}; \{\bar{\alpha}_z\}] \quad 3.7$$

onde  $\bar{\sigma}$  é o vetor das tensões no centróide do elemento e  $\bar{\alpha}_i$  é a componente do gradiente do vetor das tensões na direção da  $i$ -ésima coordenada disponível no centróide do elemento.

A partir da equação 3.7 observa-se que a matriz  $\mathbf{S}$  é independente das coordenadas espaciais dentro do elemento. A equação 3.4 (pág. 64) pode ser integrada usando a equação 3.5 (pág. 64), 3.6 e 3.7 temos:

$$\mathbf{f} = V[\bar{\mathbf{B}}]^T \{\bar{\sigma}\} + V[\bar{\mathbf{B}}_x]^T \{\bar{\alpha}_x\} + V[\bar{\mathbf{B}}_y]^T \{\bar{\alpha}_y\} + V[\bar{\mathbf{B}}_z]^T \{\bar{\alpha}_z\} \quad 3.8$$

onde  $V$  é o volume do elemento,  $\bar{\mathbf{B}}$  é a matriz média definida como:

$$\bar{\mathbf{B}} = \frac{1}{V} \int_V [\mathbf{B}] dv \quad 3.9$$

e  $\bar{\mathbf{B}}_i$  é o primeiro momento da matriz  $\mathbf{B}$  referente à direção da  $i$ -ésima coordenada:

$$\bar{\mathbf{B}}_x = \frac{1}{V} \int_V x[\mathbf{B}] dv \quad 3.10$$

$$\bar{\mathbf{B}}_y = \frac{1}{V} \int_V y[\mathbf{B}] dv \quad 3.11$$

$$\bar{\mathbf{B}}_z = \frac{1}{V} \int_V z[\mathbf{B}] dv \quad 3.12$$

A matriz média  $\bar{\mathbf{B}}$  e os momentos da matriz  $\mathbf{B}$  são independentes do nível de carregamento e podem, desse modo, ser pré-integradas. A computação do vetor força interna é então reduzida para calcular a tensão e os gradientes das tensões no centróide do elemento. A computação da tensão média e dos gradientes das tensões é executada em uma base incremental com os incrementos somados ao incremento total calculado anteriormente. Os gradientes nas tensões são determinados usando as equações 2.73 (pág. 40), 2.16 (pág. 21), 3.5 (pág. 64) e o fato de que a matriz  $\mathbf{C}$  não varia de ponto a ponto dentro do elemento.

$$\Delta\sigma = [\Delta\mathbf{S}] \{x\} = [\mathbf{C}] [\mathbf{B}] \{\Delta u\} \quad 3.13$$

Multiplicando a equação 3.13 por  $\{x\}^T$  e integrando sobre o volume do elemento,

$$\Delta\mathbf{S} \int_V \{x\} \{x\}^T dv = \mathbf{C} \int_V [\mathbf{B}] \{\Delta u\} \{x\}^T dv \quad 3.14$$

seja,

$$[\mathbf{L}] = \int_V \{x\} \{x\}^T dv \quad 3.15$$

Então, desse modo, o sistema de coordenadas locais ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) tem sua origem no centróide do elemento

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} V & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ 0 & I_{xy} & I_{yy} & I_{yz} \\ 0 & I_{xz} & I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad 3.16$$

Onde  $V$  é o volume do elemento e os coeficientes  $I$  são os momentos de inércia do volume do elemento com referência ao centróide do elemento. O inverso de  $\mathbf{L}$  é:

$$\mathbf{L}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/V & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ 0 & A_2 & A_4 & A_5 \\ 0 & A_3 & A_5 & A_6 \end{bmatrix} \quad 3.17$$

Onde,

$$A_1 = 1/D(I_{XX}I_{ZZ} - I_{YZ}^2) \quad 3.18$$

$$A_2 = 1/D(I_{YZ}I_{XZ} - I_{XY}I_{ZZ}) \quad 3.19$$

$$A_3 = 1/D(I_{XY}I_{YZ} - I_{XZ}I_{YY}) \quad 3.20$$

$$A_4 = 1/D(I_{XX}I_{ZZ} - I_{XZ}^2) \quad 3.21$$

$$A_5 = 1/D(I_{XY}I_{XZ} - I_{YZ}I_{XX}) \quad 3.22$$

$$A_6 = 1/D(I_{XX}I_{YY} - I_{XY}^2) \quad 3.23$$

e

$$D = I_{XX}I_{YY}I_{ZZ} - I_{XX}I_{YZ}^2 - I_{YY}I_{XZ}^2 - I_{ZZ}I_{XY}^2 + 2I_{XY}I_{YZ}I_{XZ} \quad 3.24$$

Multiplicando ambos os membros da equação 3.14 (pág. 66) por  $\mathbf{L}^{-1}$ , e usando as equações 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 (pág. 65) e o fato de que  $\{\Delta u\}$  é independente de posição dentro do elemento, o incremento da tensão e o gradiente da tensão encontrados são:

$$\Delta \mathbf{S} = [\mathbf{C}] [\mathbf{Q}] [\mathbf{L}]^{-1} \quad 3.25$$

Onde:

$$\mathbf{Q} = [[\bar{\mathbf{B}}]\{\Delta u\}; [\bar{\mathbf{B}}_x]\{\Delta u\}; [\bar{\mathbf{B}}_y]\{\Delta u\}; [\bar{\mathbf{B}}_z]\{\Delta u\}] \quad 3.26$$

### 3.4.3 - SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES DE EQUILÍBRIO NÃO-LINEARES

Nesta seção será discutido o método incremental de solução do sistema de equações de equilíbrio.

A matriz equação do equilíbrio para um sistema estrutural com material não-linear é:

$$[K(u)] u = P \quad 3.27$$

Onde a matriz de rigidez instantânea  $K(u)$  é uma função não-linear do vetor de deslocamento  $u$ .  $P$  é o vetor que contém as cargas externas.

Existem numerosos métodos usados para solucionar o sistema de equações não-lineares acima. Em geral, estes métodos podem ser divididos em duas classes: métodos iterativos e métodos incrementais.

Os métodos iterativos aplicam inicialmente a carga total e pesquisam a solução pela modificação da matriz de rigidez e/ou do vetor de carregamento. A modificação da matriz de rigidez geralmente acelera a convergência mas é computacionalmente onerosa.

Para o método incremental as cargas são aplicadas em várias etapas e uma forma incremental da equação 3.27 é solucionada.

$$[K]_n \{\Delta u\}_{n+1} = \{\Delta P\}_{n+1} \quad 3.28$$

Onde

$$\{\Delta u\}_{n+1} = \{u\}_{n+1} - \{u\}_n \quad 3.29$$

$$\{\Delta P\}_{n+1} = \{P\}_{n+1} - \{P\}_n \quad 3.30$$



É importante notar que a matriz de rigidez  $[K]_n$  pode somente ser formada baseada no vetor de deslocamento do passo anterior  $\{u\}_n$  que gera um tipo de erro incremental. Nesta técnica, os erros incrementais podem se acumular e conduzir a um erro total considerável. Para prevenir este acúmulo de erros incrementais, uma forma modificada do vetor carregamento é usada:

$$[K]_n \{\Delta u\}_{n+1} = \{P\}_{n+1} - \{F\}_n \quad 3.31$$

Onde,

$\{P\}_{n+1}$  = vetor de carga no final do n-ésimo passo;

$\{F\}_n$  = vetor das forças de resistência interna no final do n-ésimo passo.

Pelo uso deste método de correção do vetor, o erro no equilíbrio é incorporado ao vetor de carga incremental no início de cada passo e, desse modo, o acúmulo dos erros incrementais é prevenido. A convergência para o equilíbrio é certa apesar dos erros ou aproximações na matriz de rigidez e, desse modo, a reformulação da matriz de rigidez não é necessária a cada passo. Contudo, o erro em cada passo é diretamente dependente do erro na matriz de rigidez instantânea.

Um método alternativo é aplicar a força total inicialmente, caso em que a equação da carga seria:

$$\{P\}_n = \{P\}_{total} \quad (n=1, \dots, n) \quad 3.32$$

Observa-se que a aplicação da carga total torna este método similar ao esquema iterativo com correção do vetor de carga anteriormente discutido. Entretanto, as cargas em geral têm um estado específico ditado pela seqüência de aplicação, seqüência de construção e escavação e o tempo do fenômeno associado com as propriedades do material viscoso.

Em muitos problemas práticos o estado do carregamento se traduz numa série de funções. Isto é verdade no caso da construção e escavação que pode ser considerada uma descontinuidade na relação entre força/deslocamento e uma mudança abrupta na matriz de rigidez instantânea.

Um procedimento eficiente é aplicar o total do carregamento incremental em cada estágio e então executar várias iterações com reformulações ocasionais na rigidez para acelerar a convergência. Este procedimento é sumarizado nas seguintes etapas:

a) Computar:

$$\{u\}_n = \{u\}_{n-1} + \{\Delta u\}_n \quad (\text{para o primeiro passo } \{u\}_0 = 0) \quad 3.33$$

b) Computar as deformações  $\{\varepsilon\}_n$  ou incrementos da deformação  $\{\Delta\varepsilon\}_n$  para cada elemento usando as derivadas das funções de forma que foram inicialmente computadas e armazenadas;

c) Computar as tensões  $\{\sigma\}_n$  ;

1 - Para materiais que independem do tempo, computar as tensões  $\{\sigma\}_n$  e as relações instantâneas de tensão/deformação,  $\mathbf{C}$ ;

2 - Para elementos viscoelásticos

a) computar as tensões

$$\{\sigma\}_n = [\mathbf{C}](\{\varepsilon\}_n - \{\varepsilon\}_n^c) \quad 3.34$$

onde  $\mathbf{C}$  é a matriz elástica tensão/deformação,  $\{\varepsilon\}_n$  é a deformação total e  $\{\varepsilon\}_n^c$  é a fluência total;

b) usando as tensões computar  $\{\varepsilon\}_{n+1}^c$ , que é a fluência total;

c) computar a tensão efetiva para usar no vetor força interna;

$$\{\bar{\varepsilon}\}_n = [C] \left( \{\varepsilon\}_n - \{\varepsilon\}_{n+1}^c \right) \quad 3.35$$

d) computar as forças de resistência interna das tensões (tensões efetivas para elementos viscoelásticos);

e) aplicar o próximo passo do carregamento e voltar à fase "a".

#### 3.4.4 - SOLUÇÃO DE BANDA

Nesta seção será discutido o método completo para a solução de uma série de equações lineares simultâneas que são utilizadas no programa BMINES.

A solução de um grande sistema estrutural requer a solução de uma série de equações lineares simultaneamente da seguinte forma:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \mathbf{u} \quad 3.36$$

Onde:

$\mathbf{F}$  é um vetor de cargas aplicadas;

$\mathbf{u}$  é um vetor de deslocamentos desconhecidos. Neste caso, deslocamentos incrementais;

$\mathbf{K}$  matriz de rigidez global. É uma matriz bandeda, simétrica e positiva definida.

Vários métodos estão disponíveis e podem determinar a solução desta equação. O mais frequentemente usado é o método da decomposição de Choleski.

Definindo:

$$[K] = L D L^T \quad 3.37$$

Onde:

$L$  é a matriz diagonal inferior com uma diagonal;

$D$  é a matriz diagonal.

Substituindo a equação 3.37 em 3.36 (pág. 71), temos:

$$F = L D L^T u \quad 3.38$$

e definindo

$$Z = D L^T u \quad 3.39$$

A equação 3.38 se torna:

$$F = L Z \quad 3.40$$

Há vários algoritmos para expressar a matriz de rigidez na forma da equação 3.37 e para solucionar as equações 3.39 e 3.40. No programa BMINES foi usado o algoritmo de Rubinstein e Rosen (1968):

$$L_{ij} = \frac{1}{D_j} K_{ij} - \sum_{m=1}^{j-1} L_{im} D_m L_{jm} \quad i > j \quad 3.41$$

$$D_j = K_{jj} - \sum_{m=1}^{j-1} D_m L_{jm}^2 \quad 3.42$$

$$Z_i = F_i - \sum_{m=1}^{i-1} L_{im} Z_m \quad 3.43$$

$$U_j = \frac{Z_j}{D_j} - \sum_{m=j+1}^n L_{mj} U_m \quad 3.44$$

Onde:

$n$  = número total de equações;

$i, j$  = índices de linha e coluna.

O uso das equações 3.41 e 3.42 (pág. 72) para a obtenção das matrizes **L** e **D**, no caso mais geral de uma solução bloco a bloco, é ilustrada nas Figuras 3.12 e 3.13.

A Figura 3.12 mostra uma típica matriz de rigidez bandeada com arranjo dos termos em cada núcleo do bloco. A Figura 3.13 mostra o método de armazenamento que segue o esquema de uma pilha de memória dupla. A área de memória para a manipulação das matrizes deve ter, no mínimo, quatro palavras de comprimento e é usada como pilhas de armazenamento para guardar os valores das colunas da matriz de rigidez reduzida, necessária para a redução e decomposição de futuros blocos rígidos. Todas as operações de entrada e saída entre as áreas central e de dispositivos periféricos usam uma técnica de pilhas múltiplas de armazenamento.

segue o esquema de uma pilha de memória dupla. A área de memória para a manipulação das matrizes deve ter, no mínimo, quatro palavras de comprimento e é usada como pilhas de armazenamento para guardar os valores das colunas da matriz de rigidez reduzida, necessária para a redução e decomposição de futuros blocos rígidos. Todas as operações de entrada e saída entre as áreas central e de dispositivos periféricos usam uma técnica de pilhas múltiplas de armazenamento.

Desse modo, o armazenamento e recuperação de dados das matrizes **L** e **D** podem ser obtidos com maior rapidez.

Depois de concluída a decomposição da matriz de rigidez e geração do vetor  $Z$ , os deslocamentos  $\{u\}$  são computados pela equação 3.44 (pág. 72). O Apêndice C (pág.307) apresenta e descreve os blocos comuns rotulados utilizados no armazenamento e recuperação de dados durante o processamento das matrizes  $L$  e  $D$ .

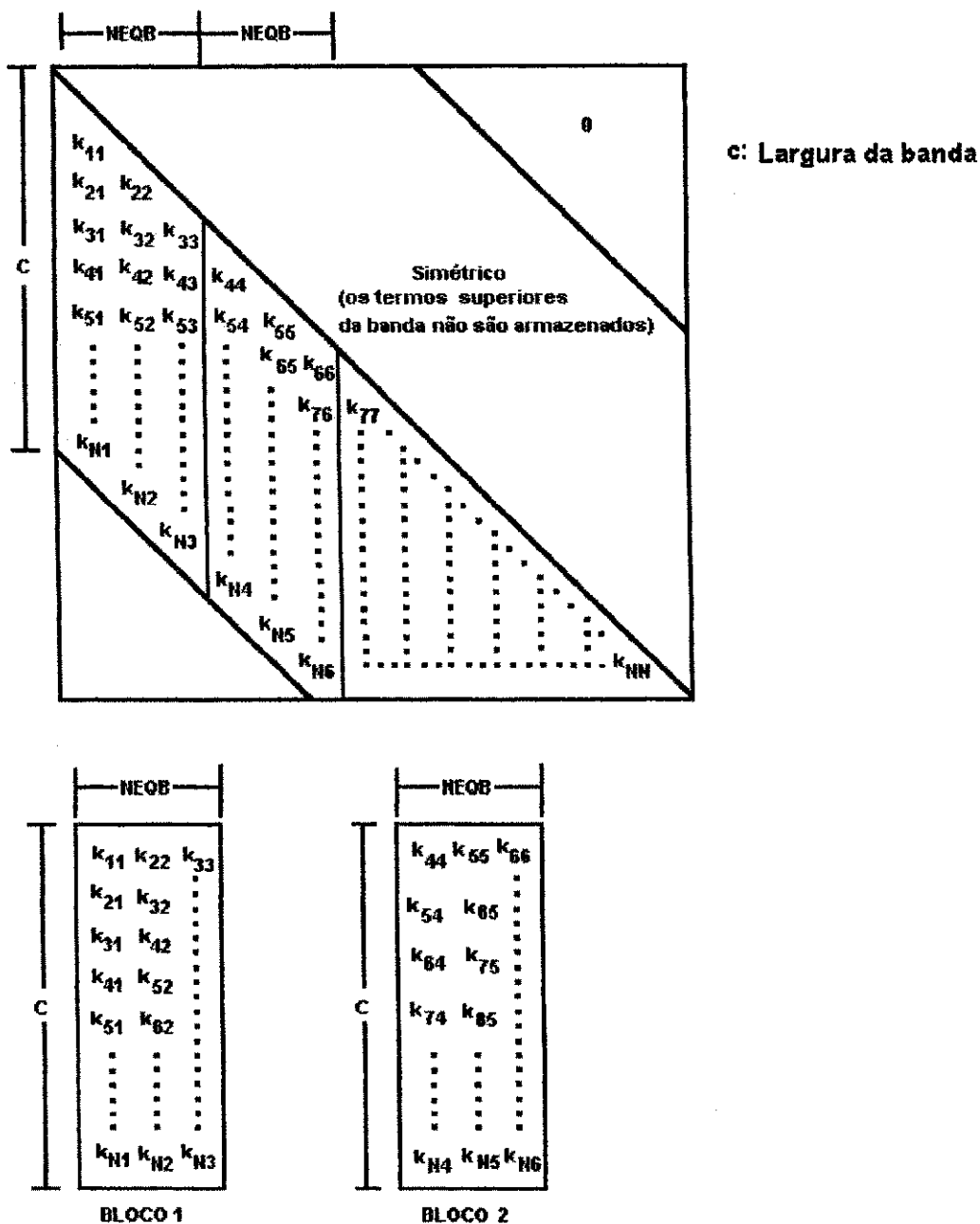
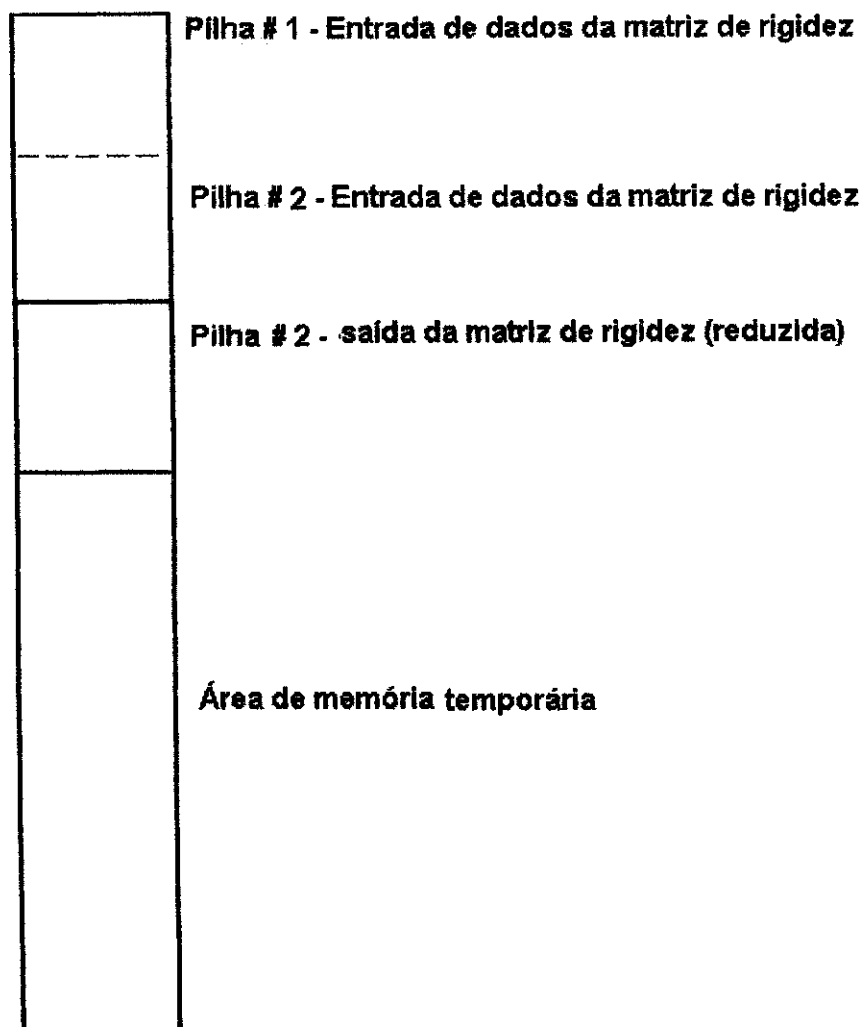


Figura 3.12 - Método de armazenamento da matriz de rigidez usado no programa BMINES



**Figura 3.13 - Pilhas de memória central usada para a decomposição da matriz de rigidez**

### **3.5 - ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA**

O processo de solução no programa BMINES é dividido em três fases distintas:

- Entrada de dados;
- Cálculo;
- Saída de dados.

## 1 - Entrada de dados

Nesta fase o usuário fornece dados ao gerador de malha de elementos finitos. As malhas de elementos finitos são definidas neste programa por um gerador automático de malha e pela entrada manual dos pontos nodais e dos elementos. Dessa forma, o gerador automático de malha ou o esquema manual de geração pode ser usado para gerar a malha inteira, ou qualquer porção de uma malha tridimensional. O programa poderá gerar automaticamente (ou o usuário pode gerar manualmente) uma malha contínua de elementos finitos, condições de fronteira e os coeficientes de carga. Por solicitação do usuário o programa produzirá uma plotagem da malha. Neste ponto o programa poderá, sob controle do usuário, gerar um arquivo de reinicialização e terminar a execução com a opção do usuário examinar a malha gerada. Após a reinicialização o usuário pode acrescentar elementos e/ou pontos nodais e pode solicitar que o programa tente reduzir a largura da banda da matriz. Neste ponto, uma plotagem da malha, que pode ter sido expandida e/ou renumerada, deve ser gerada. O último grupo de dados na seção de entrada de dados inclui a declaração dos elementos que podem ter um *status* ativo/inativo (por exemplo, um elemento pode inicialmente ser inativo, tornar-se ativo e novamente se tornar inativo), como uma função do nível de carga, dados do carregamento e dados das propriedades do material. Quando a entrada de dados é concluída, dois arquivos são gerados. Estes arquivos unem as seções de entrada de dados à de cálculo e são chamados arquivo de união e arquivo de dados do elemento. A distinção entre estes dois arquivos é que o arquivo de dados do elemento contém informações que são necessárias durante todas as fases do carregamento enquanto o arquivo de união contém dados que são necessários simplesmente para inicializar a execução.



Observar que uma vez gerada a malha e, manualmente e a ela acrescentados pontos nodais, o sistema de numeração é preservado em todas as malhas plotadas e impressas, a menos que os nós tenham sido renumerados pelo redutor de largura de banda de matriz. Neste caso, a correspondência entre os nós originais e os renumerados é imprimida e o novo sistema de numeração de nós é preservado pelo restante do programa, incluindo a plotagem final da malha e outras subseqüentes. O Apêndice B (pág. 301) identifica e descreve os arquivos utilizados pelo programa BMINES

## 2 - Cálculo

A fase de cálculo é inicializada usando os dois arquivos criados na fase de entrada de dados, chamados arquivo de união e arquivo de dados dos elementos. O usuário especifica o número de níveis entre a reformulação da matriz de rigidez global e o intervalo de carga ou o intervalo de tempo no qual um arquivo de reinicialização está para ser gerado. Esta fase produz um arquivo de saída e um arquivo de reinicialização, se solicitado.

A execução da fase de cálculo pode ser continuada pela suplementação de um novo arquivo de saída, usando o mesmo arquivo de dados do elemento como anteriormente e trocando o arquivo de união pelo de reinicialização gerado por último. Observar que a reformulação da matriz de rigidez global e os intervalos de reinicialização podem ser mudados nesta hora.

A continuação da execução ou reinicialização escreve um novo arquivo de saída e produz outro arquivo de reinicialização, se necessário.

3 - Saída de dados

A fase de saída de dados pode ser executada após completada a primeira fase da execução da fase de cálculo, assim como entre a reinicialização da execução pelo uso do arquivo de saída. Durante esta fase, todos os pontos nodais e as informações do elemento que é especificado, é impresso ou plotado.

A estrutura de segmentos do BMINES foi escolhida por corresponder às três fases de execução acima citadas e ilustradas na Figura 3.14. A sub-rotina ATOMSH controla a fase de entrada de dados e é mostrada na Figura 3.15. BMCALC controla a fase de cálculo e é ilustrada na Figura 3.16 (pág. 80). A Figura 3.17 (pág. 80) mostra BMOUTP que controla a fase de saída de dados do processo de solução.

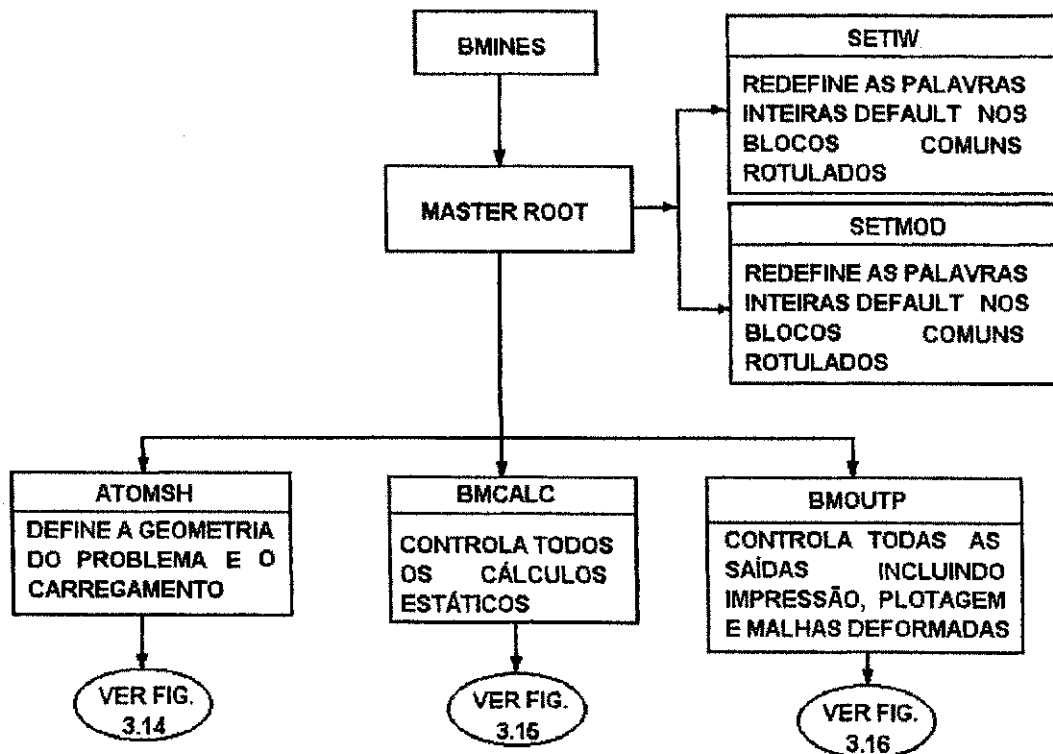


Figura 3.14 - Bloco Diagrama da Execução do Programa BMINES

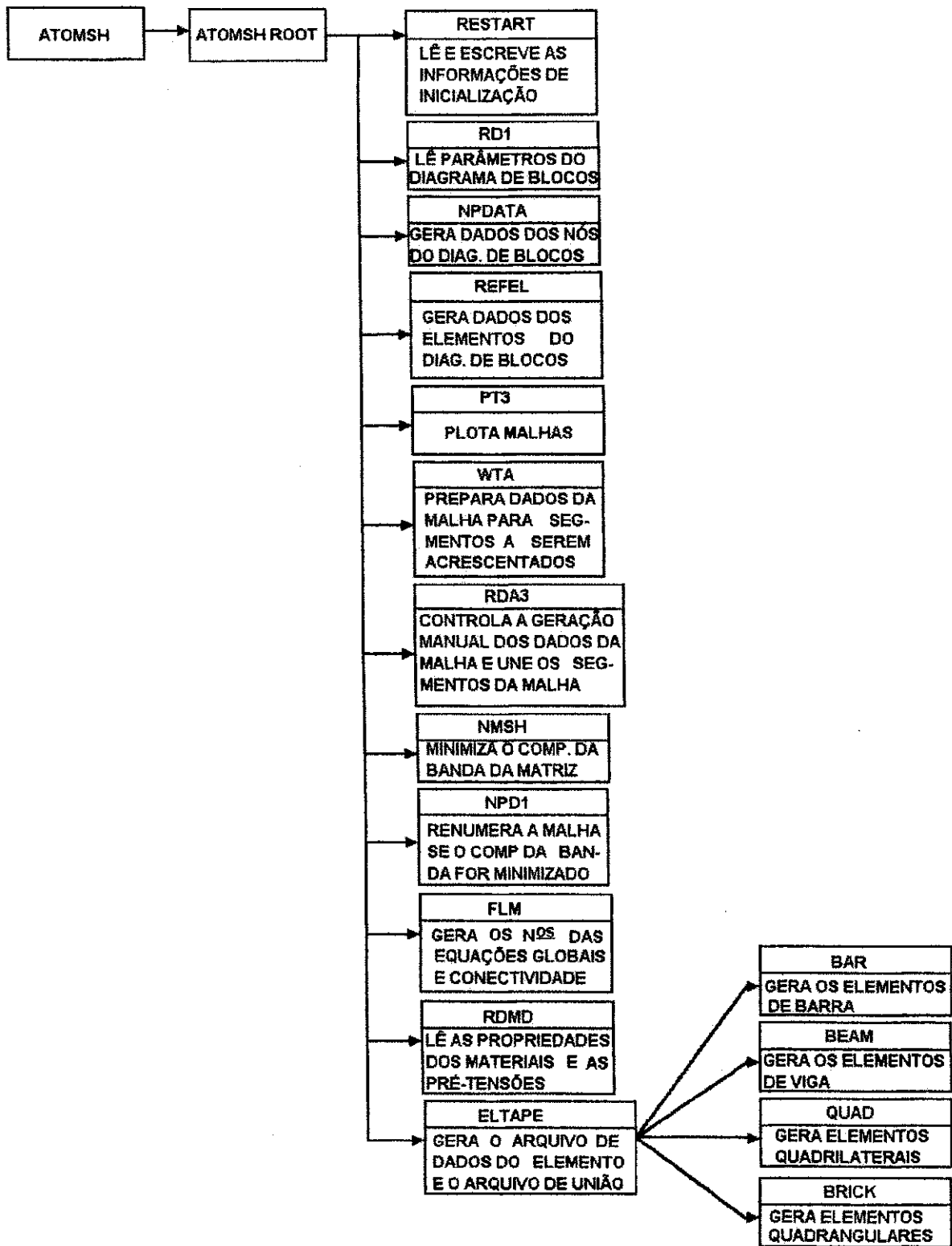


Figura 3.15 - Bloco Diagrama do Segmento ATOMSH

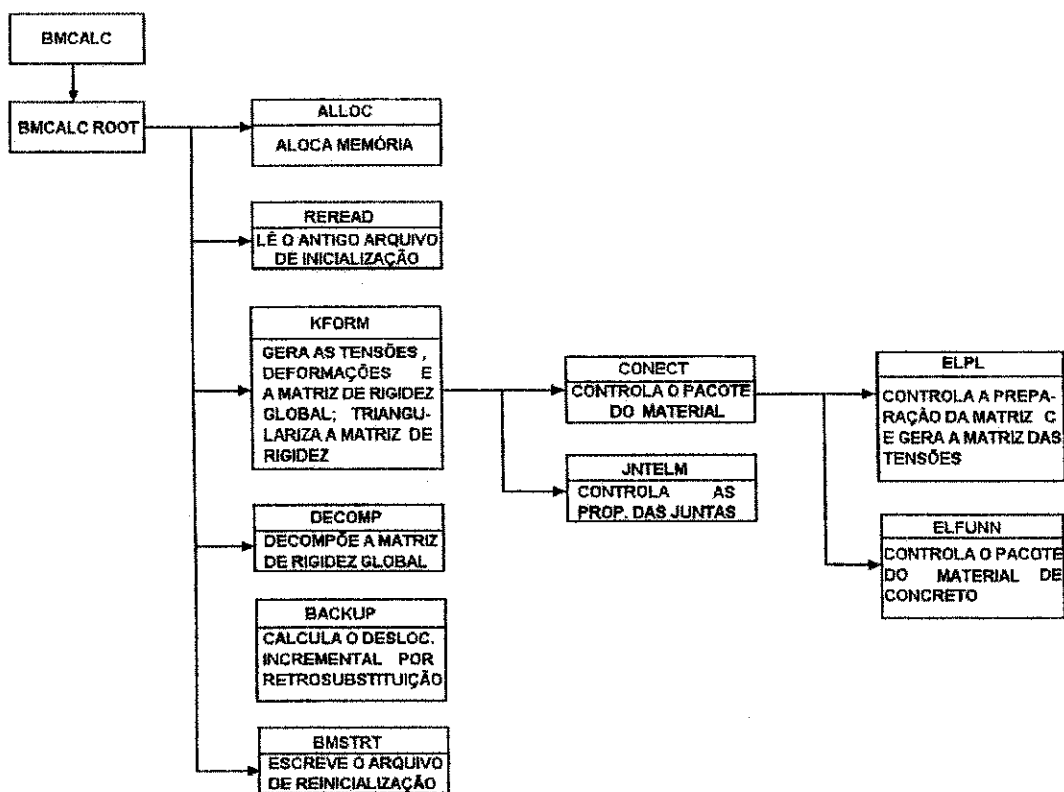


Figura 3.16 - Bloco Diagrama do Segmento BMCALC

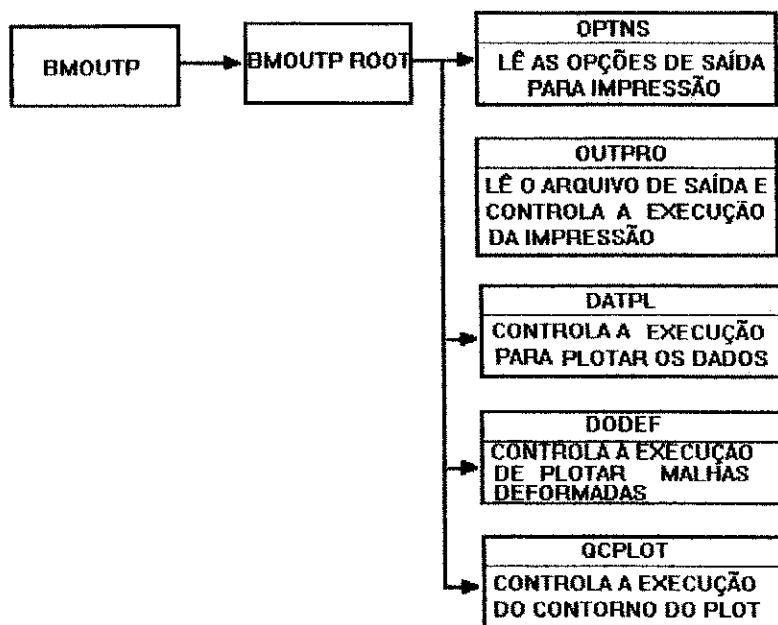


Figura 3.17 - Bloco Diagrama do Segmento BMOUTP

### 3.6 - SIMULAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE CONSTRUÇÃO E ESCAVAÇÃO

Uma abertura em subsolo com um sistema de suportes é construída seqüencialmente em uma regra alternativa de escavação e episódios de construção. Para que o modelamento de tais aberturas possa ser realístico, particularmente com respeito à distribuição de cargas entre o sistema de suporte e as paredes da escavação, é essencial uma simulação cuidadosa desta escavação, bem como a história da construção. Van Dillen et al (1979), mostrou analiticamente que o fracasso de levar em consideração as etapas da construção pode resultar em erros acima de muitas centenas por cento das cargas no sistema de suporte.

No programa BMINES, as seqüências de escavação e construção são distribuídas através do mecanismo de atividade do elemento. Esta característica permite que qualquer elemento do modelo de elementos finitos possa ser desativado durante qualquer fase do cálculo previamente determinada. Tal ação remove da análise numérica o peso do elemento, suas contribuições para as forças nodais e suas contribuições para a matriz de rigidez global.

A simulação da escavação de uma determinada região é feita pela desativação do grupo de elementos que ocupam a região definida no modelo do elemento. De modo similar, um elemento pode ser ativado em uma determinada fase do cálculo. Esta ação pode ser usada para simular a instalação de estruturas de suporte de rocha ou a introdução de preenchimento da escavação.

### 3.7 - ESTADO INICIAL DE TENSÃO

O programa BMINES permite especificar o estado inicial de tensão para todos os elementos do modelo de elementos finitos. Esta característica não está disponível para elementos com propriedades de material viscoelástico. Esta consideração é muito importante no modelamento de escavações em rochas e solos, desde que estas escavações, invariavelmente, tomem lugar em um ambiente de tensão inicial diferente de zero. Assim sendo, o modelamento preciso da escavação e a história da escavação incluem a criação do campo inicial de tensão, antes de iniciada qualquer escavação. Se esta opção não existisse no programa, seria necessário forçar as condições iniciais de tensão pela aplicação de forças externas e a execução de uma fase de carregamento.

Em muitos casos, esta técnica poderia ser suficiente para estabilizar as condições iniciais. Mas há campos de tensão e configurações de material, particularmente aquelas envolvendo a não-homogeneidade, para as quais não é possível estabilizar o estado inicial de tensão unicamente pela aplicação de cargas externas. Assim, a capacidade da tensão inicial é mais que uma mera coincidência e mais do que uma simples medida de economia, resultando da eliminação de uma carga inicial.

Para alguns estados de tensão inicial, significa apenas como o estado de tensão inicial pode ser forçado no modelo de elementos finitos.

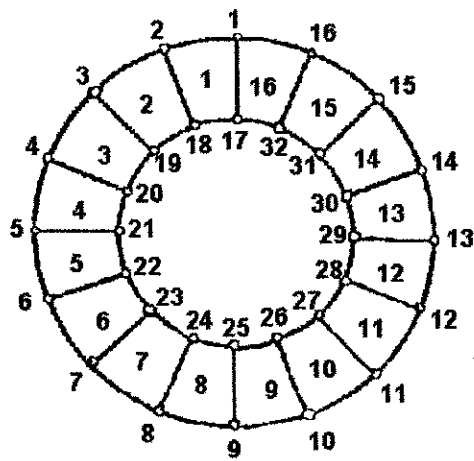
### 3.8 - REDUTOR DE LARGURA DE BANDA

O tempo de computação necessário para realizar a manipulação da matriz é aproximadamente proporcional ao quadrado da sua largura de banda. Assim sendo, é importante buscar uma largura de banda mínima, quando numerando pontos nodais.

Entretanto, quando a malha de elementos finitos é gerada automaticamente, nenhuma atenção é dispensada para minimizar a largura da banda. O usuário pode influenciar a largura da banda até certo ponto, através de uma escolha racional do diagrama chave. Todavia é muito provável que a largura da banda gerada não seja ótima. A situação, freqüentemente, torna-se pior quando novos elementos são acrescentados manualmente. Para contornar esta dificuldade e, assim, encorajar o usuário a usar o gerador automático de malha, o redutor de largura de banda baseado no trabalho de Rosen (1968) e Grooms (1972) foi incluído neste programa.

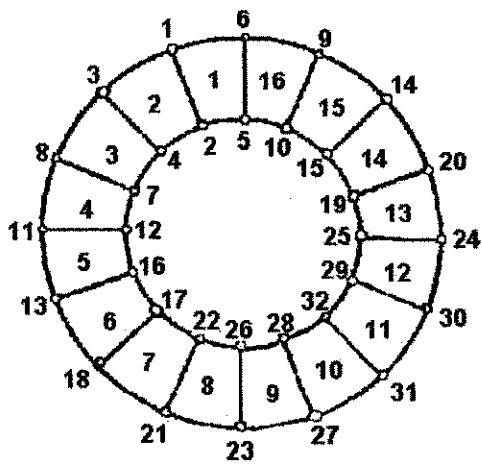
Um exemplo de redutor de largura de banda é mostrado na Figura 3.18. A configuração da entrada dos pontos nodais é típica de uma malha que poderia ser gerada automaticamente, para a qual a diferença máxima nos números do ponto nodal para qualquer elemento é 31. Esta configuração foi submetida ao redutor de largura de banda. O resultado, após 2 segundos de processamento (UNIVAC 1108), para uma diferença máxima do número de nós foi de 6. Esta ainda não é a configuração ótima como mostrado pela configuração ideal cuja diferença máxima é 5. A técnica não é única e nem sempre converge para a largura de banda mínima absoluta.

Esta técnica automática de redução da largura de banda opera nos números dos pontos nodais, melhor que nos números de graus de liberdade. Dependendo do número de graus de liberdade, cada nó contém a configuração correspondente à mínima diferença do número no nó que não corresponde necessariamente ao comprimento mínimo, podendo estretanto estar próximo. Há alguns casos extremos, entretanto, particularmente aqueles envolvendo um grande número de nós fixos, que não têm graus de liberdade e são totalmente irrelevantes para o resultado da largura mínima da banda, onde a distinção entre a diferença mínima no nó e a largura da banda mínima resulta em uma performance insatisfatória pelo redutor automático de banda.



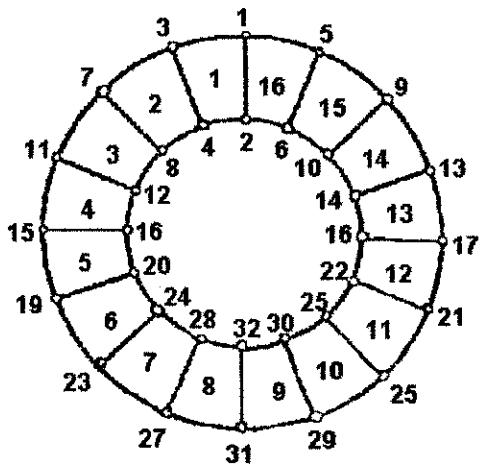
Entrada de dados da configuração do ponto nodal

Diferença máxima do ponto nodal = 31



Configuração do ponto nodal reduzido

Diferença máxima do ponto nodal = 6



Configuração ideal

Diferença máxima do ponto nodal = 5

Figura 3.18 - Exemplo do Redutor de Largura de Banda de Matriz



Na renumeração dos pontos nodais para reduzir a largura da banda da matriz de rigidez, os elementos são numerados na ordem de sua contribuição à matriz de rigidez global. Desta forma, a deformação/deslocamento e os elementos da matriz de rigidez podem ser recuperados na memória do computador em um menor espaço de tempo. Uma vez que os dados do elemento são usados nas operações básicas da formação da matriz de rigidez global e no vetor de carregamento, a eficiência obtida pelo uso seqüencial deste dados é considerável.

### 3.9 - SOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES

Os números do elemento marcado pelo gerador de malha e pelo usuário são revistos tais que:

$\text{MIN}(\text{LM}(I))$  para o  $n$ -ésimo elemento  $\leq$   $\text{MIN}(\text{LM}(I))$  para o  $(n+1)$ -ésimo elemento

onde:  $\text{LM}(I)$  são os graus de liberdade do elemento.

Os dados são armazenados sequencialmente na unidade de armazenamento de tal forma que os dados para o elemento 1 estão no topo da unidade e assim sucessivamente.

Número do elemento =  $1 \leq \dots n, n+1 \dots \leq \text{NUMEL}$

onde  $\text{NUMEL}$  = número total de elementos

O armazenamento sequencial dos dados tem um impacto na geração do vetor carregamento incremental e na formação da matriz de rigidez global. Para gerar o vetor de carregamento, um bloco de deslocamentos incrementais é fragmentado na memória central. Estes deslocamentos incrementais bem como as relações deformação/deslocamento são usados para encontrar deformações, a matriz tensão/deformação  $\mathbf{C}$  e as tensões correspondentes. As tensões primárias e a matriz

deformação/deslocamento são usadas para determinar as forças de resistência nodal para cada elemento. A Figura 3.19 mostra todos os graus de liberdade que cada elemento  $n$  contribui.  $F_u$ ,  $u$  e  $du$  podem ser encontrados em uma única sequência de largura de banda (MBAND). Assim sendo, organizando os dados do elemento seqüencialmente com acréscimo do número de graus de liberdade pode-se obter o processamento completo do elemento  $F_u$ ,  $u$ ,  $du$ , bem como a geração da matriz de rigidez descrita abaixo por uma única leitura do arquivo de elementos.

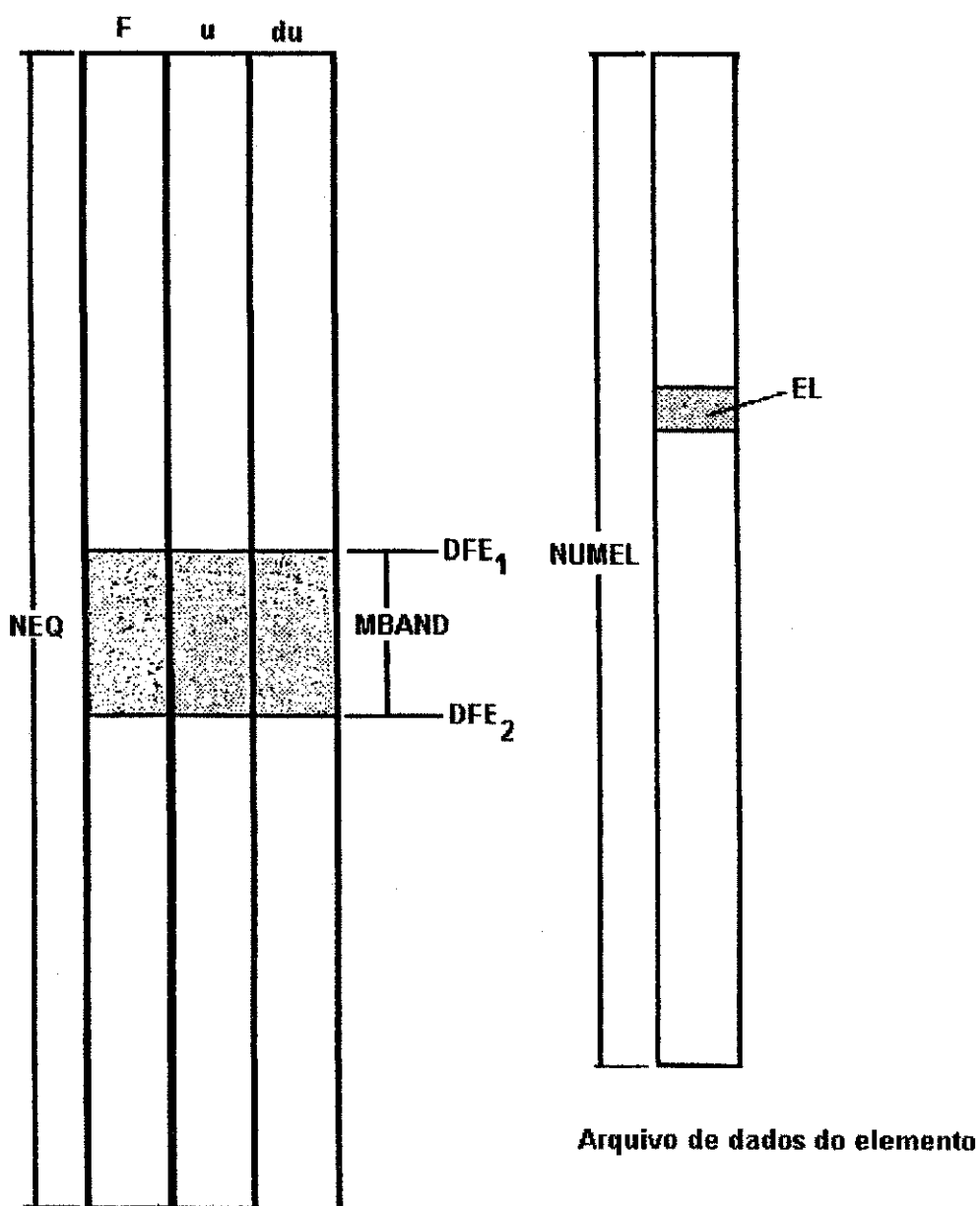


Figura 3.19 - Operações nas Matrizes de Força, Deslocamento e Deslocamento Incremental.

A matriz de rigidez global é armazenada em blocos, como ilustra a Figura 3.20. Cada bloco é formado pelos elementos em ordem seqüencial, do arquivo de dados do elemento. Para cada bloco de rigidez, o arquivo de dados do elemento é processado desde que:

$$DFE1 \geq DFK1 \quad 3.45$$

$$DFE2 \leq DFK2 \quad 3.46$$

Neste caso, o elemento de rigidez é diretamente acrescentado à linha e coluna apropriadas do bloco NN. Se

$$DFE1 \geq DFK1 \quad 3.47$$

e

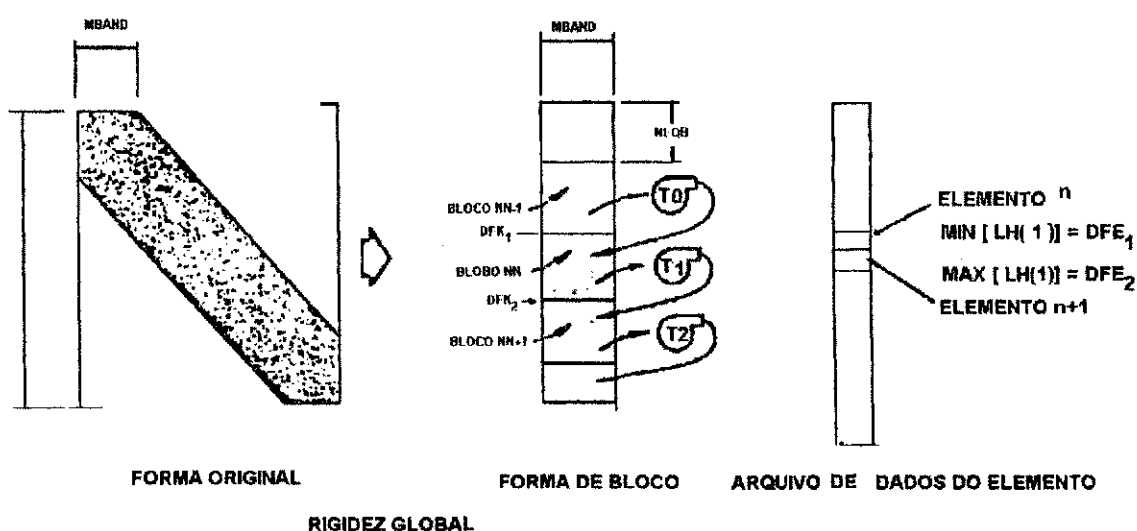
$$DFE2 > DFK2 \quad 3.48$$

o elemento  $n$  contribui para os blocos  $nn$  e  $nn+1$ . Neste evento, tais contribuições que podem ser feitas para o bloco  $nn$  são realizadas e os conjuntos dos valores de rigidez e LM daqueles elementos que também contribuem para o bloco  $nn+1$  são temporariamente escritos em uma unidade de armazenamento  $T1$ , para subsequente inserção dentro do bloco  $nn+1$ . Os elementos são processados e seus coeficientes de rigidez são acrescentados ao bloco  $nn$  e/ou acumulados em  $T1$  até que:

$$DFE1 > DFK2 \quad 3.49$$

Isto significa que o bloco  $nn$  da matriz de rigidez global está preparado, exceto para os dados armazenados na unidade  $To$ , que contém dados de elemento sobrepondo os blocos  $nn-1$  e  $nn$ . Estes dados são lidos na memória e aquela parte onde  $DFE2 > DFK2$  é acrescentada ao bloco  $nn$ . Agora o bloco  $nn$  está completamente

preparado e é armazenado. O bloco  $nn+1$  é gerado da mesma forma como os blocos  $nn-1$  e  $nn$ . Quando todas as contribuições diretas ao bloco  $nn+1$  forem feitas e todos os dados que contribuem para o bloco  $nn+2$  forem armazenados na unidade  $T2$ , os dados armazenados na unidade  $T1$  são lidos na memória e acrescentados ao bloco  $nn+1$ . Este bloco agora está completamente preparado e é transferido para armazenamento.



**Figura 3.20 - Geração da Matriz de Rigidez Global a Partir dos Dados do Elemento**

### 3.10 - OPÇÃO NÃO-DESCARREGADO

O processo de solução utilizado pelo programa BMINES, envolve o uso de um vetor de correção de carga que incorpora no vetor força incremental do próximo estágio do carregamento, as forças nodais desbalanceadas do presente estágio de carregamento. A convergência para o equilíbrio, contudo, é tratada como um processo de aperfeiçoamento iterativo em oposição a um processo iterativo padrão. A distinção consiste no fato de que cada novo incremento do deslocamento é incorporado ao total se

o equilíbrio é satisfeito ou não. Então, quaisquer erros no equilíbrio são computados dentro do próximo incremento do deslocamento. Por contraste, uma técnica iterativa padrão não incorporaria nenhum incremento do deslocamento no total, até ele ter convergido para o equilíbrio, por si só, através da aplicação repetida da equação dominante.

Para sistemas no qual o desvio do equilíbrio nunca é muito grande, o processo de aperfeiçoamento iterativo pode ser aplicado com menos operações do que um processo iterativo padrão.

### **3.11 - GERAÇÃO DE MALHA**

A representação do elemento finito, ou modelo de uma configuração estrutural é formada por um sistema de pontos nodais interconectados por uma variedade de elementos finitos e é referenciada como uma malha de elementos finitos. A maior parte do tempo gasto na preparação da entrada de dados, para uma análise por elementos finitos, está na especificação dos pontos nodais e nos elementos da malha. O programa BMINES foi projetado para minimizar a preparação da entrada de dados para um modelo de elementos finitos, através da disponibilidade de uma capacidade de geração automática de um diagrama de malha, bem como a capacidade de geração da interpolação para automatizar vários aspectos da opção de geração manual.

No modo manual, todos os tipos de elementos disponíveis podem ser inseridos. Este modo é projetado principalmente para acrescentar elementos e pontos nodais que não podem ser gerados através do uso do diagrama de bloco. O gerador de diagrama tem a capacidade de gerar malhas contínuas bi e tridimensionais envolvendo um número limitado de tipos de elementos disponíveis, incluindo:

- bidimensional quadrilateral;
- simetria axial ou de revolução quadrilateral;
- tridimensional hexaédrico.

Pontos nodais e elementos não definidos pelo gerador de malha são inseridos manualmente.

### 3.12 - GERAÇÃO DO BLOCO DIAGRAMA

O bloco diagrama é uma figura ou grade generalizada que o programa transforma e refina por subdivisão, sob controle do usuário, dentro de uma malha de elementos finitos e é baseado no trabalho publicado de Zienkiewicz e Philips (1971). O objetivo principal é minimizar a preparação da entrada de dados e, ao mesmo tempo, promover uma flexível e útil ferramenta de geração de malha. A grade generalizada é nomeada bloco diagrama e seu elemento básico, ou zona, é um quadrado para o caso bidimensional e um cubo para o caso tridimensional. Um bloco diagrama é formado pela junção de elementos básicos ou zonas dentro de uma figura de duas ou três dimensões. Cada plano da figura deve ser regular e em cada plano não deve ter nenhuma lacuna. Uma vez construído, o bloco diagrama trata-se de uma figura abstrata e não tem dimensões físicas.

Visto que a maioria das malhas de elementos finitos é irregular, uma convenção padrão para referência de localização (topo, base, esquerda, direita, frente, trás, etc.) na malha é difícil, senão impossível. Conseqüentemente, o bloco diagrama é usado, com o propósito de permitir ao usuário se comunicar com o gerador de malha usando uma convenção padrão de referência. Alguns diagramas bidimensionais são mostrados nas Figuras 3.21a, b e c. As Figuras 3.22 a, b e c mostram diagramas tridimensionais. Conforme

mostrado nas Figuras 3.21 e 3.22, os elementos básicos do bloco diagrama são chamados zonas, os cantos das zonas do bloco diagrama são chamados pontos de grade e as linhas que conectam os pontos da grade chamadas linhas de grade.

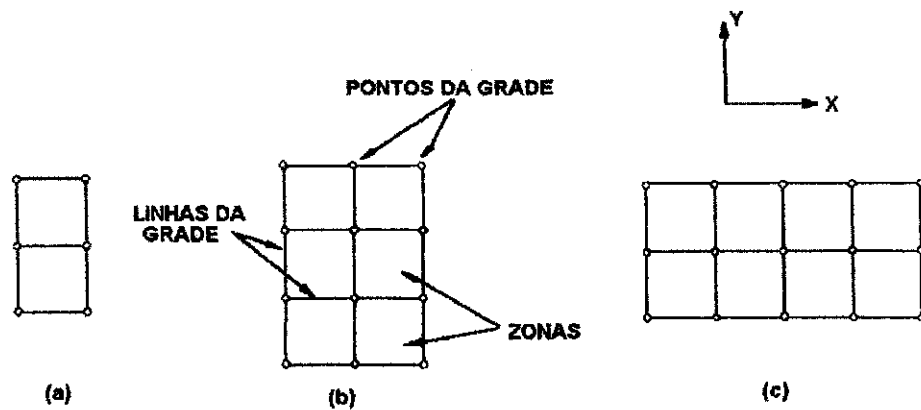


Figura 3.21 - Diagrama de Blocos Bidimensionais

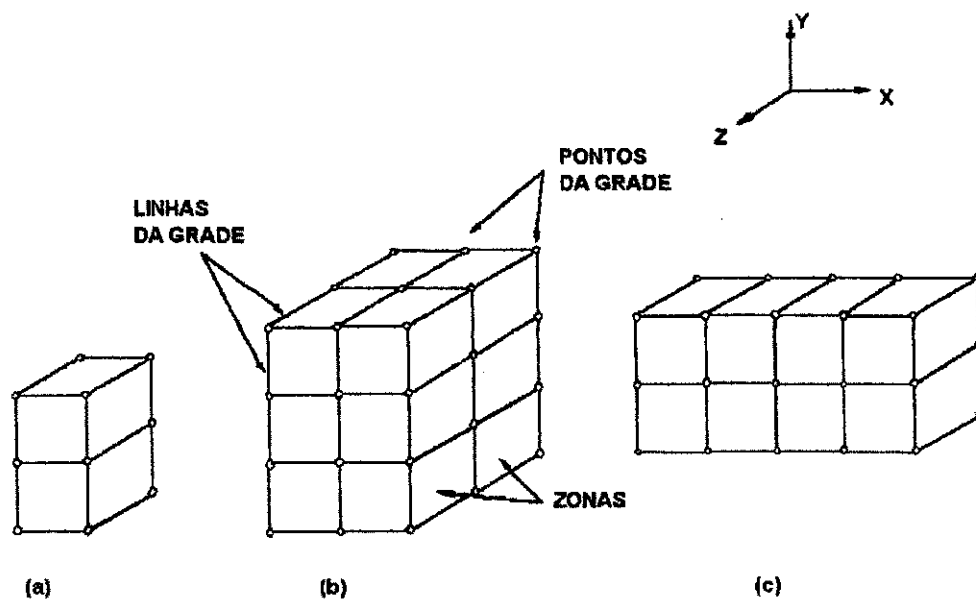


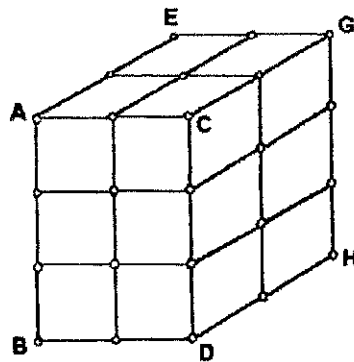
Figura 3.22 - Diagrama de Blocos Tridimensionais

A nomenclatura análoga para a malha de elementos finitos é definida respectivamente como regiões, pontos nodais e linhas da malha. É importante que uma distinção seja feita entre os componentes do bloco diagrama e da malha de elementos finitos para evitar confusão entre componentes aparentemente similares. A opção de geração de malha \*GENE permite ao usuário acessar o gerador automático de malha para gerar uma malha inteira ou qualquer parte de uma malha bi ou tridimensional.

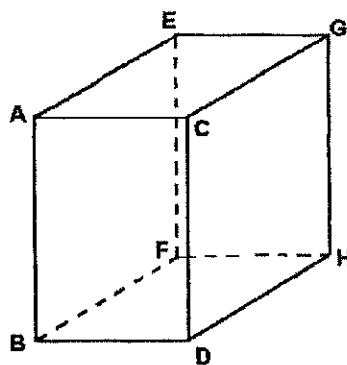
**3.12.1 - CONVENÇÃO PARA DEFINIÇÃO DAS FACES E DOS LADOS DO BLOCO DIAGRAMA**

A Figura 3.23a mostra um bloco diagrama tridimensional e a Figura 3.23b o envelope para o mesmo diagrama. Os oito cantos externos das duas figuras têm sido identificados pelos mesmos caracteres para estabelecer a convenção para a definição do topo, base, esquerda, direita, frente e trás do bloco diagrama. Todas as convenções de referência e numeração do bloco diagrama seguem a seguinte ordem:

- do topo para a base;
- da esquerda para a direita;
- de frente para trás.



(a) DIAGRAMA DE BLOCO TRIDIMENSIONAL



- Topo : ACGE
- Base : BDHF
- Esquerda : ABFE
- Direita : CDHG
- Frente : ABDC
- Trás : EFHG

(b) ENVELOPE DE UM DIAGRAMA DE BLOCO TRIDIMENSIONAL

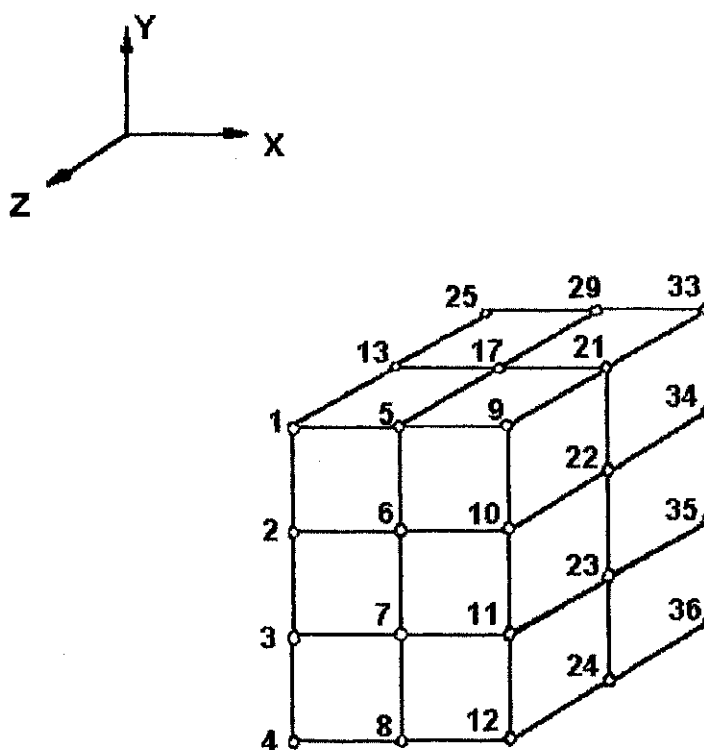
**Figura 3.23 - Convenção Para a Definição das Faces de um Bloco Diagrama Tridimensional**



**3.12.2 - CONVENÇÃO PARA NUMERAÇÃO DOS PONTOS DA GRADE DE UM BLOCO DIAGRAMA**

A Figura 3.24 mostra a convenção da numeração dos pontos da grade para o bloco diagrama tridimensional onde os pontos de grade são numerados na seguinte ordem: - do topo para a base;

- da esquerda para a direita;
- de frente para trás.

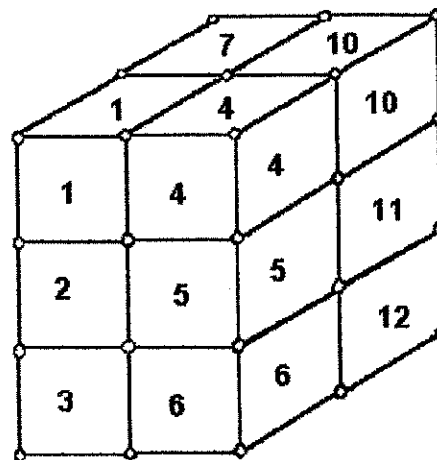
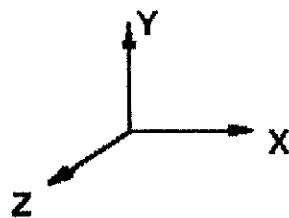


**Figura 3.24 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração dos Pontos da Grade**

**3.12.3 - CONVENÇÃO PARA NUMERAÇÃO DAS ZONAS DO BLOCO DIAGRAMA**

A Figura 3.25 mostra a convenção para a numeração das zonas de um bloco diagrama tridimensional onde as zonas são numeradas na seguinte ordem:

- do topo para a base;
- da esquerda para a direita;
- de frente para trás.



**Figura 3.25 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração das Zonas**

### 3.12.4 - CONVENÇÃO PARA A NUMERAÇÃO DAS LINHAS ZONAIS, COLUNAS E PLANOS DO BLOCO DIAGRAMA

A Figura 3.26 mostra a convenção para a numeração das linhas zonais, colunas e planos em um bloco diagrama tridimensional, onde as linhas zonais são numeradas do topo para a base, as colunas zonais são numeradas da esquerda para a direita e os planos zonais são numerados de frente para trás.

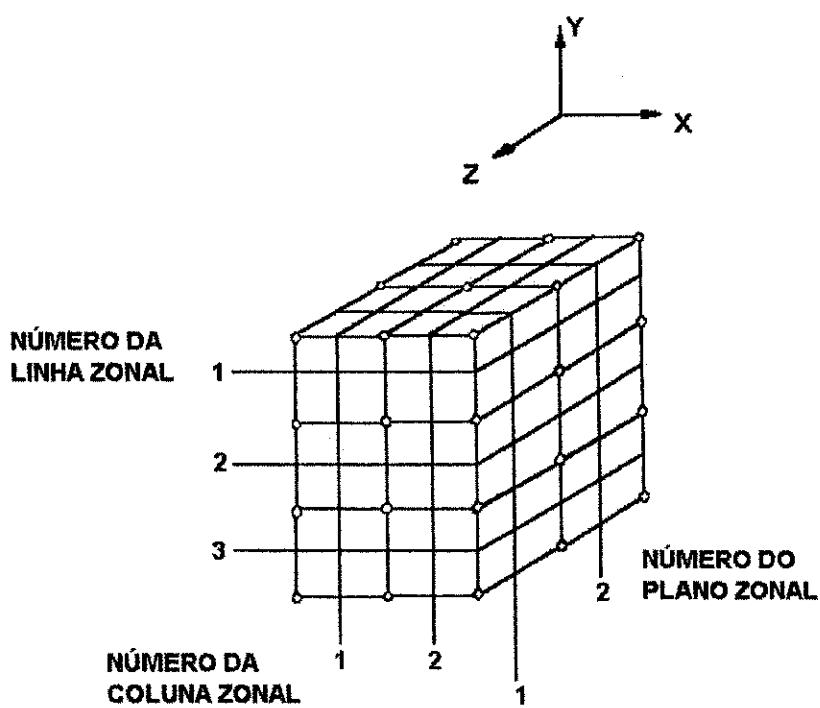
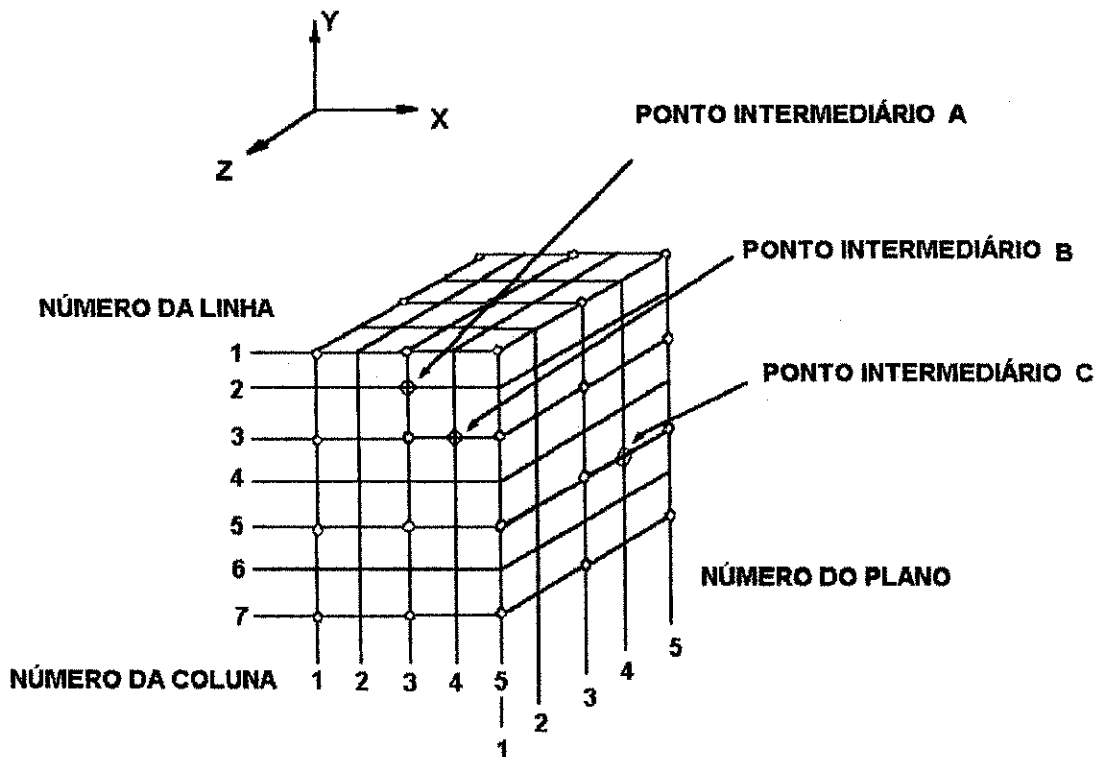


Figura 3.26 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração das Linhas Zonais, Colunas e Planos

**3.12.5 - CONVENÇÃO PARA REFERÊNCIA DOS PONTOS IMEDIATOS**

Seria necessário definir e referenciar pontos intermediários, ou pontos médios, no bloco diagrama para preparar a capacidade da geração não uniforme das linhas da malha graduadas e curvadas. Pontos intermediários são pontos que estão na linha de grade e entre dois pontos adjacentes na grade. A convenção para a referência dos pontos intermediários é mostrada na Figura 3.27.



**Figura 3.27 - Exemplo de um Diagrama de Blocos Tridimensional Mostrando a Convenção da Numeração Para a Definição dos Pontos Intermediários**

### 3.13 - GERAÇÃO DA MALHA BÁSICA USANDO O BLOCO DIAGRAMA

O bloco diagrama é transformado e mapeado dentro da forma geométrica atual da configuração estrutural pela designação das coordenadas globais aos pontos da grade do bloco diagrama (Figura 3.24, pág. 93). O sistema de coordenadas globais  $(x, y, z)$  é usado neste programa. No caso bidimensional, as coordenadas  $x$  e  $y$  são usadas, e para problemas com eixo de simetria o eixo  $y$  é o eixo de simetria. Como resultado desta transformação, uma malha inicial do elemento finito da configuração estrutural é produzida na qual os pontos da grade, zonas e linhas de grade do bloco diagrama são transformados um a um nos pontos nodais, regiões e linhas da malha respectivamente, da malha do elemento finito. O refinamento das regiões da malha de elemento finito está completo pela especificação das subdivisões em cada uma das linhas zonais, colunas e planos do bloco diagrama, Figura 3.26 (pág. 95). Durante a transformação, a subdivisão especificada de cada zona é mapeada na região correspondente da malha de elemento finito, resultando em uma subdivisão da região em elementos e a geração dos pontos nodais. Além disso, são designados números a cada zona do bloco diagrama correspondendo às propriedades do material (Figura 3.25, pág. 94) e, durante a transformação, são mapeados nos elementos da região (todos os elementos da região são assinalados com a mesma propriedade do material). Isto dá a capacidade da especificação de um material com propriedade zero que, quando transformado, resulta em uma região vazia na malha de elemento finito.

É claro que a malha de elemento finito produzida pela transformação descrita anteriormente terá, dentro da região, elementos com tamanhos uniformes e pontos nodais uniformemente espaçados ao longo de uma linha reta da malha. Em muitas circunstâncias, será desejável gerar malhas de elementos finitos com elementos de

tamanhos não-uniformes em uma região e pontos nodais também não-uniformemente espaçados ao longo de uma linha da malha. Além disso, seria útil ter pontos nodais uniforme ou não-uniformemente espaçados ao longo de uma linha curva da malha.

### 3.14 - REFINAMENTO SELETIVO

Como exposto anteriormente, seria útil gerar malhas de elementos finitos com tamanhos dos elementos não-uniformes em uma região e pontos nodais uniforme e não-uniformemente espaçados ao longo de uma reta ou curva da linha da malha. Esta capacidade é realizada pelo uso das funções de forma isoparamétricas quando da transformação das zonas do bloco diagrama. As coordenadas globais de um ponto arbitrário  $P$ , no interior de uma zona podem ser expressadas em termos das coordenadas globais dos cantos (ou dos pontos de grade) e pontos intermediários através do uso de coordenadas locais curvilineares, ou coordenadas naturais,  $\xi$ ,  $\eta$  e  $\zeta$ , cujas faixas de valores vão de -1 a +1, conforme ilustrado nas Figuras 3.28 e 3.29.

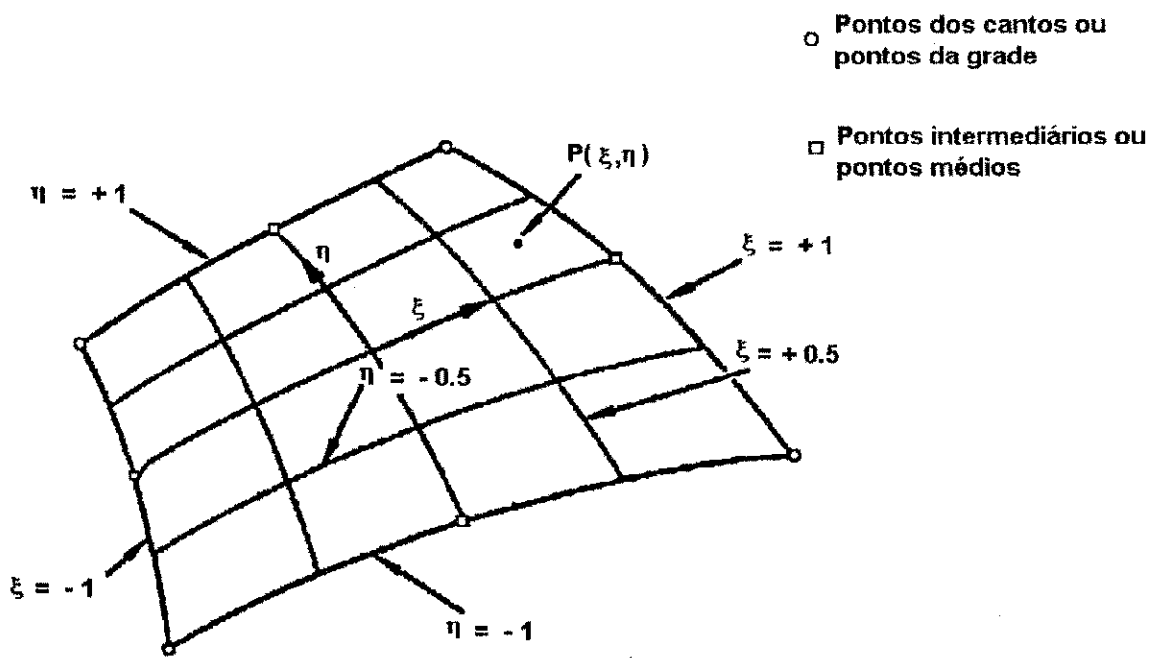


Figura 3.28 - Zona Bidimensional Cuja Forma e Coordenadas são Expressas por Funções de Forma Parabólicas.

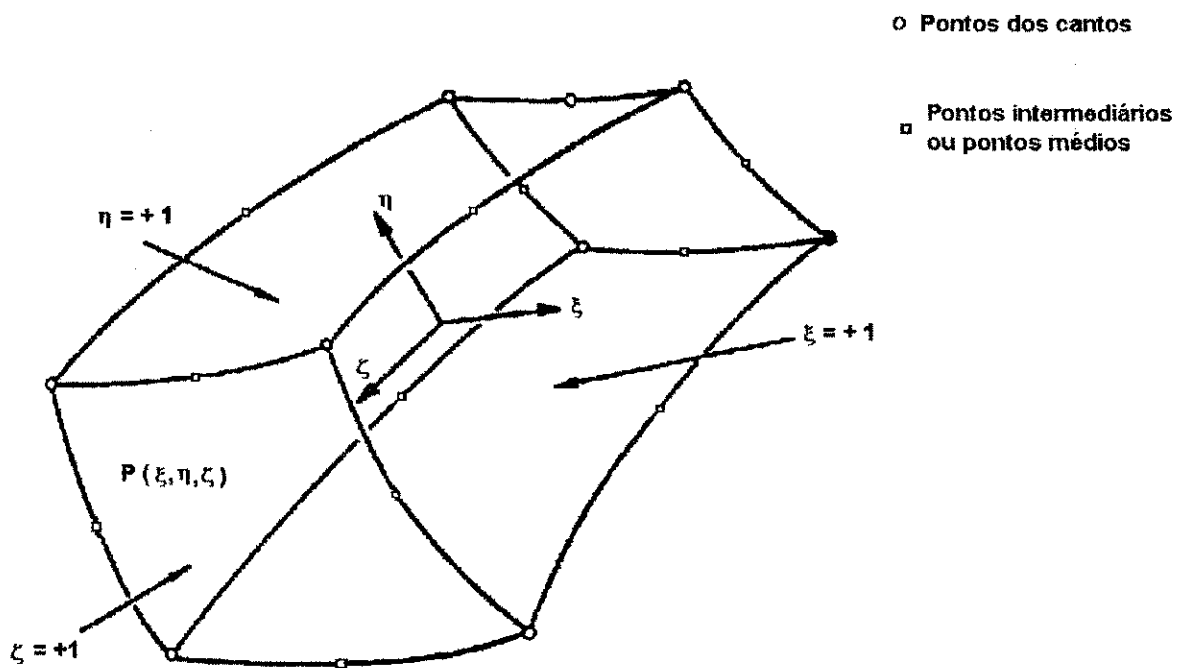


Figura 3.29 - Zona Tridimensional Cuja Forma e Coordenadas são Expressas por Funções de Forma Parabólicas.

Para o caso bidimensional  $\zeta$  assume valor +1. Após a transformação, as coordenadas globais de um ponto arbitrário P, dentro de uma zona tridimensional são dadas por:

$$x = \sum_{i=1}^{20} h_i x_i \quad 3.50$$

$$y = \sum_{i=1}^{20} h_i y_i \quad 3.51$$

$$z = \sum_{i=1}^{20} h_i z_i \quad 3.52$$

Onde os  $h_i$ 's são funções de forma isoparamétricas expressadas em termos das coordenadas curvilíneas.

Para os oito pontos dos cantos ou pontos da grade temos:

$$h_i = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta) (\xi_i \xi + \eta_i \eta + \zeta_i \zeta - 2) \quad 3.53$$

e para os 12 pontos intermediários

$$h_i = \frac{1}{4} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta) \quad \text{para pontos com } \xi_i = 0 \quad 3.54$$

$$h_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 - \eta^2) (1 + \zeta_i \zeta) \quad \text{para pontos com } \eta_i = 0 \quad 3.55$$

$$h_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 - \zeta^2) \quad \text{para pontos com } \zeta_i = 0 \quad 3.56$$



No caso bidimensional as coordenadas globais de um ponto arbitrário P em uma zona são dadas por:

$$x = \sum_{i=1}^{20} h_i x_i \quad 3.57$$

$$y = \sum_{i=1}^{20} h_i y_i \quad 3.58$$

onde para os quatro pontos dos cantos ou pontos da grade :

$$h_i = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (\xi_i \xi + \eta_i \eta - 1) \quad 3.59$$

e para os quatro pontos intermediários:

$$h_i = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) \quad \text{para pontos com } \xi_i = 0 \quad 3.60$$

$$h_i = \frac{1}{2} (1 + \xi_i \xi) (1 - \eta^2) \quad \text{para pontos com } \eta_i = 0 \quad 3.61$$

Quando o bloco diagrama é mapeado dentro da forma geométrica atual, as coordenadas globais são designadas aos pontos da grade. Se os pontos intermediários não são definidos, são presumidos com o ponto médio de uma linha reta que conecta dois pontos nodais. Entretanto, duas opções existem para a identificação dos pontos intermediários no bloco diagrama:

**OPÇÃO 1**

A primeira opção envolve o mapeamento dos pontos intermediários pela designação de suas coordenadas globais. Os pontos intermediários são identificados usando a convenção mostrada na Figura 3.27 (pág. 96), onde os pontos são referidos por seus números de linha, coluna e plano. Por exemplo, no caso tridimensional, os pontos intermediários mostrados na Figura 3.27 (pág. 96) são identificados como:

Ponto intermediário A (2, 3, 1)

Ponto intermediário B (3, 4, 1)

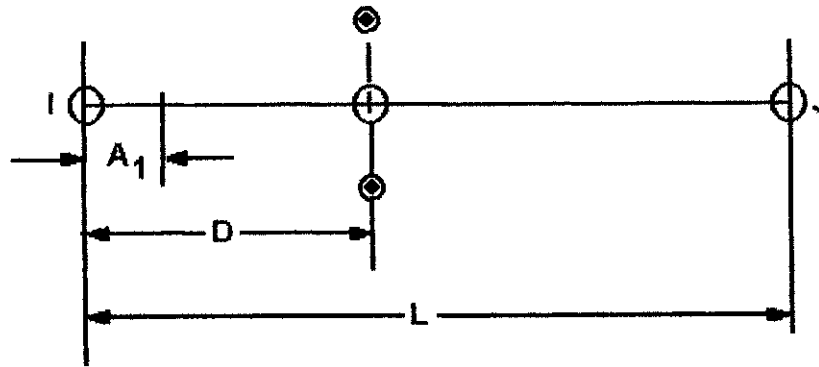
Ponto intermediário C (5, 5, 4)

No caso bidimensional, os pontos intermediários são mostrados na face frontal da Figura 3.27 (pág. 96) e são identificados como:

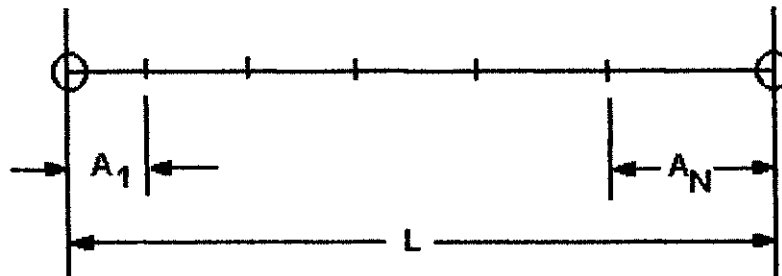
Ponto intermediário A (2, 3)

Ponto intermediário B (3, 4)

A posição designada a um ponto intermediário relativo às posições designadas a dois pontos da grade, e o número de subdivisões especificadas para a zona determinarão os tamanhos dos elementos resultantes e a graduação em uma região da malha de elemento finito. A Figura 3.30a mostra uma linha de grade que tem sido transformada dentro da linha da malha I-J.



(a) Linha da malha transformada e pontos intermediários



(b) Subdivisão de uma linha da malha transformada

**Figura 3.30 - Localização do Ponto Intermediário**

As relações para as subdivisões transformadas podem ser expressas em termos dos seguintes parâmetros:

- L = distância entre os pontos nodais I - J;
- D = distância de um dos pontos nodais (ponto I na Figura 3.30a) ao ponto intermediário;
- N = número de subdivisões entre os pontos nodais;

$A_1$  = tamanho da primeira subdivisão (a menor);

$A_N$  = tamanho da última subdivisão;

$\Delta$  = diferença no tamanho de cada subdivisão sucessiva.

Pode ser mostrado que a graduação da subdivisão segue uma progressão aritmética onde cada subdivisão sucessiva é uma constante de tamanho  $\Delta$  maior que a última.

Algumas relações adimensionais entre estas variáveis são mostradas abaixo:

$$\frac{D}{L} = \frac{N-2+N^2\left(\frac{A_1}{L}\right)}{4(N-1)} \quad 3.62$$

$$\frac{A_1}{L} = \frac{1}{N^2} \left[ 4(N-1)\left(\frac{D}{L}\right) - N + 2 \right] \quad 3.63$$

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{2 \left[ 1 - N\left(\frac{A_1}{L}\right) \right]}{N(N-1)} \quad 3.64$$

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{4}{N^2} \left[ 1 - 2\left(\frac{D}{L}\right) \right] \quad 3.65$$

$$\frac{A_N}{L} = \frac{A_1}{L} + (N-1)\frac{\Delta}{L} \quad 3.66$$

$$\frac{A_N}{L} = \frac{A_1}{L} + \frac{2}{N} \left[ 1 - N\left(\frac{A_1}{L}\right) \right] \quad 3.67$$

$$1 = \frac{N}{2} \left[ 2\left(\frac{A_1}{L}\right) + (N-1)\left(\frac{\Delta}{L}\right) \right] \quad 3.68$$

Estas relações podem ser usadas para se determinar a localização de um ponto intermediário de uma malha. A Figura 3.30b (pág. 103) mostra as subdivisões que resultam quando  $D/L = 0,4$  e  $N = 6$ . Neste caso,  $A_1/L = 1/9$ ,  $\Delta/L = 1/45$  e  $A_6/L = 2/9$ .

Pode ser visto estas relações que subdivisões uniformes ocorrem quando  $D/L = 1/2$  ( $\Delta/L = 0$ ). Deve-se ter cuidado na seleção de valores para  $D/L$  e  $N$ , uma vez que, dependendo dos valores destes parâmetros,  $A_1/L$  pode assumir valor zero ou negativo. A limitação dos valores  $D/L$  ocorre quando  $A_1/L$  se aproxima de zero da posição positiva como mostrado abaixo:

$$\frac{D}{L} \rightarrow \frac{(N-2)}{4(N-1)}, \text{ quando } \frac{A_1}{L} \rightarrow 0 \quad 3.69$$

Para valores grandes de  $N$ , a limitação de  $D/L$  da equação acima é  $1/4$ . Desse modo, para grandes valores de  $N$ ,  $D/L$  deve ser maior do que  $1/4$ .

Localizando o ponto intermediário ao longo da linha reta que une os pontos I-J, como mostra a Figura 3.30a (pág. 103), resultará na geração de pontos nodais ao longo da linha reta daquela região. Entretanto, se o ponto intermediário está fora da linha reta, Figura 3.30a (pág. 103), os pontos nodais na região serão gerados ao longo de uma curva de segundo grau (parabólica); embora, na malha final gerada, os elementos conectados a estes pontos nodais tenham lados retos.

## OPÇÃO 2

Para o caso em que os pontos nodais são para ser gerados ao longo de uma linha reta unindo os pontos nodais I e J, como ilustra a Figura 3.30b (pág. 103), o usuário tem a opção da especificação do tamanho da primeira subdivisão (devem ser  $A_1$  a menor e  $A_n$  a maior). Neste caso, o tamanho da primeira subdivisão é dada em lugar da coordenada global  $x$  do ponto intermediário e as coordenadas  $y$  e  $z$  dos pontos intermediários não são especificadas.

Essencialmente, se o segmento I-J é uma linha vertical no bloco diagrama, o final do topo é considerado I-final e o fim da base o J-final. Se o segmento I-J é uma linha horizontal no bloco diagrama, a esquerda é considerada I-final e a direita o J-final. No caso de um diagrama tridimensional, se o segmento I-J se estende na terceira direção, a mais próxima é dita como I-final e a mais distante como J-final. As Figuras 3.31a e 3.31b ilustram os casos bi e tridimensionais.

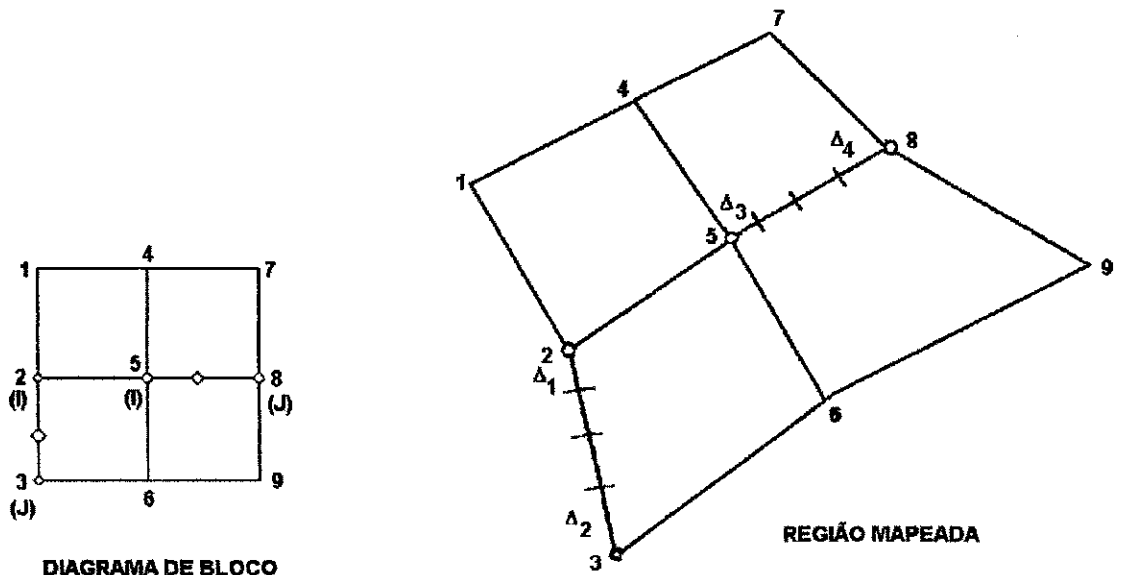
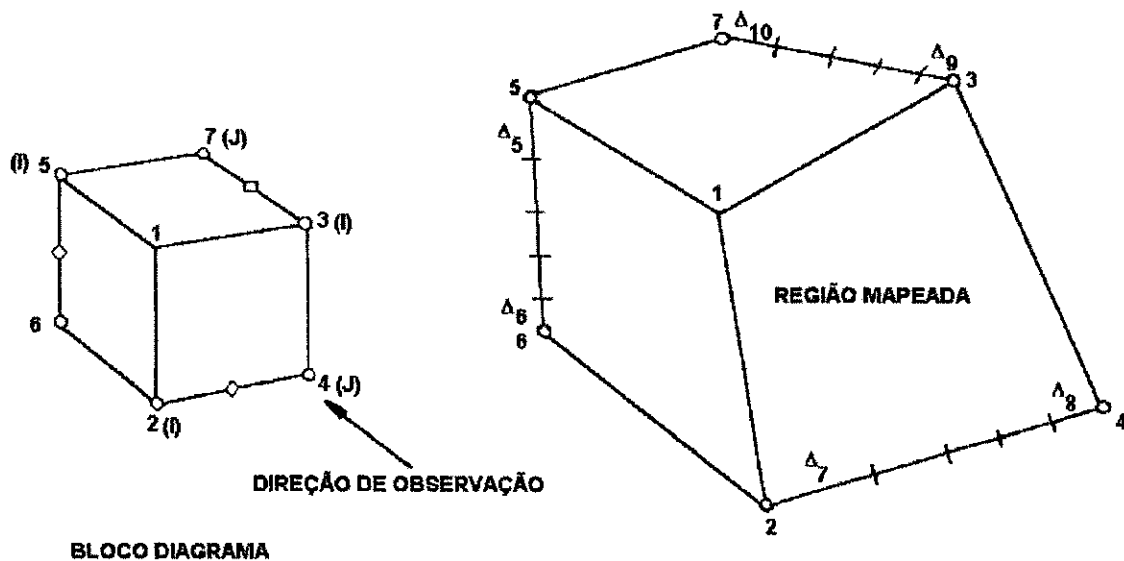


DIAGRAMA DE BLOCO

REGIÃO MAPEADA

(a) MALHA BIDIMENSIONAL



BLOCO DIAGRAMA

REGIÃO MAPEADA

(b) MALHA TRIDIMENSIONAL

Figura 3.31 - Modo Opcional de Especificação do Refinamento da Malha

### **3.15 - CAPACIDADES ADICIONAIS DA GERAÇÃO DE MALHA USANDO O BLOCO DIAGRAMA**

O gerador automático de malha dispõe das seguintes feições adicionais:

- geração das condições de fronteira;
  
- geração dos coeficientes de carga.

#### **3.15.1 - CONDIÇÕES DAS SUPERFÍCIES CONTROLADAS**

Usando o bloco diagrama é possível especificar as condições dos tipos de deslocamento bem como de tração. Isto é finalizado pela definição da localização da superfície a ser controlada, o tipo de controle a ser aplicado àquela superfície e, vários outros fatores necessários para identificar a natureza exata do controle. Supõe-se que cada controle especificado aplica-se a uma região retangular do diagrama tridimensional ou a uma região linear do diagrama bidimensional. Se a região é outra além da retangular, deve ser subdividida em sub-regiões retangulares cada uma necessitando de suas próprias condições de controle. Se a região termina em qualquer outro lugar além de uma zona de junção existente no diagrama, este deve ser redesenhado para assegurar que esta condição será satisfeita.

Tendo limitado a superfície controlada da fronteira ocupando regiões retangulares e confinada por uma zona pré-existente de junções do bloco diagrama, como ilustrado na Figura 3.32 (pág 109), cada superfície é unicamente determinada através da

especificação de três pontos da grade do bloco diagrama, indicando três dos quatro cantos da região.

Nos casos bidimensionais, apenas dois pontos da grade são requeridos para especificar os finais dos segmentos da superfície controlada.

Assim, dos quatro pontos da grade rotulados como A, B, C e D , Figura 3.32 (pág. 109), três deles são suficientes para identificar o topo da superfície do bloco diagrama como uma superfície de condições controladas.

Similarmente, dos quatro nós E, F, G e H, três deles podem definir a outra superfície controlada, mostrada na Figura 3.32 (pág. 109).

Uma exceção ocorre se três dos quatro nós mapeados estiverem em uma linha reta no final do módulo do elemento finito. Em tal caso, o nó remanescente deve ser um dos três escolhidos para identificar a superfície.



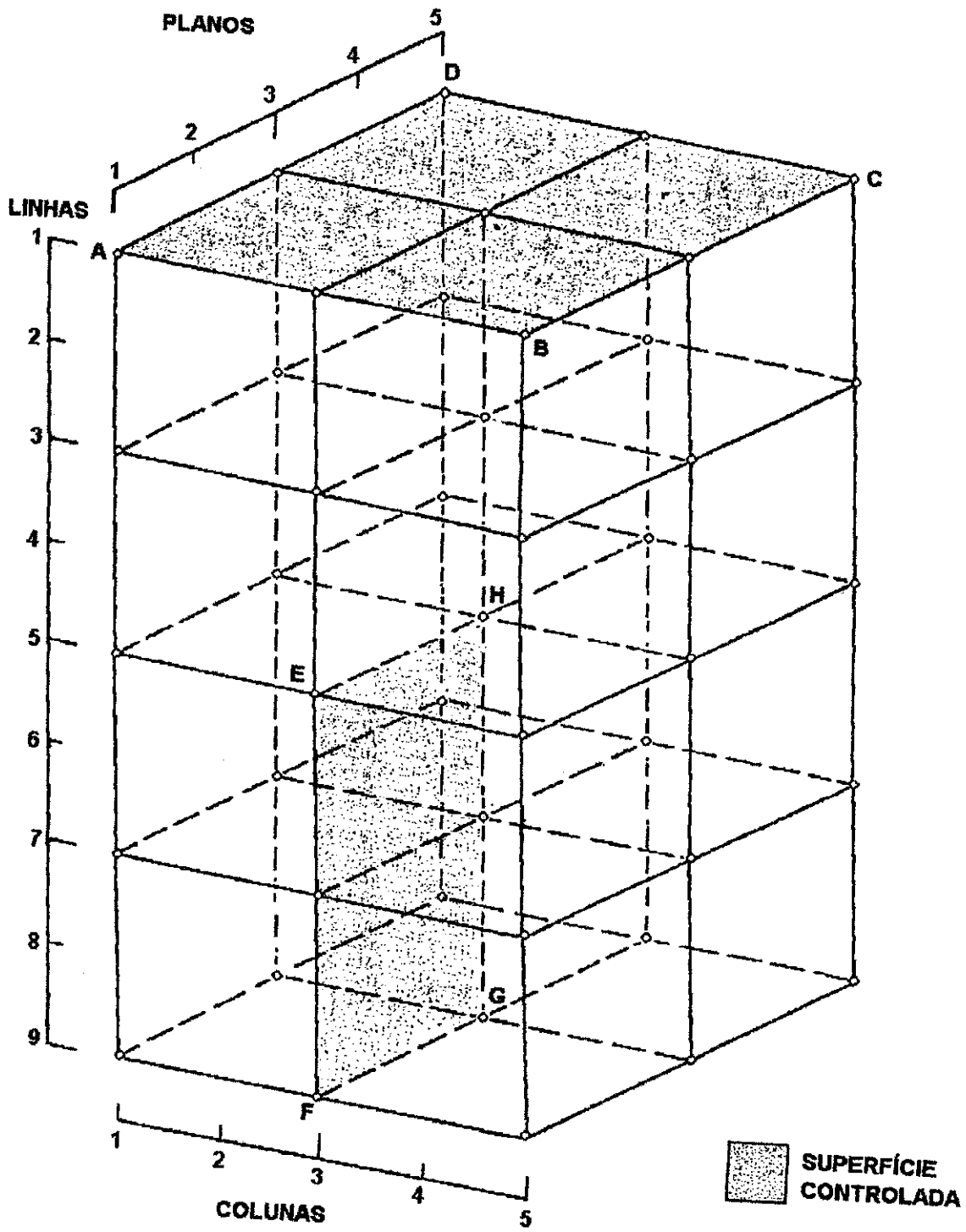


Figura 3.32 - Especificação da Superfície de Condições Controladas Usando a Convenção Para a Numeração dos Pontos de Grade da Figura 3.27 (pág. 96).

### 3.15.2 - GERAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

Cada nó tem, associado a si, seis graus de liberdade. Os três primeiros correspondem às componentes translacionais nas direções globais x, y e z, respectivamente, enquanto que os outros três correspondem respectivamente às rotações sobre os eixos x, y e z. Cada nó da grade, automaticamente gerada, é então inicializado com uma condição *default* na qual todas as rotações são impedidas e todas as translações são livres. No caso de uma grade bidimensional, as translações na direção z também são impedidas. No caso do programa definir esta direção, um produto é tomado entre dois vetores definidos pelos três cantos dos nós do segmento controlado da fronteira. O vetor resultante é normal à superfície da malha do elemento finito final. Se este vetor estiver alinhado em uma direção global, o parâmetro da direção da fronteira assume valores correspondentes às direções 1 para x, 2 para y e 3 para z. A direção global da normal é considerada a direção global da maior componente da normal; e considera-se o vetor em alinhamento com a direção global do raio da segunda maior componente.

### 3.15.3 - COEFICIENTES DE CARGA

Superfícies sobre as quais os campos de tensão são atuantes devem ser modeladas de um modo discretizado. Isto é, necessariamente, feito em forma de uma série de forças concentradas localizadas nos nós da superfície. Supor que o campo de tensões matém a mesma distribuição sobre a superfície durante toda a duração do cálculo. A equação do campo de tensão pode ser escrita como um produto da função de distribuição e da magnitude

$$\sigma_{ij}(\vec{u}, t) = \bar{\sigma}_{ij}(\vec{x})Q(t)$$

A magnitude de um dado membro de uma série de forças concentradas deve ser determinado de tal forma a incorporar a junção da distribuição,  $\bar{\sigma}_{ij}(\vec{x})$ , a magnitude,  $Q(t)$  e a área de influência de um dado nó.

Um parâmetro de direção é usado para indicar a direção do carregamento na superfície carregada. A convenção de sinal usada na descrição aplicada à tração da superfície é a mesma usada na descrição dos campos de tensão interiores em ambas as seções de cálculo e saída de dados do programa. Assumindo que campo de tensão está atuando em uma superfície de uma dada orientação, a componente da tensão  $\sigma_{ij}$  é positiva se:

1 - a combinação para a  $i$ -ésima componente do vetor de tração originando diretamente da componente  $\sigma_{ij}$  do tensor da tensão atua na direção positiva  $i$ , enquanto a  $j$ -ésima componente da normal externa à superfície atua na direção positiva  $J$ ; ou

2 - anular as componente da tração e componente normal atuam nas direções das coordenadas negativas. De outra forma, a componente da tensão é negativa. A orientação da superfície sobre a qual o campo de tensões definido está atuando é computado das coordenadas do bloco diagrama. Contudo, informações adicionais são necessárias para determinar se a normal à superfície é interna ou externa. Esta informação é dada pelo parâmetro da direção do carregamento que indica a direção da normal externa à superfície tensionada no sistema de coordenadas do bloco diagrama. No sistema de coordenadas mostrado na Figura 3.32 (pág. 109), a direção positiva 1 está na direção crescente do índice da coluna, e a direção positiva 2 corresponde ao índice decrescente da linha, e a direção positiva 3 corresponde ao índice decrescente do plano.

A expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sobre a superfície carregada é linear e da forma:

$$\bar{\sigma}_{ij}(\vec{x}) = C(1) + C(2) * x + C(3) * y + C(4) * z$$

Onde C(1), C(2), C(3) e C(4) são os parâmetros dos coeficientes de carga definidos pelo usuário e x, y e z são as coordenadas globais dos pontos da superfície carregada.

O coeficiente de carga  $f_{ijr}$ , é um fator usado na conversão do campo de tensão distribuída em um sistema discreto de forças concentradas. O índice i identifica a direção da componente da força concentrada, r identifica o nó e j é um índice sumário. A força concentrada no nó para um certo nível de carga é:

$$F_{ir} = \sum_{j=1}^3 f_{ijr} Q_j(t) \quad 3.72$$

Onde Q(t) é a magnitude para a componente da tensão aplicada  $\sigma_{ij}$ . O coeficiente de carga deve levar em consideração a distribuição das tensões sobre a superfície carregada e a porção da área da superfície que contribui para o nó r.

### 3.16 - GERAÇÃO MANUAL DE MALHA

A geração manual de malha é uma opção disponível ao usuário para gerar malhas inteiras ou qualquer porção da malha pela inserção das informações diretamente para cada nó individual ou elementos, ou grupos de nós ou elementos automaticamente gerados, se aplicável.

A opção de geração de malha \*GENE habilita o usuário a executar qualquer uma ou todas as tarefas abaixo:

- a) geração de todos os tipos de elementos disponíveis, incluindo aqueles que não podem ser gerados a partir do bloco diagrama, tal como elemento nó, barras, vigas, elementos de juntas e de escoamento;

b) introdução de elementos isolados e/ou a geração de grupos de elementos. Quando um grupo de elementos divide o mesmo número de material, e os números nodais em seus elementos têm um incremento constante de elemento a elemento, esta opção pode ser convenientemente usada para gerar os dados do elemento para todo o grupo pela especificação do número de elementos a serem gerados, e definindo os dados do elemento para o primeiro elemento e o incremento constante do ponto nodal;

c) introdução de pontos nodais isolados e/ou a geração de grupos de pontos nodais. Quando um grupo de pontos nodais tem um incremento uniforme nos números dos pontos nodais está localizado em um intervalo constante em uma linha reta e, os nós dividem as mesmas condições de fronteira e coeficientes de carga, então esta opção pode ser usada para gerar os dados do ponto nodal para o início e o final dos pontos. As coordenadas para todos os nós gerados entre estes pontos finais são determinadas usando a interpolação linear;

d) mudando os dados do ponto nodal se um ponto ou pontos nodais pré-existente. Isto inclui as coordenadas do ponto nodal bem como aqueles outros dados do ponto nodal mencionado no item c anteriormente citado.

### **3.17 - CONSTRUÇÃO DA MALHA CUMULATIVA**

#### **3.17.1 - DESCRIÇÃO GERAL**

O bloco diagrama e o modo manual de geração oferecem dois métodos alternativos de geração de qualquer porção da malha. Ambas as opções podem ser usadas para cada nova porção da malha a ser gerada, sem considerar qual opção foi usada para a porção

previamente gerada, e cada porção pode ser introduzida tantas vezes quantas sejam necessárias para construir a malha desejada. Ambas as opções podem iniciar a construção da malha e para muitas porções da malha, ambas as opções podem trabalhar. Há algumas situações na construção de uma malha para a qual a opção de bloco diagrama não é adequada; tais como a geração automática da variável elemento nodal, barras, vigas ou elementos de juntas. Todas as opções de geração de malha acima comentadas podem ser realizadas pela opção de geração manual. Contudo, é necessária uma grande quantidade de dados de entrada, muito mais que pelo bloco diagrama, para gerar a mesma porção de uma malha.

Algumas vantagens são encontradas pela utilização da geração de porção da malha ao invés da malha inteira. Primeiro: se a malha consiste de várias porções, cada uma relativamente complexa, uma atenção isolada em cada uma destas porções evita a possibilidade de suas complexidades se misturarem umas com as outras. Para o usuário é mais fácil visualizar uma porção complexa de uma malha por si só do que como parte de uma grande malha. Uma segunda vantagem é que a presença de uns poucos aspectos da malha que não pode ser gerada usando o bloco diagrama não impede o uso do bloco diagrama para maiores porções do restante da malha. Ademais, se as vantagens acima não parecem particularmente atrativas para uma dada aplicação, é possível gerar uma malha inteira usando ambos os modos de geração da malha.

### 3.17.2 - RENUMERAÇÃO MANUAL

Uma vez que o usuário tenha finalizado a especificação das várias porções da malha, a opção \*LINK é iniciada e, por meio dela, as porções da malha são unidas e são criados arquivos para o controle da execução do cálculo. Entretanto, para obter um comprimento de banda mais adequado ou eficiente, a malha final precisa ser renumerada. O usuário pode especificar a renumeração manualmente ou pode especificar o número de segundos que estão para ser deixados para a minimização automática.

Se a renumeração manual é especificada, o usuário entra com cada novo número do ponto nodal na ordem que corresponde aquele do antigo número do ponto nodal. Por exemplo, se o antigo ponto nodal 1 for renumerado como um novo ponto nodal 5, então o número 5 deve ser entrado inicialmente.

## CAPÍTULO 4

### MODIFICAÇÕES INTRODUZIDAS NO PROGRAMA BMINES

#### 4.1 - DESCRIÇÃO GERAL

Este capítulo descreve as alterações, complementações e aperfeiçoamentos realizados no programa-fonte BMINES, com o objetivo de permitir seu pleno funcionamento em microcomputadores e em plataformas diferentes daquela para o qual foi inicialmente projetado, procurando melhorar seu desempenho, através da otimização de seu código, sem alterar a lógica de programação, mantendo a consistência dos dados processados e, conseqüentemente, aumentando as chances de uma maior portabilidade, na atual versão e, em versões futuras.

Os principais problemas encontrados se referiam aos controles do fluxo de entrada e saída de dados, transferência de dados entre variáveis, gerenciamento dos espaços de memória RAM necessários à manipulação dos vetores e das matrizes, alocação dinâmica de variáveis e, finalmente, problemas com a sintaxe de vários comandos. Todas as alterações e correções foram feitas utilizando a sintaxe do FORTRAN padrão, uma vez que todos os compiladores FORTRAN existentes no mercado aceitam a versão padrão da linguagem.

O compilador utilizado para a obtenção da versão modificada foi o Microsoft FORTRAN Power Station, versão 1.0 de 1993. Algumas funções intrínsecas e comandos, exclusivos do compilador FORTRAN - CDC, que gerou a versão original, existentes no programa-fonte da versão não modificada, não estão disponíveis nas bibliotecas do compilador FORTRAN Power Station e tiveram, por isso, que ser eliminados.



O programa BMINES original possui 22.698 linhas de código, divididas entre 271 sub-rotinas e 08 funções. Com o objetivo de facilitar o processo de compilação, o programa-fonte foi dividido em nove arquivos, assim denominados: BMIN0.FOR, BMIN1.FOR, BMIN2.FOR, BMIN3.FOR, BMIN4.FOR, BMIN5.FOR, BMIN6.FOR, BMIN7.FOR e BMIN8.FOR. Este fracionamento facilitou bastante a identificação das distorções e as alterações necessárias para a obtenção da versão modificada, perfeitamente compatíveis com os objetivos definidos no início da pesquisa. A Tabela 4.1 apresenta um resumo descritivo dos arquivos do programa BMINES fracionado.

TABELA 4.1

## Descrição do Conteúdo dos Arquivos do Programa BMINES

ARQUIVO	DESCRIÇÃO
BMIN0.FOR	Define os nomes e os parâmetros dos arquivos temporários utilizados pelo BMINES
BMIN1.FOR	Rotinas dependentes de <i>hardware</i> e programa principal
BMIN2.FOR	Rotinas comuns a todos os segmentos
BMIN3.FOR	Pré-processador - entrada e geração de dados
BMIN4.FOR	Biblioteca de elementos
BMIN5.FOR	Processador - solução
BMIN6.FOR	Biblioteca de elementos de concreto armado
BMIN7.FOR	Biblioteca de elementos de juntas (falhas)
BMIN8.FOR	Pós-processador - saída dos resultados
BMIN9.FOR <sup>1</sup>	Rotinas do <i>plotter</i>

A Tabela 4.2 apresenta um resumo de algumas características do programa BMINES.

<sup>1</sup> Arquivo disponível apenas na versão original. Na versão modificada foi substituído pelo programa MALHA\_2.

**TABELA 4.2**  
**Características do Código do Programa BMINES**  
**(Versões Original e Modificada)**

NOME DO PROGRAMA	TAMANHO CÔD. ORIG. (KB)	TAM. CÔD. VER. MOD. (KB)	Nº DE LINHAS DE CÓDIGO <sup>2</sup>	Nº DE SUBROTINAS <sup>3</sup>	Nº DE ROTINAS FUNCTION <sup>4</sup>
BMIN0.FOR	-	3.708	50	01	-
BMIN1.FOR	100.779	40.649	1.347	18	01
BMIN2.FOR	59.615	54.002	739	18	02
BMIN3.FOR	535.461	494.818	6.772	86	05
BMIN4.FOR	160.147	146.423	2.005	20	-
BMIN5.FOR	360.637	326.928	4.434	48	01
BMIN6.FOR	66.831	60.324	818	16	-
BMIN7.FOR	97.089	45.418	1.266	14	-
BMIN8.FOR	511.121	462.762	6.267	49	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.891.680</b>	<b>1.635.032</b>	<b>22.698</b>	<b>272</b>	<b>08</b>

O arquivo BMIN0.FOR não faz parte do programa-fonte original, tendo sido desenvolvido de modo que a nova versão pudesse funcionar. Trata-se de um arquivo que contém as definições para depurar os nomes e os atributos dos arquivos criados durante a execução do programa. Dessa forma, são definidas 22 unidades lógicas de manipulação de dados e arquivos, preservando-se as funções específicas clássicas das unidades 5 (unidade de leitura de dados) e 6 (unidade de saída de dados). As demais unidades criadas: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 são unidades lógicas de manipulação de arquivos de entrada e saída de dados (READ e WRITE sequencial sem formatação e apenas a unidade 10 com formatação). Uma listagem completa do arquivo BMIN0.FOR é mostrado na Figura 4.1.

<sup>2</sup> Dados se referem ao programa da versão modificada.

<sup>3</sup> Dados se referem ao programa da versão modificada.

<sup>4</sup> Dados se referem ao programa da versão modificada.

```

C$DEBUG
C=====
C          ===== BMINES =====
C===== SUBROUTINES FOR DEFINING NAMES AND STATUS OF PROGRAM BMINES FILES.
C===== SHOULD BE USED IN MICRO-COMPUTER IMPLEMENTATIONS
C
C===== UP TO 15 FILES CAN BE OPENED SIMULTANEOUSLY, INCLUDING UNITS
C      5 (CONSOLE) AND 6 (CRT TERMINAL/PRINTER)
C=====
      SUBROUTINE OPEN1
      CHARACTER*12 INPUT,OUTPUT,CHECK
      COMMON /IWD/ IWCD,IWPRT,IWPUNC,IWBSZ,IWLPPG,IWCAT,IWCBM,IWCOUT,
      2          IWSNGL,IWLMST,IWDEOF,IWBLNK,IWSRUN,NSTP,NRSTRT,TIMER
C=====
      10  WRITE(*, 2000)
2000  FORMAT(' DIGITE NOME DO ARQUIVO DE DADOS DE ENTRADA ===> ')
      READ (IWCD,1000) INPUT
      WRITE(*, 2020)
2020  FORMAT( ' DIGITE NOME DO ARQUIVO DE SAIDA DOS RESULTADOS ===> ')
      READ (IWCD,1000) OUTPUT
1000  FORMAT( A12 )
      OPEN ( IWCD,file=INPUT, STATUS='OLD')
      OPEN ( IWPRT,file=OUTPUT, STATUS='unknown')
      OPEN ( 1, file='TEMP1',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN ( 2, file='TEMP2',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN ( 3, file='TEMP3',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN ( 4, file='TEMP4',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN ( 7, file='TEMP7',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN ( 9, file='TEMP9',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (10, file='TEMP10',STATUS='unknown')
      OPEN (11, file='TEMP11',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (12, file='TEMP12',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (13, file='TEMP13',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (14, file='TEMP14',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (15, file='TEMP15',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (16, file='TEMP16',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (17, file='TEMP17',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (18, file='TEMP18',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (19, file='TEMP19',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (20, file='TEMP20',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (21, file='TEMP21',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      OPEN (22, file='TEMP22',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
      RETURN
      END

```

**Figura 4.1 - Listagem do Programa-Fonte BMIN0.FOR**

## 4.2 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN1.FOR

No início do programa foram eliminados os comandos do *job* necessários para por em funcionamento a opção de *overlay* dos arquivos do programa BMINES original. Isto se fazia necessário para que o programa pudesse funcionar no ambiente CDC. Foram eliminados também as definições dos arquivos de fita magnética, uma vez que passamos a trabalhar com arquivos de disco rígido e flexível. Abaixo estão listadas as linhas removidas:

```

CCC
C $DEBUG
CCC
C===   VERSAO DE JUNHO DE 1994 A .....
CROOT  TREE BMINES- (SETIW, MESH, CALC, OUTP, SETMOD, DUMP)
CMESH  TREE ATOMSH- (RESTRT, RD1, NPDATA, REFEL, PT3, WTA, RDA3, NMSH, NPD1,
C, FLM, RDMD, ELTAPE)
CCALC  TREE BMCALC- (ALLOC, REREAD, KCALL, BACKUP, BMSTRT)
CKCALL TREE KFORM- (MATL, JNTELM)
CMATL  TREE CONECT- (ELPL, ELFUNN)
COUTP  TREE BMOUTP- (OPTNS, PRTLC, DPT3, CONT, SLINK, OUTPRO, DATPL,
C, DODEF, QCPLT)
C      GLOBAL IWD, IUNITS, ITNRY, IGEOM, ATPLOT, DP, ELTYPE, GRPH12, NPAGE
C      GLOBAL PLTBUF, PSCL, OUTBLK, PLTBK, CONPLT
CATOMSH GLOBAL EKCMN, ATADDR, ATARGS, SSS, XYZFUN
CBMCALC GLOBAL BMCMN, IADR, BMMISC, DYNAMC, ELPTRS, CUT, ELPLS, CORECT, CONC
CBMOUTP GLOBAL LIMS, OUTCON, TAPIN, DSPDAT, STATWD, PAGE, TIMCOM
C      END
C      PROGRAM BMINES (INPUT, OUTPUT, TAPE5=INPUT, TAPE6=OUTPUT, TAPE1,
C      2              TAPE2, TAPE3, TAPE4, TAPE7, TAPE8, TAPE9, TAPE10,
C      3              TAPE11, TAPE12, TAPE13, TAPE14, TAPE15, TAPE16,
C      4              TAPE17, TAPE18, TAPE19, TAPE20)

```

### 4.2.1 - PROGRAM BMINES

- Linha 174 transformada em comentário, inserção da linha 175.

```

C      CALL EXIT
C      STOP

```

&lt; 174 &gt;

&lt; 175 &gt;

**4.2.2 - SUBROUTINE AJTRAN**

- Linha 190 inserida.

```
C CDC I /O VERSION < 190 >
```

- Linhas 261 e 262 transformadas em comentário, inserção linha 263.

```
C BUFFERIN (LUN, 1) ( IDUM, IDUM) < 261 >
C IF (UNIT (LUN)) 64, 64, 64 < 262 >
  READ (LUN) IDUM < 263 >
```

- Linhas 270 e 271 transformadas em comentário, inserção linha 272.

```
C BUFFERIN (LUN , 1) (IDUM, IDUM) < 270 >
C IF (UNIT (LUN)) 71, 72, 71 < 271 >
  71 READ (LUN, END=72) IDUM < 272 >
```

**4.2.3 - SUBROUTINE LOGX**

- Linha 854 transformada em comentário, inserção das linhas 855 e 856.

```
C DO 15 I = 1, NCYCLY < 854 >
  I = 1 < 855 >
  11 CONTINUE < 856 >
```

- Linha 867 transformada em comentário, inserção das linhas 868 e 869.

```
C 15 CONTINUE < 867 >
  I = I + 1 < 868 >
  IF (I .LE. NCYCLY) GO TO 11 < 869 >
```

- Linha 883 transformada em comentário, inserção das linhas 884 e 885.

```
C DO 45 I = NCYCLY < 883 >
  I = 1 < 884 >
  41 CONTINUE < 885 >
```

- Linha 891 transformada em comentário, inserção das linhas 892 e 893.

```
C 45 CONTINUE < 891 >
  I = I + 1 < 892 >
  IF ( I .LE. NCYCLY ) GO TO 41 < 893 >
```



C		< 1092 >
	WRITE(6,2020) CH_LABEL	< 1093 >
	2020 FORMAT(' ... PACUR ... NORMAL TITLE =',15A4)	< 1094 >
C		< 1095 >
	GO TO 900	< 1096 >
C	PACK TITLE WITH INTEGER AFTER 2 HOLL. WORDS	< 1097 >
	100 CONTINUE	< 1098 >
C		< 1099 >
	WRITE(6,2040) ID1, ID2, LA1, LA2	< 1100 >
	2040 FORMAT(' ... PACUR ... ID1, ID2, LA1, LA2=',2I12,4A4)	< 1101 >
C		< 1102 >
	WRITE(CH_LABEL,1010, ERR=8000) LA1,INT,LA2	< 1103 >
	LABEL = CH_LABEL	< 1104 >
	NUM=4*ID1+5+4*ID2	< 1105 >
C		< 1106 >
	8000 WRITE(6,2060) CH_LABEL	< 1107 >
	2060 FORMAT(' ... PACUR ... LABEL WITH INTEGER=',15A4)	< 1108 >
C		< 1109 >
	900 IDIM=(NUM-1)/LEN+1	< 1110 >
	RETURN	< 1111 >
	1000 FORMAT(9A4)	< 1112 >
	1010 FORMAT(2A4,I5,2A4)	< 1113 >
	END	< 1114 >

#### 4.2.6 - SUBROUTINE SETIW

- Linhas 1256 e 1257 transformadas em comentário, inserção linha 1258.

C	IWBLSZ = 50	< 1256 >
C	IWBLSZ = 200	< 1257 >
	IWBLSZ = 250	< 1258 >

- Linha 1260 transformada em comentário, inserção linha 1261.

C	IWLPPG = 50	< 1263 >
	IWLPPG = 200	< 1261 >

- Linha 1263 transformada em comentário, inserção linha 1264.

C	IWCAT = 10000	< 1263 >
	IWCAT = 20000	< 1264 >





**4.3 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN2.FOR.****4.3.1 - SUBROUTINE ERRPRO**

- Linha 363 transformada em comentário, inserção da linha 364.

```
C      CALL EXIT      < 363 >
      STOP            < 364 >
```

**4.4 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN3.FOR.****4.4.1 - SUBROUTINE ATOMSH**

- Linha 86 transformada em comentário, inserção da linha 87.

```
C      COMMON / EKCMN / E (10000)      < 86 >
      COMMON / EKCMN / E (20000)      < 87 >
```

- Linha 388 transformada em comentário, inserção da linha 389.

```
C      CALL EXIT      < 388 >
      STOP            < 389 >
```

**4.4.2 - SUBROUTINE APLT3D**

- Linha 425 transformada em comentário, inserção linha 427.

```
C DIMENSION XYZ (3,NBSIZ,1),NBL(1),NXN(1),IX(IIXL,NBSIZ),LEB(NBSIZ)      < 425 >
C                                                                           < 426 >
      DIMENSION XYZ (3,NBSIZ),NBL(1),NXN(1),IX(IIXL,NBSIZ),LEB(NBSIZ)      < 427 >
```

**4.4.3 - SUBROUTINE ATOMPT**

- Linha 597 transformada em comentário, inserção da linha 598.

```
C      CALL EXIT      < 597 >
      STOP            < 598 >
```

**4.4.4 - SUBROUTINE ATRNS3**

- Linha 664 transformada em comentário, inserção da linha 665.

```
C      IF(IPLSKP .NE. 0 ) READ (LUNNP) ((IDUM, I=1,7),J=1,NBLSZ)      < 664 >
      IF(IPLSKP .NE. 0)  READ (LUNNP)      < 665 >
```

**4.4.5 - SUBROUTINE AUTOBC**

- Linha 892 transformada em comentário, inserção das linhas 893 e 894.

```

C      A = ABS (V3(I))                                < 892 >
      A = 2.0*ERR                                      < 893 >
      IF (TEST .NE. 0.0) A = ABS(V3(I)) / TEST      < 894 >

```

**4.4.6 - SUBROUTINE BLDID**

- Linha 1112 transformada em comentário, inserção da linha 1113.

```

C      READ ( IDRUM ) KODE, (IDUM, J=1,NBLSZ)         < 1112 >
      READ ( IDRUM ) KODE                             < 1113 >

```

- Linha 1149 transformada em comentário, inserção linha 1150.

```

C      CALL EXIT                                     < 1149 >
      STOP                                           < 1150 >

```

**4.4.7 - SUBROUTINE CMBNOD**

- Linhas 1406 e 1407 transformadas em comentário, inserção da linha 1408.

```

C      NOFIR = NOFIR + NREDD                          < 1406 >
C 139 CONTINUE                                       < 1407 >
139 NOFIR = NOFIR + NREDD                            < 1408 >

```

**4.4.8 - SUBROUTINE ELDATA**

- Linha 1805 transformada em comentário, inserção da linha 1806.

```

C      2MB (1) , NTYPE(30)                            < 1805 >
      2MB (NBLSZ) , NTYPE (30)                        < 1806 >

```

**4.4.9 - SUBROUTINE ELTAPE**

- Linha 1923 substituída por:

```

COMMON / EKCMN / E(20000)                            < 1923 >

```

**4.4.10 - SUBROUTINE FLM**

- Linha 2106 substituída por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000) < 2106 >
```

- Linhas 2207 e 2208 transformadas em comentário, inserção das linhas 2208, 2209, 2210 e 2211..

```
C 775 WRITE (IWPRT, 776 ) < 2207 >
C 776 FORMAT (33HNOT ENOUGH CORE FOR FORMLM/RENEL) < 2208 >
  775 WRITE (IWPRT, 776) < 2209 >
  776 FORMAT (33HNOT ENOUGH CORE FOR FORMLM/RENEL, < 2210 >
+ /,'DISPONÍVEL =', I7, ; NECESSÁRIO=', I7) < 2211 >
```

- Linha 2215 transformada em comentário, inserção da linha 2216.

```
C 90 CALL EXIT < 2215 >
  90 STOP < 2216 >
```

**4.4.11 - SUBROUTINE FORMLM**

- Linha 2242 transformada em comentário, inserção das linhas 2245 e 2246.

```
C READ (KDRUM ) IX, ITYPE, MAT, TH < 2242 >
  READ (KDRUM, END=4567) IX, ITYPE, MAT, TH < 2245 >
  4567 CONTINUE < 2246 >
```

**4.4.12 - SUBROUTINE GENEL**

- Linha 2270 transformada em comentário, inserção da linha 2271.

```
C DIMENSION MB(1), NESLIP (7,1), SLPTHK (1) < 2270 >
  DIMENSION MB(NBLSIZ), NESLIP (7,1), SLPTHK (1) < 2271 >
```

- Linha 2313 transformada em comentário, inserção das linhas 2314 e 2315.

```
C READ (IWCD, 670) (NESLIP(I,J), I=1,7), SLPTHK(J) < 2313 >
  IF (IWCD.NE.LUN3) READ(IWCD,670) (NESLIP(I,J), I=1,7), SLPTHK(J) < 2314 >
  IF (IWCD.EQ.LUN3) READ(IWCD) (NESLIP(I,J), I=1,7), SLPTHK(J) < 2315 >
```

- Linha 2352 transformada em comentário, inserção das linhas 2353 e 2354.

```
C      READ(IWCD, 610) IMN, MATNO, NST, NRB, NINT, IKFL, TH      < 2352 >
      IF(IWCD.NE.LUN3) READ(IWCD, 610) IMN, MATNO, NST, NRB, NINT, IKFL, TH      < 2352 >
      IF(IWCD.EQ.LUN3) READ(IWCD) IMN, MATNO, NST, NRB, NINT, IKFL, TH      < 2352 >
```

- Linha 2376 transformada em comentário, inserção das linhas 2377, 2378, 2379 e 2380.

```
C      READ (IWCD, 640) NGEN, ITYPE(IR), IXDLTA, (IX(I, IR), I=IIXLRD)      < 2376 >
      IF (IWCD.NE.LUN3) READ(IWCD, 640) NGEN, ITYPE(IR), IXDLTA,      < 2377 >
      + (IX(I, IR), I=IIXLRD)      < 2378 >
      IF (IWCD.EQ.LUN3) READ(IWCD) NGEN, ITYPE(IR), IXDLTA,      < 2379 >
      + (IX(I, IR), I=IIXLRD)      < 2380 >
```

- Inserção das linhas 2425 e 2426.

```
      WRITE ( 6, 7834) NBLSZ, IXLS      < 2425 >
      7834 FORMAT ('... GENEL ... NBLSZ, IXLS =', 2I5)      < 2426 >
```

- Linha 2467 transformada em comentário, inserção das linhas 2469, 2470, 2472 e 2473.

```
C 181 READ (KDRUM)      < 2467 >
      WRITE ( 6, 7456) I      < 2469 >
      7456 FORMAT (' ... GENEL ... I='I5)      < 2470 >
      READ (KDRUM, END = 181)      < 2472 >
      181 CONTINUE      < 2473 >
```

- Linha 2485 transformada em comentário, inserção das linhas 2486 e 2487.

```
C      READ (KDRUM) IX, ITYPE, MAT, THK, MB      < 2485 >
      READ (KDRUM, END=683) IX, ITYPE, MAT, THK, MB      < 2486 >
      683 CONTINUE      < 2487 >
```

- Linha 2499 transformada em comentário.

```
C      READ (KDRUM) IX, ITYPE, MAT, THK, MB      < 2499 >
```

- Linha 2512 transformada em comentário, inserção da linha 2513.

```
C      CALL EXIT      < 2512 >
      STOP      < 2513 >
```

## 4.4.13 - SUBROUTINE GENLOD

- Linha 2544 transformada em comentário, inserção da linha 2445.

```
C      *ICOORD, NBLSZ) < 2544 >
      *JCOOR, NBLSZ) < 2545 >
```

- Linha 2556 substituída, inserção das linhas 2557 e 2558.

```
COMMON /ATARGS/ ICOOR,ITIME,NTYPE (30),NRBSET,NSTSET,IIXLRD < 2556 >
1 LLM, NSLIP, NMIDPT, NSPANX, NSPANY, NSPANZ, NZON, NEX, NEY, < 2557 >
2 NEZ, NX, NY, NZ, ITYP < 2558 >
```

- Linha 2589 transformada em comentário, inserção das linhas 2590 e 2591.

```
C      READ (LIN) LDBF, CR < 2589 >
      READ (LIN, END = 1234) LDBF, CR < 2590 >
1234 CONTINUE < 2591 >
```

- Inserção da linha 2602.

```
I = NTYPE (4) + NTYPR (9) + NTYPE (12) + NTYPE (13) < 2602 >
```

- Linha 2603 transformada em comentário, inserção da linha 2605.

```
C      IF( ICOOR .EQ. 1 .AND. NSPANZ .GT. 0) TAFAC = 144.0 < 2603 >
      IF(ICOOR.EQ.1.AND. (NSPANZ.GT. 0 .OR. I. GT.0)) TAFAC=144.0 < 2605 >
```

- Linha 2607 transformada em comentário, inserção das linhas 2608, 2609 e 2610.

```
C      READ (IWCD, 650) N1, LODE, CC, N2, NK < 2607 >
      IF (IWCD .EQ. 5) READ (IWCD, 650) N1, LODE, CC, N2, NK < 2608 >
      IF (IWCD .NE. 5) READ (IWCD, 650) NI, LODE, CC, N2, NK < 2609 >
111 CONTINUE < 2610 >
```

## 4.4.14 - SUBROUTINE GENNOD

- Linha 2676 transformada em comentário, inserção das linhas 2677 e 2678.

```
C      READ (IWCD, 650) NN, (KODE(I), I=1, 6), KX, XB, YB, ZB < 2676 >
      IF(IWCD.NE.LUN3) READ(IWCD,650)NN, (KODE(I), I=1, 6), KX, XB, XY, ZB < 2677 >
      IF(IWCD.EQ.LUN3) READ(IWCD,650)NN, (KODE(I), I=1, 6), KX, XB, XY, ZB < 2678 >
```

**4.4.15 - SUBROUTINE LINK**

- Linha 3094 transformada em comentário, inserção da linha 3093.

```
C 101  FORMAT (F8.0, I2, 7F10.0/(8F10.0))      < 3094 >
  101  FORMAT (F8.0, F2.0, 7F10.0/(8F10.0))  < 3093 >
```

- Linha 3121 transformada em comentário, inserção da linha 3122.

```
C      CALL EXIT                               < 3121 >
      STOP                                     < 3122 >
```

**4.4.16 - SUBROUTINE LODDOF**

- Linha 3300 transformada em comentário, inserção da linha 3301.

```
C      CALL EXIT                               < 3300 >
      STOP                                     < 3301 >
```

**4.4.17 - SUBROUTINE NMSH**

- Linha 3366 substituída por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000)                    < 3366 >
```

- Inserção da linha 3440.

```
M4A = M4A + NUMNP                             < 3440 >
```

**4.4.18 - FUNCTION NODE**

- Linha 3471 transformada em comentário, inserção da linha 3472.

```
C      J2 = J + 1                               < 3471 >
      J2 = J1 + 1                              < 3472 >
```

- Inserção da linha 3480.

```
IF ( K2 .LT. K1 ) K2 = K1                     < 3480 >
```

- Inserção da linha 3493.

```
IF ( K2 .LT. K1) K2 = K1 < 3493 >
```

#### 4.4.19 - SUBROUTINE NPDATA

- Substituição da linha 3644 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000) < 3644 >
```

- Linha 3679 transformada em comentário, inserção da linha 3680.

```
C CALL EXIT < 3679 >
STOP < 3680 >
```

#### 4.4.20 - SUBROUTINE NPD1

- Substituição da linha 3559 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000) < 3559 >
```

#### 4.4.21 - SUBROUTINE NPGEN

- Linhas 3693, 3694, 3695, 3696 e 3697 transformadas em comentário, inserção das linhas 3698, 3699, 3700 e 3701.

```
C DIMENSION NSPAN(3),NDIV(1),MAT(1),XYZKEY(1),IBDY(26,NBDY), < 3693 >
C 1 CLOAD(4,NCLOAD),CARR(4,NARR),X(3,NBLSZ),KODE(6,NBLSZ), < 3694 >
C 2 LODBUF(4),CA(2),NPLOAD(NBLSZ),NKNP(3),NNP(3), < 3695 >
C 3 NODE(3),KLIM(2,3),XX(3) CHANGED TO AVOID ZERO < 3696 >
C < 3697 >
DIMENSION NSPAN(3),NDIV(1),MAT(1),XYZKEY(1),IBDY(26,1), < 3698 >
1 CLOAD(4,1),CARR(4,1),X(3,NBLSZ),KODE(6,NBLSZ), < 3699 >
2 LODBUF(4),CA(2),NPLOAD(1),NKNP(3),NNP(3), < 3700 >
3 NODE(3),KLIM(2,3),XX(3) < 3701 >
```

- Linha 3882 transformada em comentário, inserção da linha 3883.

```
C CALL EXIT < 3882 >
STOP < 3883 >
```

**4.4.22 - SUBROUTINE PT3**

- Linha 4705 substituída por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000)
```

&lt; 4705 &gt;

- Linha 4726 transformada em comentário, inserção da linha 4727.

```
C    DIMENSION VIEW (6), XCUT (6,2)
    DIMENSION VIEW (6), XCUT (6,1)
```

&lt; 4726 &gt;

&lt; 4727 &gt;

- Substituição da linha 4729 por:

```
EQUIVALENCE (XCUT(1,1) , E(1))
```

&lt; 4729 &gt;

**4.4.23 - SUBROUTINE RD1**

- Substituição da linha 4823 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000)
```

&lt; 4823 &gt;

- Linha 4850 transformada em comentário, inserção da linha 4851.

```
C    CALL EXIT
    STOP
```

&lt; 4850 &gt;

&lt; 4851 &gt;

**4.4.24 - SUBROUTINE RDA3**

- Substituição da Linha 4859 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000)
```

&lt; 4859 &gt;

**4.4.25 - SUBROUTINE RDACTIV**

- Linha 4957 transformada em comentário, inserção da linha 4958.

```
C 100 FORMAT (3I5)
 100 FORMAT ( I5, 2F5.0)
```

&lt; 4957 &gt;

&lt; 4958 &gt;



- Linha 4990 transformada em comentário, inserção da linha 4991.

```
C 201  FORMAT ( 7X, I5, 9X, F5.0, 9X, I5)           < 4990 >
      201  FORMAT (7X, I5, 9X, F5.0, 9X, F5.0)       < 4991 >
```

#### 4.4.26 - SUBROUTINE RDLCD

- Linha 4997 transformada em comentário, inserção da linha 4999.

```
C      DIMENSION  CLOAD (4, NCLOAD) , CARR ( 4, NARR)           < 4997 >
      DIMENSION  CLOAD ( 4,           ), CARR ( 4,           )   < 4999 >
```

- Linhas 5094 e 5095 transformadas em comentário, inserção das linhas 5096 e 5097.

```
C 30  FORMAT(3F10.0/6I10/2F10.0,4I10/2(8F10.0/),4F10.0/7(8F10.0/),   < 5094 >
      * 3F10.0,2I10,3F10.0/F10.0)                                     < 5095 >
30  FORMAT(3F10.0/6F10.0/2F10.0,4F10.0/2(8F10.0/),4F10.0/7(8F10.0/),   < 5096 >
      * 3F10.0,2F10.0,3F10.0/F10.0)                                   < 5097 >
```

- Linhas 5100, 5101, 5102, 5103, 5104, 5105, 5106, 5107, 5108 e 5109 transformadas em comentário, inserção das linhas 5110, 5111, 5112, 5113, 5114, 5115, 5116, 5117, 5118, 5119, 5120 e 5121.

```
C 40  FORMAT(18H*MATERIAL DATA*///3X,12HMATERIAL NO,I2//6X,18HBULK      < 5100 >
C *MODULUS(PSI),10X,19HSHEAR MODULUS PSI),10X,26HMASS DENSITY(LB-      < 5101 >
C *SEC/IN4)/E19.5,E29.5,E32.5//6X,16HANISOTROPIC FLAG,5X,>15HPLASTICI   < 5102 >
C *TY FLAG,5X,12HVISCOUS FLAG,5X,14HITERATION FLAG,5X,13HNO. OF SPLIT  < 5103 >
C *S,5X,16HNO. OF ITERATION/I14,I21,I18,I19,I18,I20//6X,15HSPLIT CRIT  < 5104 >
C *ERION,5X,21HCONVERGENCE CRITERION,5X,21HARIABLE MODULUS FLAG,      < 5105 >
C *5x,3,3HMAX SPLITS COMPOSITE PLASTICITY/E18.5,E23.5,I22,14X,I6,2I12//6 < 5106 >
C *X,26HSHEAR MODULUS COEFFICIENTS//2(5X,10E12.5//6X,25HBULK MODULUS  < 5107 >
C *COEFFICIENTS//4(5X,10E12.5//6X,25HINELASTICITY COEFFICIENTS//5X,    < 5108 >
C *10E12.5/5X,9E12.5,I9/5X,I9,3X,4E12.5)                               < 5109 >
40  FORMAT(18H * MATERIAL DATA *///3X,12HMATERIAL NO.,I2//6X,18HBULK  < 5110 >
      * MODULUS (PSI),10X,19HSHEAR MODULUS (PSI),10X,26HMASS DENSITY (LB- < 5111 >
      * SEC/IN4)/E19.5,E29.5,E32.5//6X,16HANISOTROPIC FLAG,5X,15HPLASTICI < 5112 >
      *TY FLAG,5X,12HVISCOUS FLAG,5X,14HITERATION FLAG,5X,13HNO. OF SPLIT < 5113 >
      *S,5X,16HNO. OF ITERATION/F14.0,F21.0,F18.0,F19.0,F18.0,F20.0      < 5114 >
      * //6X,15HSPLIT CRIT                                               < 5115 >
      *ERION,5X,21HCONVERGENCE CRITERION,5X,21HARIABLE MODULUS FLAG,     < 5116 >
      *5x,3,3HMAX SPLITS COMPOSITE PLASTICITY/E18.5,E23.5,F22.0,14X,F6.0  < 5117 >
      *,2F12.0//6X                                                       < 5118 >
      * ,26HSHEAR MODULUS COEFFICIENTS//2(5X,10E12.5//6X,25HBULK MODULUS < 5119 >
      * COEFFICIENTS//4(5X,10E12.5//6X,25HINELASTICITY COEFFICIENTS//5X,  < 5120 >
      *10E12.5/5X,9E12.5,F9.0,/,5X,F9.0,3X,4E12.5)                     < 5121 >
```

**4.4.27 - SUBROUTINE RDMD**

- Substituição da linha 5125 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000) < 5125 >
```

- Linhas 5204 e 5205 transformadas em comentário, inserção das linhas 5206, 5207, 5208 e 5209.

```
C READ (IWCD, 101) (E(I), I=M4, M5), MAXSTP, NLDI, IRELT < 5204 >
C 101 FORMAT (3F10.0 / 3I5 ) < 5205 >
  READ (IWCD, 101) (E(I), I=M4, M5) < 5206 >
  101 FORMAT (3F10.0) < 5207 >
  READ (IWCD, 1101) MAXSTP, NLDI, IRELT < 5208 >
  1101 FORMAT (3I5) < 5209 >
```

- Linha 5215 transformada em comentário.

```
C 101 FORMAT (3F10.0/3I5) < 5215 >
```

- Linha 5407 transformada em comentário, inserção da linha 5408.

```
C CALL EXIT < 5407 >
  STOP < 5408 >
```

**4.4.28 - SUBROUTINE REFEL**

- Substituição da Linha 5462 por:

```
COMMON / EKCMN / E (20000) < 5462 >
```

- Linha 5501 transformada em comentário, inserção da linha 5502.

```
C CALL EXIT < 5501 >
  STOP < 5502 >
```

**4.4.29 - SUBROUTINE REMESH**

- Linha 5662 transformada em comentário, inserção da linha 5664.

```
C DIMENSION IS(1), IX(IIXL, NBSZ), ITYPE(NBSZ), MAT(8, NBSZ) < 5662 >
  DIMENSION IS(1), IX(IIXL, NBSZ), ITYPE(NBSZ), MAT(5, NBSZ) < 5664 >
```





- Linha 6705 transformada em comentário, inserção da linha 6706.

```
C 30  WRITE(LUN3,70) NB, (KODE(K,I),K=1,6), IONE(XYZ(K,I),K=1,3)      < 6705 >
      30  WRITE(LUN3) NB, (KODE(K,I),K=1,6), IONE(XYZ(K,I),K=1,3)    < 6706 >
```

- Linha 6720 transformada em comentário, inserção da linha 6721.

```
C 100 WRITE (LUN3,75) (KODE(I,J),I=1,4),XYZ(1,J),XYZ(2,J)          < 6720 >
      100 WRITE (LUN3) (KODE(I,J),I=1,4),XYZ(1,J),XYZ(2,J)        < 6721 >
```

- Linhas 6729, 6730, 6731 e 6732 transformadas em comentário.

```
C 50  FORMAT (6I5, F10.5)                                           < 6729 >
C 60  FORMAT (16I5)                                                 < 6730 >
C 70  FORMAT (I5, 6I2, I3, 3F10.4)                                  < 6731 >
C 75  FORMAT (4I5, 2F10.4)                                          < 6732 >
```

#### 4.4.37 - SUBROUTINE ZONE

- Linha 6767 transformada em comentário, inserção da linha 6768.

```
C      CALL EXIT                                                    < 6767 >
      STOP                                                            < 6768 >
```

### 4.5 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN4.FOR.

#### 4.5.1 - SUBROUTINE BEAM

- Linha 69 transformada em comentário, inserção da linha 70.

```
C      CALL  EXIT                                                    < 69 >
      STOP                                                            < 70 >
```

#### 4.5.2 - SUBROUTINE BLDB

- Linhas 383 e 384 transformadas em comentário, inserção das linhas 385, 386, 387, 388 e 389.

```
C      CALL QUAD (B,NB,XYZ(1),XYZ(NNP+1),TH(NIX),NTYP,RHO,DL,SCR(1), < 383 >
C      1 ICOMP,IX(5,NIX),IB(11),NNP,IFORMB)                        < 384 >
      IF ( SLIP )                                                    < 385 >
      +CALL QUAD (B,NB,XYZ(1),XYZ(NNP+1),TH(NIX),NTYP,RHO,DL,SCR(1), < 386 >
```

```

1 ICOMP,IX(5,NIX),IB(11),NNP,IFORMB) < 387 >
  IF ( .NOT. SLIP ) < 388 >
+CALL QUAD (B,NB,XYZ(1),XYZ(NNP+1),TH(NIX),NTYP,RHO,DL,SCR(1), < 389 >
  1 ICOMP,IX(4,NIX),IB(11),NNP,IFORMB) < 390 >

```

- Linha 466 transformada em comentário, inserção da linha 467.

```

C      CALL  EXIT < 466 >
      STOP < 467 >

```

### 4.5.3 - SUBROUTINE JACTRS

- Inserção da linha 1685.

```

      IF (DET.LE.0.0) WRITE(IWPRT,2001) ((XX(I,J),I=1,NSIZ),J=1,3) < 1685 >

```

- Inserção das linhas 1731 e 1732.

```

2001  FORMAT(15H0JACOBIAN ERROR // 19H COORDINATE ARRAY = / < 1731 >
      1   ( 1X, 1P10E12.4 ) ) < 1732 >

```

## 4.6 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN5.FOR.

### 4.6.1 - SUBROUTINE BMCALC

- Linha 126 transformada em comentário, inserção da linha 127.

```

C      CALL  EXIT < 126 >
      STOP < 127 >

```

- Linha 139 transformada em comentário, inserção da linha 140.

```

C      KFRRM = KFRRM .OR. KCHNG < 139 >
      KFRRM = KFRRM .OR. KCHNG .OR. FIRST < 140 >

```

### 4.6.2 - SUBROUTINE ALLOC

- Linha 383 transformada em comentário, inserção da linha 384.

```

C 25  NREC2 = NDUM (1) < 383 >
    25  NACTIV = NDUM (1) < 384 >

```

- Linhas 386 e 387 transformadas em comentário, inserção das linhas 388 e 389.

```

C   IF (NREC2 .EQ. 0) GO TO 24           < 386 >
C   DO 26 NNN = 1, NREC2                 < 387 >
      IF (NACTIV .EQ. 0) GO TO 24       < 388 >
      DO 26 NNN = 1, NACTIV             < 389 >

```

- Linhas 395, 396 e 397 transformadas em comentário, inserção das linhas 398 e 399.

```

C   NREC2 = NDUM (2)                     < 395 >
C   IF (NREC2 .EQ. 0) GO TO 28           < 396 >
C   DO 27 NNN = 1, NREC                  < 397 >
      IF (NSLIP .EQ. 0) GO TO 28       < 398 >
      DO 27 NNN = 1, NSLIP             < 399 >

```

- Linha 469 transformada em comentário, inserção da linha 470.

```

C   CALL EXIT                             < 469 >
      STOP                                 < 470 >

```

#### 4.6.3 - SUBROUTINE BACKUP

- Linha 646 transformada em comentário, inserção da linha 647.

```

C 190 CALL EXIT                             < 646 >
      190 STOP                               < 647 >

```

#### 4.6.4 - SUBROUTINE BMSTR

- Linha 761 transformada em comentário, inserção da linha 763.

```

C   CALL STATUS ( LRSTR, NW, ISTR )       < 761 >
      CALL STATUS ( LRSTR1, NW, ISTR )    < 763 >

```

- Linha 863 transformada em comentário, inserção da linha 864.

```

C   CALL EXIT                             < 863 >
      STOP                                 < 864 >

```

**4.6.5 - SUBROUTINE BSTIF**

- Linha 962 transformada em comentário, inserção da linha 964.

```
C      IF (INCOMP) CALL STATCO (ELK2, NBC* N123, NQ23*N123, SLIP)      < 962 >
      IF(INCOMP) CALL STATCO(ELK2,NBC*N123,NQ23*N123,SLIP,EU(1B),NBR) < 964 >
```

**4.6.6 - SUBROUTINE CDCMP**

- Linha 1119 transformada em comentário, inserção da linha 1120.

```
C      CALL EXIT      < 1119 >
      STOP           < 1120 >
```

**4.6.7 - SUBROUTINE CONECT**

- Linha 1326 transformada em comentário, inserção da linha 1327.

```
C      3F(163), STRINC (13))      < 1326 >
      3F(163), STRINC (13), NVFG, VSTRES) < 1327 >
```

**4.6.8 - SUBROUTINE DECOMP**

- Linha 1829 transformada em comentário, inserção da linha 1830.

```
C      IF (IZZR .GT. 5 ) CALL EXIT      < 1829 >
      IF (IZZR .GT. 5) STOP           < 1830 >
```

- Linha 1834 transformada em comentário, inserção da linha 1835.

```
C CALL EXIT      < 1834 >
      STOP       < 1835 >
```

**4.6.9 - SUBROUTINE KFORM**

- Linha 2833 transformada em comentário, inserção da linha 2834.

```
C      LOGICAL KFRRM, KCHNG, FIRST, LBOMB, LDUMP      < 2833 >
      LOGICAL KFRRM, KCHNG, FIRST, LBOMB, LDUMP, NOSLIP < 2834 >
```



- Inserção da linha 2974.

```
NOSLIP = (NSTEP .LE. 1)
```

&lt; 2974 &gt;

- Linha 3104 transformada em comentário, inserção da linha 3105.

```
C 4 LDUMP)
```

&lt; 3104 &gt;

```
4 LDUMP, NOSLIP)
```

&lt; 3105 &gt;

- Linha 3357 transformada em comentário, inserção da linha 3358.

```
C CALL EXIT
```

&lt; 3357 &gt;

```
STOP
```

&lt; 3358 &gt;

#### 4.6.10 - SUBROUTINE LDTBL

- Linha 3420 transformada em comentário, inserção da linha 3421.

```
C CALL EXIT
```

&lt; 3420 &gt;

```
STOP
```

&lt; 3421 &gt;

#### 4.6.11 - SUBROUTINE REREAD

- Linha 3624 transformada em comentário, inserção da linha 3625.

```
C CALL FILIN (3, LINK, IR, ISTR, IA, ILS, NWX)
```

&lt; 3624 &gt;

```
CALL FILIN (3, LINK, IR, ISTR, IA, ILS, IDUM, NWX)
```

&lt; 3625 &gt;

- Linha 3647 transformada em comentário, inserção da linha 3648.

```
C CALL EXIT
```

&lt; 3647 &gt;

```
STOP
```

&lt; 3648 &gt;

#### 4.6.12 - SUBROUTINE STORP

- Linha 3832 transformada em comentário, inserção da linha 3834.

```
C CALL FILIN (5, LUN, 2, IEOF, ARR, 1, N+1, N)
```

&lt; 3832 &gt;

```
CALL FILIN (10, LUN, 2, IEOF, ARR, ISNGL*N+1, 3*N+1, N)
```

&lt; 3834 &gt;

- Linha 3903 transformada em comentário, inserção da linha 3905.

```
C 90  CALL FILIN (5, LIN, 0, IEOF, ARR, I3, I4, NT)      < 3903 >
    90  CALL FILIN (10, LIN, 0, IEOF, ARR, I3, I4, NT)  < 3905 >
```

- Linha 3927 transformada em comentário, inserção da linha 3928.

```
C      160  CALL  EXIT      < 3927 >
    160  STOP              < 3928 >
```

#### 4.6.13 - SUBROUTINE TDRUM

- Linha 4028 transformada em comentário, inserção da linha 4029.

```
C      CALL  EXIT      < 4028 >
    STOP              < 4029 >
```

#### 4.6.14 - SUBROUTINE YLDFUN

- Linha 4429 transformada em comentário, inserção da linha 4430.

```
C      CALL  EXIT      < 4429 >
    STOP              < 4430 >
```

### 4.7 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN7.FOR.

#### 4.7.1 - SUBROUTINE DEFUSE

- Linhas 45, 47 e 48 transformadas Em comentário, inserção das linhas 49 e 50.

```
C      FOR NORMAL STRESS AND STRAIN      < 45 >
C      CALL MOVEWD (STROLD, STRESS, NBULK) < 47 >
C      DO 20  I = 1, NBULK                < 48 >
    CALL MOVEWD (STROLD, STRESS, NSIZ)    < 49 >
    DO 20  I = 1, NSIZ                    < 50 >
```

#### 4.7.2 - SUBROUTINE JNTELM

- Linha 162 transformada em comentário, inserção da linha 163.

```
C 2  LBOMB, FIRST, LDUMP      < 162 >
    2  LBOMB, FIRST, LDUMP, NOSLIP < 163 >
```

- Linha 166 transformada em comentário, inserção da linha 167.

C	LOGICAL KFRRM, LBOMB, LQUIT, FIRST, LDUMP	< 166 >
	LOGICAL KFRRM, LBOMB, LQUIT, FIRST, LDUMP, NOSLIP	< 167 >

- Linhas 242 e 243 transformadas em comentário, inserção das linhas 244 e 245.

C	CALL MOVEWD (SLPAV(3), IBOMB, 1)	< 242 >
C	CALL MOVEWD (COEF(9), MAXITR, 1)	< 243 >
	IBOND = SLPSAV(3 )	< 244 >
	MAXITR = COEF(9)	< 245 >

- Linha 254 transformada em comentário, inserção da linha 255.

C	CALL MOVEWD (COEF(13), MXSPLT, 1)	< 254 >
	MXSPLT = COEF(13)	< 255 >

- Linha 260 transformada em comentário, inserção da linha 261.

C	CALL MOVEWD (COEF(14), IQUIT, 1)	< 260 >
	IQUIT = COEF(14)	< 261 >

- Linha 267 transformada em comentário, inserção da linha 268.

C	CALL MOVEWD (COEF(15), NNSL, 1)	< 267 >
	NNSL = COEF (15)	< 268 >

- Linha 283 transformada em comentário, inserção da linha 284.

C 2	LBOMB, LQUIT)	< 283 >
2	LBOMB, LQUIT, NOSLIP)	< 284 >

### 4.7.3 - SUBROUTINE JTFLOW

- Linha 536 transformada em comentário, inserção da linha 537.

C 2	LQUIT)	< 536 >
2	LQUIT, NOSLIP)	< 537 >

- Linha 538 transformada em comentário, inserção da linha 539.

```
C      LOGICAL LBOMB, LQUIT, LSTOP      < 538 >
      LOGICAL LBOMB, LQUIT, LSTOP, NOSLIP < 539 >
```

- Inserção da linha 583.

```
      IERR = 1      < 583 >
```

- Inserção da linha 593.

```
      IF (NOSLIP) GO TO 15      < 593 >
```

- Inserção da linha 604.

```
15      CONTINUE      < 604 >
```

- Inserção da linha 610.

```
      IF (NOSLIP ) GO TO 35      < 610 >
```

- Inserção da linha 635.

```
35      CONTINUE      < 635 >
```

- Linha 710 transformada em comentário.

```
C      IF ( F .EQ. F0) GO TO 530      < 710 >
```

- Inserção das linhas 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719 e 720.

```
      IF(F.NE.F0) GO TO 95      < 712 >
      WRITE(IWPRT,2004)      < 713 >
      WRITE(IWPRT,2005) (SIGOLD(J), J=1,NSIZ)      < 714 >
      WRITE(IWPRT,2006) (DELSIG(J), J=1,NSIZ)      < 715 >
      WRITE(IWPRT,2007) SHEAR,XLAM0,F0,CUMSLP,DELSLP,EPDIL,      < 716 >
1 DELED      < 717 >
      XLAM=XLAM*(1.0+2.0*ERR)      < 718 >
      GO TO 100      < 719 >
95      CONTINUE      < 720 >
```

- Inserção da linha 730.

```
IERR = 2
```

**< 730 >**

- Inserção das linhas 743 e 744.

```
IF (ABS(TEST1 - TEST2) .LE. ERR) GO TO 118
```

**< 743 >**

```
IERR = 1
```

**< 744 >**

- Linhas 790 e 791 transformadas em comentário.

```
C 530 LSTOP = .FALSE.
```

**< 790 >**

```
C      WRITE(IWPRT, 2004)
```

**< 791 >**

- Linha 796 transformada em comentário, inserção da linha 797.

```
C      IF (.NOT. LSTOP) GO TO 110
```

**< 796 >**

```
      IF (.NOT LSTOP) GO TO (118, 110), IERR
```

**< 797 >**

#### 4.7.4 - SUBROUTINE TAUMAX

- Inserção da linha 1061.

```
ITYPE = YCOEF (21)
```

**< 1061 >**

### 4.8 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NAS ROTINAS DO PROGRAMA BMIN8.FOR.

#### 4.8.1 - SUBROUTINE BMOUPT

- Linha 131 transformada em comentário, inserção da linha 133.

```
C 801 FORMAT (//,5X,38H** EOF/ERROR OPENING DATA INPUT UNIT ,2I5)
```

**< 131 >**

```
C
```

**< 132 >**

```
      801 FORMAT (//,5X,37H***EOF/ERROR OPENING DATA INPUT UNIT ,2I5)
```

**< 133 >**

- Linha 279 transformada em comentário, inserção das linhas 280 e 281.

```
C      IF (ISTR .NE. 0) MAX2 = MAX2 + NAV*3 + NSLIP810
```

**< 279 >**

```
C
```

**< 280 >**

```
      MAX2 = MAX2 + NAV*3 + NSLIP*10
```

**< 281 >**

- Linha 398 transformada em comentário, inserção das linhas 399 e 400.

```

C      1 IBUF(N6), NBSIZE, NNPB, IBUF(N2), IBUF(N3), IBUF(N2A), MAXSTP) < 398 >
C                                          < 399 >
      1 NBSIZE, NNPB, IBUF(N2), IBUF(N3), IBUF(N2A), MAXSTP) < 400 >

```

#### 4.8.2 - SUBROUTINE DATPL

- Linha 1240 transformada em comentário, inserção da linha 1239.

```

C 999  CALL EXIT < 1240 >
      999  STOP < 1239 >

```

#### 4.8.3 - SUBROUTINE DISPRO

- Linha 1807 transformada em comentário, inserção da linha 1808.

```

C 998  CALL EXIT < 1807 >
      998  STOP < 1808 >

```

#### 4.8.4 - SUBROUTINE DODEF

- Linha 1860 transformada em comentário, inserção da linha 1861.

```

C      READ (LINK) < 1860 >
      READ (LINK) (NAC(J, I), J=1, 3) < 1861 >

```

- Linhas 1905 e 1906 transformadas em comentário, inserção das linhas 1906 e 1907.

```

C      NSL (1, NSL1) = IX (NIX, KTNL) < 1905 >
C      NSL (2, NSL1) = IX (NIX, L) < 1906 >
      NSL (1, NSL1) = IX (K+ NL, NIX) < 1907 >
      NSL (2, NSL1) = IX (L, NIX) < 1908 >

```

- Linha 1910 transformada em comentário, inserção da linha 1911.

```

C 55  NERP = NELS < 1910 >
      55  CONTINUE < 1911 >

```

**4.8.5 - SUBROUTINE HISPRN**

- Linha 2884 transformada em comentário, inserção da linha 2885.

```
C 999 CALL EXIT < 2884 >
  999 STOP < 2885 >
```

**4.8.6 - SUBROUTINE OUTPAD**

- Linha 3173 transformada em comentário, inserção da linha 3174.

```
C 3 25H***** < 3173 >
  3 25H*****,< 3174 >
```

**4.8.7 - SUBROUTINE OUTPEL**

- Linha 3343 transformada em comentário, inserção da linha 3344.

```
C 999 CALL EXIT < 3343 >
  999 STOP < 3344 >
```

**4.8.8 - SUBROUTINE OUTPRO**

- Linha 3401 transformada em comentário, inserção da linha 3402.

```
C IF(NAV .LE. 0) GO TO 60 < 3401 >
  IF(NAV .LE. 0 .OR. ISTR .NE. 0) GO TO 60 < 3402 >
```

- Linha 3593 transformada em comentário, inserção da linha 3595.

```
C 650 CALL HISPRN(PEL, PEL, NELT, 1, NTSTEP, PLOTD, PLOAD, MN) < 3593 >
  650 CALL HISPRN(PEL, PEL, NELT, 1, NTSTEP, PLOAD, MN ) < 3595 >
```

- Linha 3604 transformada em comentário, inserção da linha 3605.

```
C 750 CALL HISPRN(PNO, PNO, NODT, 2, NTSTEP, PLOTD, PLOAD, MN) < 3604 >
  750 CALL HISPRN(PNO, PNO, NODT, 2, NTSTEP, PLOAD, MN) < 3605 >
```

- Linha 3608 transformada em comentário, inserção da linha 3609.

```
C 999 CALL EXIT < 3608 >
  999 STOP < 3609 >
```

**4.8.9 - SUBROUTINE PLT3D**

- Linha 3644 transformada em comentário, inserção da linha 3645 e 3646.

```

C      READ (LUN) (((JC(I,J),I=1,IIXL),LEB(J)),J=1,NBSIZ)      < 3644 >
C                                                                    < 3645 >
      READ (LUN) ((JC(I,J),I=1,IIXL),LEB(J),J=1,NBSIZ)        < 3646 >

```

**4.8.10 - SUBROUTINE PLT3DF**

- Linha 3989 transformada em comentário, inserção da linha 3988.

```

C 999 CALL EXIT      < 3989 >
  999 STOP           < 3988 >

```

**4.8.11 - SUBROUTINE PNTEX**

- Linha 4358 transformada em comentário, inserção da linha 4359.

```

C 999 CALL EXIT      < 4358 >
  999 STOP           < 4359 >

```

- Linha 4368 transformada em comentário, inserção da linha 4369.

```

C 2  4X,29H*****      < 4368 >
  2  4X,29H*****      < 4369 >

```

**4.8.12 - SUBROUTINE QC PLOT**

- Linha 5009 transformada em comentário, inserção da linha 5010.

```

C 999 CALL EXIT      < 5009 >
  999 STOP           < 5010 >

```

**4.8.13 - SUBROUTINE SIGPRO**

- Linha 5692 transformada em comentário, inserção da linha 5693.

```

C      IF (NAV .LE. 0) GO TO 124      < 5692 >
      IF ( NAV .LE. 0 .OR. ISTR .NE. 0) GO TO 124      < 5693 >

```



- Linha 5871 transformada em comentário, inserção da linha 5872.

```
C 605 IF ( NUM .EQ. 0) GO TO 620 < 5871 >  
    605 IF ( NUM .LT. NBI) GO TO 620 < 5872 >
```

- Linha 5941 transformada em comentário, inserção da linha 5940.

```
C 999 CALL EXIT < 5941 >  
    999 STOP < 5940 >
```

#### **4.8.14 - SUBROUTINE SLINK**

- Linha 6001 transformada em comentário, inserção da linha 6002.

```
C1000 CALL EXIT < 6001 >  
    1000 STOP < 6002 >
```

## CAPÍTULO 5

### EXEMPLOS PARA VALIDAÇÃO DO PROGRAMA MODIFICADO

Este capítulo apresenta um coletânea de problemas-exemplos, cujo propósito é verificar e garantir a consistência dos resultados e o funcionamento do programa modificado. Estes problemas-exemplo são, em sua maioria, pequenos e relativamente simples. Em muitos casos correspondem estritamente a problemas com soluções analíticas conhecidas, com a finalidade de testar a extensa faixa de capacidades do programa **BMINES**

O processo de validação é uma exaustiva e tediosa operação que requer empenho e envolve repetidas aplicações do programa a problemas de engenharia. O objetivo principal é determinar, através da experiência, exatamente o que pode ser modificado no programa para que se possa fazer uma análise correta do problema e identificar suas limitações. Em relação à consistência dos resultados, a questão da validação de um programa de computador deve, também, levar em consideração alguns aspectos como economia de solução, facilidade e segurança na especificação da entrada de dados. Assim sendo, apenas após alguns anos de aplicação do programa foi possível montar uma pequena biblioteca de problemas-exemplo, que permitiram garantir a qualidade dos dados processados. No caso do programa **BMINES**, um considerável número de opções de aplicabilidade no campo da mecânica das rochas foi demonstrado usando versões anteriores do programa (AA, 1973, 1976a, 1978, 1980 e Karwoski e Van Dillen, 1978). Desse modo, os problemas-exemplo servem para verificar a continuidade entre versões diferentes do programa, permitindo que soluções do mesmo problema possam ser comparadas entre versões, demonstrando, dessa forma, a consistência dos resultados,

de modo muito mais significativo que pela comparação com resultados da forma fechada.

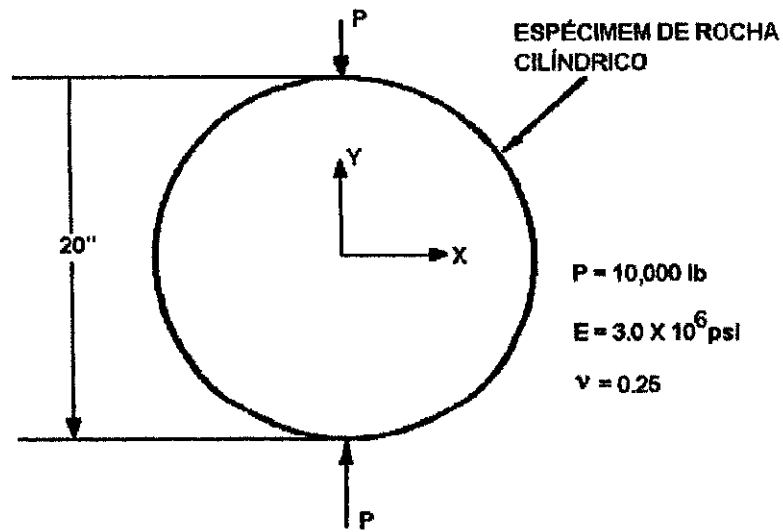
No método dos elementos finitos, geralmente, 5% de erro se refere ao erro relativo máximo, ou seja, o maior erro relativo em um ponto da malha. De um modo geral, este erro ocorre junto aos pontos críticos da estrutura, que são aqueles que interessam do ponto de vista de projeto.

Neste trabalho foi utilizado o cálculo do erro relativo médio como métrica para explicar a validação da versão modificada.

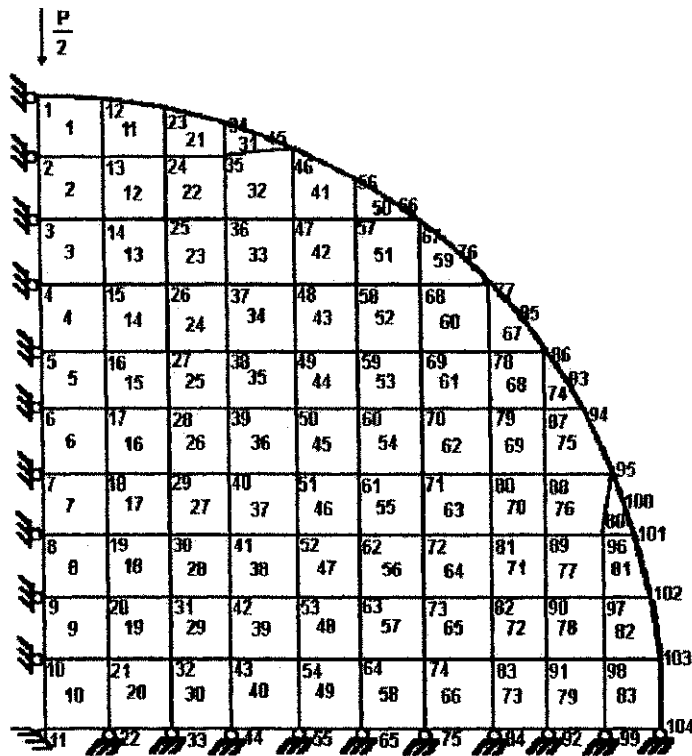
### **5.1 - PROBLEMA-EXEMPLO 1 - TENSÃO EM UM ESPÉCIME ELÁSTICO SUBMETIDO AO TESTE BRASILEIRO.**

Um espécime de rocha cilíndrico é submetido a uma carga compressiva  $P$  ao longo do seu comprimento, como mostrado no diagrama da seção transversal da Figura 5.1. Esta configuração do carregamento resulta em uma tensão,  $\sigma_x$ , uniformemente distribuída sobre o plano axial que contém a linha de carga.

O plano axial perpendicular a este plano é comprimido a um valor três vezes superior à tensão (i.e.,  $\sigma_y = -3\sigma_x$ ). As distribuições  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  ao longo dos dois planos axiais perpendiculares são mostradas nas Figuras 5.2 (pág. 154) e 5.3 (pág. 155) e estão em concordância com a forma da solução fechada dada por Obert e Durval (1967).



a) Diagrama da seção transversal mostrando a configuração do carregamento



b) Representação por elementos finitos

Figura 5.1 - Problema-Exemplo 1 - Teste Brasileiro

Deve-se observar que a concordância entre os resultados do elemento finito e da solução fechada se deteriora na direção do lado direito da Figura 5.2. Comparando com a Figura 5.1, observa-se que estes resultados correspondem às proximidades do ponto de aplicação da carga concentrada. A solução da versão modificada do programa BMINES também apresenta ótima concordância com as soluções da versão original e os resultados da solução fechada, conforme mostrado nas Figuras 5.2 e 5.3 (pág. 155).

No caso da distribuição da tensão no plano, para elementos adjacentes ao eixo Y (Figura 5.2), os erros relativos médios calculados para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_x$ ,  $e_{\sigma_x} = 2.1\%$ ; para a curva de  $\sigma_y$ ,  $e_{\sigma_y} = 0.9\%$ , ficando, em ambos os casos, muito abaixo dos 5% aceitáveis.

A dispersão média dos valores entre os resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_x$ ,  $S_{\sigma_x} = 1.4\%$ , para a curva  $\sigma_y$ ,  $S_{\sigma_y} = 1,3\%$ . Observar que 1% já é bastante preciso para este tipo de análise.

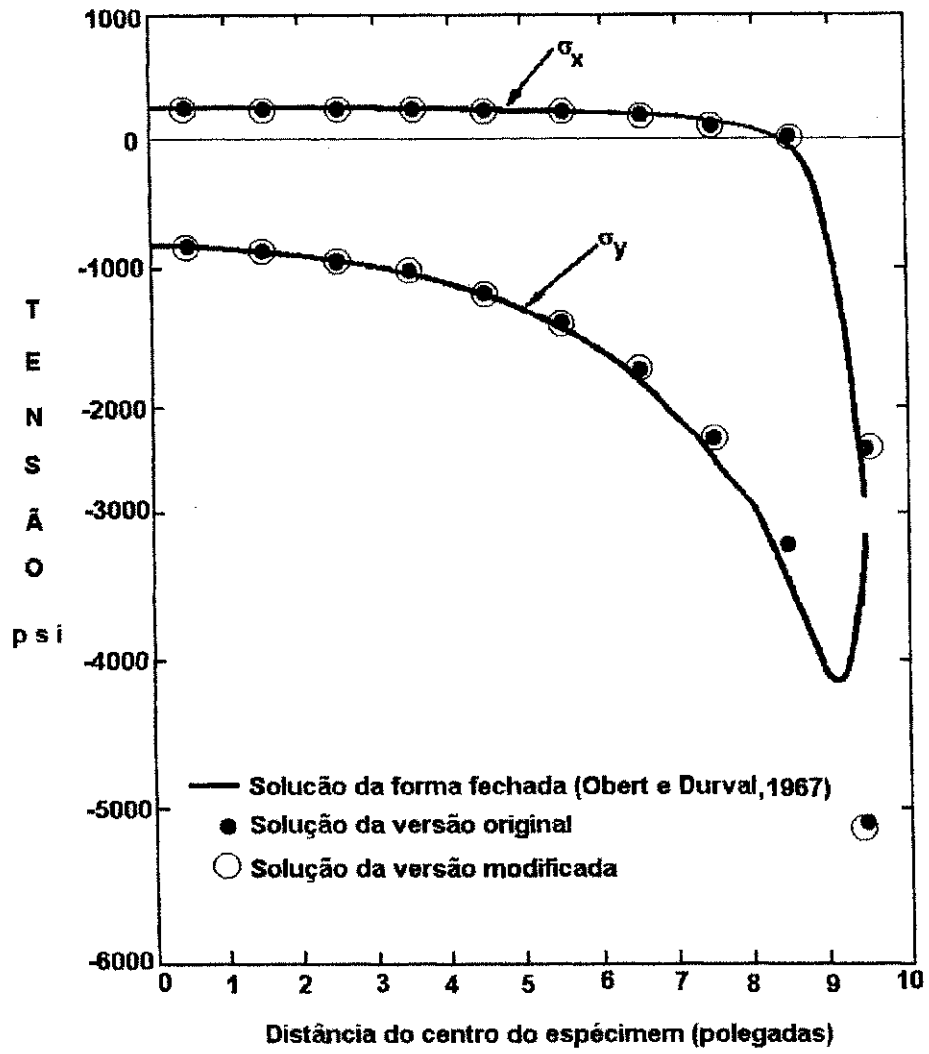


Figura 5.2 - Distribuição de Tensão no Plano de Elementos Adjacentes ao Eixo Y.

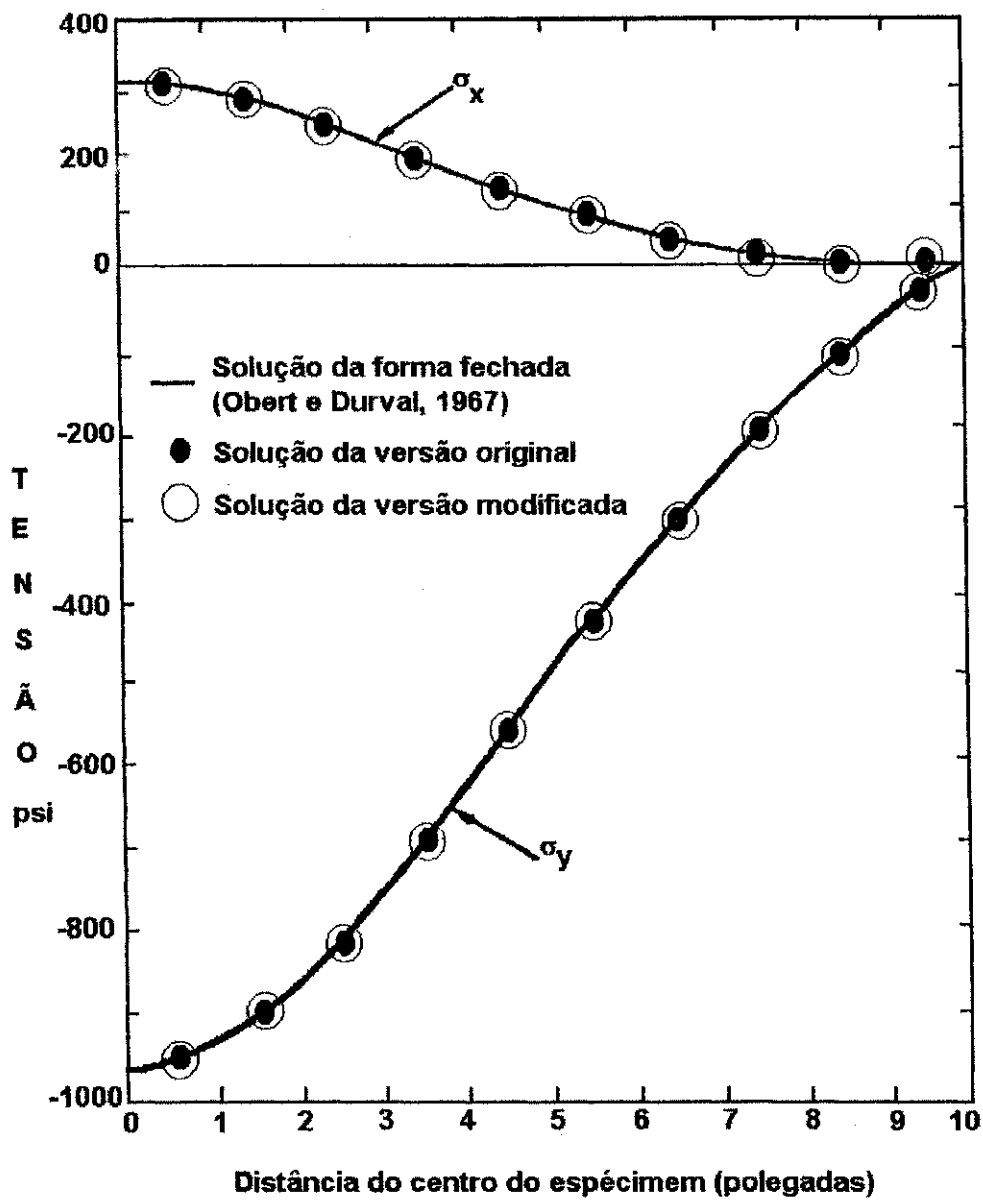


Figura 5.3 - Distribuição de Tensão no Plano de Elementos Adjacentes ao Eixo X.

No caso da distribuição da tensão no plano, para elementos adjacentes ao eixo X (Figura 5.3, pág. 155), os erros relativos médios calculados para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_x$ ,  $e_{\sigma_x} = 2.9\%$ ; para a curva de  $\sigma_y$ ,  $e_{\sigma_y} = 1.6\%$ .

A dispersão média dos valores entre os resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_x$ ,  $S_{\sigma_x} = 0.05\%$ , para a curva  $\sigma_y$ ,  $S_{\sigma_y} = 0.08\%$ .

As propriedades elásticas do espécime de rocha se constituem de um módulo de elasticidade de 3.000.000 psi e de uma taxa de Poisson de 0,25. O espécime é modelado usando elementos de tensão quadrilaterais.

Este problema foi escolhido não apenas pela existência de uma solução fechada, mas também para demonstrar que o programa é capaz de solucionar um problema submetido a um estado de tensão bidimensional complicado. A entrada de dados usada para definir este problema é mostrada no Apêndice F (pág. 407). A saída dos resultados processados para este problema-exemplo é apresentada no Apêndice G (pág. 416).

## **5.2 - PROBLEMA-EXEMPLO 2A - CILINDRO ELÁSTICO DE PAREDE ESPESSA SUBMETIDO À PRESSÃO INTERNA**

A Figura 5.4 ilustra o caso clássico de um cilindro de parede espessa formado por um material elástico com as seguintes propriedades  $K = 1,25 \times 10^6$  psi e  $G = 1,0 \times 10^6$  psi, e as dimensões  $a = 12$  polegadas e  $b = 24$  polegadas, onde "a" e "b" são os raios interno e externo respectivamente. A superfície interna é submetida a uma pressão uniforme  $p_i = 1$  psi. O cilindro é modelado usando elementos assimétricos.



A Figura 5.5 (pág. 159) mostra os resultados da análise dos elementos finitos que é compatível com a solução analítica dada por Prager e Hodge (1951). A solução da versão modificada do programa BMINES também apresenta ótima concordância com as soluções da versão original e os resultados da solução fechada, conforme mostrado na Figura 5.5 (pág. 159).

No caso da distribuição das tensões nas paredes do cilindro (Figura 5.5, pág. 159), os erros relativos médios calculados para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_\theta/p_i$ ,  $e_{\sigma_\theta/p_i} = 0.6\%$ ; para a curva de  $\sigma_r/p_i$ ,  $e_{\sigma_r/p_i} = 1.7\%$ .

A dispersão média dos valores entre os resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva  $\sigma_\theta/p_i$ ,  $S_{\sigma_\theta/p_i} = 0.03\%$ ; para a curva de  $\sigma_r/p_i$ ,  $S_{\sigma_r/p_i} = 1.7$ .

A entrada de dados usada para definir este problema, é mostrada no Apêndice F (pág. 407). A saída dos resultados processados para este problema-exemplo é apresentada no Apêndice G (pág. 416).

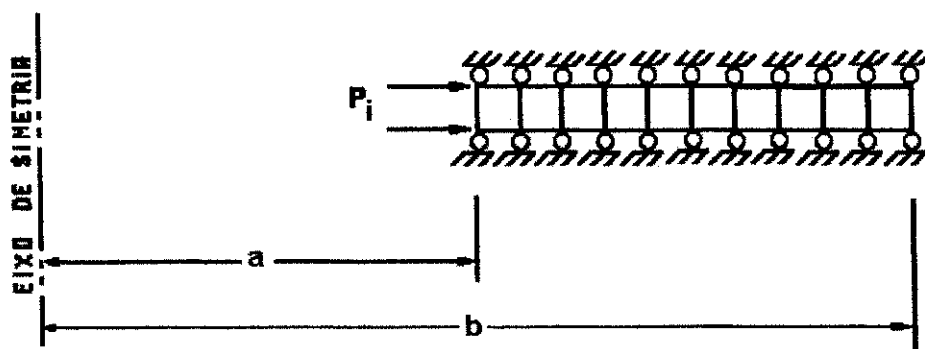
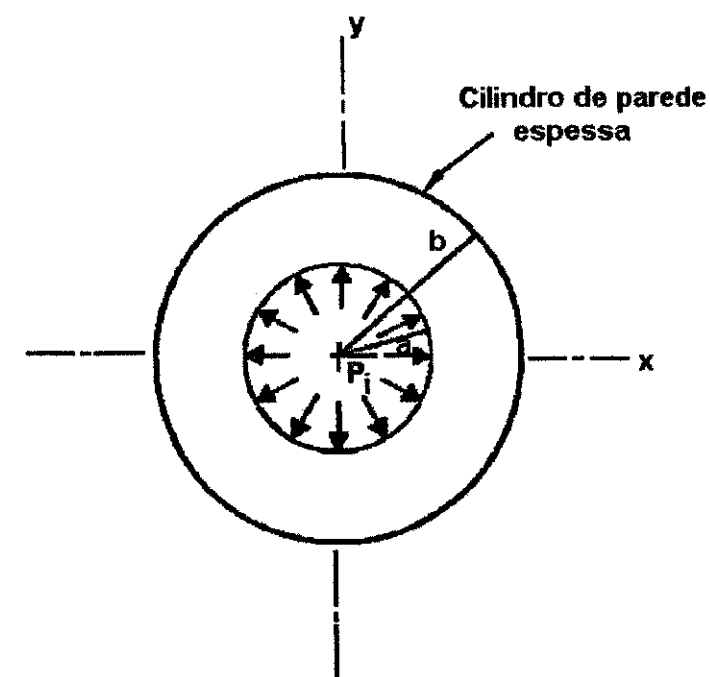


Figura 5.4 - Cilindro de Parede Espessa Submetido à Pressão Interna.

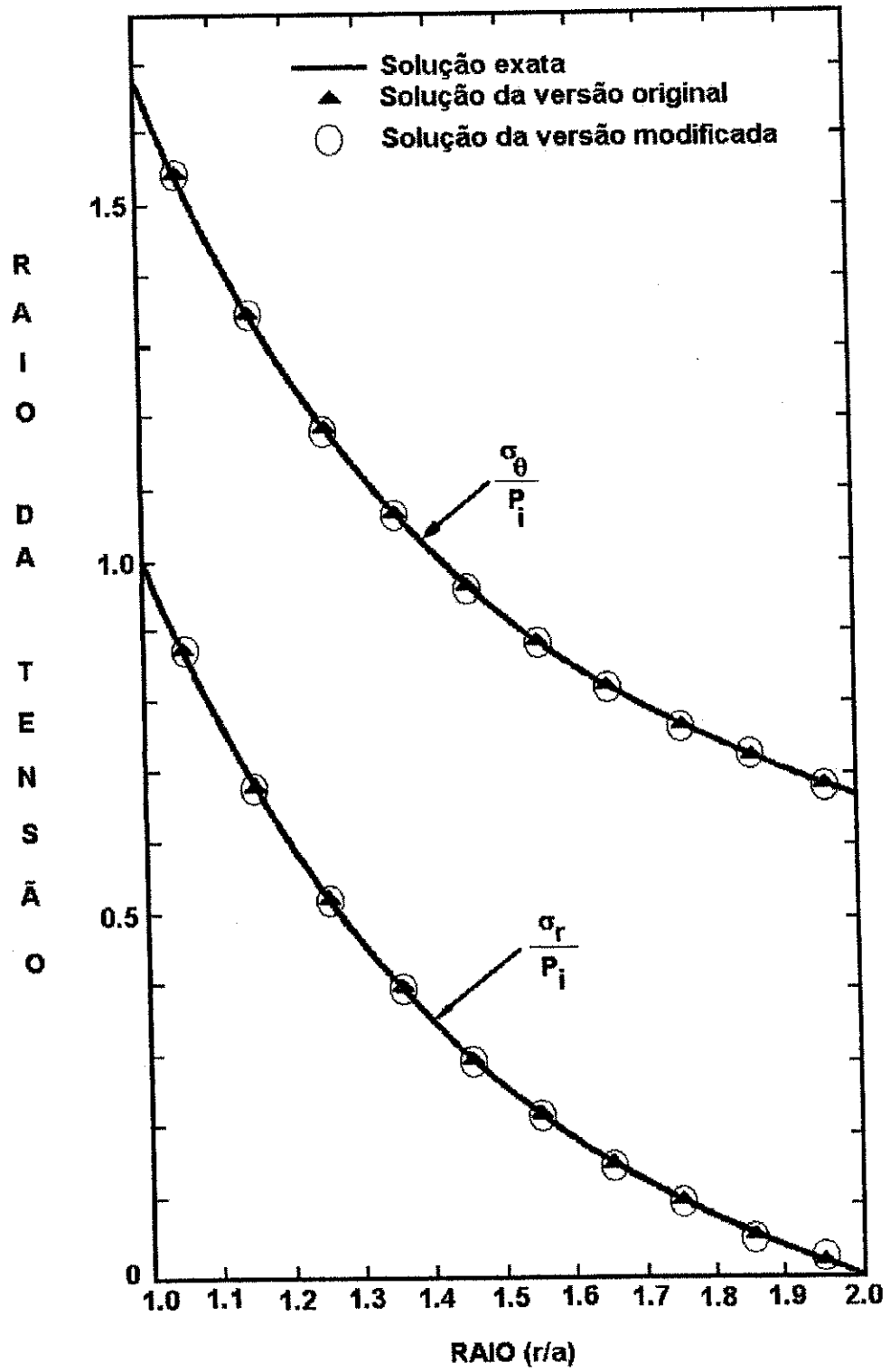


Figura 5.5 - Problema-Exemplo 2a - Cilindro Elástico de Parede Espessa Submetido à Pressão Interna.

### 5.3 - PROBLEMA-EXEMPLO 2B - CILINDRO ELASTOPLÁSTICO DE PAREDE ESPESSA SUBMETIDO A PRESSÃO INTERNA

A geometria deste problema é a mesma do problema 2A que é ilustrada na Figura 5.4 (pág. 158). Para este problema, emprega-se o critério de escoamento de Von Mises, dado como:  $f = \sqrt{J'_2} - a_1 \leq 0$ , onde  $\sqrt{J'_2}$  é o segundo invariante da tensão deviatória e  $a_0$  representa o fator de escoamento. A pressão inicial,  $p_i$ , é monotonamente crescente de 117 a 212 psi, de modo a causar escoamento em uma porção do cilindro. O fator de escoamento de Von Mises,  $a_1$ , é igual a 156 psi. Este problema foi escolhido para verificar a opção de plasticidade do programa BMINES. A solução através de elementos finitos é mostrada na Figura 5.6, em termos de tensões radiais e circunferenciais, mostrando excelente concordância com a solução analítica. Foram plotadas as seguintes fases do carregamento: 1, 7, 13, 16 e 19. A solução da versão modificada do programa BMINES também apresenta boa concordância com as soluções da versão original e os resultados da solução fechada, conforme mostrado na Figura 5.6.

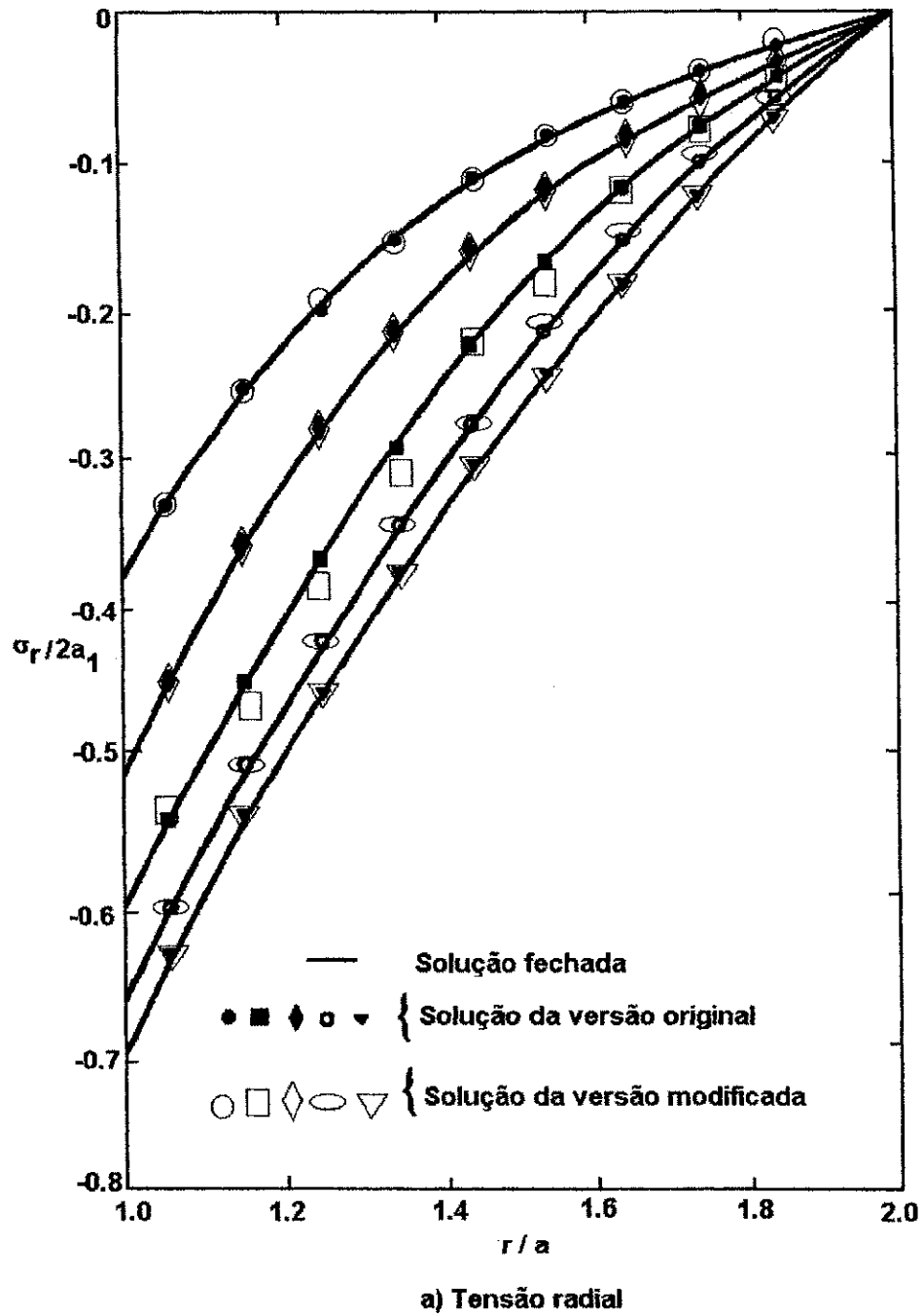
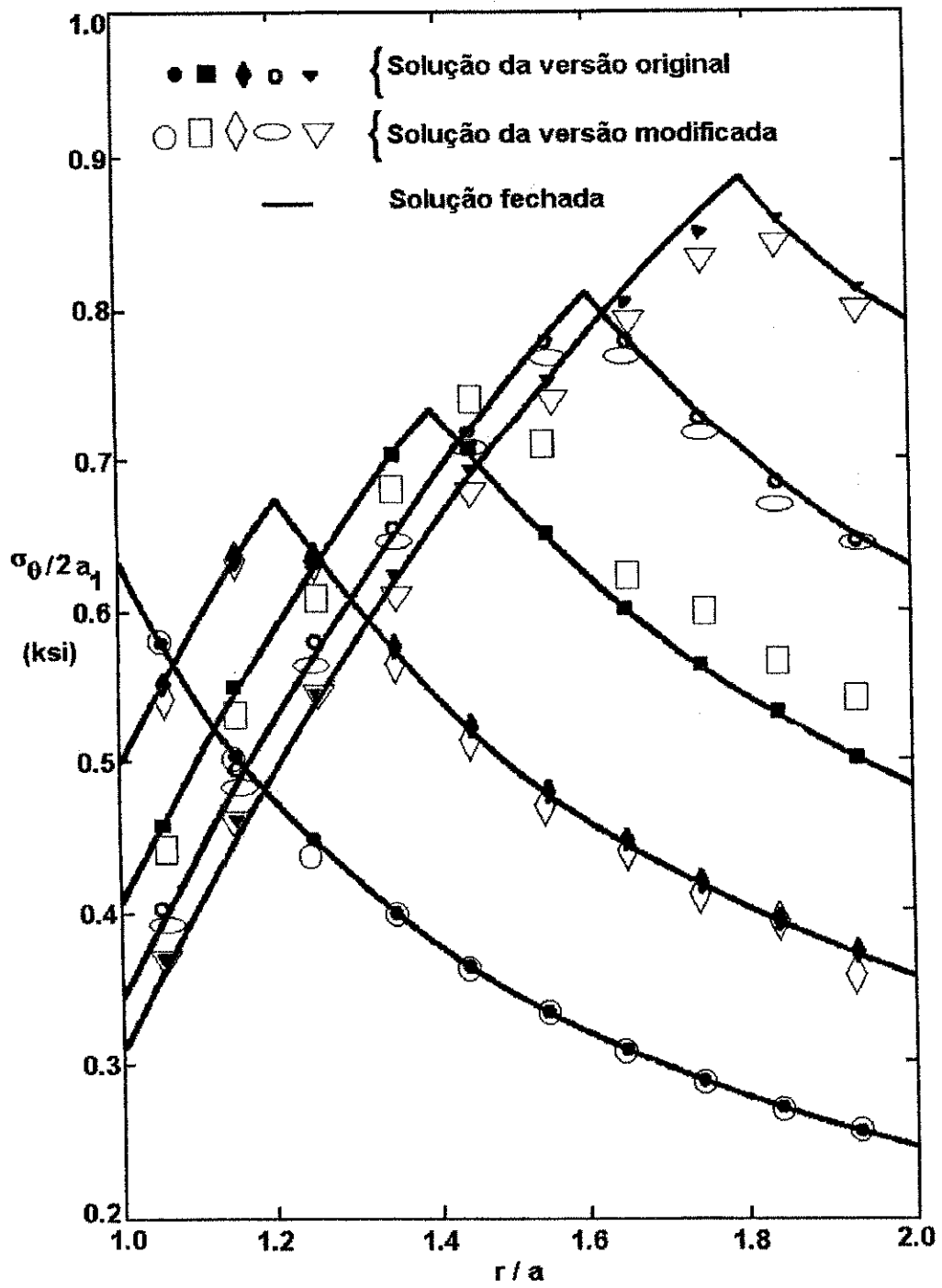


Figura 5.6 - Comparação entre as soluções das versões original e modificada do elemento finito e a solução analítica para um cilindro elastoplástico submetido à pressão interna



b) Tensão circunferencial

Figura 5.6 - Continuação

No caso das tensões radiais (Figura 5.6a, pág. 161), o erro médio relativo calculado para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada é  $e_{or} = 3.3\%$ , para todas as fases do carregamento.

A dispersão média dos valores entre os resultados das soluções das versões original e modificada é  $S_{or} = 4.9\%$ .

No caso das tensões circunferenciais (Figura 5.6b, pág. 162), o erro relativo médio calculado para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada é  $e_{or} = 2.9\%$ , para todas as fases do carregamento.

A dispersão dos valores entre os resultados das soluções das versões original e modificada é  $S_{or} = 4.1\%$ .

A entrada de dados usada para definir este problema é mostrada no Apêndice F (pág. 407). A saída dos resultados processados para este problema-exemplo é apresentada no Apêndice G (pág. 416).

### 5.4 - PROBLEMA-EXEMPLO 3 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO EM TORNO DE UM SHAFT CIRCULAR EM UM CAMPO DE TENSÃO BIAIXIAL

Este problema modela a possibilidade de um shaft circular, em um ambiente homogêneo, elástico, sob um estado de tensão biaxial. A geometria do problema é mostrada na Figura 5.7.

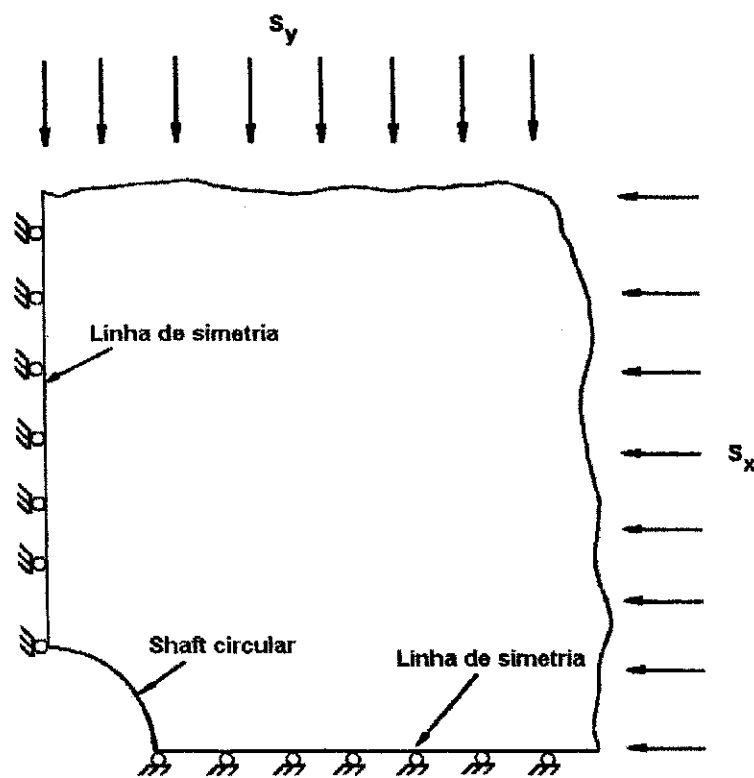


Figura 5.7 - Shaft Circular em um Campo de Tensão Biaxial

A solução do elemento finito para este problema faz uso de duas linhas de simetria mostradas na Figura 5.8. A extensão infinita do ambiente da rocha indicada na Figura 5.7, é modelada pela utilização de dimensões muito grandes no modelo de elemento finito (Figura 5.8). A malha consiste de 123 elementos e toda a fronteira é envolvida, incluindo a região da rocha que foi removida para criar o shaft. O campo de tensão *in situ* é estabilizado pela especificação de um estado inicial de tensão de  $\sigma_x = - 5.000$  psi e  $\sigma_y = - 10.000$  psi, para todo o modelo. A escavação é simulada utilizando a capacidade



de desativação do elemento, as propriedades de desativação do elemento e, as seguintes propriedades do material:  $B = 7.143 \times 10^6$  psi e  $G = 3.488 \times 10^6$  psi.

Este problema foi escolhido de modo a checar a tensão inicial e as capacidades de desativação do elemento e, ainda, devido a solução da forma fechada está disponível. O problema é modelado usando elementos de tensão plana quadrilaterais, diferentemente dos costumeiros (para muito problemas de mineração) elementos de deformação plana, uma vez que a solução da forma fechada é mais fácil de determinar e, ainda, pelo fato de que a técnica da análise de tensão plana testa tudo que a análise da deformação plana faz.

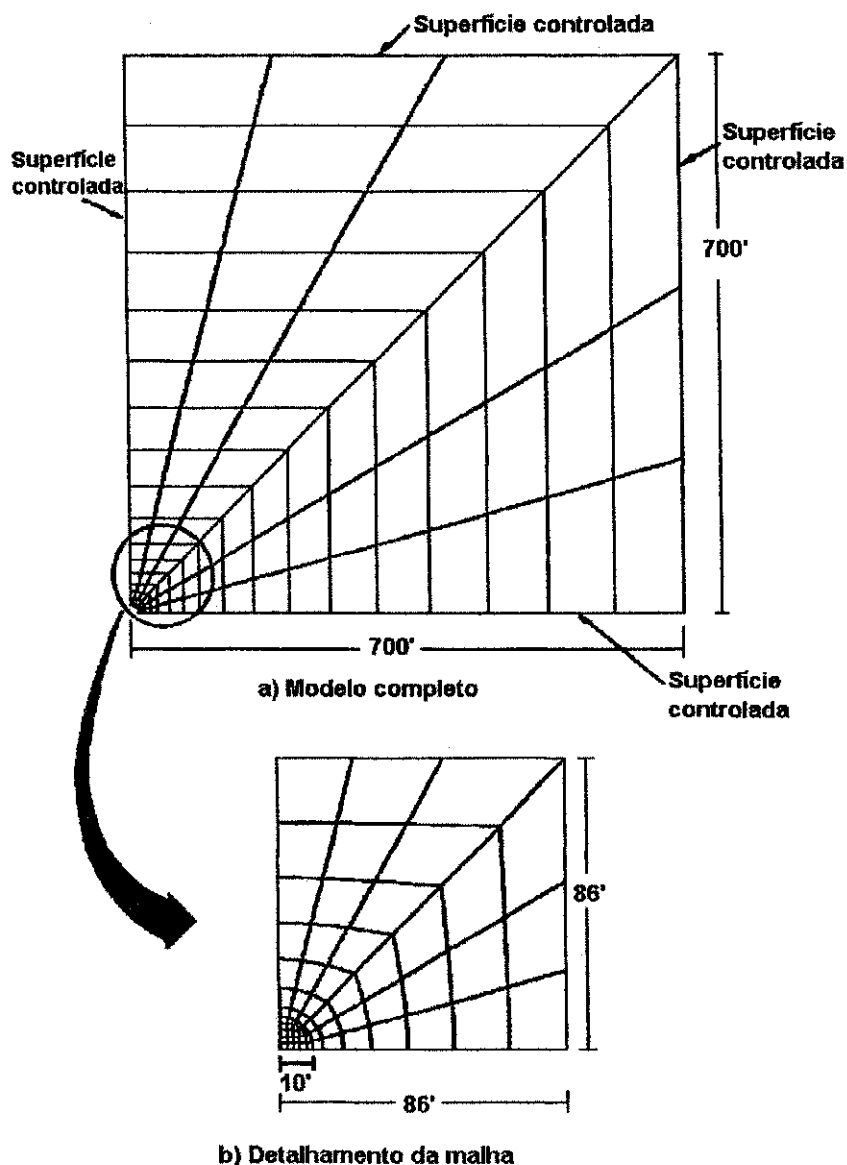


Figura 5.8 - Malha do Elemento Finito Para o Problema-Exemplo 3

A distribuição da tensão em torno de um *shaft*, como determinada pelo problema BMINES, é de muito boa concordância com a solução analítica dada por Obert e Durval (1967), como pode ser visto nas Figuras 5.9 (pág. 167) e 5.10 (pág. 168).

No caso de  $\theta = 7.5^\circ$  (Figura 5.9, pág. 167), os erros relativos médios calculados para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva de  $\sigma_r$ :  $e_r = 3.4\%$ , para a curva de  $\sigma_\theta$ :  $e_\theta = 1.6\%$ .

No caso de  $\theta = 37.5^\circ$  (Figura 5.10, pág. 168), os erros relativos médios calculados para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada são: para a curva de  $\sigma_r$ :  $e_r = 1.4\%$ , para a curva de  $\sigma_\theta$ :  $e_\theta = 2.0\%$  e para a curva de  $\tau_{r\theta}$ :  $e_{r\theta} = 4.9\%$ .

A solução da versão modificada do programa BMINES, também apresenta ótima concordância com as soluções da versão original e os resultados da solução fechada, conforme mostrado nas Figuras 5.9 (pág. 167) e 5.10 (pág. 168). A entrada de dados usada para definir este problema é mostrada no Apêndice F (pág. 407). A saída dos resultados processados para este problema-exemplo é apresentada no Apêndice G (pág. 416).

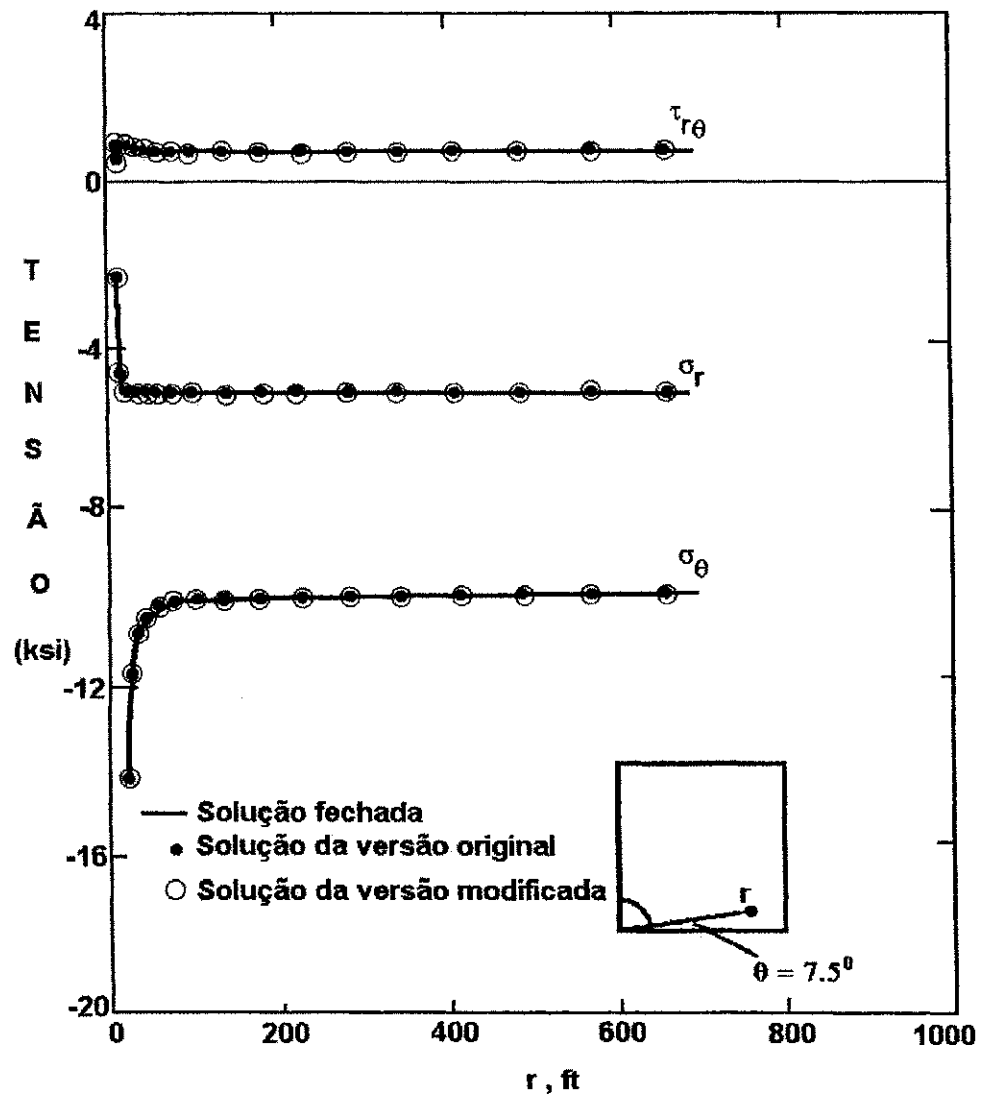


Figura 5.9 - Perfis da Tensão Para  $\theta = 7,5$  Graus

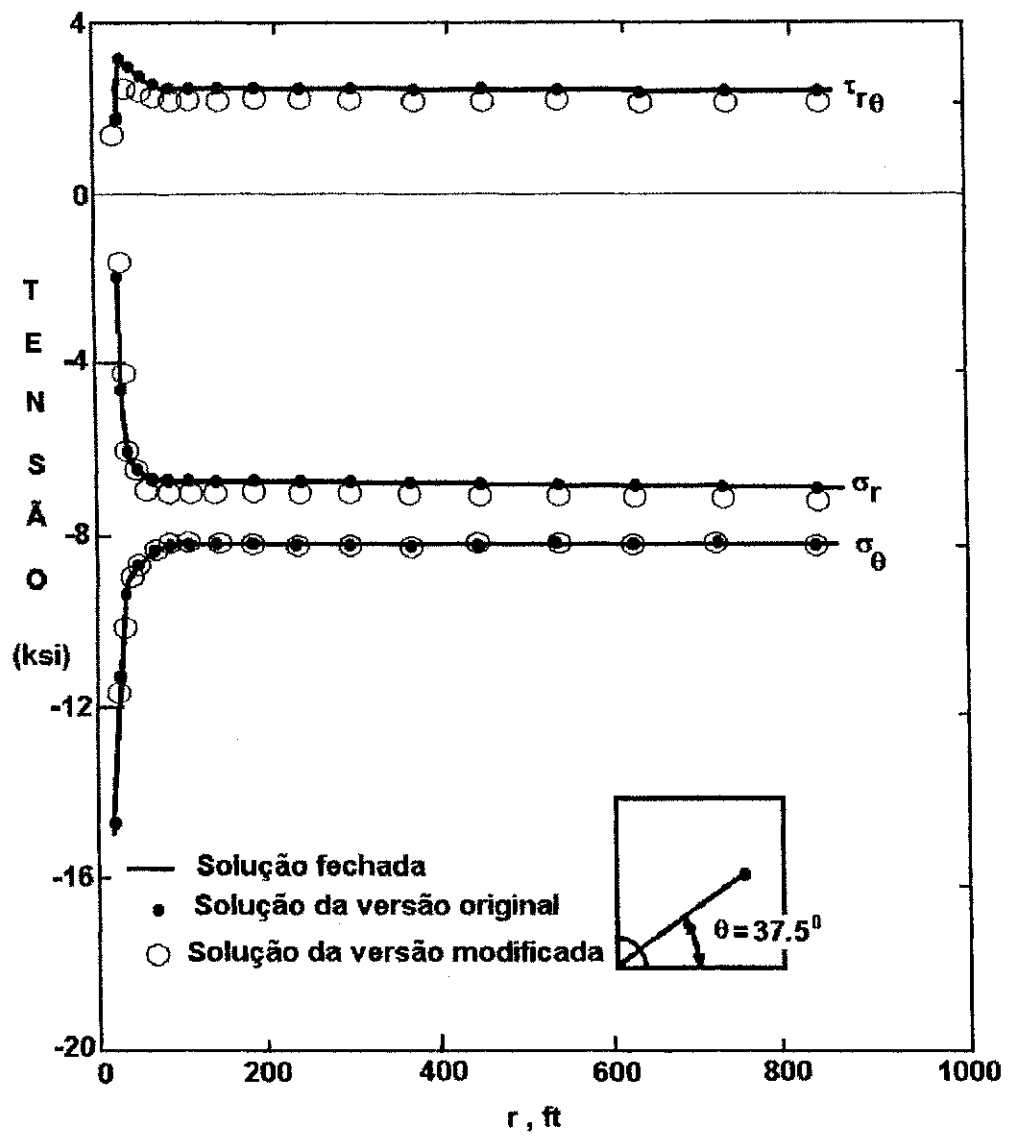


Figura 5.10 - Perfis da Tensão Para  $\theta = 37,5$  Graus

## 5.5 - PROBLEMA-EXEMPLO 4 - TENSÕES E DEFLECCÕES DE UMA VIGA EM BALANÇO

Um suporte de viga de 4 polegas de altura, 16 polegadas de comprimento e seção transversal retangular e estreita, de largura unitária, é submetido a uma força  $P$ , como ilustrado na Figura 5.11. Forças de cisalhamento iguais e de sentidos opostos, tendo resultante  $P$ , são parabolicamente distribuídas ao longo das extremidades  $X = 0$  polegada e  $X = 16$  polegadas, enquanto que as bordas superior e inferior estão livres de tração. Forças normais compressivas também são aplicadas ao longo da extremidade  $X = 0$  polegada.

Este problema-exemplo é executado modelando apenas a metade superior da viga e utiliza uma malha localmente refinada, constituída de 64 elementos quadrilaterais de deformação plana (Figura 5.12).

As tensões  $\sigma_x$  e  $\tau_{xy}$ , obtidas das duas análises são mostradas nas Figuras 5.13 (pág. 172) e 5.14 (pág. 173) e são comparadas à solução da forma fechada (ver, por exemplo, Timoshenko e Goodier, 1951). A solução da versão modificada do programa BMINES, também apresenta boa concordância com as soluções da versão original e os resultados da solução fechada, conforme mostrado nas Figuras 5.13 (pág. 172) e 5.14 (pág. 173). As propriedades da viga são:  $E = 30,0 \times 10^6$  psi e  $\nu = 0,30$ .

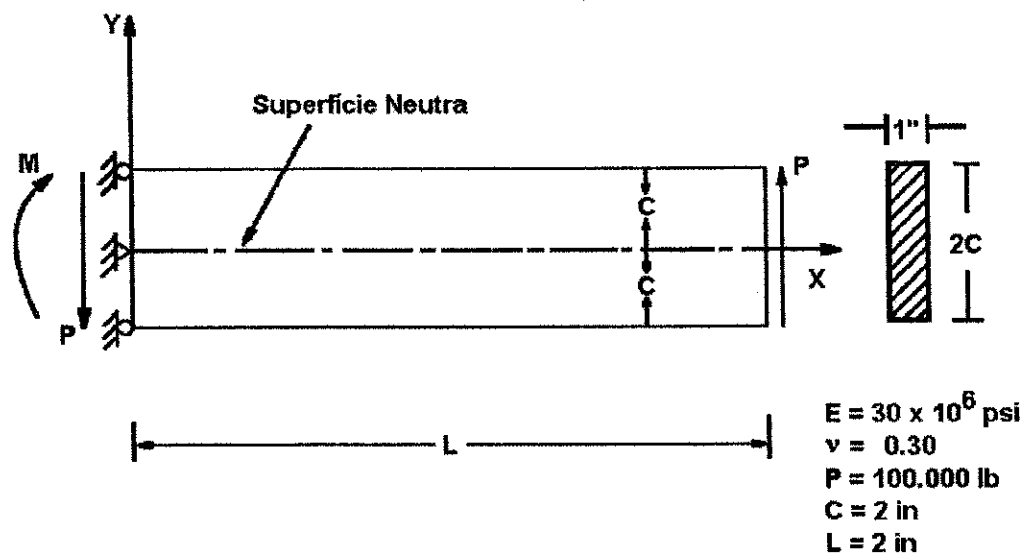
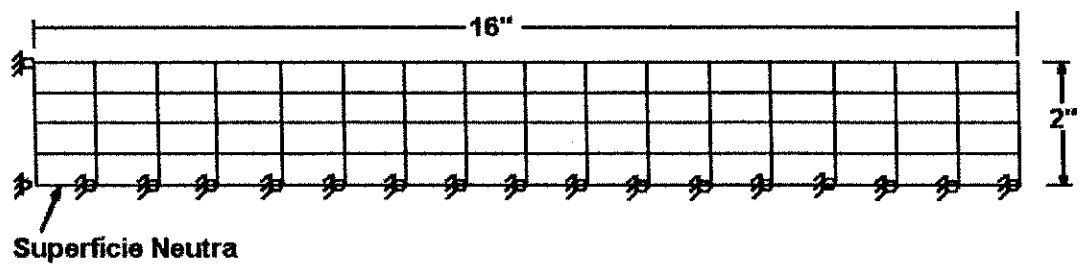


Figura 5.11 - Tensões e Deflecções de Uma Viga em Balanço.



Malha refinada tipo 4 x 16

Figura 5.12 - Malhas Usadas na Análise do Suporte da Viga

No caso da distribuição da tensão nas seções da viga, usando a malha 4 X 16 (Figura 5.13), o erro relativo médio calculado para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada, para as seções  $x = 0.5$ ,  $x = 4.5$  e  $x = 8.5$  polegadas é  $e_{\sigma x} = 0.88\%$ .

A dispersão média entre os valores dos resultados da soluções das versões original e modificada é  $S_{\sigma x} = 1.6\%$ .

No caso da distribuição da tensão de cisalhamento nas seções da viga, usando a malha 4 X 16 (Figura 5.14, pág. 173), o erro relativo médio calculado para os valores dos resultados das soluções das versões original e modificada, para as seções  $x = 0.5$ ,  $x = 4.5$  e  $x = 8.5$  polegadas é  $e_{\sigma x} = 0.8\%$ .

A dispersão média entre os valores dos resultados da soluções das versões original e modificada é  $S_{\sigma x} = 0.1\%$ .

A entrada de dados usada para definir este problema é mostrada no Apêndice F (pág. 407). A saída dos resultados processados para este problema-exemplo é apresentada no Apêndice G (pág. 416).

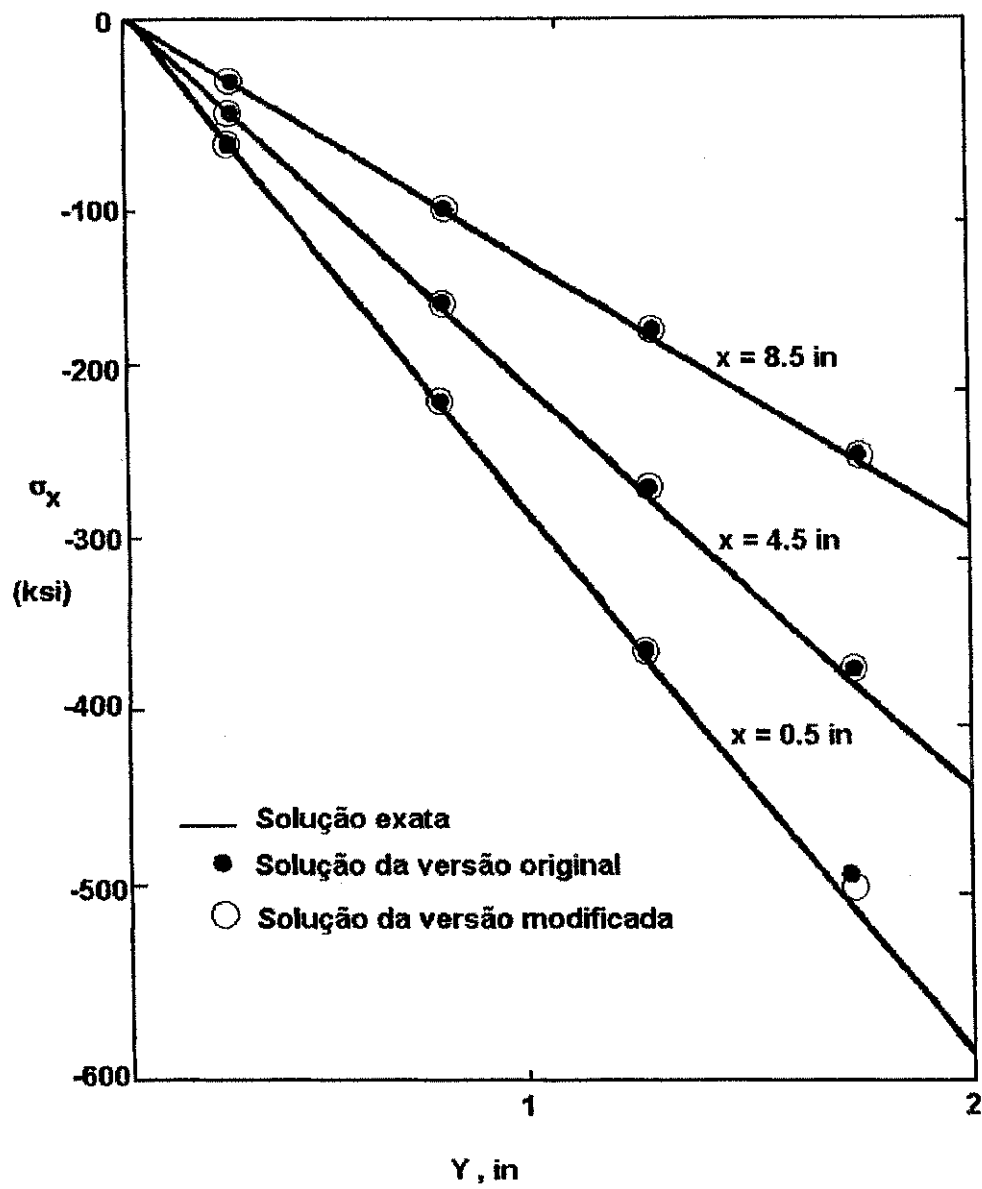


Figura 5.13 - Distribuição de Tensão nas Seções da Viga Usando o Elemento da Malha 4 x 16



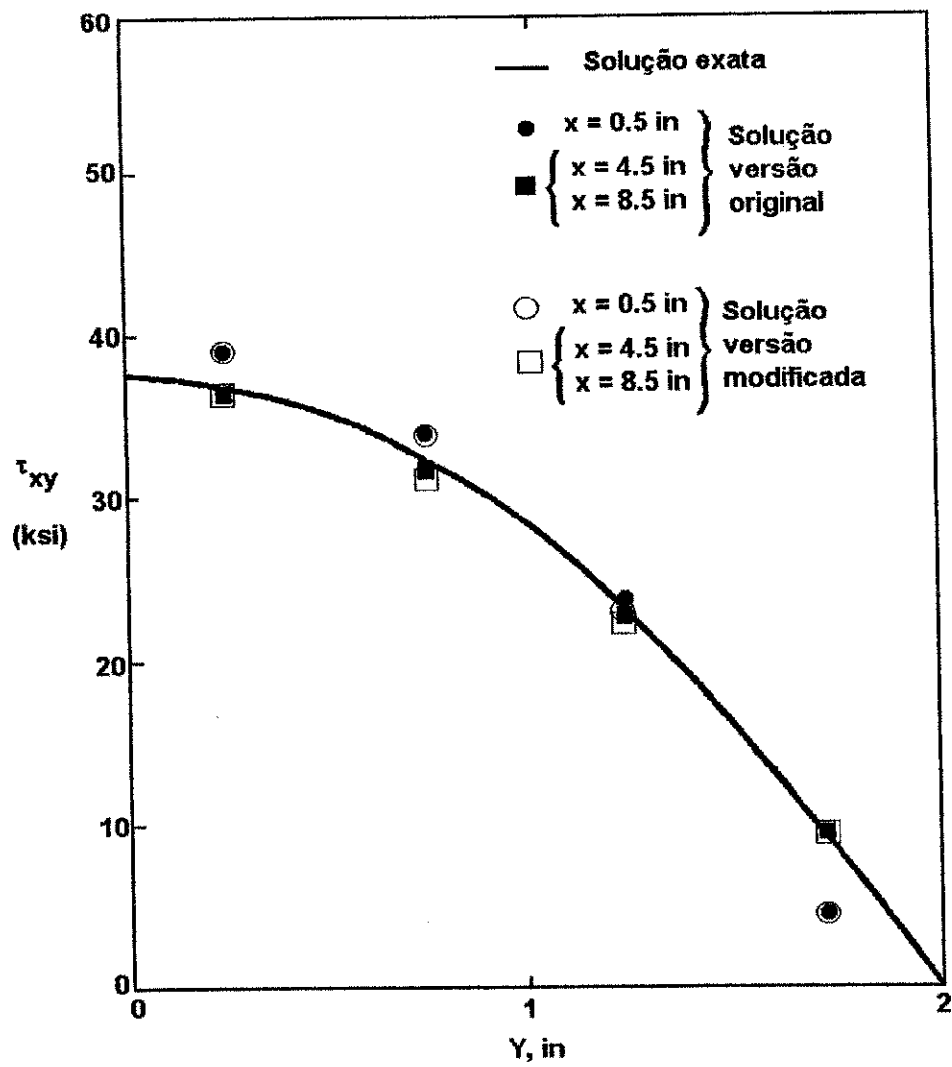


Figura 5.14 - Distribuição da Tensão de Cisalhamento nas Seções da Viga Usando o Elemento da Malha 4 x 16.

## CAPÍTULO 6

### INTERFACE GRÁFICA - O PROGRAMA MALHA\_2.FOR

O programa BMINES - como a maioria dos programas desenvolvidos na década de 70, não possui uma interface amigável, época em que não havia a disponibilidade de bibliotecas que permitissem o desenvolvimento de saídas gráficas, exceto o CALCOMP usado em *plotter* de pena, bem como os escassos recursos de hardware, ficando as saídas dos programas limitadas à apresentação de uma série de números em forma de linhas e colunas formatadas ou matrizes.

O programa BMINES original, possui uma saída gráfica *off line*, para *plotter* de pena, utilizando-se das rotinas do programa CALCOMP. Para se obter esta saída gráfica era necessário executar o programa que gerava um arquivo em fita magnética, posteriormente se fazia necessário executar um programa em FORTRAN que chamava as rotinas do CALCOMP para desenhar. Os dados numéricos eram lidos da fita magnética. Como o *plotter* era lento, geralmente era conectado a um minicomputador. Com a presente modificação, tem-se uma saída gráfica interativa, em tela, com possibilidade de impressão, para a malha ou porção dela, a critério do usuário. Não foi desenvolvida a parte relativa à saída gráfica dos resultados.

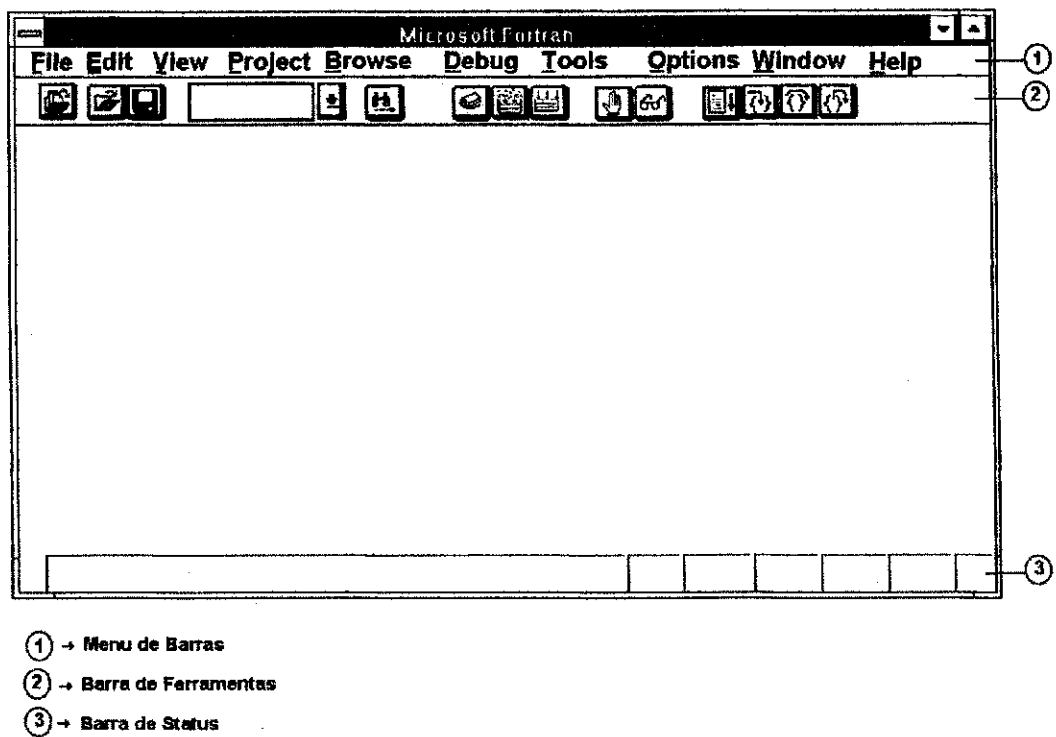
O desenvolvimento de uma interface gráfica, permite uma melhor visualização dos resultados do programa, facilitando sua compreensão. Este foi o principal objetivo que norteou o desenvolvimento do programa MALHA\_2.FOR, um interpretador de dados que os apresenta em modo gráfico, utilizando as rotinas gráficas disponíveis nas bibliotecas do compilador Microsoft FORTRAN Power Station, versão 1.0.

Este capítulo mostra e discute o desenvolvimento e a operacionalização do programa MALHA\_2.FOR.

## 6.1 - BREVE DESCRIÇÃO DO AMBIENTE INTEGRADO DE DESENVOLVIMENTO (IDE) FORTRAN VISUAL WORKBENCH.

As linguagens de computação sofreram uma evolução significativa desde o aparecimento da informática. Paralelamente à evolução das linguagens de programação, foram observadas, também, grandes modificações nos ambientes de desenvolvimento oferecidos aos programadores, permitindo uma melhor qualidade nos produtos finais obtidos. Atualmente, os mais utilizados são os ambientes integrados de desenvolvimento (IDE - Integrated Development Environment) e as interfaces visuais de desenvolvimento (VDE - Visual Development Environment).

O ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) FORTRAN *Visual Workbench*, usado no desenvolvimento do programa MALHA\_2, utiliza o sistema de Interface de Documento Múltiplo (MDI) que pode conter vários tipos diferentes de pequenas janelas, onde é possível editar o programa, utilizar a função *debug* e obter informações acerca do *status* dos erros. Há, ainda, uma barra de ferramentas que permite acesso rápido às funções mais freqüentemente utilizadas e a barra de *status* mostra pequenas descrições de funções que estão sendo usadas ou feições selecionadas pelo usuário. A Figura 6.1 mostra a tela de abertura do FORTRAN *Visual Workbench*.



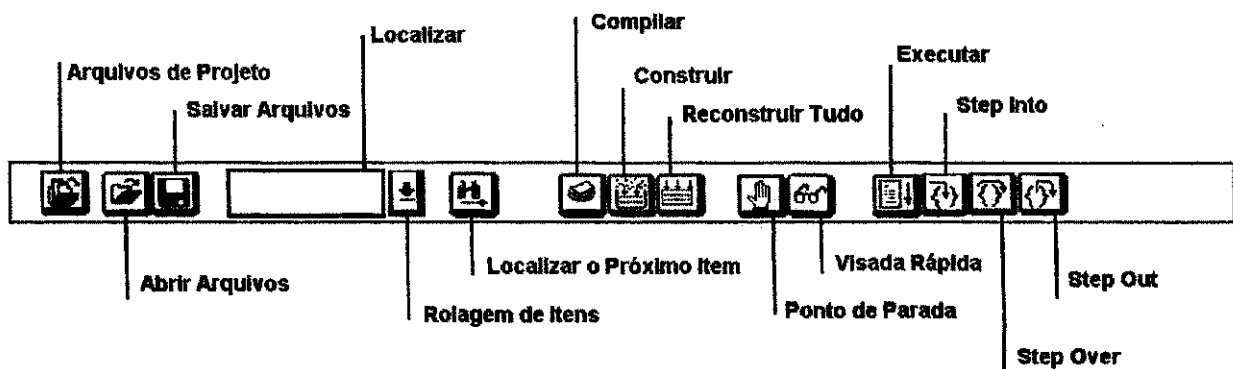
**Figura 6.1 - Tela de Abertura do FORTRAN Visual Workbench.**

### 6.1.1 - BARRA DE FERRAMENTAS

A barra de ferramentas aparece logo abaixo da barra de menu. Possui comandos que permitem abrir e salvar arquivos, encontrar textos, construir, executar e “debugar” programas. A Tabela 6.1 mostra uma descrição sucinta de cada ícone da barra de ferramentas. A Figura 6.2 ilustra a barra de ferramentas.

**TABELA 6.1**  
**RESUMO DAS FUNÇÕES DA BARRA DE FERRAMENTAS**

ÍCONE	DESCRIÇÃO
Projeto	Mostra a lista de arquivos do projeto a serem abertos.
Abrir	Mostra a caixa de diálogo para abrir um arquivo.
Salvar	Salva o arquivo-fonte ativo no disco especificado.
Encontrar o Próximo	Procura a próxima ocorrência do último texto pesquisado.
Compilar (Compile)	Compila o arquivo-fonte ativo.
Construir (Build)	Constrói o projeto corrente a partir da última construção.
Reconstruir tudo	Reconstrói o projeto corrente do início.
Ponto de interrupção	Atribui ou remove uma marca de parada no ponto de inserção.
Observar	Mostra a caixa de diálogo para observação rápida.
Executar	Inicia ou continua a execução do programa.
Step into	Navega pelas instruções do programa. Se este comando é usado quando se pesquisa uma chamada de função, a função é iniciada como um módulo único.
Step over	Navega pelas instruções do programa. Se este comando é usado quando se pesquisa uma chamada de função, esta é executada sem passar pelas instruções da função.
Step out	Executa os comandos remanescentes em uma função ou sub-rotina e para quando o controle retorna à rotina de chamada.



**Figura 6.2 - Barra de Ferramentas do FORTRAN Visual Workbench**

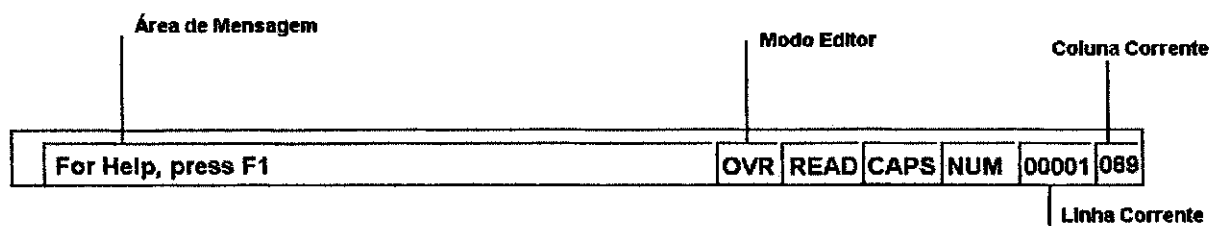
**6.1.2 - BARRA DE STATUS**

Uma barra de status aparece na base da janela principal do FORTRAN *Visual Workbench*. A barra de ferramentas exibe informações sobre o FORTRAN e sobre a janela fonte ativa. A tabela 6.2 apresenta um resumo das funções apresentadas na barra de *status*. A Figura 6.3 mostra a barra de ferramentas.

**TABELA 6.2**

**RESUMO DAS INFORMAÇÕES MOSTRADAS NA BARRA DE STATUS**

CAMPO	DESCRIÇÃO
Área de mensagem	Sumário sobre a operação corrente. Mensagens do ambiente: Por exemplo, se estivermos olhando mensagens de erros de compilação, a mensagem sobre o conteúdo do erro é mostrada aqui.
OVR	Mostra se o editor está no modo de sobrepor ou inserir.
READ	Mostra que o arquivo corrente é apenas de leitura.
CAPS	Mostra o status da tecla CAPS LOCK.
NUM	Mostra o status da tecla NUM LOCK.
Line	Mostra o número da linha corrente.
Column	Mostra o número da coluna corrente.



**Figura 6.3 - Barra de Status do Fortran Visual Workbench**

## 6.2 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA MALHA\_2.FOR

O programa MALHA\_2.FOR foi desenvolvido no ambiente de desenvolvimento FORTRAN *Visual Workbench*, do compilador *Microsoft FORTRAN Power Station*, versão 1.0 de 1993. O compilador suporta todas as características da linguagem do produto de 16 bits. É executável na plataforma *Windows* e produz, também, um programa executável no ambiente MS-DOS estendido (32 bits).

O programa MALHA\_2.FOR funciona independentemente do programa BMINES. Trata-se de um interpretador de resultados da malha gerada, exibindo-os no modo gráfico, na tela do computador.

## 6.3 - CODIFICAÇÃO DO PROGRAMA

Com o objetivo de proporcionar maior clareza no processo de codificação, sem comprometer o entendimento ao longo do desenvolvimento do programa e melhorando a sua documentação, o processo de codificação foi dividido em nove etapas abaixo descritas:

- 1 ) Inclusão das bibliotecas gráficas do FORTRAN *Power Station* FGRAPH.FI, que contém a declaração das rotinas e funções no comando INTERFACE e, FGRAPH.FD que contém a estrutura das declarações de constantes simbólicas e declaração EXTERNAL para cada rotina. Sem a inclusão destas bibliotecas no código-fonte, não há como por exemplo, atribuir ao monitor de vídeo o modo gráfico, manipular as janelas de exibição nos modos gráfico e de texto, manipulação de cores, sistemas de coordenadas em modo real ou em *pixels*, manipulação de imagens, etc.;

2 ) Declaração e dimensionamento das variáveis. Foram utilizadas variáveis do tipo REAL, INTEGER e CHARACTER. O dimensionamento das variáveis foi feito de modo a não alocar espaços de memória RAM desnecessários, não comprometendo o funcionamento do programa em equipamentos com processadores mais antigos e de menor capacidade de memória, economizando esforço computacional, garantindo portabilidade e segurança;

3 ) Abertura dos arquivos de entrada e saída de dados. Os dados necessários para a exibição gráfica estão contidos em um arquivo denominado MALHA e utiliza a unidade lógica de leitura número 10. O arquivo MALHA fornece as seguintes informações, necessárias para o funcionamento do programa: o título do problema, o número de nós da malha, o número de elementos da malha, o número de nós por elemento e as coordenadas dos nós. A saída dos dados também pode ser de natureza numérica e está contida em um arquivo denominado SAIDA. Este arquivo oferece as seguintes informações: o título do programa, as coordenadas (reais e em *pixels*) dos nós, os números dos nós, as coordenadas (reais e em *pixels*) máxima e mínima, o fator de escala e o tipo de elemento. Um outro arquivo de saída opcional é o arquivo MALHA.BMP, um arquivo de saída gráfica, que contém a malha e suas opções que poderá ser impresso pelo *Paintbrush* do *Windows*.

4 ) Leitura dos dados da malha e escalonamento das coordenadas para o tamanho da tela. Após a leitura das coordenadas dos nós, há a necessidade do escalonamento destas coordenadas para que possam ser visualizadas na tela. O modo de vídeo atribuído é o \$MAXRESMODE, da biblioteca gráfica do FORTRAN *Power Station*. O fator de escala é determinado pela seguinte fórmula:

$$\text{scale\_fact} = \text{amin1} (608.0/(\text{xxmax} - \text{xxmin}), 448.0/(\text{yymin} - \text{yymin})) ;$$

onde: amin é uma função intrínseca do compilador;



*xxmax* é o valor da coordenada máxima na direção do eixo x;

*xxmin* é o valor da coordenada mínima na direção do eixo x;

*yymax* é o valor da coordenada máxima na direção do eixo y;

*yymin* é o valor da coordenada mínima na direção do eixo y

5 ) Exibe os dados antes de entrar no modo gráfico;

6 ) Encontra o modo gráfico, pela determinação do modo gráfico \$MAXRESMODE, que utiliza as características do adaptador/monitor SVGA no padrão \$VRES256COLOR, permitindo uma resolução do monitor de 640 *pixels* por 480 *pixels* com 256 cores. Esta configuração é necessária para que o monitor possa suportar as operações de manipulação em modo gráfico (exibição de fontes diversas, cores, manipulação de coordenadas em *pixels*, etc.);

7 ) salva os padrões de *foreground* e *background* da tela, bem como a posição do texto. Isto permite a recuperação posterior dos dados, quando necessário;

8 ) Exibe o menu de abertura com as opções disponíveis, permitindo a escolha da operação a ser realizada;

9 ) Retorna ao modo de vídeo padrão, libera o registro das fontes utilizadas e finaliza a execução do programa.

#### **6.4 - CONFIGURAÇÃO MÍNIMA NECESSÁRIA PARA A EXECUÇÃO DO PROGRAMA MALHA\_2.EXE.**

O programa MALHA\_2.EXE foi desenvolvido para funcionar dentro das plataformas Windows e MS-DOS, no modo protegido (32 bits). Desse modo, para que o programa funcione perfeitamente, os requisitos de *hardware* mínimos necessários são:

- Microcomputador PC ou compatível;
- CPU 286 ou superior;
- 4MB de memória de RAM;
- Monitor de vídeo SVGA colorido com 1MB de memória de RAM-vídeo;
- Teclado;
- MS-DOS 3.0 ou superior <sup>1</sup>;
- Windows 3.0 ou superior

### 6.5 - PREPARAÇÃO DO SISTEMA

O programa funcionará em qualquer equipamento PC, ou compatíveis, que possua o sistema operacional MS-DOS (PC-DOS e assemelhados), versão 3.0 ou superior, ou, ainda, *Windows* 3.0 ou superior. É necessário também, que no mesmo disco (*floppy disk*) ou diretório (*hard disk*) estejam presentes o programa executável MALHA\_2.EXE, o arquivo MALHA de entrada de dados e, eventualmente, o arquivo DOSXMSF.EXE, que será solicitado, se necessário.

### 6.6 - PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO PROGRAMA MALHA\_2.EXE.

A partir do diretório do disco rígido ou do disco flexível, que contém o programa executável MALHA\_2.EXE e o arquivo de entrada de dados MALHA, digitar o seguinte comando:

```
C:\ > MALHA_2 <enter>
```

Após alguns segundos será mostrado na tela do computador o menu principal de abertura, mostrado na Figura 6.4.

---

<sup>1</sup> Para o caso de o usuário tentar executar o programa sem um gerenciador de memória instalado, o programa exigirá, no mesmo disco (*floppy disk*) e diretório (*hard disk*) o arquivo DOSXMSF.EXE.

O menu de abertura escreve a frase SAÍDA GRÁFICA PARA MALHAS PLANAS DE ELEMENTOS FINITOS no topo da tela. Logo abaixo escreve o título do problema processado pelo programa BMINES. O menu principal apresenta, ainda, 08 opções numeradas de 0 a 7. Após escolher uma das opções e apertar a tecla <enter> a operação será executada sendo exibido, na tela o resultado da escolha. São as seguintes opções disponíveis na atual versão do programa:

- ( 1 ) Plotar apenas a malha;
- ( 2 ) Plotar a malha com os números dos elementos;
- ( 3 ) Plotar a malha com os números dos nós;
- ( 4 ) Plotar a malha com os números dos elementos e dos nós;
- ( 5 ) Selecionar uma região da malha;
- ( 6 ) Restaurar seleção para a malha total;
- ( 7 ) Imprimir tela anterior;
- ( 0 ) Sair do programa

**SAIDA GRAFICA PARA MALHAS PLANAS DE ELEMENTOS FINITOS**  
Título do Problema:  
**SAMPLE PROBLEM 2 ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER**

- (1) Plotar apenas a malha;
- (2) Plotar a malha com os números dos elementos;
- (3) Plotar a malha com os números dos nós;
- (4) Plotar a malha com os números dos elementos e dos nós;
- (5) Selecionar uma região da malha;
- (6) Restaurar seleção para a malha total;
- (7) Imprimir tela anterior;
- (0) Sair do programa

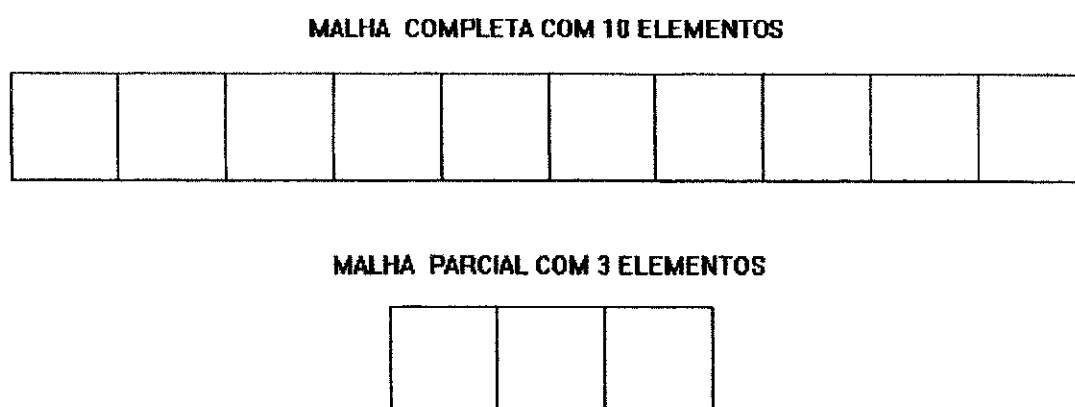
**Figura 6.4 - Menu de Abertura do Programa MALHA\_2.**

## 6.7 - DETALHAMENTO DAS OPÇÕES DO MENU DE ABERTURA

A seguir será feita uma explanação sobre as funções das oito opções disponíveis no menu de abertura, abordando os principais aspectos de sua operacionalização. Será mostrado, ainda, através de ilustração, as variações dentro de cada opção.

### 6.7.1 - OPÇÃO ( 1 ) - Plotar Apenas a Malha

Esta opção mostra na tela somente a malha gerada a partir das coordenadas dos nós que compõem a malha, convertidas em coordenadas de *pixels* (coordenadas de tela). A malha gerada na tela é mostrada segundo as coordenadas globais de tela *default* ( $\text{minx} = .00$ ,  $\text{maxx} = 480 \text{ pixels}$ ,  $\text{miny} = .00$  e  $\text{maxy} = 640 \text{ pixels}$ ). Faixas específicas da malha podem ser mostradas escolhendo-se a opção (5) - Selecionar uma região da malha. A combinação com a opção 05 permite que seja definida uma determinada região da malha (em coordenadas) e seja mostrada na tela. Trata-se de uma espécie de *zoom*. A Figura 6.5 ilustra a opção (1) para uma malha total e para uma região da malha (combinação com a opção (5)).



**Figura 6.5 - Apresentação da Malha Total e Faixa Específica da Malha.**

### 6.7.2 - OPÇÃO ( 2 ) - Plotar a malha com os números dos elementos

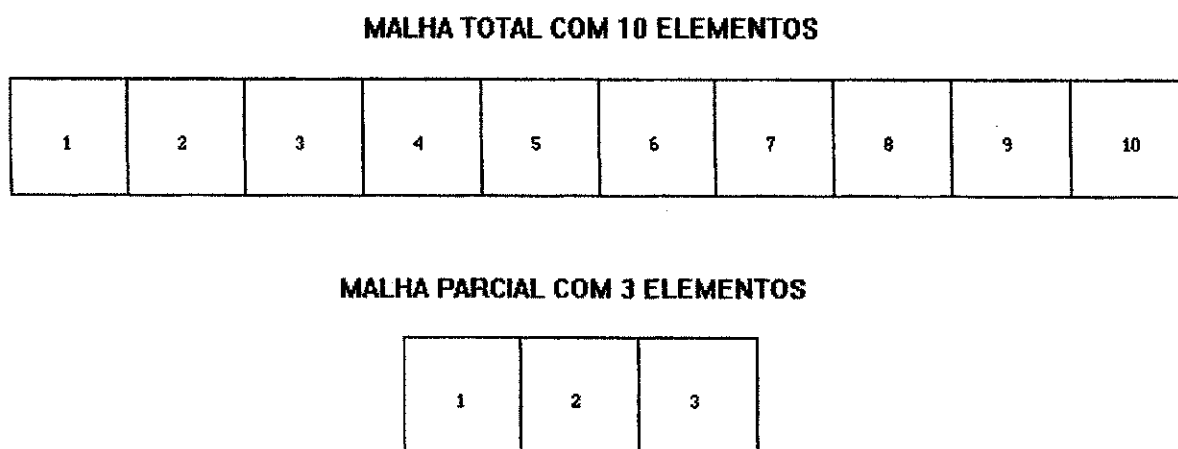
Esta opção mostra na tela a malha gerada a partir das coordenadas dos nós, após conversão para *pixels*, conforme as coordenada globais de tela default descritas no item anterior. Calcula as coordenadas do centro dos elementos numerando-os. O uso da opção (5) também permite que seja visualizada uma determinada faixa da malha. As coordenadas (x,y) do centro do elemento são calculadas pelas seguintes equações:

$$x\_center(iel) = xx\_c / int2(mnode)$$

$$y\_center(iel) = yy\_c / int2(mnode)$$

onde  $xx\_c$  é o somatório das coordenadas dos nós dos elementos na direção x; e  $yy\_c$  o somatório das coordenadas dos nós dos elementos na direção y;  $int2$  é uma função intrínseca do compilador que converte seu argumento para o tipo `INTEGER*2`;  $mnode$  é o número do nó.

A Figura 6.6 ilustra a opção (2) para a malha total e para uma região da malha.



**Figura 6.6 - Apresentação da Malha Total e Parcial com Numeração dos Elementos.**

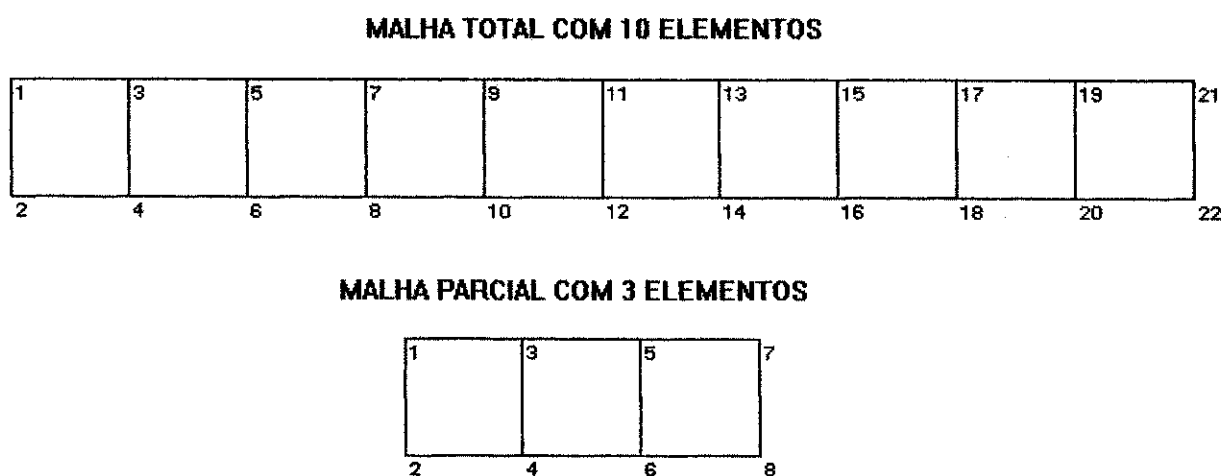
### 6.7.3 - OPÇÃO ( 3 ) - Plotar a malha com os números dos nós

Esta opção mostra na tela a malha gerada a partir das coordenadas dos nós, após a conversão para pixels, conforme tratado anteriormente. Para facilitar a visualização da malha com a numeração dos nós, são calculadas as coordenadas de plotagem do número do nó (que são bastante próximas das coordenadas reais do nó), pelas seguintes equações:

$$xx = \text{int2}(\text{scale\_fact} * \text{coord}(1, \text{inod})) + 15$$

$$yy = 479 - (\text{int2}(\text{scale\_fact} * \text{coord}(2, \text{nod})) + 15)$$

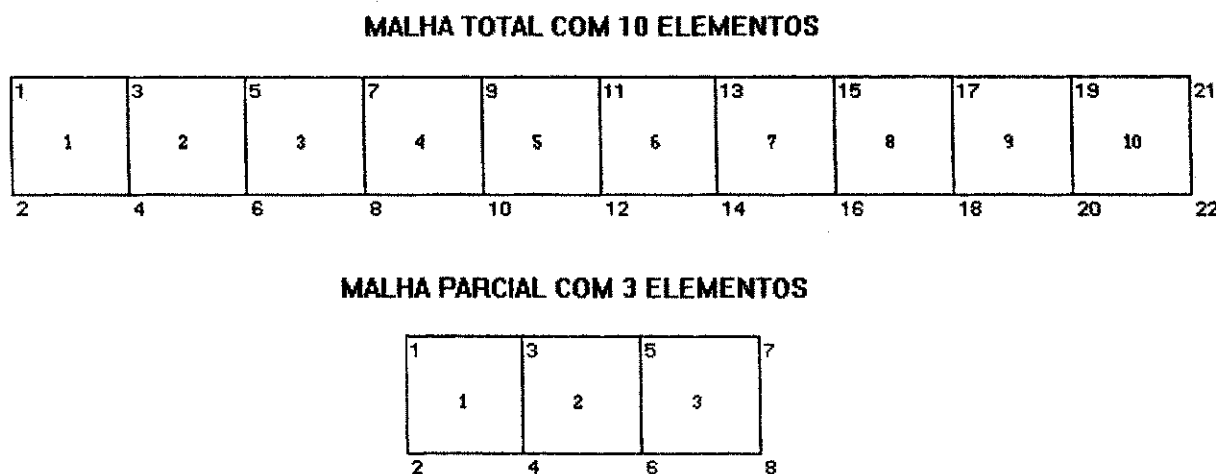
Esta opção também pode ser alterada com a utilização da opção (5), que permite a visualização de uma faixa específica da malha. A Figura 6.7 mostra a opção (3) para a malha total e para uma região da malha.



**Figura 6.7 - Apresentação da Malha Total e Parcial Com a Numeração dos Nós.**

**6.7.4 - OPÇÃO ( 4 ) - Plotar a malha com os números dos elementos e dos nós.**

Esta opção é uma combinação das opções (2) e (3). A malha é mostrada com os números dos elementos e dos nós. As coordenadas de plotagem dos números dos elementos são calculadas como descrito no item 6.7.2. As coordenadas de plotagem dos números dos nós também são calculadas conforme tratado no item 6.7.3. Do mesmo modo, podemos visualizar uma determinada faixa da malha combinando com a opção (5). A Figura 6.8 mostra a opção (4) para a malha total e para uma região da malha.



**Figura 6.8 - Apresentação da Malha Total e Parcial com a Numeração dos Elementos e dos Nós.**

**6.7.5 - OPÇÃO ( 5 ) - Selecionar uma região da malha**

Esta opção permite a seleção de faixas específicas da malha que se quer visualizar. Uma vez escolhida esta opção, uma nova tela surgirá, solicitando do usuário as novas coordenadas da faixa que se quer visualizar. Esta opção pode ser combinada com quaisquer das opções anteriores. Quando esta opção é selecionada uma outra tela aparece sendo solicitado do usuário as novas coordenadas e confirmadas com a tecla

<enter>. O menu mostra, ainda, os limites superior e inferior dos eixos coordenados (minx = .00, maxx = 480 *pixels*, miny = .00 e maxy = 640 *pixels*). Se o usuário definir valores fora destas faixas, o programa calcula a consistência da faixa escolhida. Se não houver resposta positiva abortará imediatamente os novos valores escolhidos e retorna aos valores *default*. A Figura 6.9 mostra o novo menu de definição das novas coordenadas.

```
SAIDA GRAFICA PARA MALHAS PLANAS DE ELEMENTOS FINITOS

Titulo do Problema:
SAMPLE PROBLEM 2 ELASTIC THIC-WALLED CYLINDER

SELECAO DE UMA REGIAO DA MALHA

COORDENADAS DA MALHA TOTAL
Coordenada Minima em x = 12.00
Coordenada Maxima em x = 24.00
Coordenada Minima em y = .00
Coordenada Maxima em y = 1.20

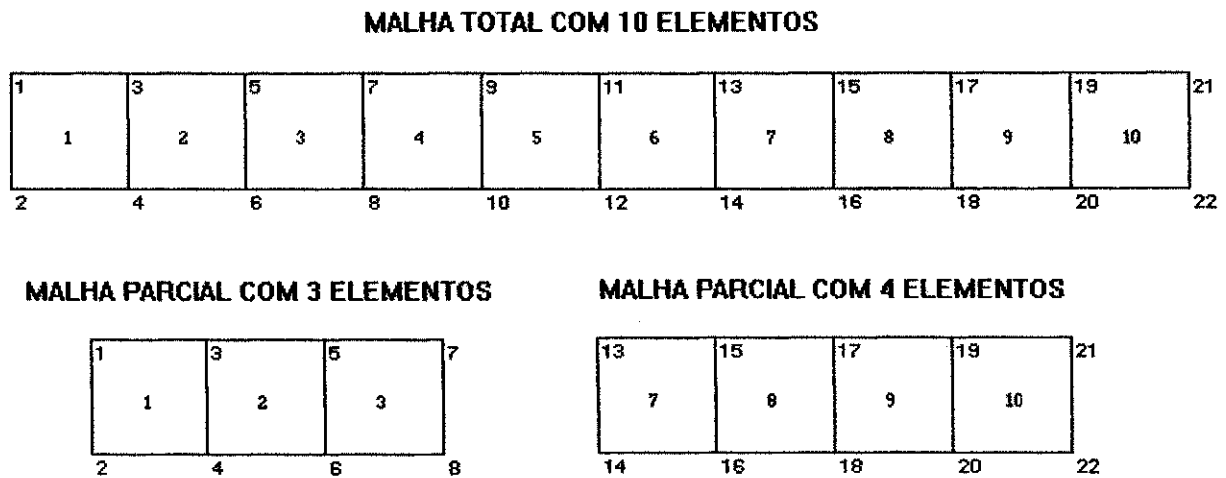
COORDENADAS PREVIAMENTE SELECIONADAS
Coordenada Minima em x = 12.00
Coordenada Maxima em x = 24.00
Coordenada Minima em y = .00
Coordenada Maxima em y = 1.20

Altere as Coordenadas, ou Confirme com ENTER
Min. x ===>
```

**Figura 6.9 - Menu de Definição das Novas Coordenadas**

A Figura 6.10 mostra a opção (5) para uma malha total e para faixas da malha escolhidas previamente. Observar que o sistema de coordenadas (x, y) do vídeo, segue o sistema padrão, ou seja, a origem dos eixos (0, 0) se localiza no canto esquerdo inferior do vídeo.





**Figura 6.10 - Apresentação da Malha Total e de Faixas Específicas Previamente Definidas.**

**6.7.6 - OPÇÃO ( 6 ) - Restaurar seleção para a malha total.**

Esta opção permite que o programa restaure os valores *default* para a exibição total da malha e de seus componentes, ou seja, a partir de sua escolha, toda a malha será novamente exibida no monitor.

**6.7.7 - OPÇÃO ( 7 ) - Imprimir tela anterior**

Esta opção permite a impressão da última tela configurada, ou seja, se a configuração for para a exibição de todos os elementos disponíveis - numeração dos nós, dos elementos e visualização da malha total, poderão todos estes componentes ser impressos através de um arquivo criado no diretório raiz `c:\>` denominado MALHA.BMP. Este arquivo é criado como um mapa de bits (*bitmap*) podendo ser impresso pelo *Paintbrush do Windows*. Observar que cada vez que se quiser a impressão de uma tela, o arquivo de impressão criado terá, sempre, o mesmo nome - MALHA.BMP.

### 6.7.8 - OPÇÃO ( 0 ) - Sair do programa

Esta opção desativa o modo gráfico, libera as fontes registradas, levando o monitor novamente para o modo de texto padrão e retorna o controle ao sistema operacional, através da exibição do *prompt*.

## 6.8 - RESULTADOS DO PROGRAMA MALHA\_2.EXE.

Como tratado anteriormente, o programa MALHA\_2.EXE gera dois arquivos de saída de resultados: uma saída numérica através de um arquivo automaticamente criado, denominado SAIDA e, uma outra saída gráfica, gravada em um arquivo, opcionalmente criado, como tratado no item 6.7.7, denominado MALHA.BMP, que pode, eventualmente, ser impresso pelo *Paintbrush* do *Windows*.

Os arquivos de entrada de dados e saída de resultados numéricos e gráficos, para os problemas-exemplos discutidos no capítulo 5, estão apresentados nos Apêndices H (pág. 568) e I (pág. 582), respectivamente.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

#### 7.1 - ANÁLISE CRÍTICA DO TRABALHO E DOS RESULTADOS

O potencial atual do programa BMINES, em termos da solução de problemas ligados à engenharia, que utilizam o método dos elementos finitos em sua solução, é de grande importância, uma vez que sua biblioteca de elementos permite o modelamento de uma extensa faixa de problemas, utilizando diferentes tipos de elementos, permitindo a geração de malhas.

A adaptação do programa BMINES para o padrão compatível com o PC foi conseguida e, na atual versão, está apto a funcionar em plataformas compatíveis com a IBM sob os sistemas operacionais DOS e similares, *Windows* e OS2, permitindo seu funcionamento em diferentes tipos de equipamentos.

A correção das distorções encontradas ao longo do programa, foi realizada com sucesso, utilizando-se os recursos do compilador *Microsoft FORTRAN Power Station*, gerando um código otimizado, mais eficiente, compacto e de fácil operação.

A interface gráfica, o programa MALHA\_2.FOR, desenvolvido para exibir os resultados processados de forma gráfica, veio permitir um melhor entendimento do comportamento das estruturas modeladas, garantindo uma melhor interpretação dos dados de saída.

O aperfeiçoamento da documentação do programa, Guia do Usuário, foi concebido de modo a permitir que novos usuários tenham um maior conhecimento do funcionamento e mais facilidade na manipulação do programa.

Observa-se, com este trabalho, a impressionante rapidez do desenvolvimento dos equipamentos de computação nas últimas duas décadas. Pode-se observar, também, que um programa inicialmente projetado para ser executado em um dos mais potentes *mainframes* do início da década de 80, o CDC 7600 CYBER pode ser convertido, viabilizando sua execução em microcomputadores. Dessa forma, o trabalho de resgate de programas rapidamente tornados obsoletos, devido ao avanço no desenvolvimento de *hardware*, torna-se cada vez mais relevante.

O programa foi validado em microcomputador 486 DX, pela execução dos quatro problemas-exemplos testados na versão original, sem apresentar diferenças significativas nos resultados. Os tempos de processamentos totais sempre ficaram abaixo de um minuto.

Os princípios em que o programa foi baseado continuam totalmente válidos, uma vez que houve pouca mudança em técnicas e algoritmos.

## 7.2 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos podemos fazer as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Apresentar os resultados em formas gráficas mais elaboradas, que podem dar muito mais informações ao usuário;
- Implementação de um módulo especialista para a manipulação das imagens em 3D (com recursos de *zoom*, giro, ângulo de visão, etc.);
- Implementar o programa para funcionar nos moldes da plataforma *Windows*, com a utilização de janelas e ícones na execução de tarefas rotineiras. O ambiente *Windows* reúne inúmeras vantagens que facilitam o aprendizado de novas aplicações. Dentre estas estão:
  - Operação padrão e previsível. Sabendo usar uma aplicação *Windows* sabe-se usar outras aplicações;
  - Não há necessidade de inicializar (*set up*) os drivers para cada aplicação. O *Windows* fornece *drivers* para suportar periféricos.
  - Ambiente multitarefa. É possível executar mais de uma aplicação *Windows* ao mesmo tempo;
  - Amplo parque instalado de PCs e sua versatilidade para rodar em diferentes tipos de dispositivos físicos, graças a sua biblioteca gráfica (GDI) independente de dispositivo físico;
  - Remoção do código das operações relacionadas com a interface gráfica original.

**7.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esperamos que este trabalho tenha dado uma contribuição para aqueles que desejam se utilizar do método dos elementos finitos para a solução de problemas ligados à engenharia, uma vez que as informações contidas na literatura encontram-se dispersas e, às vezes, não são de fácil acesso.

Além disso, a seqüência exposta nos capítulos II e III e exemplificada no capítulo IV foi resultado de um trabalho de compilação e reorganização, a fim de que o método dos elementos finitos fosse desmistificado quanto ao seu grau de dificuldade.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ADHAM, S. ; BHAUMIK, A.; and INSELBERG, J. Reinforced Concrete Constitutive Relations.** AFWL-TR-74-72. El Segundo, CA: Agbajian Assoc. Feb., 1975.
- AGBABIAN ASSOC. (AA). Analytical Modeling of Rock-Structure Interaction, Vol 1, R - 7215-2701.** El Segundo, CA: AA, apr. 1973.
- AGBABIAN ASSOC. (AA). Tree-Dimensional Finite Element Analysis of Cross Cut and Entry Intersection of a Double Entry Coal Mine, Final Report, vol. 1, R - 7638 - 2 - 4162.** El Segundo, CA: AA, jun., 1976a.
- AGBABIAN ASSOC. User's Guide for a Computer program for Analytic Modeling of Rock Structure Interaction, Final Report, vol. 1, U-7638 - 3 -4183.** El Segundo, CA: AA, mar., 1976b.
- AGBABIAN ASSOC. (AA). Tree-Dimensional Finite Element Analysis of Single - and Double - Entry Portions of Sunnyside Mine No. 1, R -7638 - 4534.** El Segundo, CA: AA, mar. 1978.
- AGBABIAN ASSOC. (AA). Stability Comparisons of Entry Configurations and Ground Support for Longwall Panel Development .** El Segundo, CA: AA, May, 1980.
- AGBABIAN ASSOC. (AA). Modernization of the BMINES Computer Code: User's Guide for a Computer Program for Analytical Modelling of Rock/Structure Interaction).** Final Report. Vol 1. U-7910-5117. AA. Denver, Colorado, USA. 1981.
- ARGYRIS, J. H. and KELSEY, S.. Energy Theorems and Structural Analysis.** Butterworth Scientific Publications. London. 1960.

- CLOUGH, R. W., **The Infinite Element in Plane Stress Analysis**, Proc. 2nd. A.S.C.E., Conf. on Electronic Computation, Pittsburg Pa., Sept. 1960.
- CLOUGH, R. W., **The Infinite Element Method in Structural Mechanics**, Chapter 7 of Stress Analysis, ed. O. C. Zienkiewicz and G.S. Holister, John Willey and Sons, 1965.
- COURANT, R., **Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibration**, Bull. Am. Math. Soc., 49,1-23,1943.
- CRANDALL, S. H., **Engineering Analysis**, New York, McGraw-Hill Book Company, 1956.
- DiMAGGIO, F. L. and SANDLER, I. **Material Model for Rocks**. DASA 2595. New York, NY: Paul Weidlinger, Consulting Engineer, 1970a.
- DiMAGGIO, F. L. and SANDLER, I. **Material Model for Soils**. DASA 2521. New York, NY: Paul Weidlinger, Consulting Engineer, 1970b.
- DURELLI, A.,J., E. A. PHILLIPS, and C. H. TSAO; **Introduction to the Theoretical and Experimental Analysis of Stress and Strain**, Chapter 1, McGraw-Hill Book Co, New York, 1958.
- FORSYTH, G. E. e WASOW, W. R., **Finite Difference Methods for Partial Differential Equations**, New York, John Willey and Sons, Inc., 1960.
- GOODMAN, R. E; TAYLOR, R. L. and BREKKE, T. L. " **A Model for TheMechanics of Jointed Rocks**". Jnl.Soil Mech. Div. ASCE, 94:SM3, 1968.
- GREEN, S. J. et al. **Static Constitutive Relations fot concrete**. AFWL-TR-72-244. Kirtland, AFB, NM: Air Force Special Weapons Lab. April, 1973.
- GROOMS, H. R. " **Algorithm for Matrix Banwidth Reduction**". Jnl. Struct. Div., ASCE, 98:ST1, pp. 203-214, jan, 1972.



- HEARMAN, R. F. S., **An Introduction to Applied Anisotropic Elasticity**, New York, Oxford University Press, 1961.
- HILL, R. **The Mathematical Theory of Plasticity**. New York, NY: Oxford Press. 1950
- HRENIKOFF, A.. **Solutions of Problems in Elasticity by the Framework Method**. Transactions of the ASME, Journal os Applied Mechanics. Vol. 8. pp. 169-175. 1941.
- HUGES, T. J. R. **The Finite Element Method**. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey, EUA, 1987.
- INSELBERG, J. Nuclear Geoplosics, Part Two: **Mechanical Properties of Earth materials**. DNA 1285H2. El Segundo, CA: Agbabian Associates. 1972.
- INSELBERG, J. and WONG, F.S. **A Viscoplastic Model With a Discussion of its Stress/Strain and Wave Propagation Properties**. R-7110-1886. Los Angeles, Ca: Agbabian-Jacobsen Assoc. April, 1971.
- IRONS, B. M. **Numerical Integration Applied to Finite Element Methods**. Conf. Use of Digital Computers in Struct. Eng. Univ. of Newcastle, 1966.
- IRONS, B. M. **Engineering Application of Numerical Integration in Stiffness Method**. J.A.I.A.A., 14, 2035-7, 1966.
- JAEGER, J. C. **Shear Failure of Anisotropic Rocks**. Geologic Mag. Vol 97, pp. 65-72. 1960.
- JORDAN, W. B. **The Plane Isoparametric Structural Element**. General Elec. Co. Repat KAPL-M-7112, Schenectady, New York, 1970.

- KARVOSKY, W. J. and VAN DILLEN, D. E. **Aplications of BMINES Tree-Dimensional Finite Element Computer Code to Large Mine Structural Problems.** Presented at 19th US Symp. on Rock Mech., State Line, Nevada, May, 1978.
- LEKHNITSKII, S. G., **Theory of Elasticity of An Anisotropic Elastic Body,** Translation from Russian by P. Fern. Holden Day, San Francisco, USA, 1963.
- LEKHNITSKII, S. G., **Theory of Elasticity of An Anisotropic Elasticity,** San Francisco, Holden Day, 1963.
- LIMA, A. de A. **An Advanced Implementation of the Boundary Element Method for Plane-Strain Elastoplasticity.** University of Missouri. Rolla. Missouri. USA. 1988. (Doctor of Philosophy Thesis).
- LIVESLY, R.K., **Matrix Methods in Structural Analysis,** Pergamon Press, 1964.
- LOVE, A. E. H., **A Treative on the Mathematical Theory of Elasticity,** New York, Dover Publications, 1944.
- McLAMORE, R and GREY, K. E. **The Mechanical Behaviour of Anisotropic Sdimentary Rocks.** Jnl of Eng. for Industry, ASME, 89:1, Feb, pp. 62-76. 1967.
- OBERT, L. and DUVALL, W. I. **Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock.** Ney York, NY:John Willey & Sons. Inc. 1967.
- OBERT, L.and WILBUR, D.I., **Rock Mechanics and Design of Structures in Rock.** Part 1, pp. 8-45, John Willey and Sons, INC., New York, 1972.
- PARISEAU, W. G. **Plasticity Theory of Anisotropic Rocks and Soils.** 10th Symp. on Rock Mech., Univ. of texas, Austin, May. 1968.

- PERZYNA, R. **The constitutive Equations for Work-Hardening and Rate Sensitive Plastic Materials**. Proc. vib. Prob., 3,4, pp. 281-290. 1963.
- PRAGER, W. and HOHENEMSER, K. **Über die Ansätze der Mechanik Isotroper Kontinua**. ZAMM, 12, pp. 216-226. 1932
- PRAGER, W. e SYNGE, J. L., **Approximation in Elasticity Based on The Concept of Function Space**, Quat. Appl. Math.,5, 241-69, 1947.
- PRAGER, W. and HODGE, P. G. **Theory of Perfectly Plastic Solids**. New York, NY: John Willey & Sons Inc. 1951.
- REDDY, J. N. **Finite Element Method**. McGraw Hill. New York, USA, 1993.
- RITZ, W., **Ober Line Methode Zur Lösung Gewissen Variations - Probleme der Mathematischen Physic**, J. Reine and Angew, Math., 135, 1-61, 1909.
- ROSEN, R. " **Matrix Bandwidth Minimization**". Proc. ACM Nat. Conf. 1968.
- RUBINSTEIN, M. F. and ROSEN, R." **Structural Analysis by Matrix Decomposition**". Jnl. of Franklin Inst., 284:4, Oct. 1968.
- SOKOLNIKOFF, I. S., **Mathematical Theory of Elasticity**, New York, McGraw-Hill Book Co., 1956.
- STRANG, G. and FIX, G. J. **An Analysis of the Finite Element Method**. pp. 156-63, Prentice Hall, 1973.
- SZMELTER, J., **The Energy Method of Networks of Arbitrary Shape in Problems of the Elasticity**, Proc. I.U.T.A.M., Symposium on Non-homogeneity in Elasticity and Plasticity, ed. by W. Olszac, Pergamon Press, 1959.

- TAIG, I. C. **Structural Analysis by the Matrix Displacement Method**. Engl. Electric Aviation Report No. S017, 1961.
- TIMOSHENKO, S. e GOODIER, J. N., **Theory of Elasticity**, 2nd. ed., McGraw-Hill Book Co, New York, 1951.
- TIMOSHENKO, S., and YOUNG, D. H., **Theory of Structures**, 2nd. ed., McGraw-Hill, 1965.
- TURNER, M. J.; CLOUGH, R. W.; MARTIN, H. C. e TOPP, L. J., **Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures**, Journal of Aeronautical Science. Vol. 23, pp. 805- 23, 1956.
- VAN DILLEN, D. ; FELLNER, R.W. and DENDOU, B. **A Two-Dimensional Finite Element Technique for Modeling Rock /Structure Interaction of a Lined Underground Opening**. Presented at 20th US Symp. on Rock Mechanics, Austin, Texas,4-6, june, 1979.
- WALSH, J. B. **The Effec of Cracks on Poison's Ratio**. Jnl Geophys. Res. 70:2, January. 1965a.
- WALSH, J. B. **The Effec of Cracks on Poison's Ratio**. Jnl Geophys. Res. 70:20 , october. 1965b.
- WANG, C. T., **Applied Elasticity**, New York, McGraw-Hill Book Co., 1953
- WILSON, E.L. et al **Incompatible Displacement Models**. Proc. ONR Symp. on Matrix Meth. in Struct. Mech., Univ. of Illinois, Urbana. Sep., 1971.
- ZIENKIEWICZ, O. C. ; CHEUNG, Y. K. e STAGG, K. G., **Stresses An Anisotropic Media With Particular Reference to Problems on Rock Mechanics**, J. of Strain Analysis, vol 1, no. 2, 1966.

ZIENKIEWICZ, O. C. et al. " **Analysis of Nonlinear Problems in Rock Mechanics with Particular Reference to Jointed Rock System**". Proc. 2nd Cong. of Int. Soc. for Rock. Mech., Belgrade. 1970.

ZIENKIEWICZ, O. C. and PHILLIPS, D.V. **An Automatic Mesh Calculation Scheme for Plane and Curved Surfaces by Isoparametric Coordinates**. Num. Meth. in Eng., 4:3, (oct-dec.), 1971.

ZIENKIEWICZ, O. C. and TAYLOR, R. L.. **The Finite Element Method**. Vol 2. McGraw Hill. London, UK, 1991.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

### MANUAL DO USUÁRIO

O objetivo desta seção é mostrar como é preparada a entrada de dados do programa BMINES. Inclui a descrição de várias opções de execução disponíveis do programa, a entrada de dados necessárias a cada opção, bem como se processam as diversas fases de execução.

#### A.1 - DADOS DE CONTROLE DA EXECUÇÃO DO PROGRAMA E OPÇÕES DO PROGRAMA

O programa BMINES é dividido em três fases que compreendem as funções de entrada de dados, cálculo e saída de dados.

A execução das três fases do programa é controlada e inicializada pela utilização das opções do programa. A seção de entrada de dados é controlada pelas opções do programa START e ADD. Dentro da seção de entrada de dados as opções de geração da malha são AUTO, GENE e LINK. A inicialização da fase de cálculo é controlada pela opção EXECUTE. A continuação da fase de cálculo é controlada pela opção RESTART. A fase de saída de dados é controlada pela opção OUTPUT. A finalização de um *job* individual, ou execução, que pode incluir uma seqüência de opções acima descritas, bem como suas entradas de dados, é controlada pela opção EXIT. Uma opção adicional do programa, MODIFY, está disponível para permitir a modificação de dois blocos de memórias comuns do programa gerente principal. Esta opção é projetada apenas para usuários com grande conhecimento da estrutura interna, organização e operação do programa BMINES. Se a opção MODIFY for usada, pode aparecer apenas uma vez em um *job* e deve ser a primeira opção encontrada no programa.

Como é esperado, a ordem na qual as opções do programa são exercidas é muito importante. Contudo, devido à presença de vários pontos potenciais de parada nos quais resultados parciais podem ser inspecionados, e devida à disponibilidade de mais de uma opção de geração de malha, a seqüência de opções do programa não é rigidamente especificada. Assim sendo, as seqüências de opções permitidas são mostradas na Figura A.1. Nesta figura, a seqüência das opções de seleção segue o sentido das setas. Alguns pontos de bifurcação são encontrados ao longo da execução. Nestes pontos o usuário pode escolher qualquer ramo desde que não seja no sentido contrário ao das setas. Se uma opção EXIT é selecionada, a fase de cálculo termina e o usuário pode inspecionar os resultados. Uma vez que os dados foram salvos em um determinado arquivo, os cálculos podem então continuar; contudo, esta continuação deve se iniciar em um ponto de entrada correspondente à posição na Figura A.1 onde a execução prévia terminou. Um exemplo de um *job* é mostrado na seção A.2 (pág. 220).

O formato para as opções do programa é mostrado na seção A.3 (pág. 221). O grupo de dados 1.0 (pág. 223), e a entrada de dados necessária para as opções do programa são fornecidos no grupo de dados de 2.0 (pág. 225) até 9.0 (pág. 300). A opção do programa START necessita de uma entrada de dados adicional mostrada nos grupos de dados 4.0 (pág. 227) e/ou 5.0 (pág. 245) e 7.0 (pág. 258). A opção do programa OUTPUT também requer entrada de dados adicional mostrada no grupo de dados 8.0 (pág. 278). A opção EXECUTE, RESTART e EXIT não requerem entradas de dados adicionais. A opção MODIFY requer entrada de dados adicional, mostrada no grupo de dados 9.0 (pág. 300)



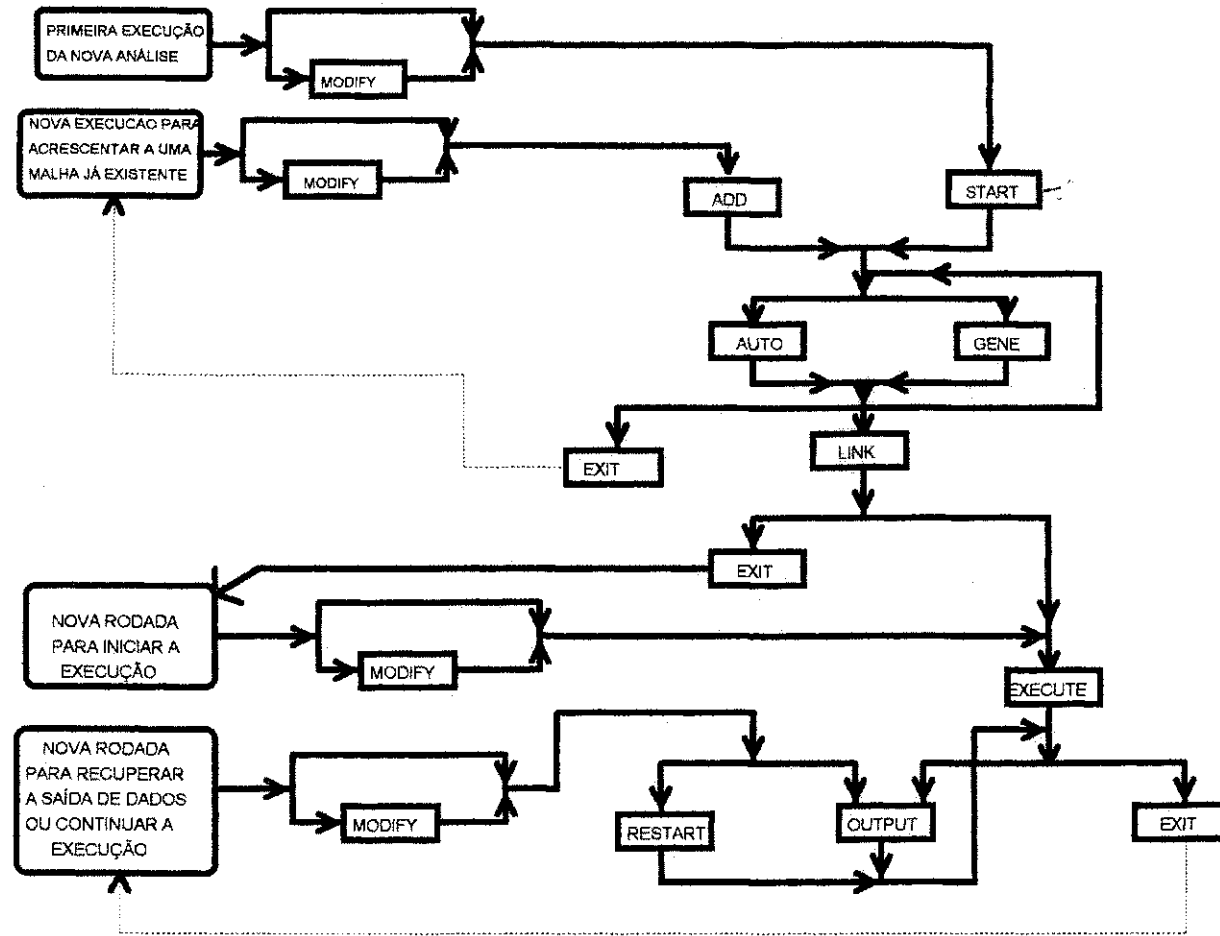


Figura A.1 - Diagrama da Seqüência das Opções Permitidas Para o Programa BMINES

## A.2 - INICIALIZAÇÃO GERAL O PROGRAMA E JOB

Um *job* consiste de uma série de opções do programa, onde cada opção é seguida pelos dados necessários à sua execução. A execução do programa BMINES e a seqüência de operações realizadas são controladas pela ordem em que aparecem as opções no programa, dentro de um *job*. Os dados de controle de hardware precedem os *jobs* e, obviamente, variam, dependendo das especificações da máquina e do sistema operacional.

Nem todos os *jobs* e suas seqüências de operação são aceitos pelo programa (ver Figura A.1, pág. 219). Um exemplo típico de um *job* é mostrado abaixo.

### A.2.1 - EXEMPLO DE UM JOB

Uma execução completa é representado pelo seguinte *job*:

1. \*START  
(Dados obtidos no grupo de dados 2.0, pág. 225)
2. \*GENE  
(Dados obtidos no grupo de dados 5.0 pág. 245)
3. \*AUTO  
(Dados obtidos no grupo de dados 4.0, pág. 227)
4. \*AUTO  
(Dados obtidos no grupo de dados 4.0, pág. 227)
5. \*GENE  
(Dados obtidos no grupo de dados 5.0, pág. 245)
6. \*LINK  
(Dados obtidos no grupo de dados 7.0, pág. 258)
7. \*EXECUTE^^^^^^^^^^^^5^^^^^^^^^^3

## 8. \*OUTPUT

(Dados obtidos no grupo de dados 8.0, pág. 278)

## 9. \*EXIT

OBS.: o símbolo ^ indica espaço em branco

Este *job* resulta nas seguintes operações:

- a. Inicia os procedimentos de geração da malha;
- b. Gera a malha através do uso de esquema de incremento constante;
- c. Gera a malha adicional pelo uso do conceito do diagrama de blocos;
- d. Gera a malha adicional através do uso do esquema de incremento-constante;
- e. Cria arquivos de união para a composição da malha;
- f. Inicializa o cálculo reformando a matriz de rigidez global a cada 5 etapas de carregamento (no início do primeiro, do sexto, do décimo-primeiro níveis, etc.), gera um arquivo de reinicialização após a terceira etapa de carregamento, e finaliza o cálculo;
- g. Imprime ou plota tensões, deformações e deslocamentos;
- h. Finaliza o *job*.

### A.3 - DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

A definição dos dados de entrada para o programa BMINES é descrita nesta seção e consiste de nove grupo de dados. O formato para o grupo de dados das opções é apresentado no grupo de dados 1.0 (pág. 223); as entradas de dados para a opção START são encontradas nos grupos de dados 2.0 (pág. 225), 3.0 (pág. 226) ,

4.0 (pág. 227) e/ou 5.0 (pág. 245); as entradas de dados para a opção ADD são obtidas nos grupos de dados 3.0 (pág. 226) e 4.0 (pág. 227) e/ou 5.0 (pág. 245); as entradas de dados para a plotagem de malhas antes do procedimento da fase de cálculo são dadas no grupo de dados 6.0 (pág. 255); as considerações finais de modelamento são acrescentadas à malha no grupo de dados 7.0 (pág. 258); as entradas de dados para a opção OUTPUT encontram-se no grupo de dados 8.0 (pág. 278); e para a opção MODIFY são dadas no grupo de dados 9.0. Entenda-se que o controle é passado de grupo de dados a grupo de dados em ordem seqüencial, como mostrado acima. Assim sendo, a menos que as notas de rodapé levem o usuário a migrar para um outro grupo de dados, este deverá ir para o próximo grupo de dados na seqüência do guia do usuário.

O sistema de unidades descrito na definição da entrada de dados está no sistema polegada-pouco-segundo. Como pode-se observar no grupo de dados 3.0 (IC00R), (pág. 226), as coordenadas do ponto nodal podem estar em pés. Entretanto, qualquer outro sistema de unidades pode ser usado se os dados forem fornecidos em um sistema de unidades consistente.



11-20	NSTP	<p>- Para as opções *EXECUTE e *RESTART: Carrega a fase de contagem para a reformulação da matriz de rigidez global [K]</p> <p>- Para a opção *OUTPUT: Imprime uma marca de controle;</p> <p>= 0, não imprime. &gt; 0, imprime estágio de carga &lt; 0, impressão do estágio de carregamento</p> <p> NSTP  &gt; 1 permite imprimir apenas números selecionados pelo usuário. Verificar grupo de dados 8.1 (pág. 278).</p>	(4) <sup>4</sup>
21-30	NRSTR	<p>- Para as opções *EXECUTE e *RESTART Número de fases para gerar um arquivo de reinicialização e termina a execução.</p> <p>- Para a opção *OUTPUT: Plota uma marca de controle;</p> <p>= 0 não plota, = 1 plota</p>	(5) <sup>5</sup>
31-40	TIMER	<p>Para opções *EXECUTE e *RESTART Arquivo de reinicialização gerando intervalos em segundos</p>	(6) <sup>6</sup>

<sup>4</sup> Para opções \*EXECUTE e \*RESTART, [K] será reformada a cada NSTP-ésima fase de carregamento (isto é, para NSTP=5, no início da primeira, sexta, décima primeira, etc, fase de carregamento. Se NSTP ≤ 0, não haverá reformulação na matriz de rigidez exceto para mudanças na atividade do elemento). Para a opção \*OUTPUT, se NSTP > 0, todos os parâmetros especificados serão impressos a cada fase de carregamento. Se NSTP < 0, os parâmetros especificados serão impressos para todas as fases do carregamento antes de se proceder o próximo parâmetro. NSTP é usado apenas para as opções \*EXECUTE, \*RESTART e \*OUTPUT e não deverá ser utilizada para as demais opções.

<sup>5</sup> Para as opções \*EXECUTE e \*RESTART, um arquivo de reinicialização deverá ser gerado após a NRSTR-ésima fase de carregamento e o cálculo ser finalizado. Se NRSTR ≤ 0, não haverá a geração de arquivo de reinicialização. Quando um arquivo de reinicialização é gerado, o programa imprime uma mensagem indicando que arquivo contém os dados de reinicialização. NRSTR é usado somente com as opções \*EXECUTE, \*RESTART e OUTPUT e não deverá ser utilizado para as demais opções.

<sup>6</sup> Um arquivo de reinicialização será gerado após TIMER segundos de execução, e a execução continuará. Esta opção não é usada se TIMER ≤ 0.0. TIMER é usado apenas com as opções \*EXECUTE e \*RESTART e não deverá ser usado para as demais.

**Grupo de Dados : 2      Opções de Inicialização do Programa - Cabeçalho**

**Número de Arquivos: 1**

**Formatos: 20A4**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-80	HED(1) a HED (20)	Um rótulo de 80 colunas de caracteres alfanuméricos usados para identificar o problema	(7) <sup>7</sup>

Ir para o grupo de dados 3.0, pág. 226.

<sup>7</sup> Este rótulo aparecerá no topo de cada página impressa.





**Grupo de Dados : 4.0 Geração da Malha do Diagrama de Blocos**

**Grupo de Dados : 4.1 Parâmetros de Controle**

**Número de Arquivos: 1**

**Formato: 615 , L1**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NZONTB	Número da linha zonal do topo para a base no bloco diagrama	(11) <sup>11</sup>
6-10	NZONLR	Número da coluna zonal da esquerda para a direita no bloco diagrama	(11)
11-15	NZONFB	Número dos planos zonais da frente para trás no bloco diagrama	(12) <sup>12</sup>
16-20	NMIDPT	Número de pontos intermediários especificados no bloco diagrama	
20-25	ITYP	Designação numérica do tipo do elemento  = 3, 4-nós, quadrilateral com formas não-compativeis sob condição de tensão plana; = -3, 4-nós, quadrilateral com formas não-compativeis sob condição de deformação plana; = 4, 4-nós, elemento com eixo de simetria com formas não-compativeis; = 5, 8-nós, elemento sólido com formas não-compativeis; = 10, de 4 a 8-nós, elemento quadrilateral sem formas não-compativeis sob condição de tensão plana; = -10, de 4 a 8-nós, elemento quadrilateral sem formas não-compativeis sob condição de deformação plana; = 12, de 4 a 8-nós, elemento com eixo de simetria sem formas não-compativeis = 14, de 8 a 12-nós, elemento sólido sem formas não-compativeis.	(13) <sup>13</sup>

<sup>11</sup> Ver a seção 3.12 (Cap.3, pág. 90) para a descrição do bloco diagrama

<sup>12</sup> Para um problema bidimensional este campo deve ser zero ou branco; um valor diferente de zero indica um problema tridimensional. Ver a seção 3.12 (Cap. 3, pág. 90) para uma descrição do bloco diagrama.

<sup>13</sup> Valores default

NZONFB	INCOM	Valor default para ITYP
F	F	-10
F	T	-3
T	F	14
T	T	5

26-30	IIXL	Número máximo de nós em qualquer elemento necessário para a geração deste grupo	(14) <sup>14</sup>
31	INCOM	Marca de forma não-compátivel  = T , inclui os DOF não-compátivel = F , não inclui os DOF não-compátivel	(15) <sup>15</sup>

<sup>14</sup> Valores default

ITYP	Valor default para IIXL
±3	4
4	4
5	8
±10*	8
12*	8
14*	20

\* Embora estes tipos de elementos possam ser gerados pelo bloco diagrama, eles serão gerados com o mínimo número de nós.

<sup>15</sup> Implementação prorrogada

**Grupo de Dados : 4.2 Coordenadas Globais X**

**Número de Arquivos: Variável \***

**Formatos: 8F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1 -10	X(1)	Coordenada global X do ponto nodal 1 do diagrama de blocos	
11-20	X(2)	Coordenada global X do ponto nodal 2 do diagrama de blocos	
.	.		
.	.		
71-80	X(8)	Coordenada global X do ponto nodal 8 do diagrama de blocos	
		---- Arquivos adicionais, se necessário ----	
1-10	X(9)	Coordenada global X do ponto nodal 9 do bloco diagrama	
.	.		
.	.		
.	.		
	etc.		

\* Até 8 coordenadas são dadas em um arquivo, para várias coordenadas é necessário definir todos os pontos da grade do diagrama de blocos. Como mostrado na Figura 3.24 (Cap. 3, pág. 93), eles são dados na seguinte ordem: do topo para a base, da esquerda para a direita, e da frente para trás do bloco diagrama. Unidades dependem do valor de ICOOR no grupo de dados 3.0, pág. 226.

**Grupo de Dados : 4.3    Coordenadas Globais Y**

**Número de Arquivos:    Variável \***

**Formatos:                    8F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1 -10	Y(1)	Coordenada global Y do ponto nodal 1 do diagrama de blocos	(16) <sup>16</sup>
11-20	Y(2)	Coordenada global Y do ponto nodal 2 do diagrama de blocos	
.	.		
.	.		
.	.		
71-80	Y(8)	Coordenada global Y do ponto nodal 8 do diagrama de blocos	
		---- Arquivos adicionais, se necessário -----	
1-10	Y(9)	Coordenada global Y do ponto nodal 9 do bloco diagrama	
.	.		
.	.		
.	.		
	etc.		

\* Até 8 coordenadas são dadas em um arquivo, para várias coordenadas é necessário definir todos os pontos da grade do diagrama de blocos. As coordenadas são dadas na ordem como mostrado no grupo de dados 4.2, pág. 229 para as coordenadas X.

<sup>16</sup> Em um problema bidimensional com eixo de simetria, Y é o eixo de simetria.

**Grupo de Dados : 4.4 Coordenadas Globais Z**

**Número de Arquivos: Variável \***

**Formatos: 8F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-10	Z(1)	Coordenada global Z do ponto nodal 1 do diagrama de blocos	
11-20	Z(2)	Coordenada global Z do ponto nodal 2 do diagrama de blocos	
.	.		
.	.		
.	.		
71-80	Z(8)	Coordenada global Z do ponto nodal 8 do diagrama de blocos	
		---- Arquivos adicionais, se necessário ----	
1-10	Z(9)	Coordenada global Z do ponto nodal 9 do bloco diagrama	
.	.		
.	.		
.	.		
	etc.		

\* Se NZONFB = 0 do grupo de dados 4.1, pág. 227, abandonar este grupo de dados. Até 8 coordenadas são dadas em um arquivo, para várias coordenadas é necessário definir todos os pontos da grade do diagrama de blocos. As coordenadas são dadas na ordem como mostrado no grupo de dados 4.2, pág. 229 para as coordenadas X.

**Grupo de Dados : 4.5 Propriedades do Material**

**Número de Arquivos: Variável\***

**Formatos: 5I5, F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	MAT (1)	Número da propriedade do material a ser atribuído a uma zona do diagrama de blocos	
6-10	MAT (2)	Número do conjunto de aço de reforço a ser atribuído a uma zona do diagrama de blocos	(17) <sup>17</sup>
11-15	MAT (3)	Número da direção do conjunto de barras a ser atribuído a uma zona do diagrama de blocos.	(18) <sup>18</sup>
16-20	MAT (4)	número de pontos de integração; default = 2	(19) <sup>19</sup>
21-25	MAT (5)	Marca da formulação da rigidez;  < 0, armazena a matriz B para cada ponto de integração  = 0 , armazena funções de forma pré-integradas  > 0 , armazena elementos da matriz de rigidez pré-formados ( útil para elementos elásticos)	
26-35	TH	Elemento de rigidez quadrilateral default = 1.0 polegada	

\* Um arquivo deve ser lido para cada zona do diagrama de blocos assim como vários arquivos são necessários para definir as propriedades do material para todas as zonas no bloco diagrama. Como mostrado na Figura 3.25 (cap. 3, pág. 94), as zonas são dadas na ordem: do topo para a base; da esquerda para a direita e da frente para trás do bloco diagrama. Se o número atribuído à propriedade do material for zero ( MAT (1) = 0) especifica um vazio.

<sup>17</sup> As percentagens para cada conjunto de aço são especificadas no grupo de dados 7.10, pág. 274.

<sup>18</sup> As direções das barras para cada conjunto de aço são especificadas pelos cossenos diretores com relação às coordenadas globais fornecidas no grupo de dados 7.11, pág. 275.

<sup>19</sup>  $2 \leq \text{MAT (4)} \leq 4$

**Grupo de Dados : 4.6 Subdivisões das Linhas Zonais****Número de Arquivos: Variável\*****Formatos: 1615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-5	NDIVTB (1)	Número de subdivisões para a linha zonal 1 no bloco diagrama	
6-10	NDIVTB (2)	Número de subdivisões para a linha zonal 2 no bloco diagrama	
76-80	NDIVTB(16)	Número de subdivisões para a linha zonal 16 no bloco diagrama	
		----- Arquivos adicionais , se necessário -----	
1-5	NDIVTB(17)	Número de subdivisões para a linha zonal 17 no bloco diagrama	
	etc.		

\* As subdivisões são especificadas para as linhas zonais na ordem do topo para a base. Até 16 valores são dados em um arquivo para mais valores é necessário definir todas as linhas zonais no diagrama de blocos (ver Figura 3.26 (Cap. 3, pág. 95)).

**Grupo de Dados : 4.7      Subdivisões das Colunas Zonais**

**Número de Arquivos:      Variável\***

**Formatos:                    1615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-5	NDIVLR (1)	Número de subdivisões para a coluna zonal 1 no bloco diagrama	
6-10	NDIVLR (2)	Número de subdivisões para a coluna zonal 2 no bloco diagrama	
.	.		
76-80	NDIVLR(16)	Número de subdivisões para a coluna zonal 16 no bloco diagrama	
		----- Arquivos adicionais , se necessário -----	
1-5	NDIVLR(17)	Número de subdivisões para a coluna zonal 17 no bloco diagrama	
.	.		
.	.		
.	.		
	etc.		

\* As subdivisões são especificadas para as colunas zonais na ordem da esquerda para a direita. Até 16 valores são dados em um arquivo para mais valores é necessário definir todas as colunas zonais no diagrama de blocos (ver Figura 3.26 (Cap. 3, pág. 95)).



**Grupo de Dados : 4.8 Subdivisões dos Planos Zonais****Número de Arquivos: Variável\*****Formatos: 1615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-5	NDIVFB (1)	Número de subdivisões para o plano zonal 1 no bloco diagrama	
6-10	NDIVFB (2)	Número de subdivisões para o plano zonal 2 no bloco diagrama	
.	.		
76-80	NDIVFB(16)	Número de subdivisões para o plano zonal 16 no bloco diagrama	
		----- Arquivos adicionais , se necessário -----	
1-5	NDIVFB(17)	Número de subdivisões para o plano zonal 17 no bloco diagrama	
.	.		
.	.		
.	.		
	etc.		

\* Se NZONFB = 0 do grupo de dados 4.0, pág. 227, abandonar este grupo de dados. As subdivisões são especificadas para os planos zonais na ordem de frente para trás. Até 16 valores são dados em um arquivo para mais valores é necessário definir todas os planos zonais no diagrama de blocos (ver Figura 3.26 (Cap. 3, pág. 95)).

**Grupo de Dados: 4.9 Pontos Intermediários e Suas Coordenadas Globais****Número de Arquivos: NMIDPT\*****Formatos: 3I5, 3F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	I	Número da linha de um ponto intermediário no bloco diagrama	(20) <sup>20</sup> , (21) <sup>21</sup>
6-10	J	Número da coluna de um ponto intermediário no bloco diagrama	(20), (21)
11-15	K	Número do plano de um ponto intermediário no bloco diagrama	(20)
16-25	XM	Coordenada global X assinalada no ponto intermediário definido por I, J e K.	(22) <sup>22</sup>
26-35	YM	Coordenada global Y assinalada no ponto intermediário definido por I, J e K	(22)
36-45	ZM	Coordenada global Z assinalada no ponto intermediário definido por I, J e K	(22)

\* Se NMIDPT = 0 do grupo de dados 4.1, pág. 227, abandonar este grupo de dados. De outro modo, dar entrada em NMIDPT como descrito acima.

<sup>20</sup> Ver a Figura 3.26 (Cap. 3, pág. 95) para a convenção da numeração.

<sup>21</sup> I ou J (mas não ambos) podem ter um sinal negativo. O significado deste valor negativo é discutido sob a opção 2 da seção 3.14 (Cap. 3, pág. 98).

<sup>22</sup> As unidades dependem do valor de ICOOR no grupo de dados 3.0, pág. 226.

**Grupo de Dados: 4.10 Parâmetros de Controle Para a Fórmula do Coeficiente de Carga****Número de Arquivos: 1****Formatos: F10.0, 2I5**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	TOL	Tolerância do erro da direção da fronteira	(23) <sup>23</sup>
11-15	NBDY	Número dos segmentos controlados da fronteira	
16-20	NCLOAD	Número das fórmulas do coeficiente de carga	

<sup>23</sup> A tolerância do erro usado quando da determinação se o vetor normal à superfície da fronteira está em alinhamento com a direção global

**Grupo de Dados: 4.11** Parâmetros dos Coeficientes de Carga

**Número de Arquivos:** NCLOAD\*

**Formatos:** 4F10.0

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	CLOAD (1)	Termo constante na expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sob a superfície carregada	(24) <sup>24</sup>
11-20	CLOAD (2)	Coeficiente de X na expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sob a superfície carregada	
21-30	CLOAD (3)	Coeficiente de Y na expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sob a superfície carregada	
31-40	CLOAD (4)	Coeficiente de Z na expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sob a superfície carregada	

\* Se NCLOAD = 0 do grupo de dados 4.0, pág. 227, abandonar este grupo de dados. De outro modo, a entrada de dados de NCLOAD deve ser feita como descrito acima.

<sup>24</sup> A expressão para a distribuição da componente da tensão aplicada sob a superfície carregada é dita linear e da forma:

$$\bar{\sigma}_{ij}(\vec{x}) = CLOAD(1) + CLAD(2) * X + CLOAD(3) * Y + CLOAD(4) * Z$$

onde X, Y e Z são as coordenadas globais dos pontos na superfície carregada.

**Grupo de Dados: 4.12 Parâmetros de Controle Para as Condições de Fronteira Geradas Automaticamente\***

**Grupo de Dados: 4.12.1**

**Número de Arquivos: 1**

**Formatos: 915**

COL S	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	KEYNOD (1)	Nº da linha do primeiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(25) <sup>25</sup>
6-10	KEYNOD (2)	Nº da coluna do primeiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(26) <sup>26</sup>
11-15	KEYNOD (3)	Nº do plano do primeiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	
16-20	KEYNOD (4)	Nº da linha do segundo nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	
21-25	KEYNOD (5)	Nº da coluna do segundo nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	
26-30	KEYNOD (6)	Nº do plano do segundo nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(26)
31-35	KEYNOD (7)	Nº da linha do terceiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(26)
36-40	KEYNOD (8)	Nº da coluna do terceiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(26)
41-45	KEYNOD (9)	Nº do plano do terceiro nó no diagr. de blocos definindo a sup. controlada da fronteira	(26)

\* Os grupos de dados de 4.12.1 ao 4.12.3 (pág. 243) são necessários para cada segmento da superfície controlada da fronteira. Conseqüentemente, NBDY a atribuição desta variável deve ser fornecida (cada segmento da fronteira consiste de três arquivos).

<sup>25</sup> Três nós são necessários para definir completamente qualquer superfície de fronteira para diagramas de blocos tridimensionais. Linha, coluna e número de planos são determinadas usando o mesmo esquema usado para pontos intermediários no grupo de dados 4.9, pág. 236. Dois nós são usados para definir um segmento de fronteira no problema bidimensional.

<sup>26</sup> No problema bidimensional estes campos são deixados em branco.

**Grupo de Dados: 4.12.2**      **Parâmetros Para Carga e Fronteira****Número de arquivos:**      **1****Formatos:**      **815**

COL S	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	IBDYTP	Marca do tipo de fronteira;  = -3, o usuário especifica as restrições da fronteira = -2, fronteira com deslocamento normal e força tangencial nulas. = -1, fronteira com pressão estática	(27) <sup>27</sup>

<sup>27</sup> Um nó simples pode aparecer em mais de uma superfície de fronteira. Para fronteiras de pressão, isto resulta em múltiplas cargas transferidas para o nó. Esta situação está dentro das capacidades do programa, e a ordem das especificações da fronteira não fazem diferença. Para restrição das fronteiras (IBDYTP = -2 e -3) a ordem das transferências é importante, e diferentes combinações de restrições podem resultar das mesmas especificações aplicadas em diferentes ordens. Para IBDYTP = -3, a combinação da restrição especificada deverá ser aplicada ao nó sem consideração do que já existe. Isto pode resultar em algumas restrições que estão sendo liberadas. Para IBDYTP = -2, apenas as restrições apropriadas são introduzidas. Assim, enquanto as liberdades podem se tornar restringidas, nenhuma restrição é liberada para uma fronteira com deslocamento normal e força tangencial. Para um nó que tem ambas as especificações de força e deslocamento, as condições de deslocamento dirigem as condições de força.

<p>6-10</p>	<p>IBDYDR</p>	<p>Marca de direção;</p> <p><u>Para IBDYTP = -2</u></p> <p>= 0, a direção da restrição está para ser determinada automaticamente pelo programa (ver seção 7.2.8.2)</p> <p>= 1, fronteira com deslocamento normal e força tangencial nula com relação à direção da coordenada global X.                  A translação em X é restringida                  A rotação em torno do eixo Y é restringida                  A rotação em torno o eixo Z é restringida</p> <p>= 2, fronteira com deslocamento normal e força tangencial nula com relação à direção da coordenada global Y.                  A translação de Y em torno do eixo X é restringida.                  A rotação em torno de Z é restringida.                  A rotação em torno do eixo X é restringida.</p> <p>= 3, fronteira com deslocamento normal e força tangencial nula com relação à direção da coordenada global Z.                  A translação de Z é restringida.                  A rotação em torno do eixo X é restringida.                  A rotação em torno do eixo Y é restringida.</p> <p><u>Para IBDYTP = -1</u></p> <p>IBDYDR é a normal externa à superfície carregada no sistema de coordenadas do diagrama de blocos.</p> <p>= 0 , a normal externa será determinada pelo programa</p> <p>= +n , a normal externa à superfície carregada está na direção positiva n do diagrama de blocos ( n= 1, 2, 3)</p> <p>= -n , a normal externa à superfície carregada está na direção negativa n do diagrama de blocos ( n=1, 2, 3)</p>	<p>(28)<sup>28</sup></p> <p>(29)<sup>29</sup></p>
<p>11-15</p>	<p>LTI (1)</p>	<p>Se IBDYTP = -1:</p> <p>Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\sigma_{xx}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3:</p> <p>= 0 , a translação em X é livre</p> <p>= 1 , a translação é X é fixada</p>	<p>(30)<sup>30</sup></p>

<sup>28</sup> Este parâmetro é necessário se IBDYTP= -2 ou -1.

<sup>29</sup> Se a superfície carregada é uma fronteira externa ou uma parede na cavidade interior, é preferível permitir que o programa determine IBDYDR (o usuário deve deixar o campo em branco). Apenas quando a superfície carregada estiver em uma superfície interior da malha com material em ambos os lados é que se torna necessário especificar a direção que é considerada externa.

<sup>30</sup> A convenção do sinal usada na descrição aplicada à superfície de tração é a mesma tal como usada para a tensão em um elemento contínuo (Ver Figura A.2, pág. 244). Valores para LTI (n) ( n=1, 2, ..., 6) precisam ser supridos se IBDYTP = -1 ou -3.

16-20	LTI (2)	<p>Se IBDYTP = -1: Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\sigma_{yy}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3 = 0 , a translação em Y é livre = 1 , a translação em Y é fixada</p>	(30)
21-25	LTI (3)	<p>Se IBDYTP = -1: Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\sigma_{zz}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3 = 0 , a translação em Z é livre = 1 , a translação em Z é fixada</p>	(30)
26-30	LTI (4)	<p>Se IBDYTP = -1: Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\tau_{xy}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3 = 0 , a rotação sobre o eixo X é livre = 1 , a rotação sobre o eixo X fixada</p>	(30)
31-35	LTI (5)	<p>Se IBDYTP = -1: Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\tau_{yz}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3 = 0 , a rotação sobre o eixo Y é livre = 1 , a rotação sobre o eixo Y fixada</p>	(30)
36-40	LTI (6)	<p>Se IBDYTP = -1: Índice da tabela de carga correspondente a magnitude histórica da carga que é usada para a componente <math>\tau_{zx}</math> do campo de tensão aplicado</p> <p>Se IBDYTP = -3 = 0 , a rotação sobre o eixo Z é livre = 1 , a rotação sobre o eixo Z fixada</p>	(30)



**Grupo de Dados: 4.12.3**      **Números da Fórmula do Coeficiente de Carga  
Para as Componentes da Tensão**

**Número de Arquivos:**      **1**

**Formatos:**      **615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	IBDL (1)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\sigma_{xx}$	(31) <sup>31</sup>
6-10	IBDL (2)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\sigma_{yy}$	
11-15	IBDL (3)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\sigma_{zz}$	
16-20	IBDL (4)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\tau_{xy}$	
21-25	IBDL (5)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\tau_{yz}$	
26-30	IBDL (6)	Número da fórmula do coeficiente de carga para a componente $\tau_{zx}$	

Ir para o grupo de dados 6.0 (pág. 255).

\* Para fronteira com deslocamento normal e força tangencial nula ou restrições especificadas pelo usuário (IBDYTP = -2 ou -3), este grupo de dados deve ser branco.

<sup>31</sup> Se qualquer componente da matriz IBDL é zero, a componente da tensão correspondente não está atuando na superfície carregada.

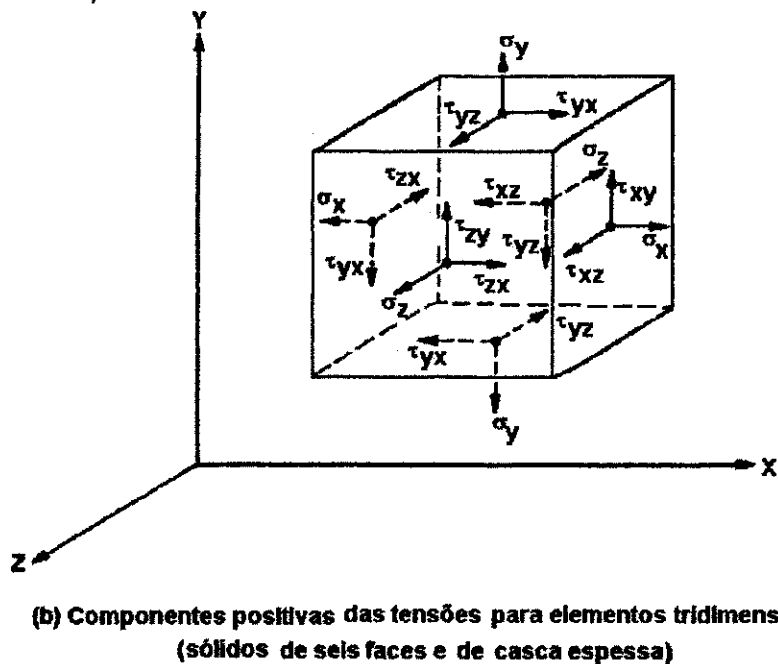
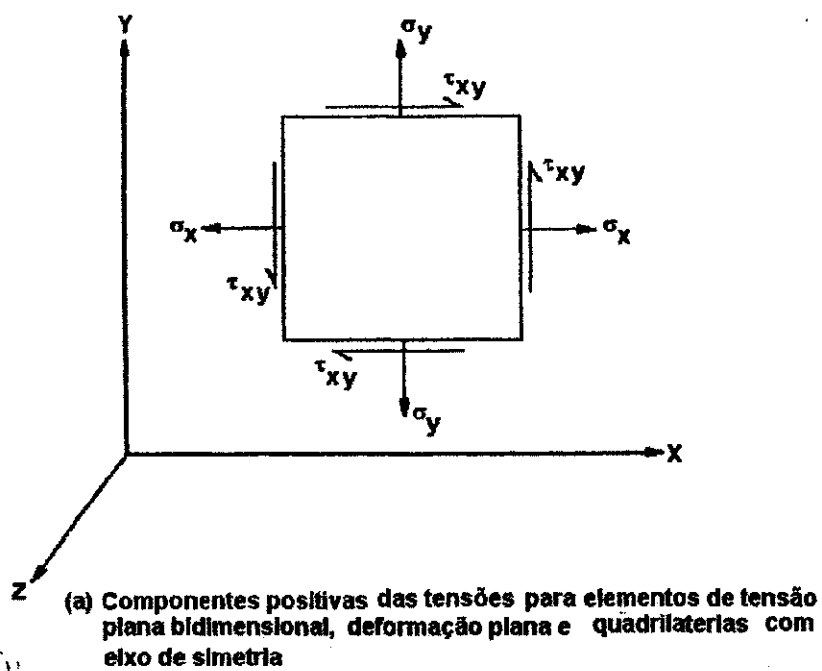


Figura A.2 - Convenção de Sinais Para Elementos Contínuos Bi e Tridimensionais

**Grupo de Dados: 5.0      Geração Manual da Malha --Dados de Entrada**

**\*GENE**

**Grupo de Dados: 5.1      Parâmetros de Controle**

**Número de Arquivos:    1**

**Formatos:                515**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NSLIP	Número de elementos a serem atribuídos em associação com elementos de juntas	(32) <sup>32</sup>
6-10	NELGRP	Número de grupos de elementos a serem gerados	
11-15	NNPADD	Número de arquivos do ponto nodal a serem lidos	
16-20	NLDADD	Número das componentes de carga do ponto nodal a serem especificadas	
21-25	IIXL	Comprimento máximo da matriz de conectividade do elemento necessária para esta geração	(33) <sup>33</sup>

<sup>32</sup> Inclui ambos os elementos gerados em segmentos de malha anterior e em segmentos a serem gerados na malha atual

<sup>33</sup> Este parâmetro deve ser suprido; não existe valor default. Deve-se tomar cuidado em marcar valores para IIXL quando da conversão de um elemento existente para um elemento de junta.

**Grupo da Dados: 5.2      Converte Elementos Existentes em Elementos de Juntas**

**Número de Arquivos:    1**

**Formatos:                715, F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NUM	Número do elemento contínuo que está para ser associado com o elemento de junta	(34) <sup>34</sup>
6-10	MATSL	Número do conjunto de propriedades mecânicas da superfície do elemento de junta	
11-15	IFN	Uma marca numérica que designa que lado (no caso bidimensional) ou que face (no caso tridimensional) do elemento de origem constitui parte da superfície de deslizamento	
16-20	IIJJ (1)	Número do ponto nodal absoluto que corresponde ao primeiro ponto nodal relativo do elemento de origem	(35) <sup>35</sup>
21-25	IIJJ (2)	Número do ponto nodal absoluto que corresponde ao segundo ponto nodal relativo do elemento de origem	
26-30	IIJJ (3)	Número do ponto nodal absoluto que corresponde ao terceiro ponto nodal relativo do elemento de origem	(36) <sup>36</sup>
31-35	IIJJ (4)	Número do ponto nodal absoluto que corresponde ao quarto ponto nodal relativo do elemento de origem	(36)
36-45	THK	Rigidez do elemento de junta (valor default = 1.0 in.)	

\* Se NSLIP = 0 do grupo de dados 5.1 (pág. 245), abandonar este grupo da dados. De outro modo, a entrada de dados de NSLIP deve ser tal qual descrito acima.

<sup>34</sup> O elemento contínuo que está para ser associado com um elemento de junta é chamado de elemento de origem, e a superfície de deslizamento está localizada entre o elemento primário e outro elemento contínuo. Notar que deve ser observado cuidado na marcação dos elementos de origem, desde que a formulação utilizada sinaliza os graus de liberdade para os pontos nodais dos elementos de origem tanto quanto os graus de liberdade daqueles elementos que são agregados como graus de liberdade obsoletos. É incorreto juntar elementos a um ponto nodal unitário de tal forma que alguns elementos são considerados absolutos enquanto outros são considerados como relativos. A nenhum dos dois é permitido que dois elementos considerem um nó relativo a dois diferentes nós absolutos.

<sup>35</sup> Os pontos nodais definidos por IIJJ(1) até IIJJ(4) devem ser dados na ordem definida nas Figura 3.9 (pág. 55) e 310 (pág. 56).

<sup>36</sup> Só é necessário se o problema é tridimensional. Em outros casos este parâmetro é branco.

**Grupo de Dados: 5.3**      **Elementos Gerados**  
**Grupo de Dados: 5.3.1**    **Conjunto de Propriedades Mecânicas por Grupo de Elementos**  
**Número de Arquivos:**    **NELGRP\***  
**Formatos:**                **615, F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	IMN		
6-10	MATNO	Número da propriedade do material a ser marcado para todos os elementos neste grupo de dados	
11-15	NST	Número do conjunto de reforço em aço a ser atribuído a todos os elementos deste grupo de dados.	(37) <sup>37</sup>
16-20	NRB	Número do conjunto de direções das barras a serem atribuídas a todos os elementos deste grupo de dados.	(38) <sup>38</sup>
21-25	NINT	Número de pontos de integração; default = 2	(39) <sup>39</sup>
26-30	IKFL	Marca de reformulação da rigidez;  < 0 , armazena a matriz B para cada ponto de integração  = 0 , armazena as funções de forma preintegradas  > 0 , armazena elementos de rigidez preformados (útil para elementos elásticos)	
31-40	TH	Elemento de rigidez quadrilateral default = 1 polegada	

\* Se NELGRP = 0 do grupo de dados 5.0 (pág. 245), passar este grupo de dados e o grupo 5.3.2 (pág. 248). De outra forma, a atribuição de NELGRP é necessários para gerar o grupo de elementos desejados, onde uma atribuição consiste de um valor do grupo de dados 5.3.1 e o valor de IMN no grupo de dados 5.3.2 (pág. 248).

<sup>37</sup> As percentagens de aço para cada aço são especificadas no grupo de dados 7.11 (pág. 275).

<sup>38</sup> As direções das barras para cada grupo de aço são especificadas pelos cosenos diretores com relação às coordenadas globais no grupo de dados 7.11 (pág. 275).

<sup>39</sup>  $2 \leq NINT \leq 4$

**Grupo de Dados: 5.3.2**      **Parâmetros da Geração de Elementos****Número de Arquivos:**      **IMN\*****Formatos:**      **1615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NGEN	Número de elementos a serem gerados deste elemento, incluindo ele próprio	(40) <sup>40</sup>

<sup>40</sup> O usuário gera um grupo de elementos pela especificação do número de elementos a serem gerados no grupo e pela entrada de dados da conectividade do ponto nodal do primeiro elemento do grupo. Os números nodais são gerados pelo acréscimo de IXDLTA, o incremento de geração do elemento para aqueles do elemento precedente. Por exemplo, os números dos pontos nodais de um elemento quadrilateral bidimensional seriam gerados como segue:

$$I^n = I^{n-1} + IXDLTA$$

$$J^n = J^{n-1} + IXDLTA$$

$$K^n = K^{n-1} + IXDLTA$$

Os mesmos números do tipo de elemento e da propriedade do material são usados para os elementos gerados tal como para o primeiro elemento do grupo. Se a geração incremental não é possível, os dados do elemento devem ser alimentados diretamente, NGEN=1 e cada elemento é alimentado em seu próprio arquivo de entrada de dados individual (ou em outros arquivos dependendo de IIXL).

6-10	ITYPE	Tipo do elemento	(41) <sup>41</sup>
		= 1 , barra sob condição de tensão plana	
		= -1 , barra sob condição de deformação plana	
		= 2 , elemento de viga	
		= 3 , 4-nós, quadrilateral com formas não-compativeis sob condição de tensão plana	(42) <sup>42</sup>
		= -3, 4-nós, quadrilateral com formas não-compativeis sob condição de deformação plana	(42)
		= 4 , 4-nós, elem. c/ eixo de sim. c/ formas não-compativeis	(42)
		= 5 , 8-nós, elemento sólido com modos não-compativeis	(42)
		= 6 , elemento de casca espessa	
		= 7 , 4-nós, elemento de junta quadrilateral com modos não-compativeis sob condições de tensão plana	(42)
		= -7 , 4-nós, elemento de junta quadrilateral com modos não-compativeis sob condições de deformação plana.	(42)
		= 8 , 8-nós, elemento de junta sólido c/ modos não-compativeis	(42)
		= 9, 4-nós, elemento de junta c/ eixo de sim. c/ modos não-compativeis.	(42)
		= 10 , de 4 a 8 nós, elemento quadrilateral sem formas não-compativeis sob condição de tensão plana	
		= -10 , de 4 a 8 nós, elemento quadrilateral sem formas não-compativeis sob condição de deformação plana	
		= 11 , 4-nós, elemento de junta quadrilateral sem modos não-compativeis sob condições de tensão plana.	
		= -11 , 4-nós, elemento de junta quadrilateral sem modos não-compativeis sob condições de deformação plana.	
		= 12 , de 4 a 8 nós, elemento com eixo de simetria sem formas não-compativeis	
		= 13 , 4-nós, elemento de junta com eixo de simetria sem modos não-compativeis	
		= 14 , 8 a 20-nós, elemento sólido sem modos não-compativeis	
		= 15 , 8-nós, elemento de junta sólido s/ modo não-compativeis.	

<sup>41</sup> ITYPE deve ser especificado, não há valor padrão.

<sup>42</sup> O programa está presentemente prevenido de permitir quaisquer elementos com formas não-compativeis.

11-15	IXDLT A	Incremento a ser acrescentado aos números do ponto nodal para o próximo elemento. default = 1	
16-20	IX (1)	Primeiro ponto nodal usado na definição do elemento de conectividade	(43) <sup>43</sup>
21-25	IX (2)	Segundo ponto nodal usado na definição do elemento de conectividade	
⋮	⋮		
76-80	IX (13)	Décimo-terceiro ponto nodal usado na definição do elemento de conectividade	
		----- Arquivos adicionais, se necessário -----	
1-5	IX (14)	Décimo quarto ponto nodal usado na definição do elemento de conectividade	
6-10	IX (15)	Décimo quinto ponto nodal usado na definição do elemento de conectividade	
⋮	⋮		

\* Observar que o número de arquivos lidos por elemento é dependente do valor de IIXL (grupo de dados 5.1) e onde este número excede 13, um segundo arquivo é necessário.

<sup>43</sup> Os pontos nodais devem ser dados na seguinte seqüência:

**Barras:** Cada um termina primeiro

**Vigas:** Os dois terminam (cada um termina primeiro) e então um ponto de referência estabelece o plano principal da seção transversal da viga. O ponto de referência não pode permanecer na linha de conexão entre os dois fins. (Ver Figura A.3, pág. 251)

**Quadriláteros:** I, J, K, L no sentido anti-horário como mostrado na figura abaixo. para quadriláteros que têm nós no meio do lado, a ordem é como ilustrado na Figura A.3 (pág.251) . Zeros ou brancos devem ser usados para indicar que não há nós presentes no meio do lado.

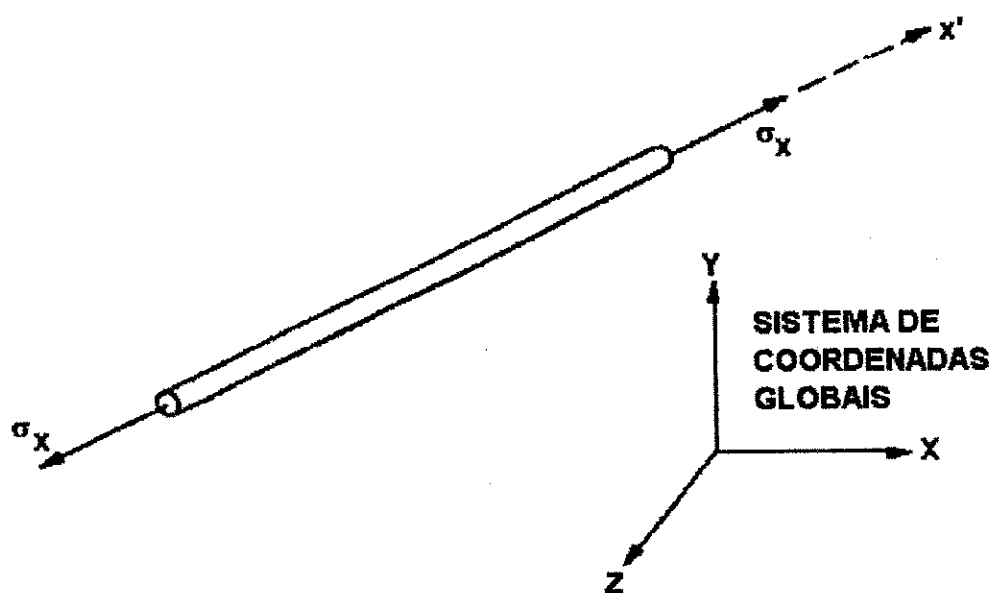
**Elemento sólido de seis faces:** I, J, K, L, II, JJ, KK e LL como mostrado na Figura A.4 (pág. 252). Observar que quando o elemento sólido é visto de tal maneira que a face frontal I-J-K-L é mais próxima do observador, I-J,K,L segue o sentido horário, e que II na face dos fundos está localizado na mesma linha (aresta) que I, etc. Para elementos sólidos que têm nós no meio dos lados, a ordem é como ilustrada na Figura A.4 (pág. 252). Zeros ou brancos devem ser usados para indicar que não há nós no meio dos lados presentes.

**Casca espessa:** Os 16 pontos nodais envolvidos são especificados na seqüência mostrada na Figura A.4 (pág. 252).

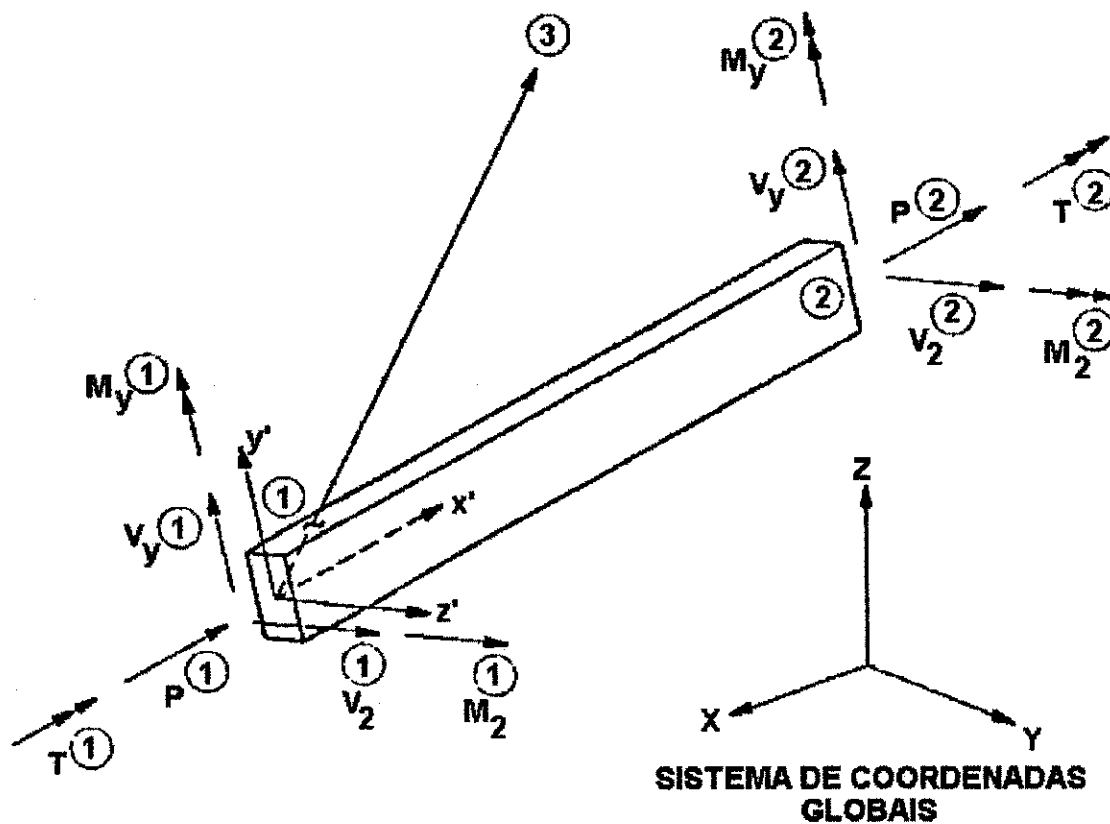
**Elemento de junta quadrilateral com eixo de simetria:** I, J, K, L para o quadrilátero na seqüência já explicada para elementos contínuos bidimensionais, então os dois pontos nodais adicionais são explanados pelo grupo de dados 5.2 (pág. 246), item IIIJ

**Elemento de junta sólido:** Oito nós do elemento sólido, I, J, K, L, II, JJ, KK, LL seguidos por quatro nós adicionais como explanados no grupo de dados 5.3 (pág.247) , item IIIJ.



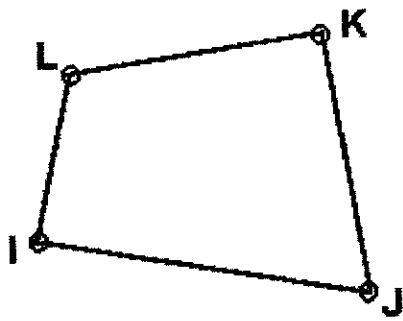


(a) Componente positiva da tensão para o elemento de treliça tridimensional

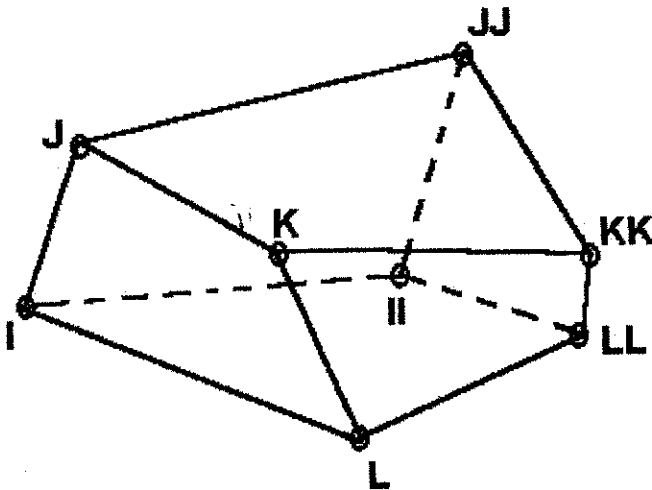


(b) Forças positivas para elementos de viga tridimensionais

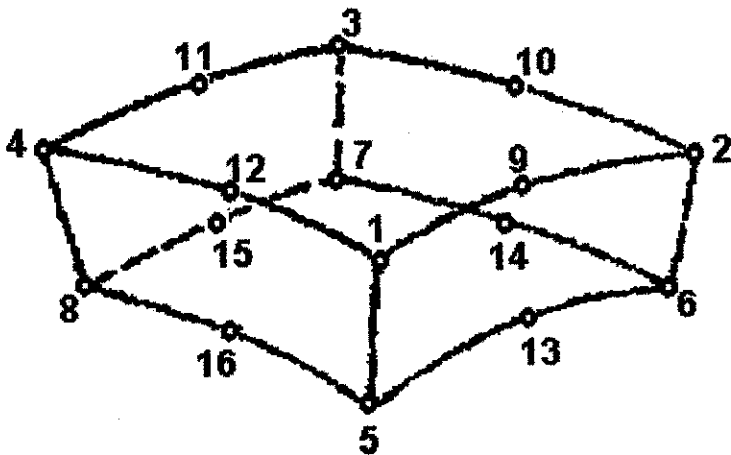
Figura A.3 - Convenção de Sinais Para Elementos de Treliça e Viga



**Elemento quadrilateral**



**Elemento de bloco**



**Elemento de casca espessa**

**Figura A.4 - Tipos de Elementos**

**Grupo de Dados: 5.4 Pontos Nodais Gerados**

**Número de Arquivos: NNPADD\***

**Formatos: I5, 6I2, I3, 3F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NN	Número do nó	(44) <sup>44</sup>
6-7	KODE (1)	Condição de restrição para o deslocamento de X; = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
8-9	KODE (2)	Condição de restrição para o deslocamento de Y; = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
10-11	KODE (3)	Condição de restrição para o deslocamento Z; = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
12-13	KODE (4)	Condição de restrição para a rotação de X ( rotação sobre o eixo X); = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
14-15	KODE (5)	Condição de restrição para a rotação de Y; = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
16-17	KODE (6)	Condição de restrição para a rotação de Z; = 0 , sem restrição = 1 , com restrição	
18-20	KN	Número do incremento do nó para a geração do ponto nodal	(44)
21-30	X	Coordenada X do ponto nodal	
31-40	Y	Coordenada Y do ponto nodal	
41-50	Z	Coordenada Z do ponto nodal	

\* Se NNPADD = 0 do grupo de dados 5.1 (pág. 245), abandonar este grupo de dados; de outra forma, a entrada de dados de NNPADD deve ser realizada como acima descrito.

<sup>44</sup> NN pode ter um valor qualquer positivo, incluindo àquele pertencente a um nó que já foi gerado. Em tal caso a especificação do antigo nó é trocada pela nova. Os números dos pontos nodais não precisam ser alimentados na ordem ascendente; eventualmente, entretanto, todos os nós entre 1 e o maior valor especificado deve ser definido. Dados para uma série de nós:

$$NN_1, NN_1 + KN_1, NN_1 + (2 \times KN_1), \dots, NN_2$$

devem ser gerados da informação dada nos dois arquivos na seqüência.  $KN_1$  é o parâmetro de geração da malha dado no primeiro arquivo da seqüência. O primeiro nó gerado é  $NN_1 + KN_1$ ; o segundo nó gerado é  $NN_1 + (2 \times KN_1)$ , etc. A geração continua até o nó de número  $NN_2 - NN_1$  está estabilizado. Observar que a diferença do nó  $NN_2 - NN_1$  deve ser eventualmente divisível por  $KN_1$ . Os nós intermediários entre  $NN_1$  e  $NN_2$  são localizados em intervalos iguais ao longo da linha reta entre os dois pontos. As restrições da fronteira para a geração de pontos nodais são atribuídas iguais aos valores no segundo arquivo. A geração das coordenadas é realizado usando o esquema de interpolação linear entre X ( $NN_1$ ) e X ( $NN_2$ ), Y ( $NN_1$ ) e Y ( $NN_2$ ), Z ( $NN_1$ ) e Z ( $NN_2$ ). Nenhuma geração é executada se  $KN_1 = 0$

**Grupo de Dados: 5.5 Cargas Geradas**  
**Número de Arquivos: NLDADD\***  
**Formatos: 415, F10.0, 10X, 215**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NODE	Número do ponto nodal no qual a componente de carga é aplicada	(45) <sup>45</sup>
6-10	IDIR	Marca da direção da componente de carga;  = 1 , na direção X = 2 , na direção Y = 3 , na direção Z	
11-15	ITYPE	Tipo de carga;  = -1 , pressão estática	
16-20	IHIST	Número estado do tempo de carga	(46) <sup>46</sup>
21-30	CC	Coefficiente de carga associado com a componente de carga aplicada no nó	(46), (47) <sup>47</sup>
41-45	NZ	Último nó do grupo gerado	
46-50	NK	Incremento do nó para a geração	

<sup>45</sup> As cargas nodais são alimentadas em cada nó carregado. Os números nodais não necessitam ser dados em ordem ascendente. Os números dos pontos nodais do primeiro e do último nó da série a ser gerada são especificados pelo usuário. Todos os dados de carga no ponto nodal entre o primeiro e o último nó serão gerados. Os números dos pontos nodais intermediários são calculados pelo acréscimo de NK, o parâmetro de incremento de geração do nó, para o tal nó precedente:  $NODE_i = NODE_{i-1} + NK$

A mesma carga é usada para os nós gerados como para o primeiro nó do grupo. Se  $NK = 0$  nenhuma geração é executada.

<sup>46</sup> Por exemplo, se  $IDIR = 1$ , então a componente global X,  $F_x$ , da carga nodal é calculada como:

$$F_x = PLOAD (IHIST) * CC$$

Onde PLOAD é a pressão estática como lida o grupo de dados 7.13 (pág. 277), e CC é o coeficiente de carga para este ponto nodal.

<sup>47</sup> Se o coeficiente de carga está sendo aplicado a um nó relativo (em relação à presença da superfície de deslizamento), um coeficiente de carga igual deve ser aplicado ao próprio nó referenciado em acréscimo àqueles coeficientes de carga que seriam ordinariamente aplicados a qualquer nó de referência.

**Grupo de Dados: 6.0      Dados de Controle de Desenho da Malha**

**Grupo de Dados: 6.1**

**Número de Arquivos:    1**

**Formatos:                1X, A4, 3F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
2-5	KEYW D	Palavra chave que define a opção do desenho desejada  = PLOT , o desenho é desejado ≠ PLOT , nenhum desenho é desejado ( Ir para o grupo de dados 3.0, pág. 226)	
6-15	QSIZE	Tamanho em polegadas do papel a ser usado. default = 10.6 polegadas	
16-25	HTN	Altura em polegadas dos números do ponto nodal default = 0.07 polegadas	(48) <sup>48</sup>
26-35	HTE	Altura em polegadas dos números do elemento default = 0.08 polegadas	(48)

<sup>48</sup> HTN, HTE < 0.0 resulta em nenhum número de malha para os nós nem elementos

**Grupo de Dados: 6.2 Plano de Desenho e Vetor de Visada**

**Número de Arquivos: 1\***

**Formatos: I5, 6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NCUT	Número de planos de corte a serem especificados no próximo grupo de dados	
6-15	VIEW (1)	Uma componente global X de um vetor (Vetor horizonte) que estabelece a orientação da plotagem da malha ortográfica tridimensional no papel do plotter.	(49) <sup>49</sup>
16-25	VIEW (2)	Componente global Y do vetor horizonte descrito acima	
26-35	VIEW (3)	Componente global Z do vetor horizonte descrito acima	
36-45	VIEW (4)	A componente global X de um vetor (vetor de visada) que estabelece a linha de visada para a plotagem da malha ortográfica tridimensional.	
46-55	VIEW (5)	Componente global Y do vetor de visada descrito acima	
55-65	View (6)	Componente global Z do vetor de visada descrito acima	(49)

\* Se KEYWD ≠ PLOT do grupo de dados 6.1 (pág. 255), abandonar este grupo de dados.

<sup>49</sup> A especificação do vetor horizonte e vetor visada é necessária apenas para o caso tridimensional. VIEW (1) = 1.0 e VIEW (6) = -1.0 são automaticamente atribuídos para o caso bidimensional.

**Grupo de Dados: 6.3 Planos de Corte Para o Desenho****Número de Arquivos: NCUT\*****Formatos: 6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	XCUT (1)	Coordenada global X de um ponto no plano de corte	(50) <sup>50</sup>
11-20	XCUT (2)	Coordenada global Y de um ponto no plano de corte	
21-30	XCUT (3)	Coordenada global Z de um ponto no plano de corte	
31-40	XCUT (4)	Componente global X de um vetor normal ao plano de corte	
41-50	XCUT (5)	Componente global Y de um vetor normal ao plano de corte	
51-60	XCUT (6)	Componente global Z de um vetor normal ao plano de corte	

Ir para o grupo de dados 3.0 (pág. 226).

\* Se NCUT = 0 do grupo de dados 6.2 (pág. 256), abandonar este grupo de dados. De outra forma, a entrada de dados para NCUT é realizada conforme mostrado acima.

<sup>50</sup> O plano de corte é estabelecido pelos pontos fornecidos de XCUT (1) até XCUT (3) e a normal dada de XCUT (4) até XCUT (6). A direção da normal estabelece o lado positivo do plano de corte (os pontos nodais externos ao lado da malha a ser plotada). Apenas aqueles elementos que caem completamente no lado positivo de todos os planos de corte serão plotados.

**Grupo de Dados: 7.0**      **Opção de geração de "link"**  
**Grupo de Dados: 7.1**      **Opção de Renumeração de Nós**  
**Grupo de Dados: 7.1.1 :**    **Controle de Renumeração**  
**Número de Arquivos:**      **1**  
**Formatos:**                    **I5**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	IENUM	Controle numérico especificando se a malha final está para ser renumerada por uma possível pequena redução de banda;  < 0 , malha a ser renumerada com sistema fornecido pelo usuário (ver grupo de dados 7.1.12, pág. 259)  = 0 , malha não está para ser renumerada  > 0 , IENUM segundos será permitido para a redução automática do largura de banda. (seção 3.8,capítulo 3, pág. 82)	

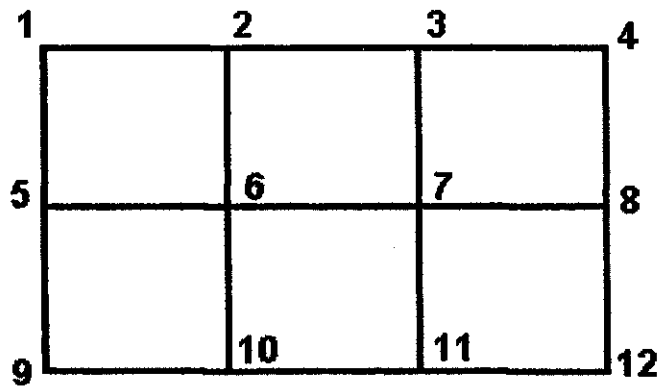


**Grupo de Dados: 7.1.2 Renumeração manual da malha****Número de Arquivos: 1+ [(NUMNP - 1)/16]\*****Formatos: 1615**

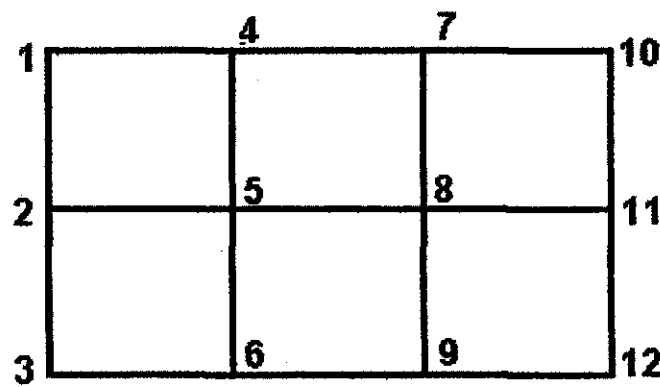
COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	IS (1)	Novo número do ponto nodal para o nó 1 da antiga malha	(51) <sup>51</sup>
6-10	IS (2)	Novo número do ponto nodal para o nó 2 da antiga malha	
.	.		
.	.		
.	.		
75-80	IS (16)	Novo número do ponto nodal para o nó 16 da antiga malha	
		--- Arquivos subseqüentes, se necessário ---	
1-5	IS (17)	Novo número do ponto nodal para o nó 17 da antiga malha	
.	.		
.	.		
.	.		
	IS(NUMNP)	Novo número do ponto nodal para o nó NUMNP da antiga malha	

\* Se IRENUM  $\geq$  o do grupo de dados 7.1.1 (pág. 258), abandonar este grupo de dados. Se IRENUM é negativo, vários arquivos devem ser providenciados para ler o novo número de cada nó na malha, se seu número mudou ou não. Na fórmula para o número de arquivos neste grupo de dados, NUMNP é o número de nós na malha.

<sup>51</sup> Um exemplo de como a opção renumeração fornecida pelo usuário é especificada: Supor que a malha final é numerada como na Figura A.5. Se o usuário quisesse a malha renumerada como na Figura A.5, os novos números dos pontos nodais deveriam ser introduzidos na seguinte ordem: 1, 4, 7, 10, 2, 5, 8, 11, 3, 6, 9, 12. Por exemplo, o quarto número na lista é 10, que é o novo número para o nó 4 da antiga malha. Observar que os nós de 1 a 12 devem ser listados sempre ainda que mantenham seus números originais.



**Numeração da malha antiga**



**Numeração da nova malha**

**Figura A.5 - Sistema de Renumeração da Malha**

**Grupo de Dados: 7.2    Dados de Controle de Desenho Para a Malha Final****Número de Arquivos: 1****Formatos: 1X, A4, 3F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
2-5	KEYWD	Palavra chave que define a opção de desenho desejada;  = PLOT , desenho é desejado ≠ PLOT , desenho não é desejado	(52) <sup>52</sup>
6-15	QSIZE	Tamanho em polegadas do papel a ser usado default = 10.6 polegadas	
16-25	HTN	Altura em polegadas dos números do ponto nodal default = 0.07 polegadas	(53) <sup>53</sup>
26-35	HTE	Altura em polegadas dos números do elemento default = 0.08 polegadas	(53)

<sup>52</sup> Se KEYWD ≠ PLOT, ir para o grupo de dados 7.5 (pág. 264)

<sup>53</sup> HTN , HTE < 0.0, resulta em nenhuma numeração da malha para nós e elementos.

**Grupo de Dados: 7.3      Horizonte de Desenho e Vetor de Visada**

**Número de Arquivos:    1\***

**Formatos:                    I5, 6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NCUT	Número de planos de corte a serem especificados no próximo grupo de dados	
6-15	VIEW (1)	A componente global X de um vetor (vetor horizonte) que estabelece a orientação da plotagem da malha ortográfica tridimensional no papel do plotter.	(54) <sup>54</sup>
16-25	VIEW (2)	Componente global Y do vetor horizonte descrito acima	
26-35	VIEW (3)	Componente global Z do vetor horizonte descrito acima	
36-45	VIEW (4)	A componente global X de um vetor (vetor de visada) que estabelece a linha de visada da plotagem da malha ortográfica tridimensional.	
46-55	VIEW (5)	Componente global Y do vetor visada descrito acima	
56-65	VIEW (6)	Componente global Z do vetor visada descrito acima	(54)

\* Se KEYWD ≠ PLOT do grupo de dados 7.2 (pág. 261), abandonar este grupo de dados.

<sup>54</sup> A especificação do vetor horizonte e do vetor visada é necessária apenas para o caso tridimensional. View(1) = 1.0 e View(6) = -1.0 são automaticamente atribuídos para o caso bidimensional.

**Grupo de Dados: 7.4 Plano de Corte Para Desenho**

**Número de Arquivos: NCUT\***

**Formatos: 6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	XCUT (1)	Coordenada global X de um ponto no plano de corte	(55) <sup>55</sup>
11-20	XCUT (2)	Coordenada global Y de um ponto no plano de corte	
21-30	XCUT (3)	Coordenada global Z de um ponto no plano de corte	
31-40	XCUT (4)	Componente global X de um vetor normal ao plano de corte	
41-50	XCUT (5)	Componente global Y do vetor normal descrito acima	
51-60	XCUT (6)	Componente global Z do vetor normal descrito acima	

\* Se NCUT = 0 do grupo de dados 7.3 (pág. 262), abandonar este grupo de dados. De outra forma, a entrada de dados de NCUT deve ser realizada como descrito acima.

<sup>55</sup> O plano de corte é estabelecido pelos pontos fornecidos de XCUT (1) até XCUT (3) e a normal dada de XCUT (4) até XCUT (6). A direção da normal estabelece o lado positivo do plano de corte ( pontos normais externos ao lado da malha a ser plotada). Apenas aqueles elementos que caem completamente no lado positivo de todos os planos de corte serão plotados.

**Grupo de Dados: 7.5      Ativação/Desativação de Elementos e Parâmetros  
de Tensão Inicial****Número de Arquivos:      1****Formatos:                      215**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NACTV	Número de elementos que são declarados como tendo um status ativo e/ou inativo durante o cálculo.	
6-10	NPSTR	Números de elementos que são dados como pré-tensões ou tensões iniciais.	

**Grupo de Dados: 7.6 Ativação/Desativação de Elementos**

**Número de Arquivos: NACTV\***

**Formatos: 315**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NEL	Número de um elemento que é declarado como tendo um status ativo ou inativo	(56) <sup>56</sup>
6-10	ION	Número do primeiro nível de carga para o qual o elemento NEL é ativo	(57) <sup>57</sup>
11-15	IOFF	Número do primeiro nível de carga para o qual o elemento é inativo após ter sido ativo	(58) <sup>58</sup>

<sup>56</sup> Os números dos elementos são aqueles resultantes da geração (opções de geração da malha \*AUTO e \*GENE, grupo de dados 4.0 (pág 217) e 5.0 (pág. 245) respectivamente). Um elemento não pode ser repetido neste grupo de dados.

<sup>57</sup> O número do nível de carga ativa é especificado pelo parâmetro MAXSTP do grupo de dados 7.12 (pág. 276). Os níveis de carga para a carga ativa são numerados de 1 a MAXSTP. A carga devida ao peso próprio é aplicada em NLDI (grupo de dados 7.12, pág. 276) níveis que precedem a carga ativa. Estes níveis de carga são numerados de 1 - NLDI a 0. Se ION = 0 ou branco, o cálculo se inicia com o elemento ativo. ...

Valor de ION	Status de ativação do elemento
$ION \leq 1 - NLDI$	Elemento ativo começando do início do cálculo
$1 - NLDI < ION \leq -1$	Elemento ativado durante a fase de carga inerte ION
$ION = 0$	Elemento ativo começando do início do cálculo
$1 \leq ION \leq MAXSTP$	Elemento ativado durante a fase de carga ativa ION
$ION > MAXSTP$	Elemento nunca ativado

observar que não é possível ter um elemento que se torne ativo durante a última fase de carga inerte ( nível zero)

<sup>58</sup> As relações entre IOFF e a desativação do elemento são tabuladas abaixo:

Valor de IOFF	Status de desativação do elemento
$IOFF \leq 1 - NLDI$	Elemento nunca ativado
$1 - NLDI < IOFF \leq -1$	Elemento desativado durante a fase de carga inerte IOFF
$IOFF = 0$	Elemento nunca desativado
$1 \leq IOFF \leq MAXSTP$	Elemento desativado durante a fase de carga ativa IOFF
$IOFF > MAXSTP$	Elemento nunca desativado
$IOFF (\neq 0) \leq ION (\neq 0)$	Elemento nunca desativado

Observar que não é possível ter um elemento que se torne inativo durante a última fase de carga inerte ( nível zero).

**Grupo de Dados: 7.7      Elemento de Tensão Inicial****Número de Arquivos:      NPSTR\*****Formatos:                      I5, 3X, 9F8.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NEL	Número de um elemento que é dada a tensão inicial	(59) <sup>59</sup>
9-16	STR (1)	Componente $\sigma_{xx}$ do elemento inicial de tensão	
17-24	STR (2)	Componente $\sigma_{yy}$ do elemento inicial de tensão	
25-32	STR (3)	Componente $\sigma_{zz}$ do elemento inicial de tensão	
33-40	STR (4)	Componente $\tau_{xy}$ do elemento inicial de tensão	
41-48	STR (5)	Componente $\tau_{yz}$ do elemento inicial de tensão	
49-56	STR (6)	Componente $\tau_{zx}$ do elemento inicial de tensão	
57-64	STR (7)	Elemento de junta com tensão inicial normal $\sigma_n$	
65-72	STR (8)	Elemento de junta em tensão de cisalhamento inicial $\tau_{xy}$ (sistema de coordenadas locais para o elemento de junta )	
73-80	STR (9)	Elemento de junta em tensão de cisalhamento inicial $\tau_{xz}$ (sistema de coordenadas locais para o elemento de junta)	

\* Se NPSTR = 0 do grupo de dados 7.5 (pág. 264), abandonar este grupo. De outra forma, a entrada de dados de NPSTR é executada como mostrado acima.

<sup>59</sup> Os números do elemento são aqueles resultantes da geração (opções de geração da malha \*AUTO e \*GENE, grupo de dados 4.0 (pág. 227) e 5.0 (pág. 245), respectivamente)



**Grupo de Dados: 7.8**      **Dados de Treliza e Viga**

**Número de Arquivos:**    **Variável\***

**Formatos:**                **I5, 3X, 8F8.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NEL	Número do elemento de barra ou viga	
9-16	BRDTA (1)	$A_x$ , área da seção transversal do elemento de barra ou viga.	(60) <sup>60</sup>
17-24	BRDTA (2)	$A_y$ , área de cisalhamento do elemento de viga em relação ao eixo local Y	(61) <sup>61</sup>
25-32	BRDTA (3)	$A_z$ , área de cisalhamento do elemento de viga em relação ao eixo local Z	
33-40	BRDTA (4)	$I_y$ , segundo momento da área da seção transversal do elemento de viga com relação ao eixo local Y	
41-48	BRDTA (5)	$I_z$ , segundo momento da área da seção transversal do elemento de viga com relação ao eixo local Z	
49-56	BRDTA (6)	$I$ ou $J$ , momento polar de inércia da seção transversal do elemento de viga	(62) <sup>62</sup>
57-64	BRDTA (7)	Código de final de viga livre para a primeira extremidade	(63) <sup>63</sup>
65-72	BRDTA (8)	Código de final de viga livre para a segunda extremidade	(63)

\* O número de arquivos a serem lidos igual ao número total de elementos de barra e viga existentes na malha. Se não há elementos de viga nem de barra, abandonar este grupo de dados.

<sup>60</sup> As unidades são em polegada quadrada.

<sup>61</sup> O sistema de coordenada local é definido na Figura A.4 (pág. 252).

<sup>62</sup> Se este campo é branco,  $J$  será computado como:  $J = I_2 + I_3$

<sup>63</sup> O código de final de viga livre é um número de seis dígitos de 1 e/ou 0. O primeiro, segundo, ..., sexto dígitos correspondem as componentes das forças R, R, R, M, M e M, respectivamente. Se qualquer dos elementos acima terminar com o valor da componente da força igual a zero (pino ou rolete), o dígito correspondente atribuído deve ser 1. Quando o código de final de viga for especificado, deve ser fornecido como um número real com ponto decimal. Dessa forma, 101001 deveria ser especificado como 101001.

**Grupo de Dados: 7.9 Propriedades do Material\***

**Grupo de Dados: 7.9.1 Módulo do Material e Densidade**

**Número de arquivos: 1**

**Formatos: 3F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	B	Módulo de elasticidade volumétrica	(64) <sup>64</sup>
11-20	G	Módulo de elasticidade transversal	(164
21-30	RHO	Peso ou densidade de massa	(65) <sup>65</sup>

\* NUMMAT, o número total de diferentes propriedades do material atribuído nos grupos de dados 4.5 (pág. 232), 5.2 (pág. 246) e 5.3 (pág. 247) é determinado pelo programa. Os grupos de dados de 7.9.1 até 7.9.5 (pág. 272) são requeridos para cada propriedade de material atribuído. Assim sendo, NUNMAT atribuído deste grupo de dados deve ser fornecido (cada faixa de propriedade de material consiste de 15 arquivos)

<sup>64</sup> As unidades devem ser em psi, independentemente se as coordenadas nodais forem especificadas em pés ou polegadas.

<sup>65</sup> As unidades devem ser em lb.s<sup>2</sup>/pol<sup>4</sup>, apesar de unidades tais como pounds por polegada cúbica possam ser usadas desde que o vetor gravidade (grupo de dados 7.12, pág. 276) seja consistente com estas unidades.

**Grupo de Dados: 7.9.2 Controles de Propriedades do Material****Número de Arquivos: 1****Formatos: 6I10**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	NISO	Controle anisotrópico-isotrópico	
11-20	NPL	Controle inelástico	
21-30	NVISC	Controle de propriedade viscosa	
31-40	ITER	Controle de iteração inelástica	
41-50	NSPLIT	Número de subdivisões da deformação ou divisão para a viscoplasticidade	
51-60	NITER	Número máximo de iterações	

**Grupo de Dados: 7.9.3      Critério Para Propriedade do Material**

**Número de Arquivos:      1**

**Formatos:                    2F10.0 , 4I10**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	DELTA	Critério de ruptura por tração	
11-20	CONV	Critério de convergência	
21-30	NVM	Marca do módulo variável	
31-40	MAXITR	Número máximo de trincas de tração	
41-50	ICOMPS	Variável de controle para o concreto (sim/não)	
51-60	ITYPE	Variável de controle do tipo de superfície de escoamento	

**Grupo de Dados: 7.9.4 Coeficientes dos Módulos de Elasticidade Transversais**

**Número de Arquivos: 3**

**Formatos: 8F10.0/8F10.0/4F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-10	GCOEF (1)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 1	
11-20	GCOEF (2)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 2	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	GCOEF (8)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 8	
Arquivo 2			
1-10	GCOEF (9)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 9	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	GCOEF (16)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 16	
Arquivo 3			
1-10	GCOEF (17)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 17	
.	.	.	
.	.	.	
31-40	GCOEF (20)	Módulo de elasticidade transversal, coeficiente 20	

**Grupo de Dados: 7.9.5**      **Módulos Volumétricos e Coeficientes de Inelasticidade**

**Número de Arquivos: 9**

**Formatos: 7(8F10.0 I), 3F10.0, 2I10, 3F10.0 / F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-10	BCOEF (1)	Módulo volumétrico, coeficiente 1	
11-20	BCOEF (2)	Módulo volumétrico, coeficiente 2	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (8)	Módulo volumétrico, coeficiente 8	
Arquivo 2			
1-10	BCOEF (9)	Módulo volumétrico, coeficiente 9	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (16)	Módulo volumétrico, coeficiente 16	
Arquivo 3			
1-10	BCOEF (17)	Módulo volumétrico, coeficiente 17	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (24)	Módulo volumétrico, coeficiente 24	
Arquivo 4			
1-10	BCOEF (25)	Módulo volumétrico, coeficiente 25	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (32)	Módulo volumétrico, coeficiente 32	

Arquivo 5			
1-10	BCOEF (33)	Módulo volumétrico, coeficiente 33	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (40)	Módulo volumétrico, coeficiente 40	
Arquivo 6			
1-10	BCOEF (1)	Coeficiente de inelasticidade 1	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (8)	Coeficiente de inelasticidade 8	
Arquivo 7			
1-10	BCOEF (9)	Coeficiente de inelasticidade 9	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (16)	Coeficiente de inelasticidade 16	
Arquivo 8			
1-10	BCOEF (17)	Coeficiente de inelasticidade 17	
.	.	.	
.	.	.	
71-80	BCOEF (24)	Coeficiente de inelasticidade 24	
Arquivo 9			
1-10	BCOEF (25)	Coeficiente de inelasticidade 25	

**Grupo de Dados: 7.10      Percentagens de Reforço com Aço**

**Número de Arquivos:      NSTSET\***

**Formatos:                      3F8.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-8	ASX	Percentagem de reforço com aço na direção de $X_s$	(66) <sup>66</sup> , (67) <sup>67</sup>
9-16	ASY	Percentagem de reforço com aço na direção de $Y_s$	
17-24	ASZ	Percentagem de reforço com aço na direção de $Z_s$	

\* NSTSET , o número total de diferentes percentagens de reforço com aço atribuído nos grupos de dados 4.5 (pág. 232) e 5.3 (pág. 247), é determinado pelo programa. Se NSTSET = 0, abandonar este grupo de dados.

<sup>66</sup> A percentagem do aço é calculada como:

Percentagem do aço = área do aço / (área transversal total - área da seção)

Assim sendo, uma percentagem de aço de 2% é especificada como 0.02. X, Y e Z são os eixos de reforço com aço.

<sup>67</sup> As direções  $X_s$ ,  $Y_s$  e  $Z_s$  são especificadas no grupo de dados 7.11 (pág. 275).



**Grupo de dados: 7.11 Direções da Barras de Reforço**

**Número de Arquivos: NRBSET\***

**Formatos: 9F8.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-8	DSC (1)	Coseno do ângulo entre X e $x_s$	(68) <sup>68</sup>
9-16	DSC (2)	Coseno do ângulo entre Y e $x_s$	
17-24	DSC (3)	Coseno do ângulo entre Z e $x_s$	
25-32	DSC (4)	Coseno do ângulo entre X e $y_s$	
33-40	DSC (5)	Coseno do ângulo entre Y e $y_s$	
41-48	DSC (6)	Coseno do ângulo entre Z e $y_s$	
49-56	DSC (7)	Coseno do ângulo entre X e $z_s$	
57-64	DSC (8)	Coseno do ângulo entre Y e $z_s$	
65-72	DSC (9)	Coseno do ângulo entre Z e $z_s$	

\* NRBSET, O número total de diferentes direções do reforço com aço atribuído nos grupos de dados 4.5 (pág. 232) e 5.3 (pág. 247), é determinado pelo programa. Se NRBSET = 0, abandonar este grupo de dados.

<sup>68</sup> Todos os ângulos são expressos como cossenos diretores com X, Y e Z como eixos globais e  $x_s$ ,  $y_s$ , e  $z_s$  como os eixos de reforço com aço.

**Grupo de Dados: 7.12      Controle da Carga de Peso Próprio**

**Número de Arquivos:      2**

**Formatos:                      3F10.0 /3I5**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
Arquivo 1			
1-10	GRCOS (1)	Coeficiente da carga de gravidade na direção global X	(69) <sup>69</sup>
11-20	GRCOS (2)	Coeficiente da carga de gravidade na direção global Y	
...	...	...	
21-30	GRCOS (3)	Coeficiente da carga de gravidade na direção global Z	
Arquivo 2			
1-5	MAXSTP	Número total de níveis de carga estática ativa	
6-10	NLDI	Número de níveis de carga a serem usados no armazenamento da carga devida ao peso próprio total  = 0 , nenhuma carga devida ao peso próprio aplicada	
11-15	IRELT	Marca numérica indicando se a saída dos deslocamentos e das deformações são relativa ou incluem aquelas resultantes de carga devida ao peso próprio  = 0 , a saída dos deslocamentos e das deformações incluem aquelas resultantes de carregamento inerte.  ≠ 0 , a saída dos deslocamentos e das deformações são relativas ao carregamento inerte.	

<sup>69</sup> As componentes da carga devida ao peso próprio nas direções globais X, Y e Z são computadas em um ponto nodal típico como:

GRCOS (1) \*RHO\* volume

GRCOS (2) \*RHO\* volume

GRCOS (3) \*RHO\* volume

Assim, se RHO (grupo de dados 7.9.1, pág. 268) está em  $\text{lb.s}^2 / \text{pol}^4$ , então GRCOS estaria em  $\text{pol/s}^2$ , já inclui o vetor gravidade, e GRCOS deveria ser meramente um vetor unitário que especifica a direção da gravidade.

**Grupo de Dados: 7.13      Parâmetros da Sobrecarga Estática****Número de Arquivos:      MAXSTP\*****Formatos:                      F8.0, I2, 7F10.0 / (8F10.0)**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-8	TIME	Número do nível da sobrecarga ou do tempo associado com o nível da carga para problema de fluência	
9-10	LDUNL	Marca de opção não-descarregado; = 0 , descarregado toma lugar como definido pelo modelo material = 1 , descarregado toma lugar ao longo da curva de carregamento do modelo material	(70) <sup>70</sup>
11-20	PLOAD (1)	Carga estática, dado 1	
21-30	PLOAD (2)	Carga estática, dado 2	
.	.	.	
71-80	PLOAD (7)	Carga estática, dado 7	
		---Arquivos adicionais, se necessário ---	
1-10	PLOAD (8)	Carga estática, dado 8	
11-20	PLOAD (9)	Carga estática, dado 9	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	

Ir para o grupo de dados 1.0 (pág. 233).

\* Se MAXSTP = 0 do grupo de dados 7.12 (pág. 276), abandonar este grupo de dados. Observar que mais de um arquivo pode ser providenciado para cada tempo se a lista exceder sete magnitudes de carga. O formato adicional para arquivos adicionais é 8F10.0.

<sup>70</sup> LDUNL é útil para uma limitada classe de cálculo estático envolvendo modelos materiais de módulo variável ( ver seção 3.10 (Cap. 3, pág. 88))

**Grupo de Dados: 8.0    Controle do Pós-Processador -- Saída\*- Entrada de Dados**

**Grupo de Dados: 8.1**

**Número de Arquivos:    1\***

**Formatos:                    215**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NFIR	Primeiro nível de carga a ser impresso default = 1	(71) <sup>71</sup>
6-10	NLS	Incremento aos níveis de carga a serem impressos default = 1	

\* Se ABS (NSTP) = 0 ou 1 do grupo de dados 1.0 (pág. 223), abandonar este grupo de dados.

<sup>71</sup> Para uma descrição mais detalhada das opções de impressão, ver o grupo de dados 8.2, página 279

**Grupo de Dados : 8.2 Opções de Controle de Impressão****Número de Arquivos: Variável\*****Formatos: 6(A4, 1X)**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	NOPTF	<p>Marca de opção de impressão</p> <p>= "OPTN" inicia as opções de impressão</p> <p>= "STOP" finaliza as opções de impressão</p>	
6-9	ITYPE	<p>Tipo da opção de impressão desejada</p> <p>= "ELEM" , permite a impressão de elementos</p> <p>= "NODE" , permite a impressão de pontos nodais</p>	
11-14	NOPT (1)	<p>Parâmetro da primeira opção</p> <p>Se ITYPE = "ELEM" :</p> <p>= "NONE" , não sai nenhuma tensão</p> <p>= "----" , saída de tensão</p> <p>Se ITYPE= "NODE":</p> <p>= "NONE", não sai nenhum deslocamento</p> <p>= "----" , saída de deslocamento</p>	
16-19	NOPT (2)	<p>Parâmetro da segunda opção</p> <p>Se ITYPE = "ELEM":</p> <p>= "NONE" , não sai nenhuma deformação</p> <p>= "----" , saída de deformação</p>	(72) <sup>72</sup>

<sup>72</sup> Este campo de opção é apenas para elementos.

21-24	NOPT (3)	Parâmetro da terceira opção  Se ITYPE = "ELEM" = "PRIN" , imprime a tensão principal = "INVA" , imprime o invariante da tensão = "ALL" , imprime o invariante e a tensão principal = "----" , não imprime nem a tensão principal nem o invariante	(73) <sup>73</sup>
26-29	NOPT (4)	Parâmetro da quarta opção  Se ITYPE = "ELEM" = "CART" , tensão cartesiana local / transformação da deformação = "SPHE" , tensão esférica local / transformação da deformação = "CYLN" , tensão cilíndrica local / transformação da deformação = "----" , nenhuma transformação	(74) <sup>74</sup>

<sup>73</sup> Se ITYPE = "ELEM", a opção permite uma impressão extra dos elementos. Se NOPT (3) = "PRIN" as tensões principais e seus cosenos diretores serão calculados e impressos. Se NOPT (3) = "INVA", os três invariantes da tensão  $J_1$ ,  $J_2$  e  $J_3$ , são calculados assim como a raiz quadrada do segundo deviatório invariante,  $J_2'$  onde

$$J_1 = s_x + s_y + s_z$$

$$J_2 = s_x s_y + s_y s_z + s_z s_x - t_{xy}^2 - t_{yz}^2 - t_{zx}^2$$

$$J_3 = s_x s_y s_z + 2t_{xy} t_{yz} t_{zx} - s_x t_{yz}^2 - s_y t_{zx}^2 - s_z t_{xy}^2$$

$$J_2' = \frac{1}{6} \left[ (s_x - s_y)^2 + (s_y - s_z)^2 + (s_z - s_x)^2 \right] + t_{xy}^2 + t_{yz}^2 + t_{zx}^2$$

Este campo de opção é apenas para elementos.

<sup>74</sup> Este campo de opção é apenas para elementos e permite a transformação das coordenadas da tensão/deformação.

**Grupo de Dados: 8.3**      **Definição da Transformação Local****Número de Arquivos:**      **1\*****Formatos:**      **6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	AX (1)	<p>Parâmetro da primeira transformação.</p> <p>Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: A coordenada X do local de origem</p> <p>Para coordenadas cartesianas: Direção do cosseno do eixo X local com relação ao eixo global X'</p>	
11-20	AX (2)	<p>Parâmetro da segunda transformação.</p> <p>Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: A coordenada Y do local de origem</p> <p>Para coordenadas cartesianas: Direção do cosseno do eixo Y local com relação ao eixo global Y'</p>	

21-30	AX (3)	<p>Parâmetro da terceira transformação.</p> <p>Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: A coordenada Z do local de origem</p> <p>Para coordenadas cartesianas: Direção do cosseno do eixo Z local com relação ao eixo global Z'</p>	
31-40	AY (1)	<p>Parâmetro da direção do primeiro cosseno.</p> <p>Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: Direção do cosseno do vetor orientação com relação ao eixo global X'</p> <p>Para coordenadas cartesianas: Direção do cosseno do eixo Y local com relação ao eixo global X'</p>	(75) <sup>75</sup>
41-50	AY (2)	<p>Parâmetro da direção do segundo cosseno.</p> <p>Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: Direção do cosseno do vetor orientação com relação ao eixo global Y'</p> <p>Para coordenadas cartesianas: Direção do cosseno do eixo Y local com relação ao eixo global Y'</p>	(75)

<sup>75</sup> Para coordenadas cilíndricas, AY deveria ser a direção do cosseno do eixo do cilindro com a origem, AX, em algum ponto naquele eixo. Ver a Figura A.6 (pág. 284).

Para este sistema cilíndrico,  $\sigma_x$  se torna uma tensão axial,  $\sigma_y$  se torna uma tensão circunferencial ou cíclica e  $\sigma_z$  se torna uma tensão radial.

Para as coordenadas esféricas, AY pode ser atribuído qualquer valor que represente a direção do cosseno de um vetor. Entretanto, Deve-se tomar cuidado para não especificar um vetor que seja paralelo a um da origem, AX, para um ponto de tensão de um elemento sendo transformado. A tensão  $\sigma_x$  estaria no plano do eixo AY e o vetor do ponto de origem da tensão e é normal vetor ponto de origem da tensão.  $\sigma_z$  é paralelo ao vetor ponto de origem da tensão e  $\sigma_y$  está na direção da terceira ortogonal. Ver a Figura A.7 (pág. 284).



51-60	AY (3)	Parâmetro da direção do terceiro coseno.  Para coordenadas cilíndricas ou esféricas: Direção do coseno do vetor orientação com relação ao eixo global Z'  Para Coordenadas cartesianas: Direção do coseno do eixo local Y com relação ao eixo global Z'	(75)
-------	--------	---	------

\* Se NOPT (4) = "----" do grupo de dados 8.2 (pág. 279), abandonar este grupo de dados

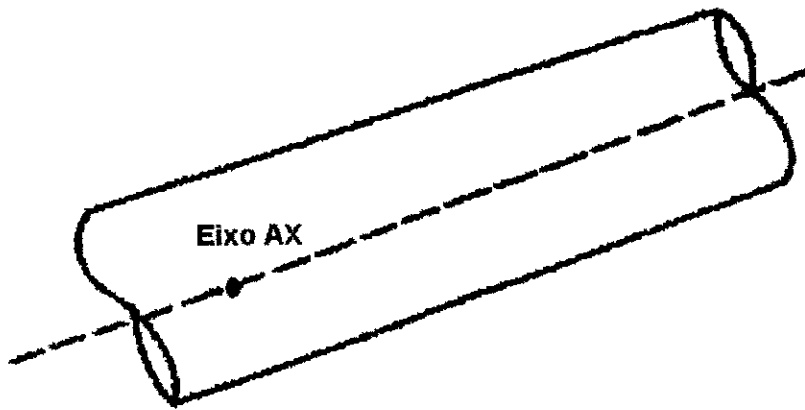


Figura A.6 - Coordenadas Cilíndricas

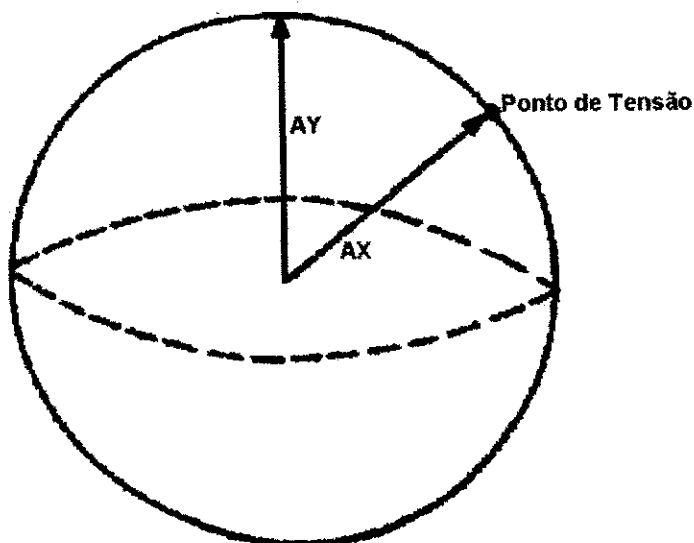


Figura A.7 - Coordenadas Esféricas

**Grupo de Dados: 8.4      Controle de Impressão****Número de Arquivos:      Variável\*****Formatos:                      A4, 1X , 315**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	KEY	Marca de definição de impressão  = "ELEM" , definição do elemento = "NODE" , definição do ponto nodal = "STOP" , entrada de dados da definição de impressão está finalizada	
6-10	N1	Primeiro elemento ou nó no bloco a imprimir	(76) <sup>76</sup>
11-15	N2	Último elemento ou nó no bloco a imprimir	(76)
16-20	NOPT	Número da opção atribuída	(77) <sup>77</sup>

<sup>76</sup> Para imprimir elementos, N1 e N2 representam a faixa de número de elementos a serem impressos. Para os nós, N1 e N2 representam a faixa de número de nós a serem impressos. Poderia ser N1 igual a N2, a impressão do bloco consistiria de um elemento ou nó. Assim sendo, deveria imprimir a saída desejada para elementos ou nós randomicamente espaçados.

<sup>77</sup> NOPT se refere a tabela de opções especificada no grupo de dados 8.2 (pág. 279). Quando NOPT > 0 a NOPT-ésima opção de elemento ou nó é usada quando imprimindo a saída para o grupo de elementos ou nós definidos pelos limites N1 e N2. As opções de elemento e nó são numeradas de acordo com a ordem na qual são encontradas no grupo de dados 8.2 (pág. 279). Por exemplo, a opção do primeiro elemento encontrado em oposição à primeira opção também encontrada é a primeira opção do elemento, a segunda opção do elemento encontrada é a segunda opção do elemento e assim por diante para todas as de entrada de dados do elemento. A numeração da opção do nó é realizada de forma similar. Por exemplo, se a seguinte tabela onde a entrada de dados no grupo de dados 8.2 (pág. 279), e se KEY ="ELEM" e NOPT = 3, acima a terceira opção do elemento na tabela deveria ser chamada e assim sendo, tensões, deformações e tensões principais e direções para todos os elementos entre N1 e N2 seriam impressas.

Nº de opção	NOPT	ITYPE	NOPT (1)	NOPT (2)	NOPT (3)	NOPT (4)	Interpretação do computador
1	OPTN	ELEM			ALL		Op. do 1º elem
2	OPTN	ELEM		NONE	INVA	CART	Op. do 2º elem
3	OPTN	NODE					Op. do 1º nó
4	OPTN	ELEM			PRIN		Op. do 3º elem

Se NOPT = 0 ou um número de opção não existe, as opções padrões são aplicadas. Para elementos, as opções padrões resultam apenas nas seis componentes globais da tensão e deformação sendo impressas. Para os nós serão impressos os deslocamentos.

**Grupo de Dados: 8.5      Controle de Desenho**

**Número de Arquivos:      1\***

**Formatos:                      315**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	ISTR	Marca de plotagem de forma deformada  = 0 , não desenha = 1 , as plotagens serão especificadas	
6-10	ICON	Marca de contorno do plot  = 0 , não plota = 1 , as plotagens serão especificadas	
11-15	IDATA	Marca dos dados do desenho  = 0 , não desenha = 1 , as plotagens serão especificadas	

\* Se NRSTRT = 0 do grupo de dados 1.0 (pág. 223), abandonar este grupo de dados e ir para o grupo 1.0 (pág. 223).

**Grupo de Dados: 8.6**      **Plotagem de Forma Deformada\***  
**Grupo de Dados: 8.6.1**    **Definição de Plotagem de Forma Deformada**  
**Número de Arquivos:**    **Variável#**  
**Formatos:**                **A4, 1X, 6I5, 4F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	IPLT	Marca de plotagem de malha deformada  = "PLTN" , plota apenas malha deformada = "PLTU" , plota malha não-deformada sobre malha deformada = "STOP" , finaliza a plotagem de malha deformada e vai para o grupo de dados 8.7 (pág. 291).	
6-10	NSTART	Primeiro nível de carga a ser plotado	(78) <sup>78</sup>
11-15	NSTOP	Último nível de carga a ser plotado default = NSTART	(78)
16-20	NCUT	Número de planos de corte	(79) <sup>79</sup>
21-25	NON	Marca de imposição de plotagem  = 0 , plotagem separada = 1 , todos os níveis de carga em uma plotagem	(80) <sup>80</sup>
26-30	NPT	Nó de referência para deslocamento rígido de grande varredura	(81) <sup>81</sup>
31-35	NPR	Nó de referência para rotação rígida de grande varredura	(82) <sup>82</sup>
36-45	QSIZE	Largura do papel em polegadas default = 10.6	
46-55	HTNODE	Altura em polegadas do ponto nodal default = 0.07	(83) <sup>83</sup>

<sup>78</sup> NSTART e NSTOP representam a faixa de níveis de carga para a qual esta malha deformada se aplica. Todos os níveis de carga entre NSTART e NSTOP serão plotados.

<sup>79</sup> NCUT é o número de planos de corte que definirão a porção da malha a ser plotada. Se NCUT = 0 a malha inteira será plotada.

<sup>80</sup> Se NON = 1 , todas as malhas deformadas plotadas para o intervalo do nível de carga especificado aparecerão em uma plotagem. Tal prática só é recomendada para um número limitado de níveis de carga para uma malha simples, pois a plotagem pode se tornar difícil de interpretar.

<sup>81</sup> NPT é o número do nó onde os deslocamentos serão referenciados. Este nó não terá deslocamentos. Outros deslocamentos nodais, depois da malha ter sido transformada perpendicular ao vetor de visada, será relativo ao deslocamento de NPT. Se NPT é branco nenhum deslocamento rígido vasto toma lugar.

<sup>82</sup> NPR é um nó usado na conjunção com NPT. A linha entre NPT e NPR é tomada como a linha de rotação zero. Se NPR é branco, nenhuma vasta rotação toma lugar.

<sup>83</sup> Se HTNODE < 0 , os números do nó não são impressos.

56-65	HTELE	Altura em polegadas do número do elemento impresso default = 0.08	(84) <sup>84</sup>
66-75	FACTOR	Fator de escala em polegadas default = 0.5	(85) <sup>85</sup>

\* Se ISTR = 0 do grupo de dados 8.5 (pág. 286), abandonar este grupo de dados e ir para o grupo 8.7 (pág. 291).

# Como vários arquivos são necessários para definir todas as plotagens desejadas devem ser introduzidas. Cada arquivo deste grupo deve ser seguido por um arquivo do grupo de dados 8.6.2 (pág. 289) e NCUT arquivos do grupo de dados 8.6.3, pág. 290 (se NCUT > 0).

---

<sup>84</sup> Se HTELE < 0, os números do elemento não são impressos.

<sup>85</sup> Se FACTOR > 0, e NON = 0, o maior deslocamento (transformado do qual, foi removido o deslocamento rígido) para um nível de carga terá uma deformação plotada igual a FACTOR. Se FACTOR < 0, o maior deslocamento para todas as cargas será igual a FACTOR.

**Grupo de Dados: 8.6.2**      **Definição do vetor de visada****Número de Arquivos:**      **1****Formatos:**      **6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	PAPOR (1)	Componente X do vetor de orientação do papel	(86) <sup>86</sup>
11-10	PAPOR (2)	Componente Y do vetor de orientação do papel	
21-30	PAPOR (3)	Componente Z do vetor de orientação do papel	
31-40	VIEW (1)	Componente X do vetor de visada	(87) <sup>87</sup>
41-50	VIEW (2)	Componente Y do vetor de visada	
51-60	VIEW (3)	Componente Z do vetor de visada	

<sup>86</sup> PAPOR define o coseno diretor do horizonte que se estende da esquerda para a direita. Este horizonte se estenderá na direção do comprimento do papel da plotagem. Deve ser atribuído para plotagens bi e tridimensionais, não existem valores default.

<sup>87</sup> VIEW define o coseno diretor do vetor de visada (linha de visada). Deve ser atribuído para plotagens bi e tridimensionais, não há valores default.

**Grupo de dados: 8.6.3****Plano de Corte para o Desenho****Número d Arquivos:****NCUT****Formatos:****6F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	CP (1)	Coordenada global X de um ponto no plano	
11-20	CP (2)	Coordenada global Y de um ponto no plano	
21-30	CP (3)	Coordenada global Z de um ponto no plano	
31-40	PL (1)	Componente global X de um vetor normal ao plano	(88) <sup>88</sup>
41-50	PL (2)	Componente global Y de um vetor normal ao plano	
51-60	PL (3)	Componente global Z de um vetor normal ao plano	

\* Se NCUT = 0 do grupo de dados 8.6.1 (pág. 287), abandonar este grupo. de outra forma os dados de entrada devem ser introduzidos como descrito acima.

---

<sup>88</sup> O vetor normal deve apontar em direção da porção da malha a ser plotada.



**Grupo de Dados: 8.7**                    **Contorno do Desenho\***  
**Grupo de Dados: 8.7.1**            **Definição do Contorno do Desenho**  
**Número de Arquivos:**            **Variável#**  
**Formatos:**                            **A4, 1X, 5I5, F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	KEY	Marca de contorno da plotagem = "CONT" , os dados do contorno da plotagem estão para ser introduzidos = "STOP" , os dados do contorno da plotagem estão finalizados. Ir para o grupo de dados 8.8 (pág. 297).	
6-10	NEL	Número de elementos a serem incluídos no contorno da plotagem	
11-15	NSTART	Primeiro nível de carga a ser considerado	(89) <sup>89</sup>
16-20	NSTOP	Último nível de carga a ser considerado, default = NSTART	
21-25	IBCFLG	Controle do código da fronteira = 0 , desenha todas as linhas da malha sólidas = -1, linhas sólidas no exterior da malha com pontilhado no interior = 1 , apenas sólido na parte externa	
26-30	NLEV	Número de níveis de contorno desejado	(90) <sup>90</sup>
31-40	PSIZE	Largura da plotagem em polegadas, default = 10.6	

\* Se ICON = 0 do grupo de dados 8.5 (pág. 286), abandonar este grupo e ir para o grupo 8.8 (pág. 297).

# Como vários arquivos são necessários para definir todas as plotagens desejadas devem ser introduzidas. Cada arquivo deste grupo deve ser seguido pelo número de arquivos requeridos por cada grupo de dados de 8.7.2 (pág. 292) a 8.7.6 (pág. 296).

<sup>89</sup> NSTART e NSTOP definem a faixa de níveis de carga para os quais o comando do contorno da plotagem é aplicado. Todos os níveis de carga entre NSTART e NSTOP serão plotados.

<sup>90</sup> Se NLEV > 0 os níveis do contorno são definidos internamente para a faixa de dados daquele nível de carga. (o programa pesquisará os valores máximo e mínimo, e então dividirá a diferença por NLEV para obter o intervalo de contorno consistente). Se NLEV < 0 o grupo de dados 8.7.5 (pág. 295) deve ser completado.

**Grupo de dados: 8.7.2**      **Definição do Vetor de Visada****Número de Arquivos:**      1**Formatos:**      **F10.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-10	VV (1)	Componente global X do vetor de visada	(91) <sup>91</sup>
11-20	VV (2)	Componente global Y do vetor de visada	
21-30	VV (3)	Componente global Z do vetor de visada	

<sup>91</sup> VV define o cosseno diretor do vetor de visada (linha de visada). O vetor de visada deveria ser normal a camada de elementos que estão sendo contornados

**Grupo de Dados: 8.7.3**      **Definição dos Elementos de Contorno****Número de Arquivos:**      **Variável\*****Formatos:**      **1615**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NL (1)	Primeiro elemento de contorno da plotagem	(92) <sup>92</sup>
6-10	NL (2)	Segundo elemento de contorno da plotagem	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
1-5	NL (17)	-----Arquivos adicionais , se necessário----- Décimo sétimo elemento de contorno da plotagem	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	

\* Até 16 números de elementos são dados no arquivo, para vários arquivos é necessário definir todos os elementos a serem incluídos no contorno da plotagem.

<sup>92</sup> Os elementos seriam selecionados para serem consistentes com o vetor de visada.

**Grupo de Dados: 8.7.4 Definição das Componentes do Contorno**

**Número de Arquivos: 1**

**Formatos: 20A4**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-80	ICOM (1) até ICOM (20)	Entrada de dados da definição das componentes do contorno  = "SX_" $\sigma_x$ = "SY_" $\sigma_y$ = "SZ_" $\sigma_z$ = "TXY-" $\tau_{xy}$ = "TYZ-" $\tau_{yz}$ = "TXZ-" $\tau_{xz}$ = "J1_" primeiro invariante da tensão = "J2_" segundo invariante da tensão = "J3_" terceiro invariante da tensão = "J2P_" raiz quadrada do segundo invariante das tensões deviatóricas = "FACT" fator de escoamento = "P1_" tensão principal máxima = "P2_" tensão principal intermediária = "P3_" tensão principal mínima = "SSX_" $\epsilon_x$ = "SSY_" $\epsilon_y$ = "SSZ_" $\epsilon_z$ = "STXY" $\gamma_{xy}$ = "STYZ" $\gamma_{yz}$ = "STXZ" $\gamma_{xz}$ = "----" finaliza a entrada de dados da definição da componente	(93) <sup>93</sup>

<sup>93</sup> Qualquer uma ou todas as combinações das componentes acima listadas devem aparecer em qualquer ordem no arquivo. A entrada de dados da definição da componente é finalizada com um campo branco.

**Grupo de Dados: 8.7.5**                      **Definição do Nível de Contorno**

**Número de Arquivos:**                      **Variável\***

**Formatos:**                                      **I5, 2F20.0**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-5	NLEVO	Redefine o número de níveis de contorno	(94) <sup>94</sup>
6-15	QMIN	Nível mínimo de contorno algébrico	(95) <sup>95</sup>
16-25	DQ	Nível de incremento de contorno	(96) <sup>96</sup>

\* Se  $NLEV > 0$  do grupo de dados 8.7.1 (pág. 291), abandonar este grupo. Um arquivo deste grupo de dados é lido para cada componente especificado no grupo de dados 8.7.4 (pág. 294).

<sup>94</sup> NLEVO é o valor que define o número de níveis de contorno. Se  $NLEVO = 0$ , NLEV será usado.

<sup>95</sup> QMIN é o menor valor algébrico da componente a ser contornada, aparece no contorno para todos os níveis de carga.

<sup>96</sup> DQ define o valor do incremento entre os níveis de contorno para todos os níveis de carga. Se  $DQ = 0.0$ , o programa atribuirá os níveis de contorno internamente a cada nível de carregamento.

**Grupo de Dados: 8.7.6**      **Arquivo do título do contomo**

**Número de Arquivos:**      **1**

**Formatos:**                      **6A4**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-24	TIT (1) até TIT (6)	Título principal para a plotagem do contomo	

**Grupo de Dados: 8.8**      **Dados do Desenho\***  
**Grupo de Dados: 8.8.1**    **Especificação dos Dados do Desenho**  
**Número de Arquivos:**    **Variável#**  
**Formatos:**                **A4, 1X, 2I5, 2F10.0, 6A4**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	KEY	Marca do tipo de plotagem = "SIG_" elemento de tensão = "EPS_" elemento de deformação = "NODE" reação nodal = "SPEC" combinação especial de plotagem = "STOP" finalização da entrada de dados da plotagem. Ir para o grupo de dados 1.0 (pág. 223).	(97) <sup>97</sup>
6-10	N1	Se KEY ≠ "SPEC": Número do nó ou do elemento Se KEY = "SPEC": Número de arquivo de plotagem especial a ser especificado	(98) <sup>98</sup>

<sup>97</sup> Os dados padrões da opção de plotagem é uma plotagem de alguns parâmetros do elemento ou nó como uma função do tempo (ou nível de carga, se a matriz tempo é usada meramente como um contador de nível de carga). Os valores do tempo são aqueles especificados com os parâmetros da carga ativa estática do grupo de dados 7.13 (pág. 277). KEY = "SIG" é usado para especificar dados de plotagem padrões para elementos de tensões, invariantes ou tensões principais. KEY = "EPS" gera dados de plotagem padrão para elementos de deformação. KEY = "NODE" gera dados de plotagem padrão para deslocamentos nodais.

KEY = "SPEC" permite o usuário mudar os formatos dos dados de plotagem padrão de uma ou duas maneiras: dados versus dados ou overlay. Ambos os tipos de plotagem especiais requerem arquivo de plotagem, que são arquivos de parâmetro de um elemento ou nó como uma função do tempo. Para os dados versus dados de plotagem devem existir dois arquivos e um é plotado como uma função do outro. Para uma plotagem overlay, cada arquivo é tratado como uma plotagem padrão todos são plotados no mesmo gráfico. Key = "STOP" significa que a entrada de dados da plotagem está terminada.

<sup>98</sup> Para a plotagem de elementos, N1 é o número do elemento a ser considerado. Para a plotagem de pontos nodais, N1 é o número do nó.

11-15	ICOMP	Se KEY ≠ "SPEC": Número da componente a ser plotada versus o tempo	(99) <sup>99</sup>
16-25	SC (1)	Valor mínimo da componente	(100) <sup>100</sup>
26-35	SC (2)	Valor máximo da componente	(100)
36-59	RAB (1) até RAB (6)	Título principal da plotagem	(101) <sup>101</sup>

\* Se IDATA = 0 do grupo de dados 8.5 (pág. 286), abandonar este grupo e ir para o grupo 1.0 (pág. 223).

## Como vários arquivos são necessários para definir todos os tempos históricos desejados e as combinações especiais de plotagem devem ser introduzidas. Se KEY = "SPEC" o arquivo de especificações da plotagem deve ser seguido de N1 arquivos do grupo de dados 8.8.2 (pág. 299).

<sup>99</sup> Se KEY ≠ "SPEC", os valores para ICOMP são mostrados abaixo. O usuário deve tomar cuidado pois as componentes especificadas são válidas para o tipo de elemento ou nó especificado.

KEY ----- ICOMP	SIG	EPS	NODE
1	SXX	EPSXX	desloc. X
2	SYY	EPSYY	desloc. Y
3	SZZ	EPSZZ	desloc. Z
4	SXY	EPSXY	
5	SYZ	EPSYZ	
6	SXZ	EPSXZ	
7	FACTOR		
8	J <sub>1</sub>		
9	J <sub>2</sub>		
10	J <sub>3</sub>		
11	SORT(J <sub>2</sub> )		
12	P <sub>1</sub>		
13	P		
14	P <sub>3</sub>		

Se KEY = "SPEC", ICOMP define o tipo especial de plotagem. Se ICOMP = 0, apenas duas plotagens (NI = 2) podem ser especificadas. Com esta opção, uma atribuição de dados versus outros dados serão plotados (tensão versus deformação). Se ICOMP = 1, NI plotagens serão plotadas juntas na mesma etapa de carregamento.

<sup>100</sup> Se é atribuído valor zero, os valores mínimo e máximo são encontrados internamente.

<sup>101</sup> Este é o título principal para a plotagem. As componentes do título são atribuídas internamente.



**Grupo de Dados: 8.8.2****Agrupamento da Definição do Desenho****Número de Arquivos:****N1\*****Formatos:****A4, 1X, 215**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1-4	KEY	Opção do tipo de plotagem  = "SIG-" elemento de tensão = "EPS-" elemento de deformação = "NODE" reação nodal	
6-10	N	Número do elemento ou nó	(102) <sup>102</sup>
11-15	ICOMP	Número da componente a ser plotada	(103) <sup>103</sup>

\* Se KEY = "SPEC" do grupo de dados 8.8.1 (pág. 297), abandonar este grupo; de outra forma a a entrada de dados dos N1 arquivos deve ser feita como descrita cima.

<sup>102</sup> Para plotagem de elementos, N é o número do elemento a ser considerado. Para plotagem de nós, N é o número do nó.

<sup>103</sup> Ver a tabela do rodapé 3 no grupo de dados 8.8.1 (pág. 297).

**Grupo de Dados: 9.0      \*Modificação dos Dados de Entrada**

**Número de Arquivos:      Variável#**

**Formatos:                    A1, I4, I5**

COLS	VAR	ENTRADA	OBS.
1	KEY	Marca do tipo de alteração  = I , modifica o bloco comum IWD = U , modifica o bloco comum IUNITS = E , finaliza a modificação dos dados	
2-5	LOC	Localização no bloco comum do valor a ser modificado	(104) <sup>104</sup>
6-10	NEWVAL	Novo valor inteiro a ser atribuído	

\* Um arquivo deve ser lido para cada modificação dos blocos comuns IWD e IUNITS. O grupo de dados é finalizado com a opção KEY = "E".

<sup>104</sup> Se KEY = "I", IWD (LOC) = NEWVAL  
 Se KEY = "U", IUNITS (LOC) = NEWVAL

Veru/B. 10/11. 04/10/11

## APÊNDICE B

### ARQUIVOS UTILIZADOS NO PROGRAMA BMINES

O programa BMINES utiliza arquivos internos para armazenamento de dados. Alguns deste arquivos devem ser salvados e/ou recuperados. A descrição da utilização bem como os conteúdos destes arquivos é descrita a seguir.

#### B.1 - Arquivos utilizados no segmento ATOMSH

Nº DA UNIDADE LÓGICA	NOME DA UNIDADE	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO	ESCRITO POR
1	ITYPE	Entrada de dados de reinicialização e saída de dados do arquivo de junção	FLM BLDIO RENEL LINK
2	JTAPE	Arquivo de saída de dados do elemento	BLDB
4	KTAPE	Arquivo de saída de reinicialização dos dados	RESTRT
10	LTAPE	Arquivo de saída do desenho	PT3
11	MDRUM (1)	Matriz do elemento IS, (em blocos) (IS (I), I = 1, NBSZ)	RENEL
12	MDRUM (2)	Dados de elemento de junta NEL, ISMAT, IFACE, LPTHK	GENEL
13	IDRUM	Dados do ponto nodal, (em blocos) a) ((KODE(I,J), I = 1,6), J = 1, NBSZ); (ICLD (J), J = 1, NBSZ) b) ((XYZ(I,J), I=1,3), J=1, NBSZ) Depois utiliza dados de barra/ viga/ tensão inicial/ juntas	NPGEN  RDMD
14	JDRUM	Dados de carga, (em blocos) ((LODBUF (I, J), I = 1,4), J = 1, NBSZ), (CA (J), J = 1, NBSZ)	NPGEN
15	KDRUM	Dados do elemento ((IX (I, J), I = 1,IIXL), J = 1, NBSZ) (ITYPE (J), J = 1, NBSZ) ((MAT (I, J), I = 1, 5), J = 1, NBSZ) (TH (J), J = 1, NBSZ)	ELDATA
16	LDRUM	Dados do elemento DOF (LMIN (J), J = 1, NBSZ), (LMAX (J), J = 1, NBSZ) ((LM (I, J), I = 1, LLM), J = 1, NBSZ)	RENEL
17	LUN1	Temporário, matriz ID para a rotina FORMLM	
18	LUN2	Temporário, dados da coordenada para a plotagem e para a rotina BLDB	
19	LUN3	Temporário	

## B.2 - Arquivos Utilizados no Segmento BMCALC

Nº DA UNIDADE LÓGICA	NOME DA UNIDADE	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO	ESCRITO POR
1	LINK	Arquivo de entrada de dados do arquivo de união que contém dados sobre o tamanho do problema, carregamento e propriedades dos materiais.  Também usado como arquivo de entrada de dados de reinicialização.	ALLOC REREAD
2	LEU	Arquivo dos dados do elemento que contém um registro para cada elemento.	KFORM
3	LOUT	Arquivo de saída de dados	ALLOC REREAD KFORM FWRT
4	LRST1	Arquivo de saída dos dados.	BMSTRT (W)
7 8	LFKI LFKO	Estes arquivos são usados alternadamente, conforme requerido pelo programa, para conter a matriz de rigidez global, escrito como (NBLOCK + 1) registros de (MBAND*NEQB) palavras	DECOMP (R&W) BACKUP REREAD BMSTRT
11 12	LSTRI LSTRO	dados da tensão histórica, escrito um registro por elemento	KFORM (R&W) REREAD BMSTRT
13 14	LFIN LFOUT	Contém o vetor força, o deslocamento total e o deslocamento incremental. (NBLOCK + 1) registros	KFORM FILLFU REREAD BMSTRT FWRT
15	LOAD	Coeficientes de carga, quatro palavras para cada nó carregado, escrito em blocos de NLDB nodes	LDTBL (W) FILLFU REREAD BMSTRT
16 17	LTMP1 LTMP2	Contém dados do elemento de rigidez que ultrapassa os blocos de rigidez global. No máximo MAXK palavras por registro, < NUMEL registros	BSTIF (W) TDRUM
18 19	LTP1 LTP2	Usados por DECOMP para armazenar termos que ultrapassam os blocos de rigidez. Requerem no máximo (MBAND <sup>2</sup> + NEQ) palavras	DECOMP STORP

## B.3 - Conteúdos do Arquivo de União de ATOMSH

N° DA UNIDADE LÓGICA	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO
1	Primeira parte do bloco comum IGEOM HED (20) , NUMNP, NUMEL, IIXL
2	Matriz ID ( relata os pontos nodais aos graus de liberdade e contém coordenadas), nós IWBLSZ em blocos, escrito como registros separados) NBLOCK = (NUMNP-1)/IBLSZ + 1 Registro 1 : (( ID (I, J), I = 1, 6), J = 1, IWBLSZ) Registro 2 : (( XYZ (I, J), I = 1, 6 ), J = 1, IWBLSZ)
3	Elemento de conectividade, elementos IWBLSZ em blocos NBLOCK = (NUMEL - 1)/ IWBLSZ + 1 (( II (I, J), I = 1, IIXL), J = 1, IWBLSZ)
4	NACTIV, NSLIP (Ver grupo de dados 7.5, pág. 264 e 5.1, pág. 245)
5	NACTIV registros da forma NEL, ION, IOFF (Ver grupo de dados 7.6, pág. 265)
6	NSLIP registros da forma NUM, IFN (Ver grupo de dados 5.2, pág. 246)
7	Segunda parte do bloco comum IGEOM NUMMAT, MBAND, NEQ, NEQB, NBLOCK, NLOAD, NSLOAD, NDLOAD, NLDI, MAXSTP, IRELT, LBMAT, MAXK, MAXCB
8	Dados das propriedades do material ((MPROPS (I, J), I = 1, 100), J = 1, NUMMAT)
9	Tabela de carga ativa (TIME(J), LDUN(J), (PLOAD(I), I = 1, NSLOAD), J = 1, MAXSTP)
10	Dados de carga, NLOAD registros LDBF (1) = graus de liberdade LDBF (2) = Tipo de carga LDBF (3) = índice dentro da tabela de carga CX = coeficiente de carga CA = reservado para futuras utilizações

**B.4 Conteúdos do Arquivo de Reinicialização do Segmento BMCALC**

Nº DA UNIDADE LÓGICA	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO
1-7	Ver registros do grupo de números de 1 a 7 no item 3.0
8	Dados do bloco comum BMMISC. 20 palavras NSTEP→NCF
9	Dados do bloco comum IADR, 20 palavras. Matriz de endereço iniciando N1 → N20.
10	Propriedades do material e tabela de carga do bloco comum BMCMN, ( A (J), J = N1, N3)
11	Rigidez e F, u e du a) Se couber em memória de acesso rápido, armazena dados no bloco comum BMCMN, (A (J), J = N1, N3) b) Se não couber na memória de acesso rápido, contém NBLOCK de registros dos arquivos LFKO e LFIN LFKO = MNEQB palavra/registro LFIN = NEQB\$ palavra/registro (Se KCHNG = .true. o arquivo LFKO não é copiado)
12	Estágios de cargas passadas, contém NUMEL palavras do arquivo LSTRI com NSTR palavras/registro
13	Dados de carga ativa do arquivo LOAD, 5 palavras/registro.

## B.5 - Conteúdos do Arquivo de Saída de Dados do Segmento BMCALC

Nº DA UNIDADE LÓGICA	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO
1	Contém quatro palavras: MBAND, NEQ, NEQB, NBLOCK
2-N	<p>Contém dados de saída para cada nível de carga, escrito como requerido. Cada registro é <math>\max(\text{NEQB}, 27) + 2</math> palavras de comprimento. A primeira palavra do registro contém o número do nível de carga correspondente a esta fase de carregamento e a segunda palavra é um sinal se o registro é dado de deslocamento (<math>se = 0</math>) ou dado do elemento (= número de elementos no bloco). Se o registro é um elemento de registro, cada elemento requer 27 palavras.</p> <p>Palavra 3 : número do elemento  Palavra 4 : tipo do elemento  palavra 5 : fator de escoamento  palavra 6-17 : dados de tensão  palavra 18-29 : dados de deformação  palavra 30: número do elemento  palavra 31: tipo do elemento  palavra 32: fator de escoamento  palavras 33-44: dados de tensão  palavras 45-56: dados de deformação</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p>

**B.6 - Conteúdo do Arquivo de Elementos - Para Cada Elemento Um Registro**

Nº DA UNIDADE LÓGICA	CONTEÚDO E DESCRIÇÃO	TIPO PALAVRA
1	Número do elemento	Inteira
2	Tipo de elemento	Inteira
3	Marca de formulação da rigidez	Inteira
4	Número de origens dos graus de liberdade	Inteira
5	Número de DOF's dos elementos de juntas	Inteira
6	Nível de elementos que se tornam ativos	Inteira
7	Nível de elementos que se tornem inativos	Inteira
8	Grau de liberdade mínimo para este elemento	Inteira
9	Grau de liberdade máximo para este elemento	Inteira
10	Número material	Inteira
11	Número de pontos de integração	Inteira
12	Número de conjunto de barras	Inteira
13	Volume do elemento	Real
14	Área do aço na direção $X_S$	Real
15	Área do aço na direção $Y_S$	Real
16	Área do aço na direção $Z_S$	Real
17-25	Cosenos diretores de barras ou vigas	Real
26-31	Momentos de inércia	Real
32-43	Tensões iniciais	Real
44	Número do material de juntas	Real
45	Código da face de juntas	Real
46	Espessura da junta	Real
47	não usada	Real
48	não usada	Real
50(=IWLMS)	não usada	



## APÊNDICE C

## CONTEÚDO DOS BLOCOS COMUNS ROTULADOS IWD, IUNITS e IGEOM

## C.1 - Conteúdo do Bloco Comum IWD

LOCALIZAÇÃO	NOME	VALOR DEFAULT	UTILIZAÇÃO
1	IWCD	5	Número da unidade lógica do arquivo de entrada de dados
2	IWPRT	6	Número da unidade lógica do arquivo de saída de dados
3	IWPUNC	-3	Número da unidade lógica do arquivo "punch"
4	IWBLSZ	200	Fator de subdivisão de vetores
5	IWLPPG	50	Número máximo de linhas por página para saída de dados
6	IWCAT	10000	Espaço de memória disponível para o segmento ATOMSH do bloco comum /EKCMN/ A(27000)
7	IWCBM	27000	Espaço de memória disponível para o segmento BMCALC do bloco comum /BMCMN/ A(27000)
8	IWCOUT	20000	Espaço de memória disponível para o segmento BMOUTP, matriz IBUF (20000)
9	IWSNGL	2	Pilha de memória simples/dupla 1 = O sist. operacional não realiza buffer 2 = O programa interno utiliza a opção de pilha dupla.
10	IWLMST	50	Comprimento do bloco fixo de dados do elemento
11	IWDEOF	4HDEOF	Palavra de controle de EOF
12	IWBLNK		Caractere branco
13	IWSRUN	0	Controle de depuração 1 - trilha entrada/saída
14	NSTP		Sob controle do programa (usado para passar dados)
15	NRSTRT		Sob controle do programa (usado para passar dados)
16	TIMER		Sob controle do programa (usado para passar dados)

O bloco comum IWD é atribuído da subrotina SETIW e pode ser mudado na subrotina SETMODE usando a opção do programa \*MODI.

## C.2 - Conteúdo do Bloco Comum IUNITS

LOCALIZAÇÃO	NOME	VALOR DEFAULT
1	IWTAPE	8
2	IWDRUM	9
3	IWLUN(1)	1
4	IWLUN(2)	2
5	IWLUN(3)	3
6	IWLUN(4)	4
7	IWLUN(5)	7
8	IWLUN(6)	8
9	IWLUN(7)	9
10	IWLUN(8)	10
11	IWLUN(9)	11
12	IWLUN(10)	12
13	IWLUN(11)	13
14	IWLUN(12)	14
15	IWLUN(13)	15
16	IWLUN(14)	16
17	IWLUN(15)	17
18	IWLUN(16)	18
19	IWLUN(17)	19
20	IWLUN(18)	0
21	IWLUN(19)	0
22	IWLUN(20)	0

\* O uso de IWTAPE e de dispositivos físicos de armazenamento de dados são necessários no sistema operacional UNIVAC EXEC-II. Outros sistemas podem atribuir unidades a quaisquer dispositivos.

O bloco comum IWD é atribuído da subrotina SETIW e pode ser mudado na subrotina SETMODE usando a opção do programa \*MODI. As modificações dos conteúdos dos blocos comuns IWD e IUNITS são entendidas apenas por usuários com um conhecimento superior da estrutura interna, organização e operação do programa.

## C.3 - Conteúdo do Bloco Comum IGEOM

LOCALIZAÇÃO	NOME	UTILIZAÇÃO
1	WITIN	Opção de seqüência de execução corrente (atribuído por ATOMSH and BMINES)
2-21	HED (1) - HED (20)	Título do <i>job</i> , 4 caracteres/palavra
22	NUMNP	Número de pontos nodais
23	NUMEL	Número de elementos
24	IIXL	Número máximo de nós/elemento
25	NUMMAT	Número do conjunto de propriedades do material
26	MBAND	Largura de banda
27	NEQ	Número de equações (graus de liberdade)
28	NEQB	Número de graus de liberdade/bloco
29	NBLOCK	Número de blocos da rigidez global
30	NLOAD	Número de graus de liberdade carregados
31	NSLOAD	Número de etapas de carregamento
32	NDLOAD	Não usado
33	NLDI	Número de incrementos da carga de peso próprio
34	MAXSTP	Número de níveis de carga
35	IRELT	Marca relativa de saída de dados
36	LBMAT	Comprimento máximo dos dados do elemento do bloco
37	MAXK	Comprimento máximo da matriz de rigidez
38	MAXCB	Comprimento máximo do elemento da matriz B

## APÊNDICE D

### DEFINIÇÕES DOS MODELOS DOS MATERIAIS

Esta seção discute as propriedades dos modelos materiais para elementos estruturais e contínuos que estão disponíveis no programa BMINES e define os coeficientes necessários para a implementação do modelo do material. Os modelos materiais aqui descritos estão incorporados no programa BMINES por uma família de sub-rotinas que tratam das propriedades do material, que estão referenciadas no pacote de propriedades do material.

O objetivo desta seção é permitir uma breve descrição dos modelos de propriedades dos materiais disponíveis, critérios e coeficientes, assim como definições específicas destas quantidades para cada modelo material. A entrada de dados deve ser buscada no grupo de dados de 7.9.1 (pág. 268) a 7.9.5 (pág. 272), para cada número de material especificado pelo usuário no modelo de elementos finitos.

Os modelos materiais disponíveis no programa BMINES são:

#### D.3 - MÓDULO DE MODELOS ELÁSTICOS, CONSTANTE

D.3.1 - Módulo de modelo isotrópico constante

D.3.2 - Módulo de modelo anisotrópico constante

#### D.4 - MÓDULO DE MODELOS ELÁSTICOS, VARIÁVEL

D.4.1 - Exponencial na deformação

D.4.2 - Polinomial na deformação

D.4.3 - Exponencial na pressão

D.4.4 - Modelo linear em subintervalos

**D.5 - MODELOS NÃO-ELÁSTICOS, MODELOS ISOTRÓPICOS EXCETO O CONCRETO**

- D.5.1 - Critério de escoamento idealmente plástico com uma superfície de escoamento polinomial
- D.5.2 - Critério de escoamento idealmente plástico com uma superfície de escoamento parabólica
- D.5.3 - Modelos para juntas, "cap model" para rochas
- D.5.4 - Modelos para juntas, "soil model" para solos

**D.6 - MODELOS NÃO-ELÁSTICOS, ANISOTRÓPICOS EXCETO O CONCRETO**

- D.6.1 - Módulo constante, modelo de escoamento anisotrópico
- D.6.2 - Módulo variável, modelo de esforço coesivo variável

**D.7 - MODELOS VISCOSOS**

- D.7.1 - Modelo viscoelástico sólido de três parâmetros
- D.7.2 - Modelo viscoelástico de Maxwell
- D.7.3 - Modelo viscoplástico

**D.8 - MODELOS PARA O CONCRETO**

- D.8.1 - Módulo variável para concreto simples ou armado
- D.8.2 - Modelo plástico tipo "cap" para concreto simples

**D.9 - MODELOS PARA JUNTAS****D.1 - DEFINIÇÕES BÁSICAS DOS COEFICIENTES DAS PROPRIEDADES DO MATERIAL**

As propriedades de cada material são armazenadas na seguinte matriz:

COEF (I,M) , I = 1,100

**D.1**

onde M recebe o número de identificação do material. Desde que uma grande variedade de materiais sejam apresentados no pacote material, as seguintes definições não são aplicáveis para todos os materiais. Materiais especiais serão explicados separadamente.

As unidades básicas usadas para definir estes coeficientes são polegadas e pounds. Pela inserção de uma marca durante a geração da malha é permitido especificar alguns dos parâmetros de comprimento em pés. Entretanto, na especificação das propriedades

do material, é sempre a polegada que é usada como a unidade básica de comprimento. Por exemplo, módulos de rigidez são entendidos para serem especificados em termos de psi (*pounds* por polegada quadrada).

Unidades de tempo entram nos cálculos apenas de duas maneiras: (1) na especificação do estado anterior da carga, e (2) em alguns dos parâmetros de viscoelasticidade e viscoplasticidade. Para problemas não-viscosos, o tempo não está envolvido na solução, e o parâmetro tempo usado no estado da carga serve meramente como um significado de especificação do número do estado da carga. No caso de problemas viscosos, as unidades de tempo do estado do carregamento devem ser as mesmas que as unidades dos parâmetros de viscosidade. Nenhuma unidade de tempo é impressa na saída de dados, portanto não há problema se o usuário as entende como segundos ou semanas. Mas se a unidade é usada para especificar os parâmetros da viscosidade, aquela unidade também deve ser usada para especificar o estado anterior da carga.

As quantidades em COEF são definidas da seguinte maneira:

Módulo Elástico e Densidade ( Grupo de Dados 7.9.1, pág. 268)	
COEF (1,M) = B	Módulo de elasticidade volumétrica → um valor a ser usado para materiais isotrópicos, e pode ser usado para materiais plásticos, viscoplásticos ou viscoelásticos.
COEF (2,M) = G	Módulo de elasticidade transversal → um valor constante a ser usado para materiais isotrópicos, e pode ser usado com materiais plásticos, viscoplásticos ou viscoelásticos

Variável de Controle das Propriedades do Material ( Grupo de Dados 7.9.2, pág 269)	
COEF(4,M) = NISO = 0 = 1 = 2	Controle para materiais anisotrópico / isotrópico exceto o concreto Material isotrópico Módulo constante elástico anisotrópico ou módulo de modelo de escoamento constante anisotrópico Modelo de esforço coesivo variável
COEF(5,M) = NPL = 0 = 1 = 2	Controle para materiais elástico / inelástico exceto o concreto Material elástico Material idealmente plástico sem superfície de escoamento "cap", incluindo materiais viscoplásticos Material inelástico com superfície de escoamento "cap" com encruamento
COEF(6,M) = NVISC = 0 = 1 = 2	Controle de propriedade não-miscível / viscosa Material não-miscível Material viscoplástico Material viscoelástico
COEF(7,M) = ITER = 0 ≠ 0	Marca de iteração inelástica A integração das relações não-lineares tensão/deformação podem requerer iterações se os módulos tangente são funções implícitas das componentes da tensão e da deformação. Iteração em materiais inelásticos Nenhuma iteração
COEF(8,M) = NSPLIT	Número de subdivisões da deformação ou apenas para materiais viscoplásticos. Atribui zero para todos os outros modelos de material. Computar o alívio da tensão corretamente, o incremento da deformação é subdividido em NSPLIT pequenos incrementos. Este número, que pode ser necessário ser tão grande quanto 50 aplica-se apenas a viscoplasticidade
COEF(9,M) = NITER	Número máximo de iterações em materiais inelásticos exceto materiais viscoplásticos. Esta marca é usada com ITER=0. ^A iteração prossegue até a convergncia ser atingida com uma tolerância predefinida (ver CONV abaixo), ou até que o número de iterações seja igual a NITER. Um valor entre 8 e 10 é sugerido. Se ITER≠0, atribuir NITER=0.

<p>COEF(10,M) = DELTA</p> <p>&lt; 0</p> <p>= 0</p> <p>&gt; 0</p>	<p>Critério de quebra por trinca de tração. Controle de subdivisões de deformação para materiais inelásticos exceto viscoplásticos</p> <p>Critério de quebra por trinca de tração baseado na deformação máxima <math>\Delta\epsilon_{max}</math></p> <p>Critério de quebra por trinca de tração baseado na proximidade do ponto de tensão com respeito a superfície de escoamento.</p> <p>Critério de quebra por trinca de tração baseado na tensão máxima <math>\Delta\sigma_{max}</math></p> <p>Para evitar subdivisão na deformação, atribuir DELTA muito maior que o maior incremento da tensão esperado. Para maior detalhamento acerca da subdivisão da deformação, ver item 1.1</p>
<p>COEF(11,M) = CONV</p>	<p>Critério de convergência para materiais inelásticos exceto viscoplásticos. Critério para a convergência da iteração (ver NITER). Também usado para controlar a subdivisão da deformação (ver DELTA)</p>
<p>COEF(12,M) = NVM</p> <p>= 0</p> <p>= 1</p> <p>= 2</p> <p>= 3</p> <p>= 4</p>	<p>Módulo constante / módulo variável para materiais exceto concreto</p> <p>Para o módulo constante ( usar B e G acima)</p> <p>Para modelo do módulo variável: exponencial na deformação</p> <p>Para modelo do módulo variável: polinomial na deformação</p> <p>Para modelo do módulo variável: exponencial na pressão</p> <p>Para modelo do módulo linear por intervalos</p>
<p>COEF(13,M) = MAXITR</p>	<p>Número máximo de incrementos de subdivisão da deformação (ver DELTA cima) para materiais inelásticos exceto viscoplásticos</p>
<p>COEF(14,M) = ICOMPS</p> <p>= 0</p> <p>= 1</p> <p>= 2</p>	<p>Variável de controle para o concreto</p> <p>Outros materiais exceto o concreto</p> <p>Módulo variável do modelo do concreto a ser usado sem o aço reforçado</p> <p>Modelo plástico "cap" para concreto simples (o aço reforçado não pode ser incluído neste modelo)</p>
<p>COEF(15,M) = ITYPE</p> <p>= 1</p> <p>= 2</p> <p>= 3</p>	<p>Marca designando o tipo de modelo inelástico usado</p> <p>Superfície de escoamento polinomial sem "cap" (NPL = 1)</p> <p>Superfície de escoamento parabólica a ser usada com ou sem o "cap" ( NPL = 1 ou 2)</p> <p>Superfície de escoamento "cap" para material do tipo solo (NPL = 2)</p>



Coeficientes do Módulo de Cisalhamento (Grupo de Dados 7.9.4, pág. 271)	
COEF(I,M) I = 16, 35	Equivalente a GCOEF (I), I = 1, 20. Coeficientes definindo o módulo de cisalhamento variável.

Coeficientes de Inelasticidade e Módulo Volumétrico ( Grupo de Dados 7.9.5, pág.272 )	
COEF(I,M), I = 36, 75	Equivalente a BCOEF(I), I = 1, 40. Coeficientes definindo o módulo volumétrico variável
COEF(I,M), I = 76, 100	Equivalente a YCOED(I), I = 1, 25. Coeficientes definindo modelos de material inelástico, incluindo plasticidade, viscoplasticidade e viscoelasticidade. YCOEF (25) é uma opção da do limite da tensão. Quando o invariante da tensão $J_1$ é igual ou excede YCOEF (25), as tensões atribuídas são iguais a 0.

Descrições detalhadas das quantidades armazenadas em GCOEF, BCOEF e YCOEF para cada tipo de modelo de material serão apresentados nas seções subseqüentes. Para facilitar estas descrições, as notações G, B e Y serão usadas para indicar os vários coeficientes conforme tabela abaixo:

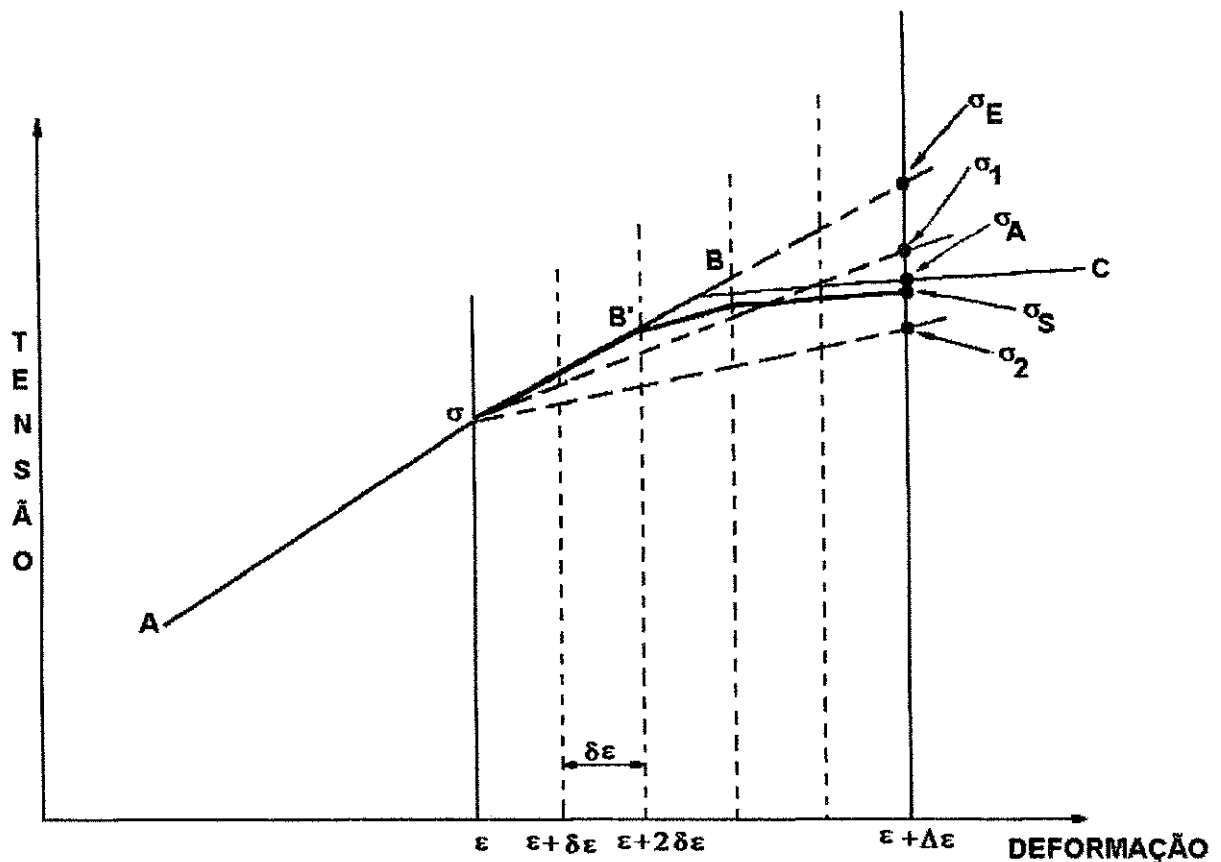
$G_1$ até $G_{20}$	Coeficientes do módulo de cisalhamento, GCOEF (1) até GCOEF (20)
$B_1$ até $B_{40}$	Coeficientes do módulo volumétrico, BCOEF (1) até BCOEF (40)
$Y_1$ até $Y_{25}$	Coeficientes de inelasticidade, YCOEF (1) até YCOEF (25)

## D.2 - ALGORÍTMOS DE CONVERGÊNCIA PARA A TENSÃO E RIGIDEZ

Há dois algoritmos disponíveis dentro do pacote do material que servem para melhorar a sua performance. Estes algoritmos são: (1) iteração no estado de tensão e (2) subdivisão da deformação. A utilização efetiva do pacote material requer uma compreensão destas técnicas e o conhecimento das quais circunstâncias a que se aplica o melhor algoritmo. Um questionamento posterior é facilmente resolvido pela compreensão de que o único propósito do pacote material é computar o estado de tensão e os coeficientes da rigidez resultante da mudança do estado de deformação. Se os

termos da rigidez permanecem constantes, como no caso da elasticidade linear, não é necessário nenhum algoritmo de aperfeiçoamento. Se os parâmetros de rigidez, e portanto os incrementos da tensão, são expressos como variações graduais das funções de deformação ou, implicitamente, como funções do estado de tensão, é dessa forma que o algoritmo iterativo controlado pelos parâmetros do material COEF(7,M) e COEF(9,M) é mais efetivo. Se a transição do antigo para o novo estado de tensão envolve uma condição auxiliar, tal como uma função de escoamento que altera fortemente os coeficientes de rigidez, dependendo se a função de escoamento for zero ou negativa, a iteração no estado de tensão pode não convergir. Em muitos casos que envolvem uma função de escoamento, há um determinado instante do intervalo da deformação durante o qual os coeficientes de rigidez mudam de não escoamento para escoamento ou vice-versa, e a determinação exata do estado final de tensão requer que o ponto de transição seja localizado o mais corretamente possível. Observar que a subdivisão da deformação pode ser usada no programa apenas para aqueles materiais que têm uma condição de escoamento. Observar também que muitas situações requerem que a iteração ocorra em ambos os casos: estado de tensão e subdivisão da deformação.

Uma aplicação simplificada da subdivisão da deformação é ilustrada na Figura D.1. Esta figura mostra a situação na qual tensão e deformação podem ser expressas em termos de variáveis escalares simples. Tensão uniaxial é uma condição da tensão deste tipo. A propriedade constitutiva do material ilustrado consiste de uma porção elástica linear, um ponto de escoamento, e uma porção de pós-escoamento linear como mostrado pela linha ABC. Supõe-se que a tensão e a deformação ( $\sigma$  e  $\epsilon$ ) no início do intervalo de deformação ( $\Delta\epsilon$ ) são dadas e que o pacote do material é chamado para determinar a tensão no final do intervalo.



**FIGURA D.1 - Ilustração da Subdivisão da deformação para Melhorar a Precisão da tensão.**

O algoritmo de iteração da tensão assume um valor da rigidez para o intervalo e multiplica-o pelo incremento da deformação para obter o incremento da tensão e o seu valor final. O valor desta tensão final é então usado para computar novamente a rigidez no final do intervalo. A rigidez no início é conhecida, e a rigidez média para o intervalo é computada utilizando a rigidez inicial e a rigidez final. Esta rigidez média é então utilizada na próxima iteração. No exemplo mostrado na Figura D.1, há apenas dois valores possíveis de rigidez: o valor elástico e o valor de escoamento. A rigidez inicial é o valor elástico, e usando este valor o primeiro valor da tensão computado é  $\sigma_E$ . Este nível de tensão excede o ponto de escoamento, denotado pelo ponto B da curva de tensão/deformação. Conseqüentemente, a rigidez final é o valor do escoamento, e a próxima rigidez é computada para ser a média dos valores elástico e de escoamento.

Na computação da próxima iteração do incremento da tensão, pode acontecer uma das duas situações:

(1) A tensão final resultante cairá acima do valor de escoamento ( $\sigma_1$  na Figura D.1, pág. 317). Neste caso, a rigidez final permanecerá igual ao valor do escoamento, e todas as iterações subseqüentes retornam ao mesmo valor ( $\sigma_1$ ) da tensão final;

(2) A tensão final resultante cairá abaixo do valor do escoamento ( $\sigma_2$  na Figura D.1, pág. 317). Neste caso, a rigidez se torna novamente o valor elástico, e a próxima iteração retorna o valor da tensão  $\sigma_E$ .

A opção da subdivisão da deformação permite um armazenamento mais exato da tensão final. Usando este algoritmo, o incremento da deformação  $\Delta\varepsilon$ , é dividido em  $n$  subincrementos cada um de magnitude  $\delta\varepsilon$ . Na Figura D.1 (pág. 317), o incremento da deformação mostrado é dividido em cinco intervalos. O pacote material é aplicado seqüencialmente a cada intervalo, aplicando a opção de iteração da tensão sempre que necessário. Logo, o erro descrito acima é limitado a um subincremento de comprimento  $\delta\varepsilon$ . Todos os outros subincrementos estão sujeitos a condições constantes e não oferecem problemas de convergência.

Os meios de seleção das  $n$  subdivisões da deformação a serem usadas na técnica de subdivisão da deformação é construído no programa. Há três critérios diferentes para o cálculo do número de subdivisões, cada uma com o seu próprio significado de controle do cálculo em direção ao nível desejado de precisão. Os parâmetros usados pelo usuário são:

$$\text{DELTA} = \text{COEF}(10, \text{M}) \quad \text{D.2}$$

$$\text{CONV} = \text{COEF}(11, \text{M}) \quad \text{D.3}$$

$$\text{MAXITR} = \text{COEF}(13, \text{M}) \quad \text{D.4}$$

O primeiro critério de subdivisão é o da limitação do incremento da tensão. Este é um critério particularmente útil para usar se as não-linearidades do material mais rígido são encontradas durante episódios de rigidez elevada. Este critério é chamado pela atribuição de um valor positivo ao parâmetro DELTA. Iterações no estado de tensão são usadas para determinar os incrementos iniciais da tensão como descrito acima. Se qualquer um dos incrementos da tensão excede DELTA em magnitude, então o número de subdivisões,  $n$  é computado como:

$$n = \frac{\text{QQ} + \text{DELTA}}{\text{DELTA}} \quad \text{D.5}$$

onde QQ é o valor absoluto do maior incremento da tensão. O número resultante é truncado para o menor inteiro mais próximo. O parâmetro DELTA serve como o máximo incremento da tensão permitido, não requerendo subdivisão da deformação.

Um segundo critério de subdivisão envolve a limitação do tamanho máximo do incremento da deformação. Sua aproximação é útil em casos onde as não-linearidades mais extremas ocorrem durante episódios de baixa rigidez. Nesta situação ao parâmetro DELTA é atribuído um valor negativo igual em magnitude ao máximo incremento da deformação permitido não requerendo subdivisão da deformação. O número de subdivisões,  $n$ , é selecionado pela fórmula:

$$n = \frac{\text{QQ} + |\text{DELTA}|}{|\text{DELTA}|} \quad \text{D.6}$$

onde QQ é o valor absoluto da componente máxima do incremento da deformação e  $n$  é truncado para o menor inteiro mais próximo.

O terceiro critério para a determinação do número de subincrementos da deformação é baseado na proximidade do critério de escoamento. Esta opção é mais útil para casos nos quais as não-linearidades mais significativas envolvem a transição de elasticidade para plasticidade e atravessando o estado de tensão ao longo do envelope de escoamento durante a plasticidade subsequente. Esta opção é chamada pela atribuição do valor zero ao parâmetro DELTA. O número de subdivisões é determinado recalculando-se DELTA como:

$$\text{DELTA} = \frac{QQ * \text{CONV}}{\left| 1 - \frac{\sqrt{J'_2}}{F + \sqrt{J'_2}} \right|} \quad \text{D.7}$$

onde QQ é o valor absoluto do máximo incremento da tensão e F é o valor da função de escoamento. Assim, n é determinado pela equação D.5 (pág. 319). Em quaisquer destas opções se n exceder MAXITR, n é igual a MAXITR.

Os modelos materiais disponíveis no programa BMINES são mostrados na Figura D.2. A Tabela D.1 (pág. 317) mostra quais destes modelos materiais podem ser usados com os elementos disponíveis na biblioteca de elementos finitos do programa BMINES. A Figura D.2 mostra, ainda, o número das seções para os diversos modelos materiais. As referidas seções apresentam uma descrição do modelo material em particular, seguido de uma descrição detalhada das matrizes de propriedades do material, necessárias para a implementação do modelo material.

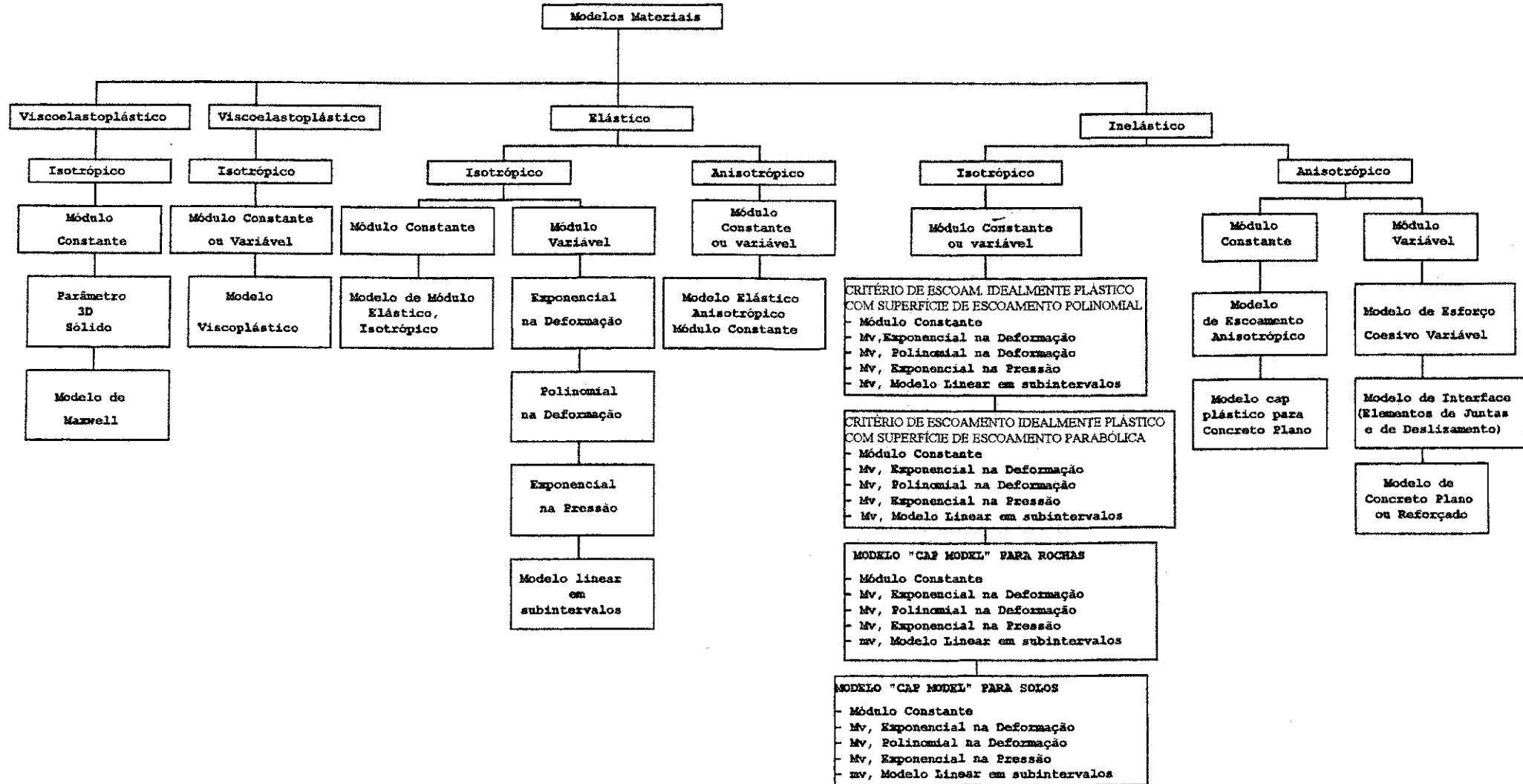


Figura D.2 - Modelos Materiais Disponíveis no Programa BMINES

TABELA D.1

## Modelos Materiais Disponíveis

Modelo Material	Elemento					
	I	II	III	IV	V	VI
Elástico, isotrópico, módulo constante	X	X	X	X	X	
Elástico, anisotrópico, módulo constante			X	X		
Elástico, isotrópico, esponencial na deformação, módulo constante			X	X		
Elástico, isotrópico, módulo polinomial variável			X	X		
Elástico, isotrópico, esponencial na pressão, módulo variável			X	X		
Elástico, isotrópico, linear por subintervalos, módulo variável			X	X		
Perfeitamente plástico, superfície de escoamento polinomial constante ou módulo variável	X		X	X		
Perfeitamente plástico, superfície de escoamento parabólica constante ou módulo variável	X		X	X		
Modelo "cap model" para rochas, módulo constante ou variável			X	X		
Modelo "cap model" para solos, módulo constante ou variável			X	X		
Modelo de escoamento anisotrópico			X	X		
Modelo de esforço coesivo variável, módulo variável			X			
Sólido tridimensional viscoelástico			X	X		
Modelo viscoelástico de Maxwell			X	X		
Modelo viscoplástico			X	X		
Concreto simples, módulo variável			X	X		
Concreto reforçado, módulo variável			X	X		
Concreto simples, "cap model" plástico, módulo constante			X	X		
Modelo para juntas						X
OBS: Elemento I → Trelça tridimensional Elemento II → Viga tridimensional Elemento III → Nó bidimensional padrão ou variável, quadrilateral com eixo de simetria Elemento IV → Nó sólido tridimensional padrão e variável Elemento V → Casca tridimensional Elemento VI → Fraturas bi e tridimensionais						

Fonte: Agbabian Associates, 1981.



### D.3 - MÓDULO DE MODELOS ELÁSTICOS, CONSTANTE

Há dois módulos de modelos elásticos constantes, disponíveis no programa BMINES: um modelo isotrópico e um modelo anisotrópico.

#### D.3.1 Módulo do Modelo Isotrópico, Constante

As relações entre tensão/deformação para este módulo de modelo elástico isotrópico constante são definidas por meio de um módulo da constante de Young e pela taxa de Poisson, que é derivada do módulo volumétrico e de cisalhamento.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág.268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 1 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ até $G_{20} = 0.0$ (inserir três dados em branco)
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ (inserir cinco dados em branco) De $Y_1$ até $Y_{25} = 0.0$ (inserir quatro dados em branco)

**D.3.2 - Módulo do Modelo Anisotrópico Constante**

As relações entre a tensão incremental e a deformação incremental expressadas no eixo principal de anisotropia é dada pela equação

$$\{\sigma\} = [C] \{\epsilon\}$$

**D.8**

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 1 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 1 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	G <sub>1</sub> = G <sub>ζn</sub> G <sub>2</sub> = G <sub>nε</sub> G <sub>3</sub> = G <sub>εζ</sub> De G <sub>4</sub> até G <sub>20</sub> = 0.0 B <sub>1</sub> = E <sub>ζ</sub> B <sub>2</sub> = ν <sub>ζn</sub> B <sub>3</sub> = ν <sub>εζ</sub> B <sub>4</sub> = E <sub>n</sub> B <sub>5</sub> = ν <sub>nε</sub> B <sub>6</sub> = ν <sub>nζ</sub> B <sub>7</sub> = E <sub>ε</sub> B <sub>8</sub> = ν <sub>εζ</sub> B <sub>9</sub> = ν <sub>εn</sub> De B <sub>10</sub> até B <sub>30</sub> = 0.0 B <sub>31</sub> = T <sub>11</sub> = cos (X,ζ) * B <sub>32</sub> = T <sub>21</sub> = cos (Y,ζ) * B <sub>33</sub> = T <sub>31</sub> = cos (Z,ζ) * B <sub>34</sub> = T <sub>12</sub> = cos (X,η) * B <sub>35</sub> = T <sub>22</sub> = cos (Y,η) * B <sub>36</sub> = T <sub>32</sub> = cos (Z,η) * B <sub>37</sub> = T <sub>13</sub> = cos (X,ξ) * B <sub>38</sub> = T <sub>23</sub> = cos (Y,ξ) * B <sub>39</sub> = T <sub>33</sub> = cos (Z,ξ) * B <sub>40</sub> = 0.0 De Y <sub>1</sub> até Y <sub>25</sub> = 0.0 (inserir quatro dados em branco)

\* Matriz de transformação contendo os cossenos diretores

**D.4 - MÓDULO DO MODELO VARIÁVEL ELÁSTICO E ISOTRÓPICO**

Há quatro módulos de modelo variável disponível no programa BMINES:

- Exponencial a deformação
- Polinomial na deformação
- Exponencial na pressão (também chamado soil cap model)
- Modelo linear em subintervalos

Os modelos do módulo variável são definidos em termos dos seguintes parâmetros, para os quais valores positivos são tensionadores e os valores negativos são compressivos:

$$\mu = \text{Deformação volumétrica elástica} = [(1 + \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_y)(1 + \varepsilon_z) - 1] \quad \text{D.9}$$

$\mu_m$  = Deformação volumétrica elástica mínima previamente alcançada ( maior deformação volumétrica compressiva prévia)

$$J_1 = \text{Primeiro invariante da tensão} = J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \text{D.10}$$

$$P = \text{Pressão} = J_1 / 3 \quad \text{D.11}$$

$B_i$  = Coeficientes definindo o modelo de módulo volumétrico variável (ajuste de parâmetros)

$G_i$  = Coeficientes definindo o modelo de módulo de cisalhamento variável (ajuste de parâmetros)

Três diferentes situações de carregamento são definidas para cada modelo:

Carregando	Quando $\mu < \mu_m \leq 0$
Não carregando/ recarregando	Quando $\mu_m < \mu \leq 0$
Tração	Quando $\mu > 0$

**D.4.1 - Exponencial na Deformação ( NVM = 1)**

Este módulo segue os conceitos de Walsh (1965 a e b) para o módulo volumétrico e de cisalhamento variáveis.

**CARREGANDO:** O comportamento do carregamento hidrostático de um material contendo rachaduras e poros é descrito por um módulo volumétrico que varia da seguinte

$$\text{forma: } \frac{\partial P}{\partial \mu} = B = B_1 - (B_1 - B_2) \exp(\mu / B_3) \quad \text{D.12}$$

onde:

P = Pressão

$B_1$  = Módulo volumétrico intrínseco ( sem vazios)

$B_2$  = Módulo volumétrico efetivo da rocha matriz incluindo vazios e poros

$B_3$  = Constante empírica que controla a taxa que B assintoticamente aproxima seu valor máximo de  $B_1$

O modelo matemático do módulo de cisalhamento G é similar ao do módulo volumétrico.

G varia de seu valor inicial  $G_2$  na densidade normal ao valor intrínseco  $G_1$  quando os poros são fechados. Que é:  $G = G_1 - (G_1 - G_2) \exp(\mu / G_3)$

**NÃO CARREGANDO E RECARREGANDO:**

$$B = \bar{B} + (B_1 - \bar{B})(\mu_m / B_4) \quad \text{D.13}$$

onde:

$$\bar{B} = \text{menor de } \left\{ \begin{array}{l} B_1 \\ B_2 + (B_1 - B_2)(\mu_m / B_4) \end{array} \right\} \quad \text{D.14}$$

$$G = G_1 - (G_1 - G_2) \exp(\mu_m / G_3) \quad \text{D.15}$$

**PARA TENSÃO:**

$$B = B_{10}$$

$$G = G_{10}$$

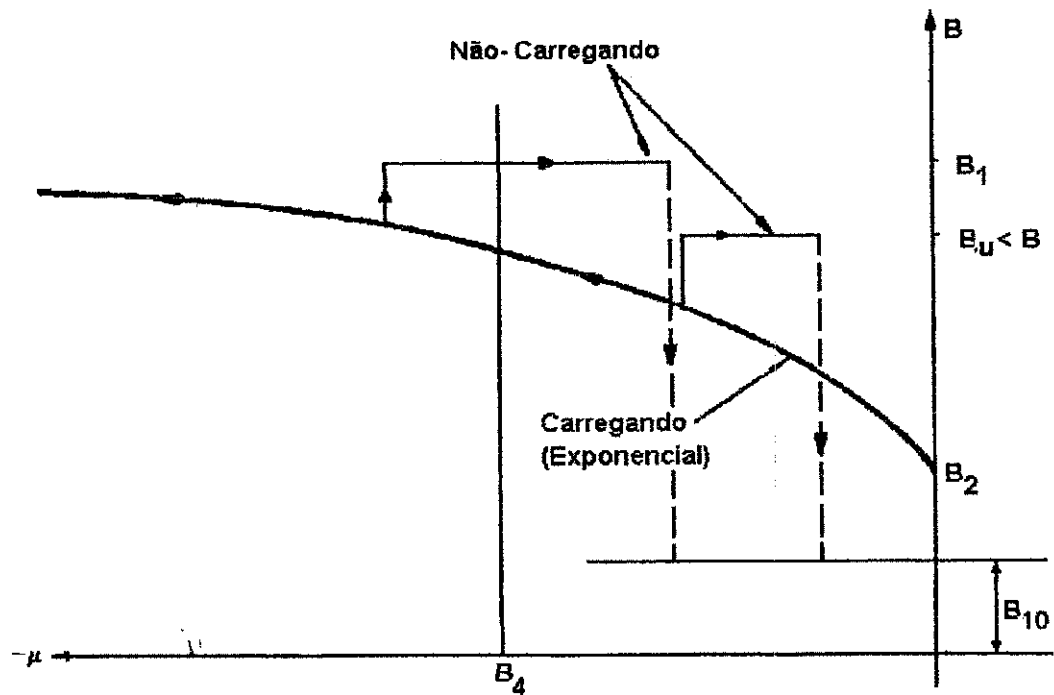
D.16

Os tipos de relações para o módulo volumétrico/ deformação volumétrica, pressão/deformação volumétrica, e módulo de cisalhamento/deformação volumétrica que são originadas por este modelo são ilustradas nas Figuras D.3 (pág. 329) e D.4 (pág. 330). Na Figura D.3 (pág. 329), o coeficiente  $B_4$  é um parâmetro de entrada de dados representando a compactação máxima. Este parâmetro aparece nas equações do módulo volumétrico para a condição não-carregando e recarregando. Como mostrado na Figura D.3b (pág. 329) se a deformação volumétrica máxima compressiva exceder a magnitude de  $B_4$  ( $\mu_m \leq B_4$ , como para o ponto  $(\mu_m)_2$ ), o não-carregamento é governado por um módulo volumétrico de  $B_1$ . Se a deformação volumétrica compressiva máxima prévia ficar em um nível menor que ( $\mu_m > B_4$ , como para o ponto  $(\mu_m)_1$ ), o módulo volumétrico não carregando é muito menor que  $B_1$ .

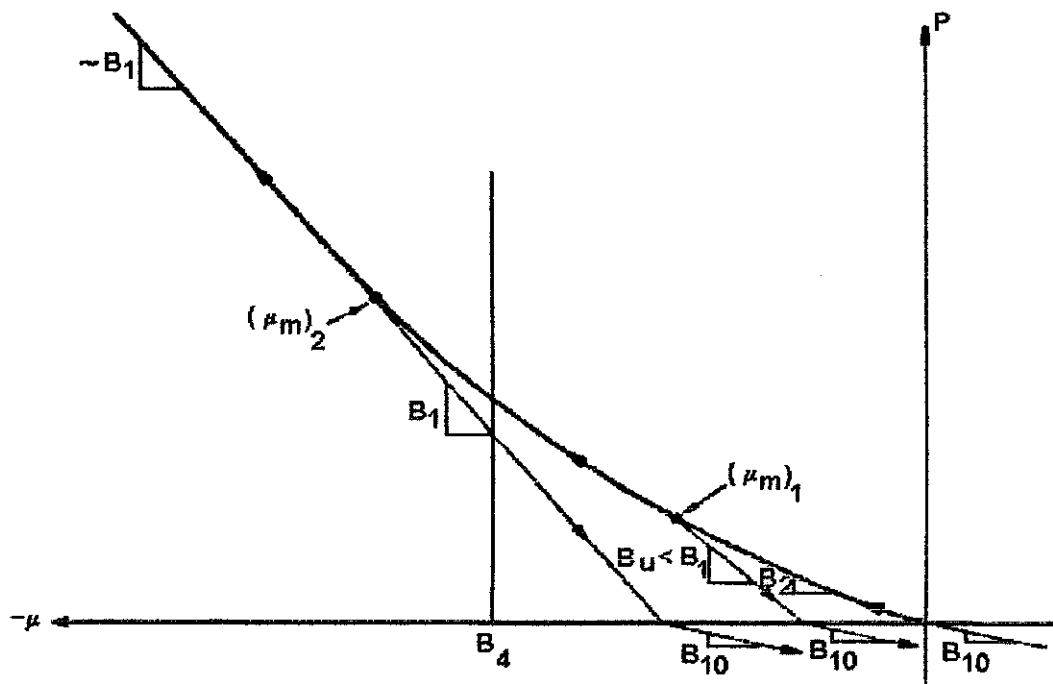
Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	$B = 0.0$ $G = 0.0$ Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	$NISO = 0$ $NPL = 0$ $NVISC = 0$ $ITER = 0$ (se desejar iteração, senão = 1) $NSPLIT = 0$ $NITER =$ Número máximo de iterações aceitável

Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = critério de convergência NVM = 1 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Atribuir valores para $G_1$ , $G_2$ e $G_3$ De $G_4$ até $G_9 = 0.0$ Atribuir valor a $G_{10}$ De $G_{11}$ até $G_{20} = 0.0$
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Atribuir valores de $B_1$ até $B_4$ De $B_5$ até $B_9 = 0.0$ Atribuir valor para $B_{10}$ De $B_{11}$ até $B_{40} = 0.0$ De $Y_1$ até $Y_{25} = 0.0$

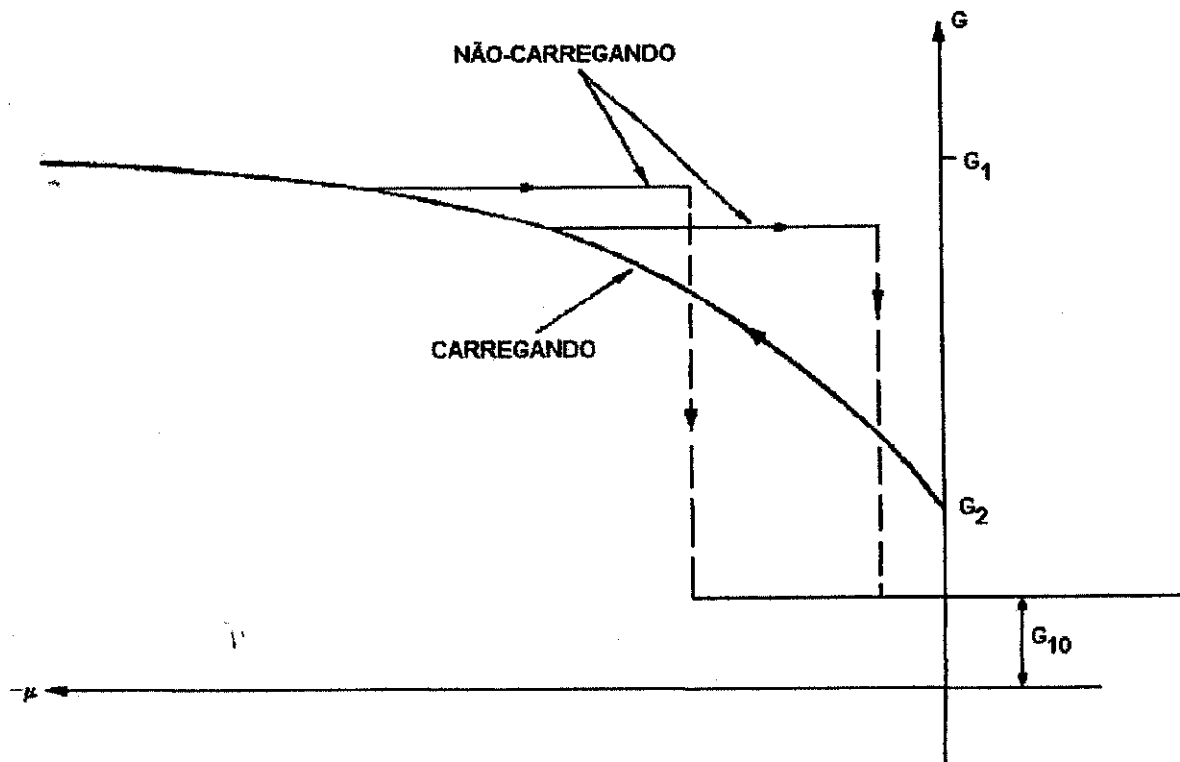


a) Módulo Volumétrico Versus Deformação Volumétrica



b) Pressão versus Deformação volumétrica

FIGURA D.3 - Módulo volumétrico e relação pressão/deformação volumétrica para o modelo exponencial



**FIGURA D.4 - Módulo de cisalhamento versus deformação volumétrica para o modelo experimental**

#### D.4.2 - Polinomial na Deformação ( NVM = 2 )

O seguinte modelo é apresentado por Inselberg (1972).

**PARA CARREGAMENTO:** O módulo volumétrico toma forma de um polinômio:

$$B = B_1 + B_2\mu + B_3\mu^2 + B_4\mu^3 \quad \text{D.17}$$

Os coeficientes de  $B_1$  até  $B_4$  são selecionados de maneira a melhor aproximar os dados atuais.  $B$  pode variar cubicamente, parabolicamente ( $B_4 = 0$ ), ou linearmente ( $B_3 = B_4 = 0$ ), ou pode ser constante de acordo com os dados do teste. Assim,

$$G = 1.5B \frac{1 - 2L'}{1 + L'} \quad \text{D.18}$$

onde  $L'$ , a taxa de carregamento de Poisson, é dada por:



$$L = \left\{ \begin{array}{ll} G_1 + G_2 P + G_3 P^2 & p > G_4 \\ G_5 + G_6 (P - G_4) + G_7 (P - G_4)^2 & G_8 \leq P \leq G_4 \\ G_{11} & P < G_8 \end{array} \right\} \quad \text{D.19}$$

Observar que valores negativos da pressão, P significa compressão.

**PARA NÃO-CARREGANDO/RECARREGANDO:** O módulo volumétrico durante o não-carregamento/re carregamento pode ser representado pela definição da compactação permanente  $\mu_z$  como uma função do excesso mínimo de compressão  $\mu_m$ . Para este modelo se define como:

$$\mu_z = 1 - \exp(\mu_m / B_5) * B_6 \quad \text{D.20}$$

onde  $B_6$  é definido como a compactação máxima permanente. Também,

$$B_z = B_1 + B_2 \mu_m + B_3 \mu_m^2 + B_4 \mu_m^3 \quad \text{D.21}$$

$B_m = \text{maior entre } (B_z, B_8) = \text{módulo volumétrico instrínseco.}$

Os valores acima são, então, usados para obter um valor atualizado do módulo volumétrico efetivo  $B_0$ :

$$B_0 = B_m + \frac{[P_m - B_m (\mu_m - \mu_z)]}{\left[ B_7 \left( 1 - \exp \left\{ \frac{\mu_z - \mu_m}{B_7} \right\} \right) \right]} \quad \text{D.22}$$

Onde  $P_m$  é a pressão na qual as condições de não-carregando/re carregamento foram afetadas.  $B_7$  determina de quanto  $B_0$  e  $B_m$  diferem. Finalmente, o módulo volumétrico de não-carregando pode ser definido como:

$B$  = o maior valor dentre  $(\bar{B}, B_z)$

onde :

$$\bar{B} = B_m - (B_m - B_0) \exp\left(\frac{\mu_z - \mu}{B_7}\right) \quad \text{D.23}$$

Contudo, se  $B_0 > B_m$  ou  $\bar{B} < 0.0$  , então define  $\bar{B}$  como:

$$\bar{B} = \frac{P_m}{(\mu_m - \mu_z)} \quad \text{D.24}$$

Esta etapa é necessária desde que  $B_m$  assumiu o valor do módulo volumétrico máximo.

Se, ainda,  $B_8 > 0.0$  e  $\bar{B} > B_8$  , então:

$$\bar{B} = B_8 \quad \text{D.25}$$

Para o módulo de cisalhamento no não-carregamento/recarregamento

$G$  = o maior valor dentre  $(\bar{G} = G_m)$

onde:

$$\bar{G} = 1.5B_m \frac{1 - 2G_{12}}{1 + G_{12}} \quad \text{D.26}$$

e

$G_{12}$  = Taxa de Poisson de não-carregamento,  $v_L$

$G_m$  = Valor máximo de  $G$  atingido no carregamento

$B_m$  = Maior valor dentre  $(B_z, B_8)$  = módulo volumétrico intrínseco

**PARA TENSÃO:**

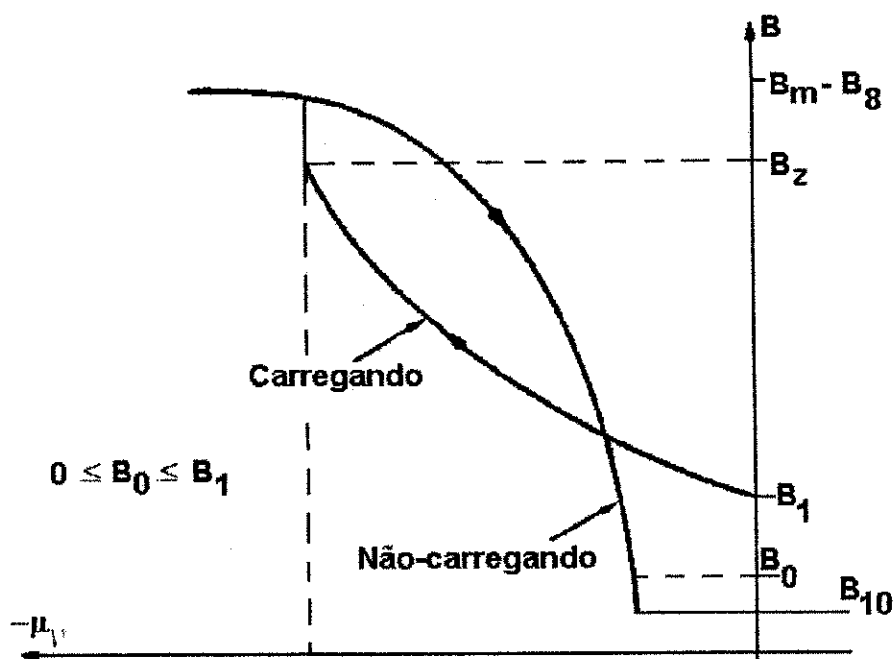
$$B = B_{10} \quad \text{D.27}$$

$$G = G_{10} \quad \text{D.28}$$

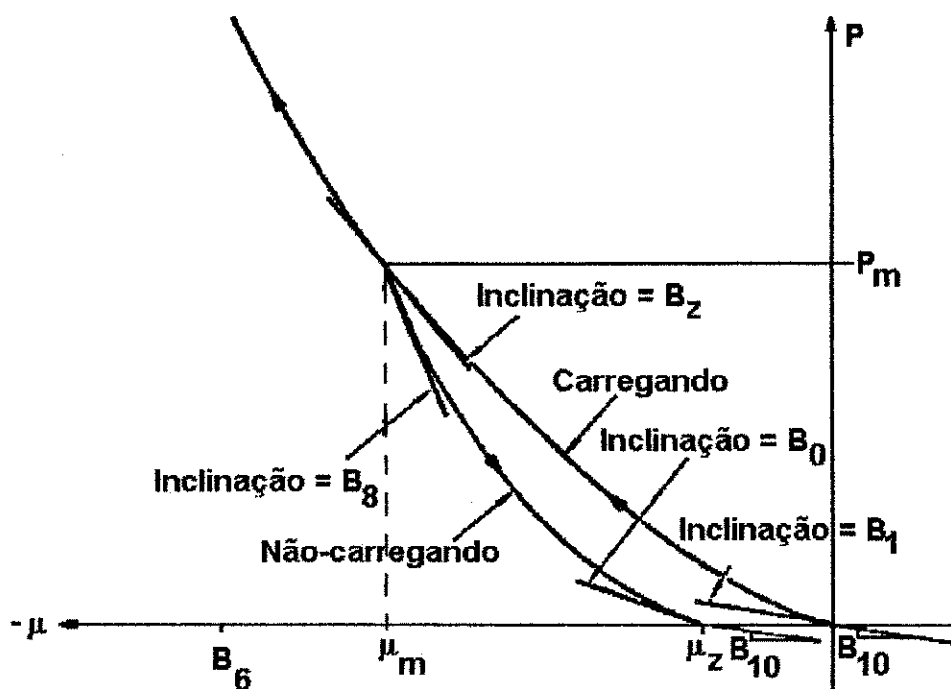
Os tipos de relações módulo volumétrico/deformação volumétrica e pressão/deformação volumétrica provenientes deste modelo são ilustradas na Figura D.5 (pág. 334). A Figura D.6 (pág. 335) mostra a relação entre a taxa de carregamento de Poisson/pressão.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor a RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = critério de convergência NVM = 2 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Atribuir valores de $G_1$ até $G_8$ $G_9 = 0.0$ Atribuir valores $G_{10}$ , $G_{11}$ e $G_{12}$ De $G_{13}$ até $G_{20} = 0.0$
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Atribuir valores de $B_1$ até $B_8$ $B_9 = 0.0$ Atribuir valor para $B_{10}$ De $B_{11}$ até $B_{40} = 0.0$ De $Y_1$ até $Y_{25} = 0.0$

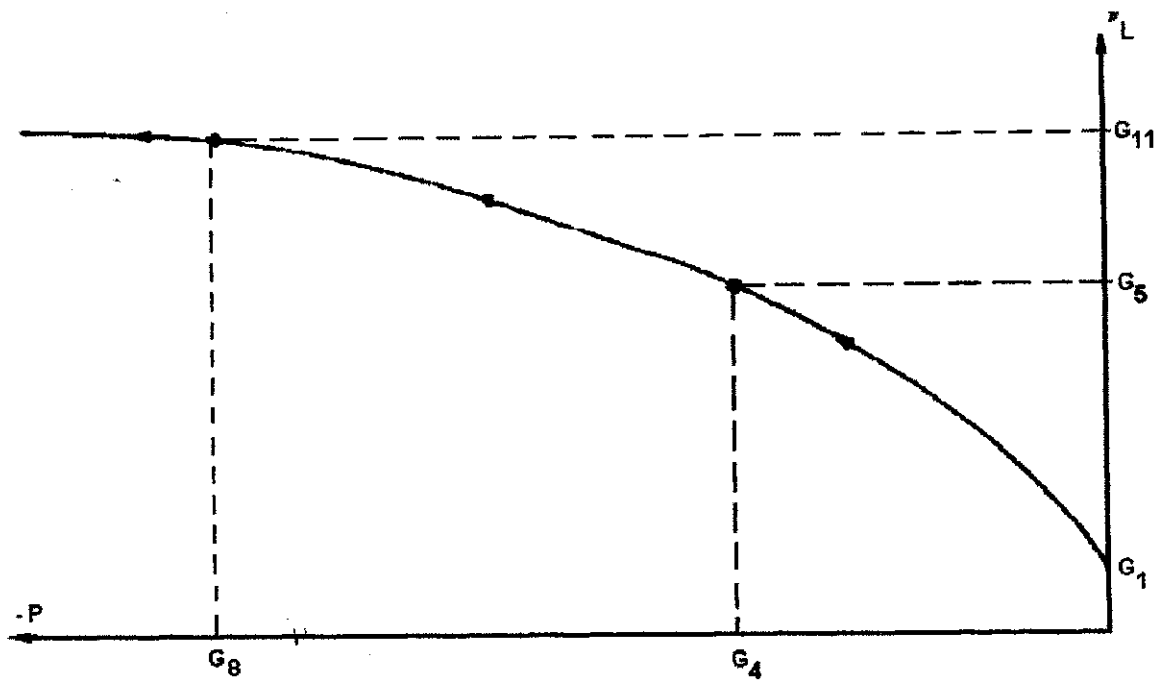


a) Módulo Volumétrico Versus Deformação Volumétrica



b) Pressão Versus Deformação Volumétrica

FIGURA D.5 - Relações do Módulo Volumétrico e Deformação Volumétrica da Pressão Para o Modelo Polinomial.



**FIGURA D.6 - Taxa de Carregamento de Poisson Versus Pressão Para o Modelo Polinomial.**

**D.4.3 - Exponencial na Pressão (NVM = 3)**

**PARA CARREGAMENTO E NÃO-CARREGANDO/RECARREGANDO**

$$B = B_1(1 - B_2 \exp(B_3 J_1) - B_4 \exp(B_5 J_1)) \quad \text{D.29}$$

G = Módulo de cisalhamento constante

**PARA TENSÃO:**

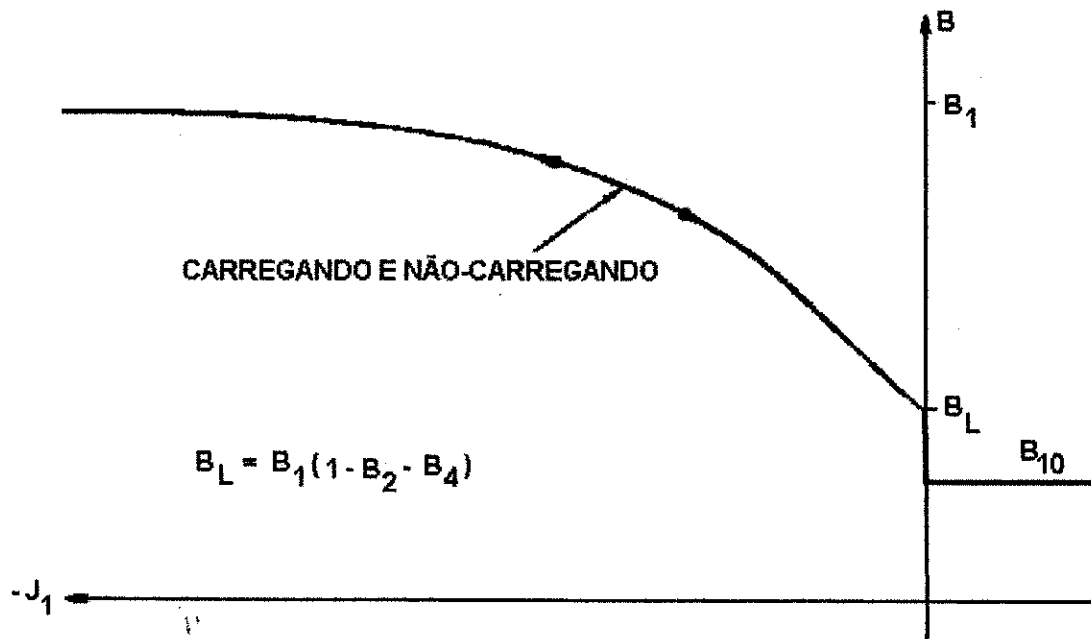
$$B = B_{10} \quad \text{D.30}$$

G = Módulo de cisalhamento constante

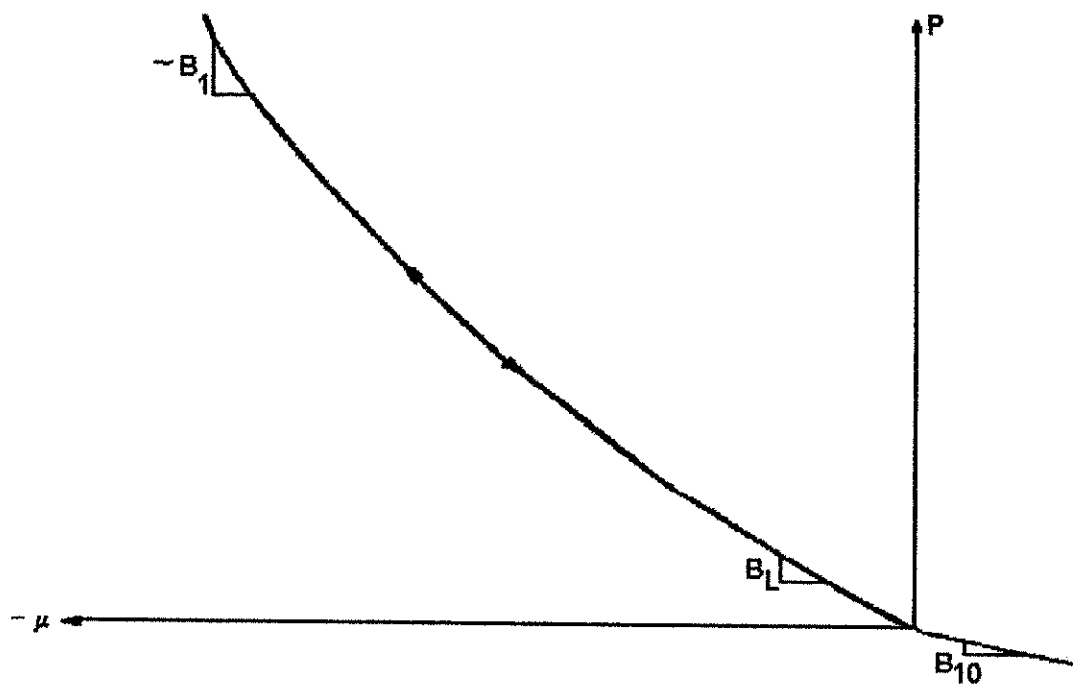
A Figura D.7 (pág. 337) ilustra as relações originadas por este modelo.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 Atribuir valores a G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = critério de convergência NVM = 3 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ até $G_{20}$ = 0.0 ( inserir três dados em branco)
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Atribuir valores de $B_1$ até $B_5$ De $B_6$ até $B_9$ = 0.0 Atribuir valor para $B_{10}$ De $B_{11}$ até $B_{40}$ = 0.0 De $Y_1$ até $Y_{25}$ = 0.0



a) Módulo Volumétrico versus Módulo de Deformação



b) Pressão Versus Deformação Volumétrica

FIGURA D.7 - Relações Originadas Pela Exponencial no Modelo do Módulo Variável da Pressão.

**D.4.4 - Modelo Linear em Subintervalos (NVM=4)**

**CARREGANDO:** O módulo volumétrico varia da seguinte maneira:

$$B = \begin{cases} B_4 & \mu > B_1 \\ B_5 & B_2 < \mu \leq B_1 \\ B_6 & B_3 \leq \mu \leq B_2 \\ B_7 & \mu < B_3 \end{cases} \quad \text{D.31}$$

E para o módulo de cisalhamento,

$$G = 1.5B \frac{1 - 2G_1}{1 + G_1} \quad \text{D.32}$$

Onde:

$G_1$  = Taxa de carregamento de Poisson

**PARA NÃO-CARREGANDO/RECARREGANDO:**

$$B = B_4$$

$$G = 1.5B \frac{1 - 2G_2}{1 + G_2} \quad \text{D.33}$$

Onde:

$G_2$  = Taxa de não-carregamento de Poisson

**PARA TENSÃO:**

$$B = B_{10}$$

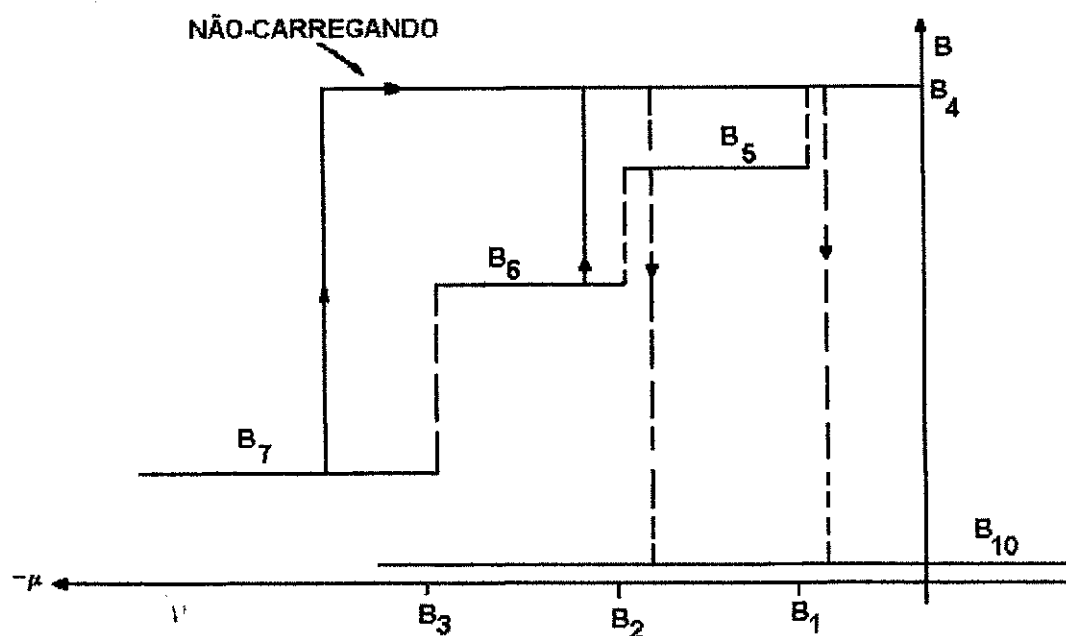
$$G = G_{10} \quad \text{D.34}$$

Os tipos de relações de módulo volumétrico/ deformação volumétrica, pressão/deformação volumétrica e módulo de cisalhamento/deformação volumétrica originadas deste modelo são ilustradas nas Figuras D.8 e D.9 (págs. 340 e 341)

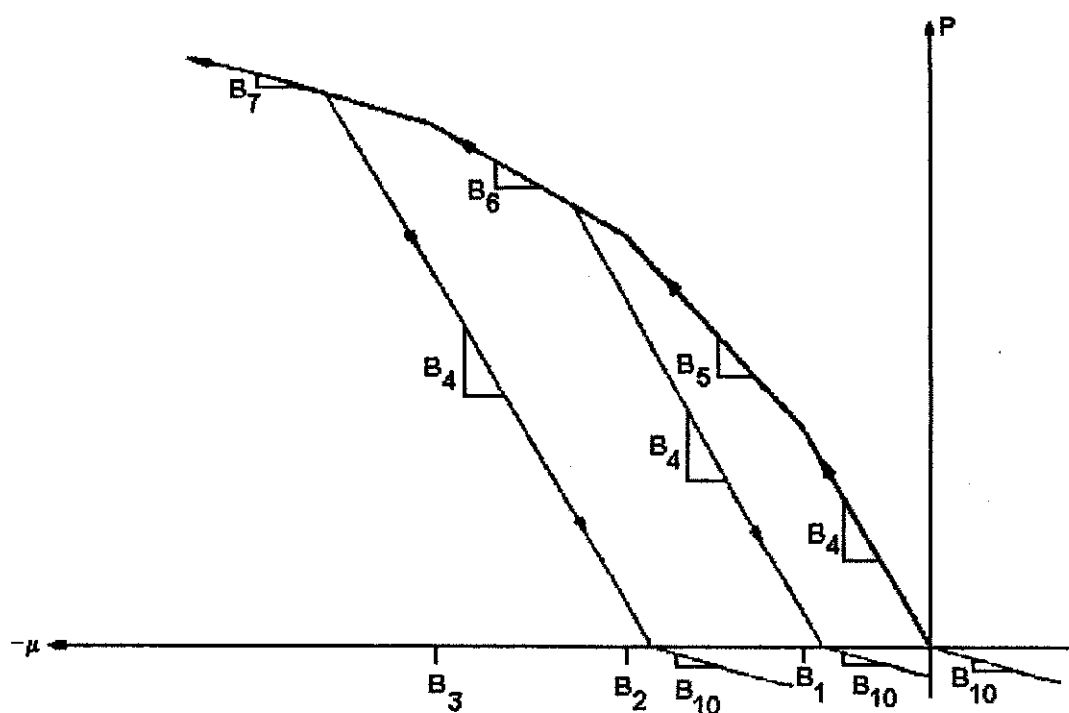


Os coeficientes do material necessários para a implementação deste modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	<p>B = 0.0  G = 0.0  Atribuir valores a G e RHO</p>
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	<p>NISO = 0  NPL = 0  NVISC = 0  ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1)  NSPLIT = 0  NITER = Número máximo de iterações aceitável</p>
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	<p>DELTA = 0.0  CONV = critério de convergência  NVM = 4  MAXITR = 0  ICOMPS = 0  ITYPE = 0</p>
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	<p>Atribuir valores a G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub>  De G<sub>3</sub> até G<sub>9</sub> = 0.0  Atribuir valor a G<sub>10</sub>  De G<sub>11</sub> até G<sub>20</sub> = 0.0</p>
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	<p>Atribuir valores de B<sub>1</sub> até B<sub>7</sub>  De B<sub>8</sub> até B<sub>9</sub> = 0.0  Atribuir valor para B<sub>10</sub>  De B<sub>11</sub> até B<sub>40</sub> = 0.0  De Y<sub>1</sub> até Y<sub>25</sub> = 0.0</p>

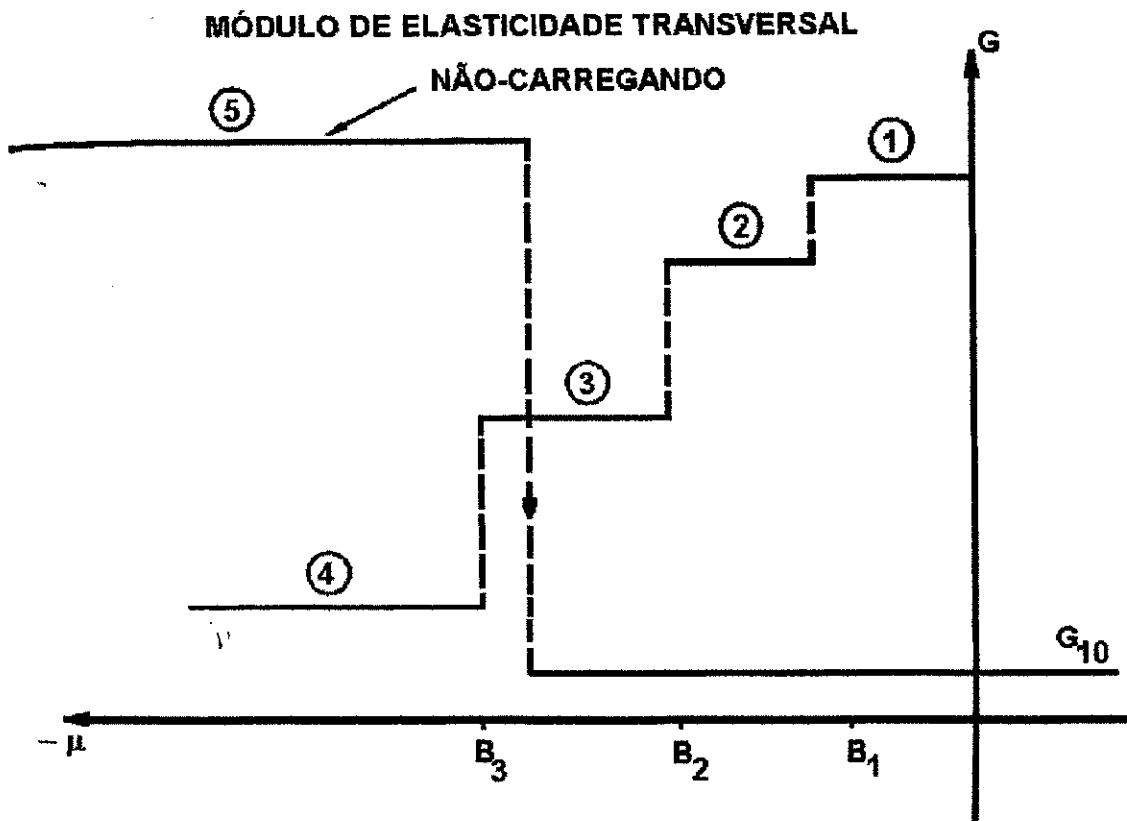


a) Módulo Volumétrico Versus Módulo de Deformação



b) Pressão Versus Deformação Volumétrica

FIGURA D.8 - Relação Entre o Módulo Volumétrico e Deformação Volumétrica da Pressão Para o Modelo Linear de Subintervalos.



OBS.:

$$\begin{array}{l}
 \textcircled{1} \quad G = 1.5 \frac{1 - 2G_1}{1 + G_1} B_4 \\
 \textcircled{2} \quad G = 1.5 \frac{1 - 2G_1}{1 + G_1} B_5 \\
 \textcircled{3} \quad G = 1.5 \frac{1 - 2G_1}{1 + G_1} B_6 \\
 \textcircled{4} \quad G = 1.5 \frac{1 - 2G_1}{1 + G_1} B_7 \\
 \textcircled{5} \quad G = 1.5 \frac{1 - 2G_2}{1 + G_2} B_4
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{CARREGANDO} \\ \\ \\ \text{NÃO-CARREGANDO /} \\ \text{RECARREGANDO ( COM } G_2 \leq G_1 \text{)} \end{array}$$

FIGURA D.9 - Módulo de Cisalhamento Versus Deformação Volumétrica Para o Modelo Linear de Subintervalos.

## D.5 - MODELOS NÃO-ELÁSTICOS, ISOTRÓPICOS EXCETO O CONCRETO

Há modelos de materiais não-elásticos, isotrópicos excetuando o concreto atualmente disponíveis no pacote de propriedades do material:

- Um elástico, com critério de escoamento idealmente plástico com uma superfície de escoamento polinomial;
- Um elástico, com critério de escoamento idealmente plástico com uma superfície de escoamento parabólica;
- Um modelo "cap model" para rochas;
- Um modelo de "cap model" para solos

### D.5.1 - Critério de escoamento idealmente plástico com uma superfície de escoamento polinomial

As feições deste modelo incluem:

- Elasticidade isotrópica
- Critério de escoamento idealmente plástico (nenhum encruamento)
- Isotrópico (ou anisotrópico no qual o eixo principal de anisotropia coincide com os eixos globais). A condição de escoamento permanece em termos de dois invariantes da tensão

$J_1^*$  e  $\sqrt{J_2^*}$ .

- Uma superfície de escoamento polinomial definida pelo seguinte critério de escoamento:

$$f_1(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{11} + Y_{12}J_1^* + Y_{13}(J_2^*)^2 + Y_{14}(J_1^*)^3 - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* \geq Y_{10} \quad \text{D.35}$$

$$\text{Onde } f_1 \geq 0, \text{ e } f_2(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{16} - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* < Y_{10} \quad \text{D.36}$$

Onde  $f_2 \geq 0$

Observar que valores negativos de  $J_1^*$  significam compressão.

- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.

O envelope de escoamento pode ser representado nos termos dos dois invariantes da tensão  $J_1^*$  e  $\sqrt{J_2^*}$ , como ilustrado na Figura D.10.

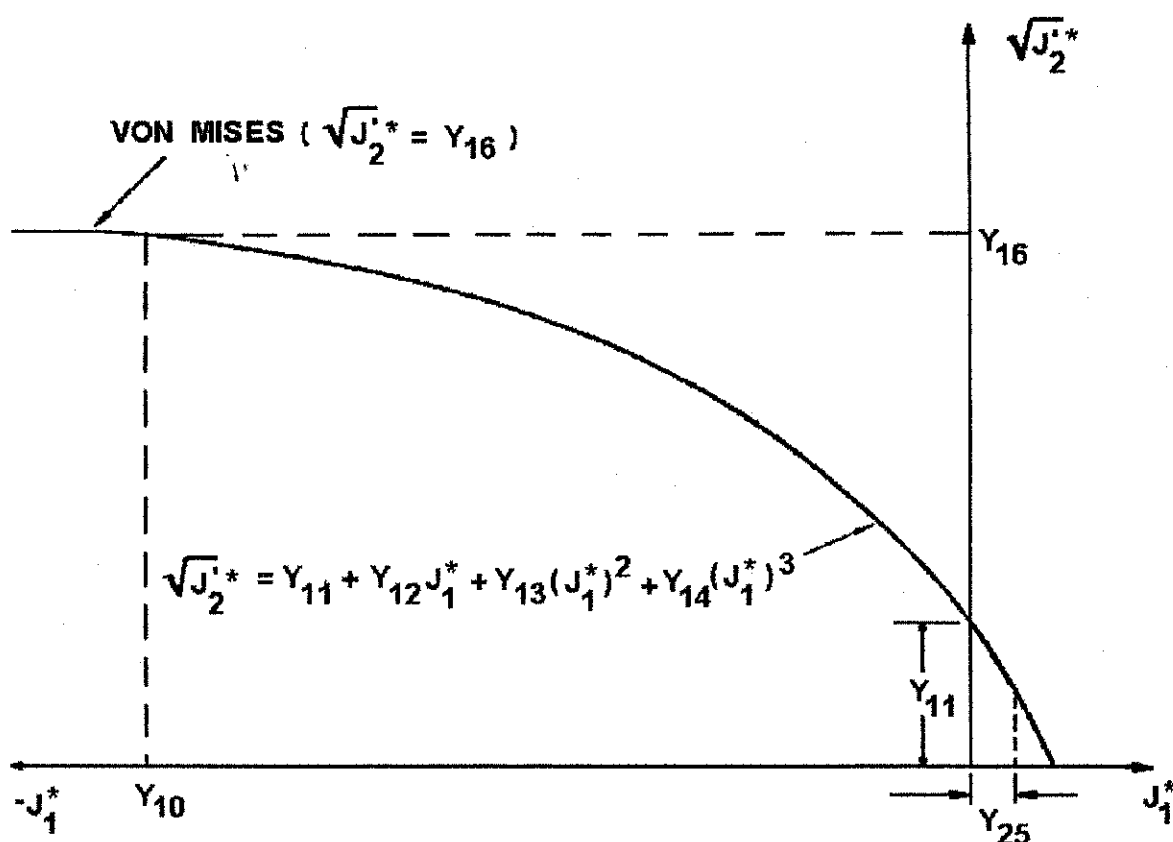


FIGURA D.10 - Superfície de Escoamento Polinomial Geral.

Várias formas clássicas de descrever o comportamento do material podem ser empregadas pela atribuição apropriada dos valores de  $Y_{11}$  até  $Y_{16}$  na expressão para a superfície de escoamento polinomial dada acima. Entre os critérios que podem ser obtidos são:

## 1. VON MISSES (Figura D.11a)

$$f_1(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{11} - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* \geq Y_{10} \quad \text{D.37}$$

Onde:  $f_1 \geq 0$

$$f_2(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{16} - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* < Y_{10} \quad \text{D.38}$$

Onde:  $f_2 \geq 0$

## 2. DRUCKER-PRAGER (Figura D.11b)

$$f_1(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{11} + Y_{12}J_1^* - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* \geq Y_{10} \quad \text{D.39}$$

Onde:  $f_1 \geq 0$

Uma superfície de escoamento polinomial de segunda ordem, pode ser obtida com a atribuição de  $Y_{14} = 0$ .

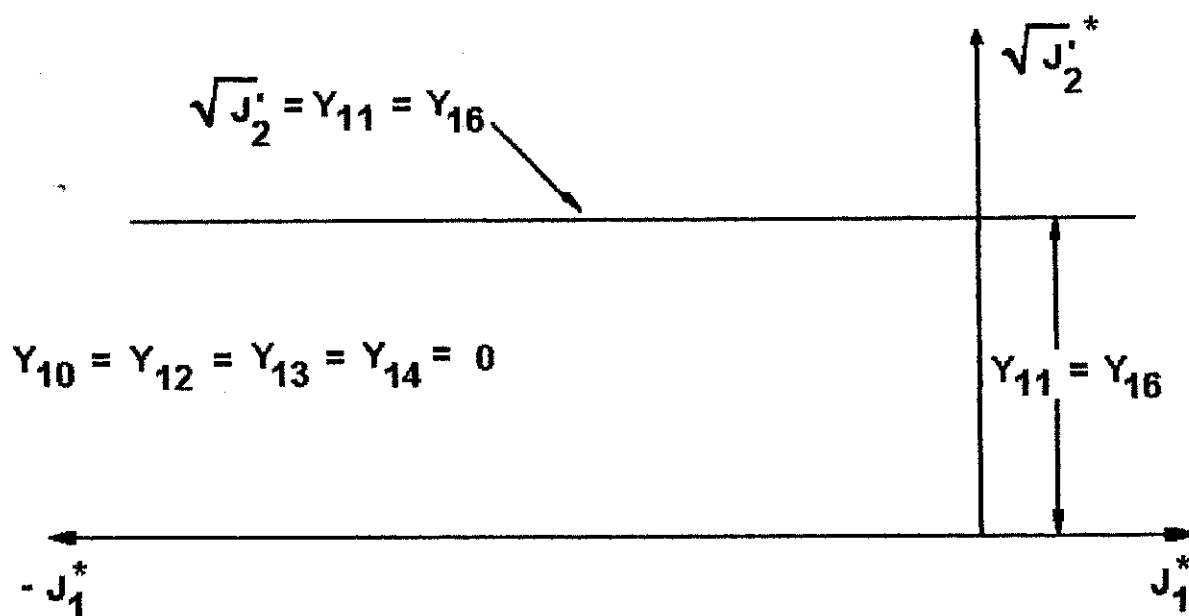
Os coeficientes de  $Y_{10}$  até  $Y_{14}$  e  $Y_{16}$  são constantes empíricas cujos valores podem ser selecionados para igualar dados para um material específico.

Os coeficientes necessários para implementar este modelo são:

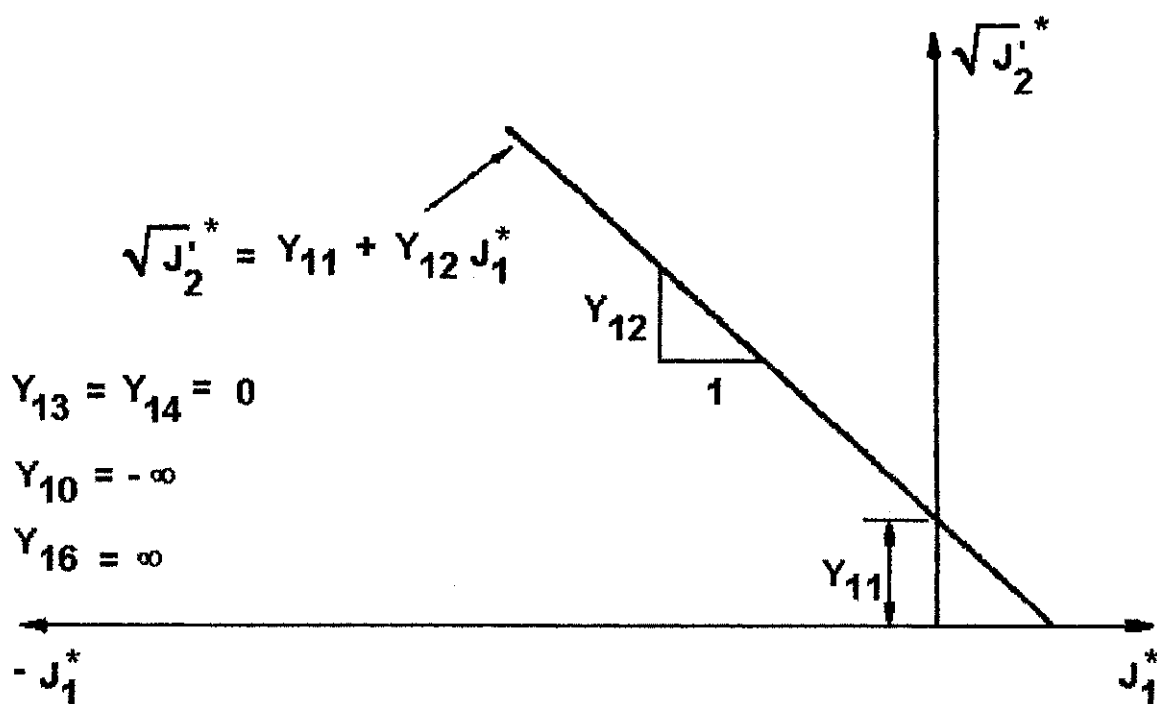
Para o Módulo Constante (NVM = 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 1
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ a $G_{20} = 0.0$ inserir três dados em branco
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ inserir cinco dados em branco Atribuir valor de $Y_1$ até $Y_{14}$ $Y_{15} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{16}$ De $Y_{17}$ até $Y_{24} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{25}$

Para o Módulo Variável (NVM ≠ 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 1, 2, 3 ou 4 dependendo de qual módulo de modelo variável é desejado MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 1
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Para NVM = 1 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.4
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Para NVM = 1: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.4 Atribuir valores de Y <sub>1</sub> até Y <sub>14</sub> Y <sub>15</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>16</sub> De Y <sub>17</sub> até Y <sub>24</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>25</sub>





a) Superfície de Escoamento de Von Mises



b) Superfície de Escoamento de Drucker-Prager

FIGURA D.11 - Casos Especiais de Superfície de Escoamento Polinomial

### D.5.2 - Critério de Escoamento Idealmente Plástico Com Uma superfície de Escoamento Parabólica

Feições deste modelo elastoplástico incluem:

- Elasticidade isotrópica
- Isotrópico (ou anisotrópico no qual o eixo principal de anisotropia coincide com os eixos globais). A condição de escoamento permanece em termos de dois invariantes da tensão

$J_1^*$  e  $\sqrt{J_2^*}$ .

- Superfície de escoamento perfeitamente plástica definida pelo seguinte critério de escoamento:

$$f_1(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{11} \left( 1 - \left[ 1 - \frac{J_1^*}{Y_{10}} \right]^2 \right) + Y_{12} - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* \geq Y_{10} \quad \text{D.40}$$

Onde  $f_1 \geq 0$

$$f_2(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = Y_{11} + Y_{12} - \sqrt{J_2^*} \quad \text{para } J_1^* < Y_{10} \quad \text{D.41}$$

Onde:  $f_2 \geq 0$

Observar que valores negativos de  $J_1^*$  significa compressão.

- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.

O envelope de escoamento pode ser representado em termos dos dois invariantes da tensão  $J_1^*$  e  $\sqrt{J_2^*}$ , com ilustrado na Figura D.12.

O critério de escoamento de Von Misses pode ser obtido com atribuição de  $Y_{11} = 0$  na expressão para a superfície de escoamento parabólica.

Os coeficientes  $Y_{10}$ ,  $Y_{11}$  e  $Y_{12}$  são constantes empíricas cujos valores podem ser selecionados para igualar dados para um material específico. Observar que este modelo é idêntico ao caso especial de superfície de escoamento polinomial em que:

$$Y'_{10} = Y_{10}$$

$$Y'_{11} = 2Y_{11} / Y_{10}$$

$$Y'_{12} = -2Y_{11} / Y_{10}^2$$

$$Y'_{13} = 0$$

$$Y'_{16} = Y_{11} + Y_{12}$$

D.42

onde de  $Y'_{10}$  até  $Y'_{16}$  correspondem aos parâmetros de uma superfície de escoamento polinomial.

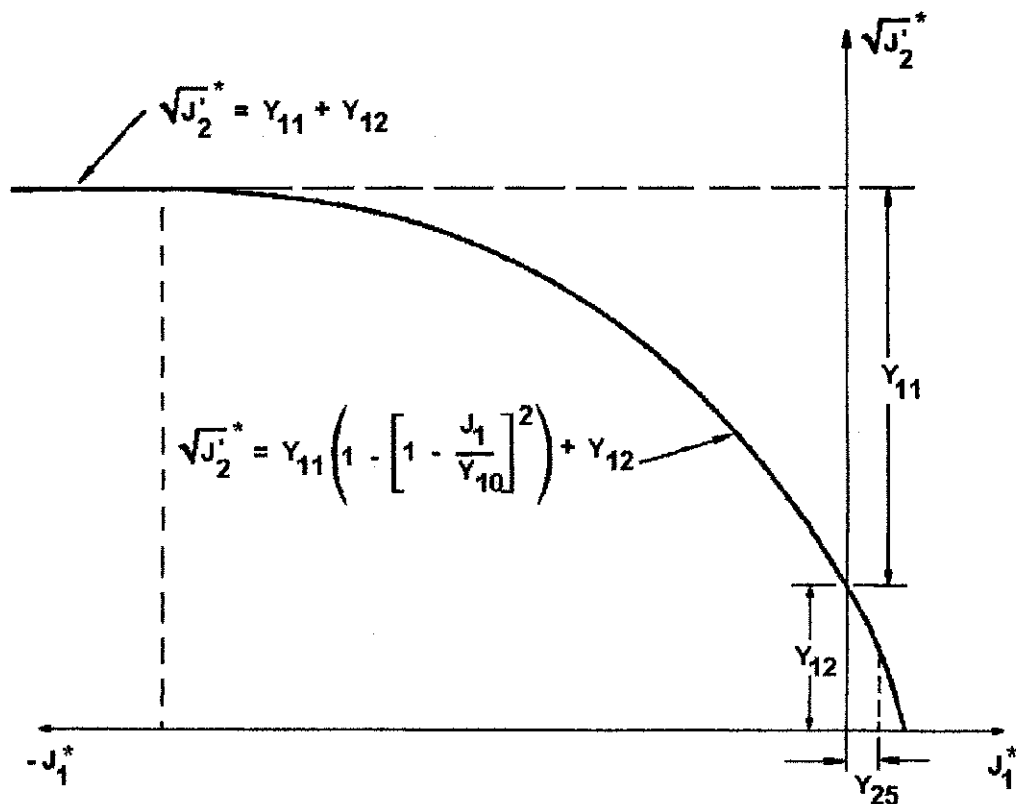


FIGURA D.12 - Superfície de Escoamento Parabólica

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Para o Módulo Constante (NVM = 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 2
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De G <sub>1</sub> a G <sub>20</sub> = 0.0 inserir três dados em branco
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> = 0.0 inserir cinco dados em branco Atribuir valor de Y <sub>1</sub> até Y <sub>12</sub> De Y <sub>13</sub> até Y <sub>24</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>25</sub>



### D.5.3 - Modelo "cap model" Para Rochas

As feições deste modelo incluem:

- Escoamento isotrópico ou anisotrópico representado por uma superfície de escoamento combinando um envelope de escoamento fixo e idealmente plástico da forma ( o mesmo da seção D.5.2, pág. 358):

$$f_1(J_1^*, \sqrt{J_2^*}) = \begin{cases} Y_{11} \left( 1 - \left[ 1 - \frac{J_1^*}{Y_{10}} \right]^2 \right) + Y_{12} - \sqrt{J_2^*} & \text{para } J_1^* \geq Y_{10} \\ Y_{11} + Y_{12} - \sqrt{J_2^*} & \text{para } J_1^* < Y_{10} \end{cases} \quad \text{D.43}$$

Onde  $f_1 \geq 0$ , e um encruamento da deformação que é restringido para se mover apenas na direção para fora da origem (Figura D.13). The parâmetro do "cap" é da família da elipse da forma:

$$f_2(J_1^*, \sqrt{J_2^*}, L) = \frac{(J_1^* - V)^2}{(Y_{14} \sqrt{Q})^2} + \frac{(\sqrt{J_2^*})^2}{(\sqrt{Q})^2} - 1 \quad \text{D.44}$$

Onde  $V$  é a distância da origem do centro da elipse,  $L$  é o parâmetro de endurecimento, que define o ponto de interseção de  $f_1$  e  $f_2$ ,  $Y_{14}$  é o raio do maior ao menor eixo, e  $\sqrt{Q}$  é o valor de  $\sqrt{J_2^*}$  sobre a elipse quando  $J_1^* = V$ .

- A expansão não é limitada em relação ao movimento unidirecional do "cap".
- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.



e  $X'(L)$  é a inclinação da tangente a  $f_2$  em  $(L, X)$ , o ponto de interseção.  $X'(L)$  é escrito como:

$$X'(L) = \left. \begin{cases} \frac{2Y_{11}}{Y_{10}} \left(1 - \frac{L}{Y_{10}}\right) & \text{quando } L \geq Y_{10} \\ 0 & \text{quando } L < Y_{10} \end{cases} \right\} \quad \text{D.48}$$

A expressão para o parâmetro de endurecimento  $L$ , de Dimaggio e Sandler (1970) é:

$$L = Y_{13} \int_0^t \left[ 1 - \frac{\sqrt{J_2}}{\sqrt{J_2} - f_1} \right]^2 \left\{ (\dot{\epsilon}_1^P)^2 + (\dot{\epsilon}_2^P)^2 + (\dot{\epsilon}_3^P)^2 \right\}^{1/2} dt \quad \text{D.49}$$

Onde  $Y_{13}$  é uma constante adimensional,  $\dot{\epsilon}_i^P$  são as componentes principais do vetor da taxa de deformação plástica, e  $t$  é o tempo. O material está em seu estado não-deformado no tempo  $t = 0$ .

Os coeficientes  $Y_{10}$ ,  $Y_{11}$  e  $Y_{12}$  são constantes empíricas cujos valores podem ser selecionados para igualar dados para um material específico.

Os coeficientes necessários para implementar este modelo são:

Para o Módulo Constante (NVM = 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 2 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável



Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 2
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ a $G_{20} = 0.0$ inserir três dados em branco
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ inserir cinco dados em branco Atribuir valor de $Y_1$ até $Y_{14}$ De $Y_{15}$ até $Y_{24} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{25}$

Para o Módulo Variável (NVM $\neq$ 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 2 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 1, 2, 3 ou 4 dependendo do módulo de modelo variável é desejado MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 2
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Para NVM = 1 : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2 : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3 : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4 : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.4
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Para NVM = 1: Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2: Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3: Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4: Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.4 Atribuir valores de $Y_1$ até $Y_{12}$ De $Y_{15}$ até $Y_{24} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{25}$

#### D.5.4 - Modelo "cap model" Para Solos

As feições deste modelo incluem:

- Escoamento isotrópico ou anisotrópico representado por uma superfície de escoamento que combina um critério de escoamento fixo idealmente plástico denotado por:

$$f_1(J_1, \sqrt{J_2'}) = Y_1 - Y_2 \exp(Y_3 J_1) - \sqrt{J_2'} \quad \text{D.50}$$

Onde  $f_1 \geq 0$ , e um encruamento da deformação que é livre para se mover em direção da origem ou para fora dela (Figura D.14). The "cap" consiste de uma família de elipses cujos eixos são paralelos a  $J_1$  e  $\sqrt{J_2'}$  e cujos centros dependem do eixo  $J_1$  diretamente abaixo da interseção da elipse com o envelope de falha. A equação de cada elipse é:

$$f_1(J_1, \sqrt{J_2'}, \varepsilon^p) = \frac{(L - J_1)^2}{[Y_4 F(L)]^2} + \frac{(\sqrt{J_2'})^2}{[F(L)]^2} - 1 \quad \text{D.51}$$

Onde  $Y_4$  é o raio do eixo maior para o menor,  $L$  é o valor de  $J_1$  no centro das elipse e  $F(L)$  é altura da elipse acima do eixo  $J_1$ .

- A expansão é controlada com relação ao movimento cíclico do "cap".
- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.

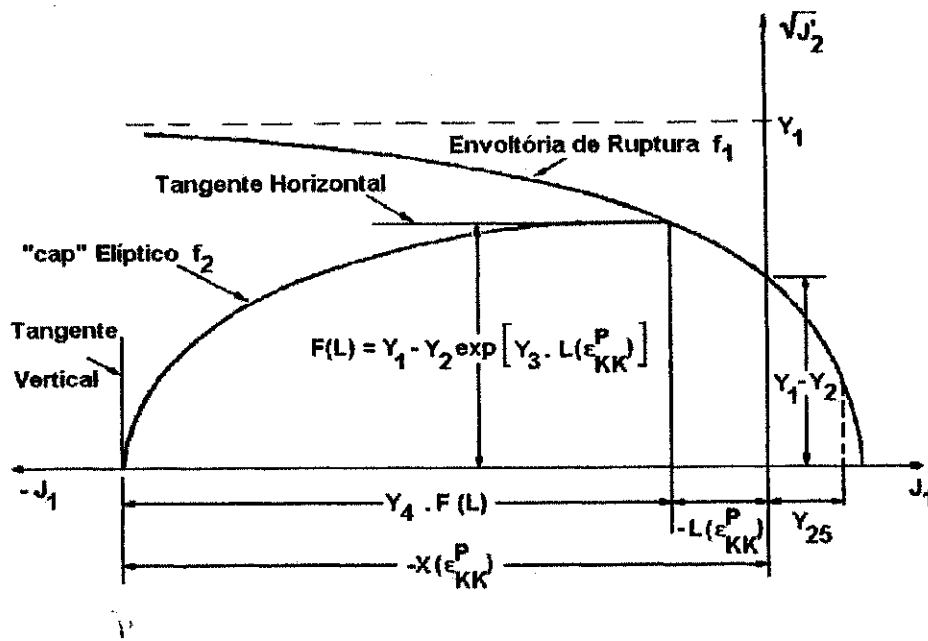


FIGURA D.14 - Modelo "cap model" Para Solos

A posição do cap é especificada pelo parâmetro X que localiza o final do lado esquerdo da elipse (Figura D.14). Este parâmetro depende da deformação plástica da seguinte forma:

$$X = \begin{cases} \frac{1}{Y_5} \ln\left(\frac{E}{Y_6} + 1\right) & \text{para } |E| < |0.99Y_6| \\ \frac{1}{Y_5} [\ln(0.01) + 100(E + 0.99Y_6)] & \text{para } |E| \geq |0.99Y_6| \end{cases} \quad \text{D.52}$$

Onde:

$$E = \begin{cases} \epsilon_{KK}^P + Y_7 & \text{para } E \leq Y_8 \\ Y_8 & \text{para } E > Y_8 \end{cases} \quad \text{D.53}$$

O parâmetro L é dado por:

$$L = X + Y_4 [Y_1 - Y_2 \exp(Y_3 L)] \quad \text{D.54}$$

e a expressão para  $F(L)$  é mostrada diretamente na Figura D.14, pág. 357. As atribuições de alguns dos parâmetros de modelamento podem ser descritas qualitativamente como:

$Y_5$  = Módulo de restrição elástico inicial / Módulo de restrição geral médio

$Y_6$  = Compactação plástica máxima

$Y_7$  = Intervalo elástico, dentro do qual o "cap" móvel não pode entrar

$Y_7$  e  $Y_8$  são usados para estabilidade numérica.

Os coeficientes  $Y_1$ ,  $Y_2$  e  $Y_3$  são constantes empíricas cujos valores podem ser selecionados para igualar dados de um teste uniaxial em um material específico.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Para o Módulo Constante (NVM = 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 2 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 3
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ a $G_{20}$ = 0.0 inserir três dados em branco

Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ inserir cinco dados em branco Atribuir valor de $Y_1$ até $Y_8$ De $Y_9$ até $Y_{24} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{25}$
------------------------------------	--

Para o Módulo Variável (NVM $\neq 0$ )	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	$B = 0.0$ $G = 0.0$ Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	$NISO = 0$ $NPL = 2$ $NVISC = 0$ $ITER = 0$ (se desejar iteração, senão = 1) $NSPLIT = 0$ $NITER =$ Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV $NVM = 1, 2, 3$ ou 4 dependendo do módulo de modelo variável desejado $MAXITR =$ número máximo de subdivisões da deformação aceitável $ICOMPS = 0$ $ITYPE = 3$
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Para $NVM = 1$ : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.1 Para $NVM = 2$ : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.2 Para $NVM = 3$ : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.3 Para $NVM = 4$ : Atribuir de $G_1$ até $G_{20}$ como mostrado no item 3.4
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Para $NVM = 1$ : Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.1 Para $NVM = 2$ : Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.2 Para $NVM = 3$ : Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.3 Para $NVM = 4$ : Atribuir de $B_1$ até $B_{40}$ como mostrado no item 3.4 Atribuir valores de $Y_1$ até $Y_8$ De $Y_9$ até $Y_{24} = 0.0$ Atribuir valor para $Y_{25}$

## D.6 - MODELOS NÃO-ELÁSTICOS, ANISOTRÓPICOS EXCETO O CONCRETO

Há duas representações de módulos não-elásticos, anisotrópicos (excetuando o concreto) atualmente disponíveis no programa BMINES: módulo de modelo constante e módulo de modelo variável.

### D.6.1 - Módulo Constante, Modelo de Escoamento Anisotrópico

Um modelo baseado no trabalho de Hill (1950) e Pariseau (1968) utiliza o critério de escoamento para materiais anisotrópicos cuja forma é compatível com a teoria da plasticidade isotrópica.

As feições deste modelo incluem:

- Elasticidade anisotrópica na qual o eixo principal de anisotropia não coincide necessariamente com os eixos globais;
- Condição de escoamento anisotrópico permanece em termos de dois invariantes da tensão:  $J_1$  e  $\sqrt{J_2^*}$ ;
- Superfície de escoamento da forma polinomial, forma parabólica ou da forma de um "cap" de rochas;
- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.

O módulo de Young e a taxa de Poisson,  $E_\zeta$ ,  $\nu_{\zeta\eta}$ ,  $\nu_{\zeta\xi}$ , etc., são especificadas nas direções principais de anisotropia. A matriz  $\mathbf{C}$ , que descreve a tensão incremental à

deformação incremental é, assim, inicialmente expressa nos eixos principais de anisotropia e é subsequêntemente transformada para direções globais da malha de elementos finitos.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 1 NPL = 1 ou 2, dependendo do modelo inelástico a ser usado (1 sem "cap"; 2 com "cap") NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 0 ITYPE = 1 ou 2, dependendo da forma funcional da superfície de escoamento ( 1 para polinomial 2 para parabólica ou "rock cap")
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	$G_1 = G_{\zeta\eta}$ $G_2 = G_{\eta\xi}$ $G_3 = G_{\xi\zeta}$ De $G_4$ até $G_{20} = 0.0$





$a_1 = \text{constante}$

Onde:

$\beta = \text{ângulo anti-horário do plano de anisotropia para a direção de maior tensão principal } (\sigma_1);$

$\gamma = \text{orientação de } \beta \text{ na qual } a_0 \text{ é mínimo. Normalmente igual a } 30 \text{ graus};$

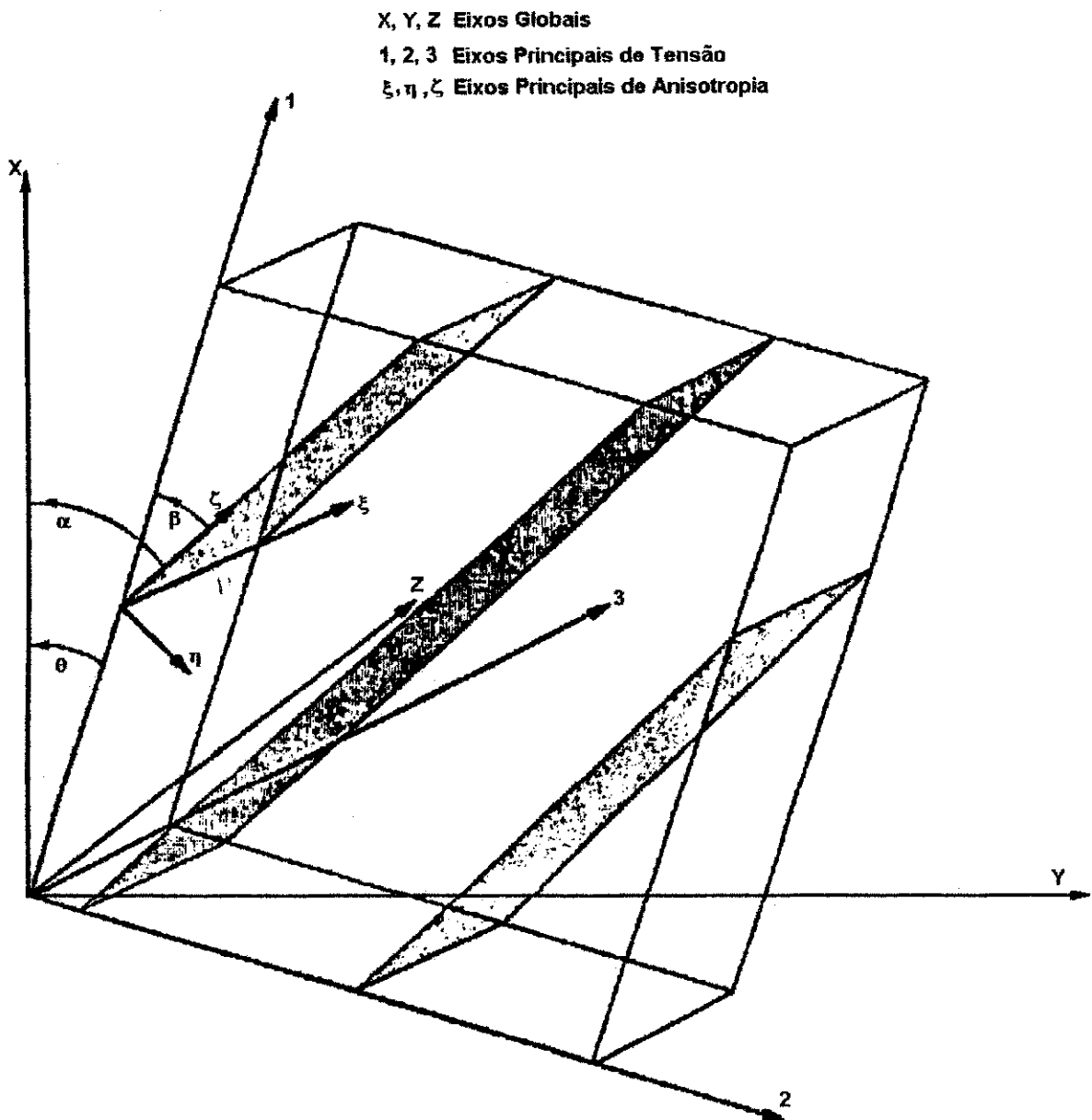
$a_2, a_3 = \text{constantes}$

O ângulo  $\beta$  é mostrado na Figura D.15

McLamore e Grey (1967) observaram que a variação de  $a_0$  pode ser mais resumidamente descrita pela seguinte relação:

$$\begin{aligned} a_0 &= Y_{11} - Y_{12} [\cos 2(\gamma - \beta)]^{Y_{13}} & \text{para } \beta \leq \gamma \leq 90^\circ \\ a_0 &= Y_{17} - Y_{18} [\cos 2(\gamma - \beta)]^{Y_{13}} & \text{para } 0 \leq \gamma \leq \beta \end{aligned} \quad \text{D.57}$$

O fator  $Y_{13}$  é um fator de "tipo de anisotropia" que possui valor igual ou maior que 5 para o tipo de anisotropia linear associada com planos de acamamento, enquanto  $Y_{11}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_{17}$  e  $Y_{18}$  são constantes que descrevem a variância sobre a faixa designada.



**Figura D.15 - Orientação dos Planos de Isotropia**

Eles também observaram que o coeficiente de fricção  $a_1$  pode também variar em relação a  $\beta$ . A variância é da mesma natureza de  $a_0$  e pode ser descrita pela equação:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= Y_{14} - Y_{15} [\cos 2(\gamma - \beta)]^{Y_{16}} && \text{para } \beta \leq \gamma \leq 90^\circ \\
 a_1 &= Y_{20} - Y_{21} [\cos 2(\gamma - \beta)]^{Y_{16}} && \text{para } 0 \leq \gamma \leq \beta
 \end{aligned}$$

**D.58**

Onde as constantes  $Y_{14}$ ,  $Y_{15}$ ,  $Y_{20}$  e  $Y_{21}$  descrevem o comportamento de  $a_1$  sobre a faixa designada e a mesma relação entre o "tipo" de anisotropia e o valor numérico de  $Y_{16}$  existe neste caso como para o valor de  $Y_{13}$ .

A presente aplicação da hipótese de McLamore e Grey é limitada ao plano geométrico.

Os coeficientes  $Y_{11}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_{14}$ ,  $Y_{15}$ ,  $Y_{17}$ ,  $Y_{18}$ ,  $Y_{20}$  e  $Y_{21}$  são constantes empíricas cujos valores podem ser selecionados para igualar dados de teste de compressão axial para uma material específico.

O módulo de Young e a taxa de Poisson,  $E_{\zeta}$ ,  $\nu_{\zeta\eta}$ ,  $\nu_{\zeta\xi}$ , etc., são especificadas nas direções principais de anisotropia. A matriz  $C$ , que descreve a tensão incremental à deformação incremental é, assim, inicialmente expressa nos eixos principais de anisotropia e é subsequêentemente transformada para direções globais da malha de elementos finitos.

Observar que a expressão "módulo variável" não é utilizada no mesmo contexto que nos modelos de módulo variável descritos na seção D.4 (pág. 325). Aqui, o material é classificado como módulo variável porque uma mudança ocorre quando o estado de tensão alcança um tal nível que resulta no fraturamento da rocha. Desse modo, duas atribuições do módulo precisam ser introduzidas pelo usuário; uma atribui para descrever o material no estado elástico e a segunda atribuição para descrever o material no estado não-elástico. Neste caso,  $NVM = 0$ , embora  $B$  e  $G$ , a constante de elasticidade volumétrica e o módulo de cisalhamento, respectivamente, não sejam usados.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 2 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 0 (se desejar iteração, senão = 1) NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações aceitável
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 Atribuir valor para CONV NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	G <sub>1</sub> = G <sub>ζη</sub> - elástico G <sub>2</sub> = G <sub>ηξ</sub> - elástico G <sub>3</sub> = G <sub>ξζ</sub> - elástico G <sub>4</sub> = G <sub>ζη</sub> - inelástico G <sub>5</sub> = G <sub>ηξ</sub> - inelástico G <sub>6</sub> = G <sub>ξζ</sub> - inelástico  De G <sub>7</sub> até G <sub>20</sub> = 0.0

Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	<p> <math>B_1 = E_\zeta</math> - elástico  <math>B_2 = \nu_{\zeta\eta}</math> - elástico  <math>B_3 = \nu_{\zeta\xi}</math> - elástico  <math>B_4 = E_\eta</math> - elástico  <math>B_5 = \nu_{\eta\zeta}</math> - elástico  <math>B_6 = \nu_{\eta\xi}</math> - elástico  <math>B_7 = E_\xi</math> - elástico  <math>B_8 = \nu_{\xi\zeta}</math> - elástico  <math>B_9 = \nu_{\xi\eta}</math> - elástico  <math>B_{10} = 0.0</math>  <math>B_{11} = E_\zeta</math> - inelástico  <math>B_{12} = \nu_{\zeta\eta}</math> - inelástico  <math>B_{13} = \nu_{\zeta\xi}</math> - inelástico  <math>B_{14} = E_\eta</math> - inelástico  <math>B_{15} = \nu_{\eta\zeta}</math> - inelástico  <math>B_{16} = \nu_{\eta\xi}</math> - inelástico  <math>B_{17} = E_\xi</math> - inelástico  <math>B_{18} = \nu_{\xi\zeta}</math> - inelástico  <math>B_{19} = \nu_{\xi\eta}</math> - inelástico  De <math>B_{20}</math> até <math>B_{30} = 0.0</math>  <math>B_{31} = T_{11} = \cos(X, \zeta)</math> *  <math>B_{32} = T_{21} = \cos(Y, \zeta)</math> *  <math>B_{33} = T_{31} = \cos(Z, \zeta)</math> *  <math>B_{34} = T_{12} = \cos(X, \eta)</math> *  <math>B_{35} = T_{22} = \cos(Y, \eta)</math> *  <math>B_{36} = T_{32} = \cos(Z, \eta)</math> *  <math>B_{37} = T_{13} = \cos(X, \xi)</math> *  <math>B_{38} = T_{23} = \cos(Y, \xi)</math> *  <math>B_{39} = T_{33} = \cos(Z, \xi)</math> *  <math>B_{40} = \gamma</math>, orientação de <math>\beta</math> na qual <math>a_0</math> é um mínimo. freqüentemente 30 graus ( expresso em radianos) </p> <p> De <math>Y_1</math> até <math>Y_{10} = 0.0</math>  Atribuir valores de <math>Y_{11}</math> até <math>Y_{18}</math>  <math>Y_{19} = 0.0</math>  Atribuir valores para <math>Y_{20}</math> e <math>Y_{21}</math>  De <math>Y_{22}</math> até <math>Y_{25} = 0.0</math> </p>
* cossenos diretores	

## D.7 - MODELOS VISCOSOS

Há três modelos isotrópicos viscosos atualmente disponíveis no pacote de propriedades do material:

- a) Modelo sólido viscoelástico de três parâmetros
- b) Modelo viscoelástico de Maxwell
- c) Modelo viscoplástico

### D.7.1 - Modelo Sólido Viscoelástico de Três Parâmetros

A deformação total é definida como a soma das partes instantâneas elástica e viscoelástica. A deformação é assim dividida em componentes deviatória e volumétrica, que são tratadas separadamente:

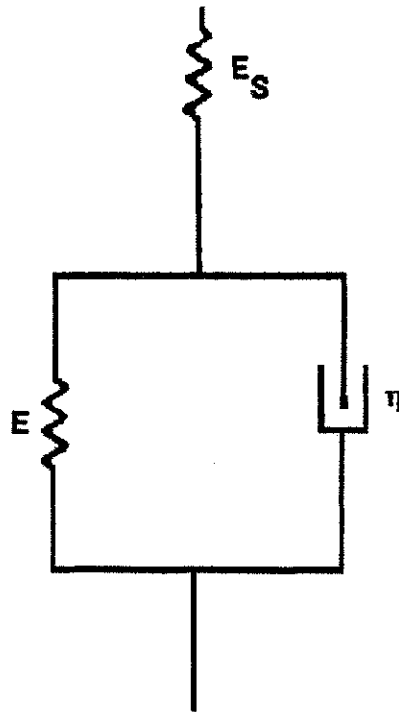
$$\begin{aligned}\varepsilon'_{ij} &= (\varepsilon'_{ij})^e + (\varepsilon'_{ij})^c && \text{(deviatória)} \\ \varepsilon_{kk} &= (\varepsilon_{kk})^e + (\varepsilon_{kk})^c && \text{(volumétrica)} \\ \varepsilon'_{ij} &= \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \varepsilon_{kk}\end{aligned}\tag{D.59}$$

para simplificar a seguinte discussão, nenhuma distinção é feita entre componentes deviatórias e volumétricas.

Considere a relação de fluência tensão/deformação para um material ser característico de um parâmetro sólido tridimensional (Figura D.16a):

$$\sigma = E\varepsilon^e + \eta\dot{\varepsilon}^e = E_s\varepsilon^e\tag{D.60}$$

Onde:  $E$  e  $\eta$  são constantes da mola e coeficiente de viscosidade, respectivamente,  $E_S$  é a constante da mola do membro elástico,  $\epsilon^c$  é a fluência, e  $\epsilon^e$  é a deformação elástica. Observar que este modelo reduz-se ao modelo de Kelvin se a constante da mola  $E_S$  é infinitamente rígida.



a) Sólido de Três Parâmetros



b) Modelo de Maxwell

Figura D.16 - Modelos viscoelásticos disponíveis no programa BMINES

A equação anterior pode ser escrita na forma de uma taxa:

$$\dot{\varepsilon}^c = \frac{d\varepsilon^c}{dt} = \frac{1}{\eta} \sigma - \frac{E}{\eta} \varepsilon^c = a_2 \sigma - a_1 \varepsilon^c \quad \text{D.61}$$

Finalmente, a expressão acima pode ser integrada supondo que  $\sigma$ ,  $a_1$  e  $a_2$  permanecem constantes dentro do intervalo de tempo. Assim, se  $\varepsilon_{t+\Delta t}^c$  representa a fluência no final de um intervalo e  $\varepsilon_t^c$  o valor no início do intervalo, então:

$$\varepsilon_{t+\Delta t}^c = (\varepsilon_t^c) \exp(-a_1 \Delta t) + \sigma \left( \frac{a_2}{a_1} \right) (1 - \exp(-a_1 \Delta t)) \quad \text{D.62}$$

A fluência pode ser especificada também na deformação volumétrica ou no deviatório da deformação ou em ambos, simultaneamente. A fluência na deformação volumétrica é escrita:

$$\text{NVOL} = Y_{20} = 3 \quad \text{D.63}$$

$$B = E_S, \text{ volume} \quad \text{D.64}$$

$$a_1 = \frac{B}{\eta_{\text{volume}}} = Y_4 \quad \text{D.65}$$

$$a_2 = \frac{1}{\eta_{\text{volume}}} = Y_5 \quad \text{D.66}$$

Onde os parâmetros especificados ajustam o modelo de três parâmetros da dependência do tempo do módulo volumétrico,  $B(t)$ . A fluência no deviatório da deformação é descrita como:

$$\text{NDEV} = Y_{21} = 3 \quad \text{D.67}$$

$$G = E_S, \text{ cisalhamento} \quad \text{D.68}$$

$$a_1 = \frac{G}{\eta_{\text{cisalhamento}}} = Y_7 \quad \text{D.69}$$

$$a_2 = \frac{1}{\eta_{\text{cisalhamento}}} = Y_8 \quad \text{D.70}$$



Onde os parâmetros especificados ajustam o modelo de três parâmetros da dependência do tempo do módulo de cisalhamento,  $G(t)$ .

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 0 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ até $G_{20} = 0.0$ (inserir três dados em branco)
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ (inserir cinco dados em branco) De $Y_1$ até $Y_3 = 0.0$ . Atribuir valores para $Y_4$ e $Y_5$ $Y_6 = 0.0$ . Atribuir valores para $Y_7$ e $Y_8$ De $Y_9$ até $Y_{19} = 0.0$ $Y_{20} = 3$ para o modelo sólido de três parâmetros para módulo volumétrico $Y_{21} = 3$ para o modelo sólido de três parâmetros para o modelo de cisalhamento De $Y_{22}$ até $Y_{25} = 0.0$

### D.7.2 - Modelo Viscoelástico de Maxwell

Para simplificar a discussão, como acima para o modelo de Kelvin (seção D.7.1, pág. 368), nenhuma distinção é feita entre componentes volumétrica e deviatórica.

Considere o modelo de Maxwell no qual uma mola e o amortecedor estão em série (Figura D.15b, pág. 364). A extensão da mola,  $\varepsilon_e$ , toma a forma:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \text{D.71}$$

Onde  $E$  é a constante da mola, enquanto  $\varepsilon_c$  para o amortecedor obedece a lei:

$$\dot{\varepsilon}^c = \frac{\sigma}{\eta} \quad \text{D.72}$$

Onde  $\eta$  é o coeficiente de viscosidade do amortecedor. Assim, como ambos os elementos são conectados em série, o alongamento total é:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^c \quad \text{D.73}$$

Diferenciando as equações acima obtém-se:

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon} &= \dot{\varepsilon}^e + \dot{\varepsilon}^c = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \\ &= a_1 \dot{\sigma} + a_2 \sigma \end{aligned} \quad \text{D.74}$$

$$\text{Onde } a_1 = \frac{1}{E} \text{ e } a_2 = \frac{1}{\eta} \quad \text{D.75}$$

A expressão acima pode ser integrada com a suposição de que  $\sigma$ ,  $a_1$  e  $a_2$  permanecem constantes dentro do intervalo de tempo. Assim, se  $\varepsilon_{t+\Delta t}$  representa a deformação no final do intervalo e  $\varepsilon_t$  o valor no início do intervalo, então:

$$\varepsilon_{t+\Delta t} = \varepsilon_t + a_2(\Delta t)(\sigma_{t+\Delta t}) + a_1(\sigma_{t+\Delta t} - \sigma_t) \quad \text{D.76}$$

O último termo da equação acima representa o incremento na deformação elástica. Assim, a fluência pode ser atualizada como:

$$\varepsilon_{t+\Delta t}^c = \varepsilon_t^c + a_2(\Delta t)(\sigma_{t+\Delta t}) \quad \text{D.77}$$

A fluência pode também ser especificada em deformação volumétrica ou em deformação deviatória ou em ambas, simultaneamente. Fluência em deformação volumétrica é descrita por:

$$\begin{aligned} \text{NVOL} &= Y_{20} = 2 \\ \mathbf{B} &= \mathbf{E}_{\text{volumétrico}} \\ \mathbf{a}_2 &= \frac{1}{\eta_{\text{volumétrico}}} = Y_3 \end{aligned} \quad \text{D.78}$$

A fluência na deformação deviatória é descrita por:

$$\begin{aligned} \text{NDEV} &= Y_{21} = 2 \\ \mathbf{G} &= \mathbf{E}_{\text{cisalhamento}} \\ \mathbf{a}_2 &= \frac{1}{\eta_{\text{cisalhamento}}} = Y_6 \end{aligned} \quad \text{D.79}$$

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 2 ITER = 1 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 0
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ até $G_{20} = 0.0$ (inserir três dados em branco)
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De $B_1$ até $B_{40} = 0.0$ (inserir cinco dados em branco) $Y_1$ e $Y_2 = 0.0$ Atribuir valor para $Y_3$ $Y_4$ e $Y_5 = 0.0$ Atribuir valor para $Y_6$ De $Y_7$ até $Y_{19} = 0.0$ De $Y_9$ até $Y_{19} = 0.0$ $Y_{20} = 2$ para o modelo de Maxwell para módulo volumétrico $Y_{21} = 2$ para o modelo de Maxwell para módulo de cisalhamento De $Y_{22}$ até $Y_{25} = 0.0$

### D.7.3 - Modelo Viscoplastico

O modelo matemático descrito abaixo partiu das idéias baseadas no trabalho de Prager et al (1932) e Perzyna (1963).

As feições do modelo viscoplastico incluem:

- Módulo constante ou variável, Isotrópico
- Critério de escoamento idealmente plástico (nenhum endurecimento)
- Condição de escoamento calculada em termos de dois invariantes da tensão  $J_1$  e  $\sqrt{J_2}$ .
- Superfície de escoamento de forma polinomial

$$f(J_1, \sqrt{J_2}) = \begin{cases} Y_{11} + Y_{12}J_1 + Y_{13}J_1^2 + Y_{14}J_1^3 - \sqrt{J_2} & \text{para } J_1 \geq Y_{10} \\ Y_{16} - \sqrt{J_2} & \text{para } J_1 < Y_{10} \end{cases} \quad \text{D.80}$$

Onde  $f \geq 0$

- Regime de fluxo não associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível. A taxa de deformação viscoplastica é suposta de acordo com o regime de fluxo não associado.

$$\varepsilon_{ij}^p = Y_{17} \phi(f) \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad \text{D.81}$$

Onde:

$\phi(f)$  = Uma função do critério de escoamento estático  $f$

$F$  = Função potencial atribuída. Presentemente,  $F = J_2$  e diferenciação é executada com relação ao deviatório da tensão  $\sigma_{ij}$

$Y_{17}$  = Parâmetro empírico viscoplastico

No presente trabalho assume-se que:

$$\phi(f) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\sqrt{J_2}}{Y_{11} + Y_{12}J_1 + Y_{13}J_1^2 + Y_{14}J_1^3} - 1 & \text{para } J_1 \geq Y_{10} \\ \frac{\sqrt{J_2}}{Y_{16}} - 1 & \text{para } J_1 < Y_{10} \end{array} \right\} \quad \text{D.82}$$

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Para o Módulo Constante (NVM = 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores a B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 1 ITER = 1 Atribuir valor para NSPLIT NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 0 MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 1
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De G <sub>1</sub> a G <sub>20</sub> = 0.0 inserir três dados em branco
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	De B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> = 0.0 inserir cinco dados em branco De Y <sub>1</sub> até Y <sub>9</sub> = 1.0 Atribuir valores de Y <sub>10</sub> até Y <sub>14</sub> (como mostrado na Figura D.10, pág. 343) Y <sub>15</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>16</sub> (como mostrado na Figura D.10, pág. 343) Atribuir valor para Y <sub>17</sub> De Y <sub>18</sub> até Y <sub>24</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>25</sub>

Para o Módulo Variável (NVM ≠ 0)	
Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 1 ITER = 1 Atribuir valor para NSPLIT NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	DELTA = 0.0 CONV = 0.0 NVM = 1, 2, 3 ou 4 dependendo do módulo de modelo variável é desejado MAXITR = 0 ICOMPS = 0 ITYPE = 1
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	Para NVM = 1 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4 : Atribuir de G <sub>1</sub> até G <sub>20</sub> como mostrado no item 3.4
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	Para NVM = 1: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.1 Para NVM = 2: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.2 Para NVM = 3: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.3 Para NVM = 4: Atribuir de B <sub>1</sub> até B <sub>40</sub> como mostrado no item 3.4 De Y <sub>1</sub> até Y <sub>9</sub> = 0.0 Atribuir valores de Y <sub>10</sub> até Y <sub>14</sub> ( como mostrado na Figura D.10, pág. 343) Y <sub>15</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>16</sub> (como mostrado na Figura 10, pág. 343) Atribuir valor para Y <sub>17</sub> De Y <sub>18</sub> até Y <sub>24</sub> = 0.0 Atribuir valor para Y <sub>25</sub>

## D.8 - MODELOS PARA CONCRETO

Dois tipos de modelos definindo as propriedades constitutivas do concreto foram incorporadas ao pacote de propriedades do material, assim chamados:

- Módulo variável para concreto simples ou armado
- Modelo plástico "cap model" para concreto simples

### D.8.1 - Módulo Variável Para Concreto Simples ou Armado

O modelo matemático para o concreto que está disponível no pacote de propriedades do material é baseado no trabalho de Inselberg et al (1974). O modelo de módulo variável para o concreto simples é combinado com um modelo de módulo variável para o aço, utilizando a área média modificada pelas relações de aderência/escorregamento, formando o módulo composto de uma seção. A combinação acima dos modelos resulta em um modelo de módulo composto variável para concreto reforçado. Um modelo de concreto simples é obtido pela especificação apropriada dos coeficientes do material e percentagem de aço. O presente modelo considera o sistema de elemento finito como um contínuo em que as propriedades são uniformes dentro do elemento. Outras feições deste modelo incluem:

- Relações compressiva de tensão/deformação para concreto plano
- Relações de tensão tensão/deformação para concreto plano
- Critério de resistência ao fraturamento para o concreto plano definido por:

$$\sigma_{\text{crack}} = f_t' - \eta\sigma_2 \quad \text{para } \sigma_2 < 0, \sigma_2 < \sigma_3$$

D.83

Onde:

$f_t'$  = Resistência à tração do concreto não-confinado (>0)

$\eta$  = Medição da envoltória de fraturamento a ser determinada experimentalmente

$\sigma_2$  = Tensão principal compressiva máxima

- Valor da taxa de Poisson em elementos não-fraturados assume valor constante e igual em todas as direções até a solução.
- Relação tensão / deformação para o aço em tração ou compressão.



- Modelo composto que combina a variação nas propriedades do aço e concreto discutidas acima e explicadas por:

- a) Mudança nas direções principais de tensões e orientação das trincas.
- b) Deslizamento progressivo entre concreto e ferro (aderência / deslizamento lineares)
- c) Ação linear do parafuso
- d) Ortotropia do material
- e) Ortotropia mecânica
- f) Ortotropia em relação ao fraturamento

As direções principais de ortotropia são definidas:

- Antes do fraturamento, as direções principais de ortotropia são definidas pelas direções principais de tensão.
- A direção do primeiro fraturamento define a direção principal de ortotropia, enquanto a segunda e terceira direções principais de ortotropia são as direções da maior tensão e sua normal.

A Figura D.17a (pág. 382) mostra as relações de tensão/deformação para o concreto plano na compressão usada no presente modelo. Não-carregamento e recarregamento ocorre com o módulo tangente inicial  $E_c$ .

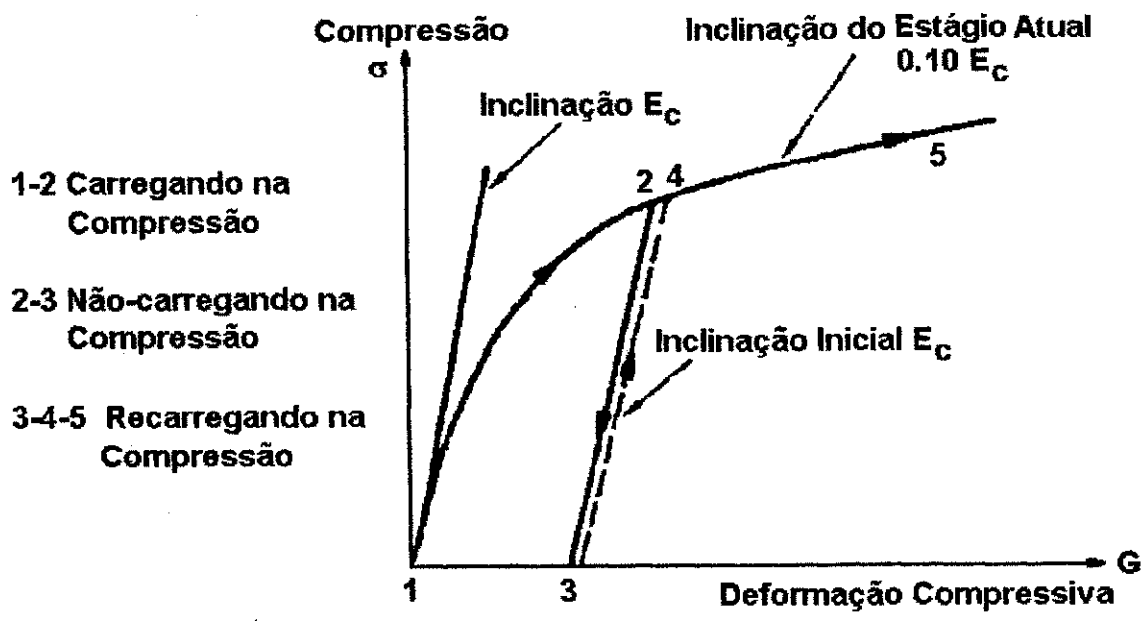
As relações tensão/deformação para o concreto plano na tensão são ilustradas na Figura D.17b (pág. 382). A projeção do critério de fraturamento por tração no plano  $\sigma_1\sigma_2$  é mostrada na Figura D.18 (pág. 383).

As relações de tensão/deformação no aço são linearmente elásticas, perfeitamente plásticas como ilustrado na Figura D.19 (pág. 383), enquanto as relações de tensão/deformação em regime de tração para o concreto composto são mostradas na Figura D.20 (pág. 384).

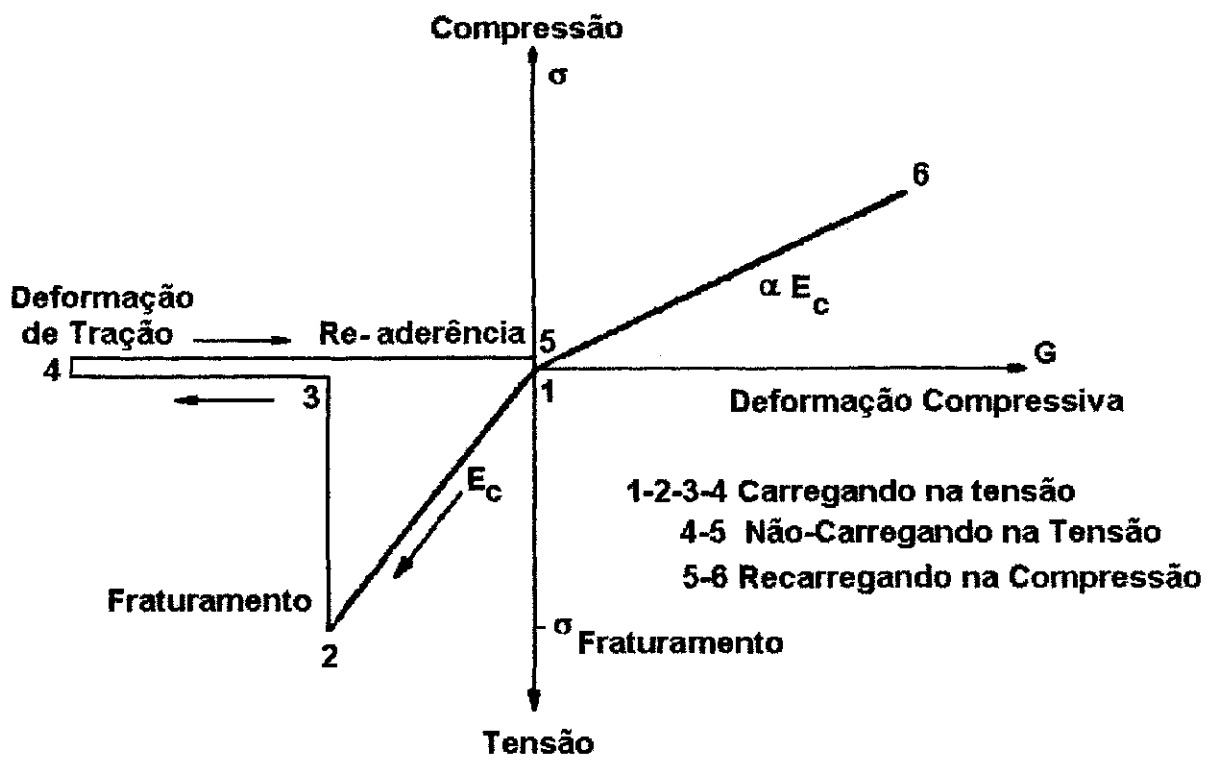
Os coeficientes necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 Atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 1 NVISC = 1 ITER = 1 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir valores para DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 1 ITYPE = 0

<p>Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)</p>	<p> <math>G_1 = E_c</math> Módulo de elasticidade inicial para o concreto  <math>G_2 = E_s</math> Módulo de elasticidade para o aço reforçado  <math>G_3 =  f'_c </math> Último esforço compressivo do concreto  <math>G_4 = f_s</math> Esforço de escoamento do aço reforçado  <math>G_5 = \nu</math> taxa de Poisson para o concreto  <math>G_6 = f'_t</math> Resistência ao fraturamento do concreto não-confinado na tensão  <math>G_7 = \eta</math> Inclinação da envoltória da falha de tração <math>( f'_t ) / ( f'_c )</math>  <math>G_8 = \text{XORD}</math> Parâmetro de aderência / escorregamento (valor default = 0.15)  <math>G_9 = \text{ELORD}</math> Parâmetro de aderência / escorregamento (valor default = 0.5)  <math>G_{10} = n</math> Coeficiente de compressão de cisalhamento local para o parafuso (= 4 se não é conhecida)  <math>G_{11} = G_s</math> Módulo de cisalhamento ou aço reforçado  <math>G_{12} = \alpha</math> Coeficiente de recarregamento. <math>E_c</math> e <math>f'_c</math> são multiplicados por <math>\alpha</math> durante a compressão após o fraturamento  <math>G_{13} = \epsilon_p</math> Magnitude do pico da deformação correspondente ao pico da tensão compressiva (valor default = 0.0025)                  De <math>G_{14}</math> até <math>G_{20} = 0.0</math>                   OBS.: De <math>G_1</math> até <math>G_{13}</math> devem ser dados no sistema de unidades polegada - pound - segundos             </p>
<p>Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)</p>	<p>                 De <math>B_1</math> até <math>B_{40} = 0.0</math>                  De <math>Y_1</math> até <math>Y_{25} = 0.0</math> </p>



a) Relações Tensão/Deformação Compressivas Para o Concreto Simples



b) Relações Tensão/Deformação Para Concreto Simples

FIGURA D.17 - Relações de Tensão/Deformação Para Concreto Plano

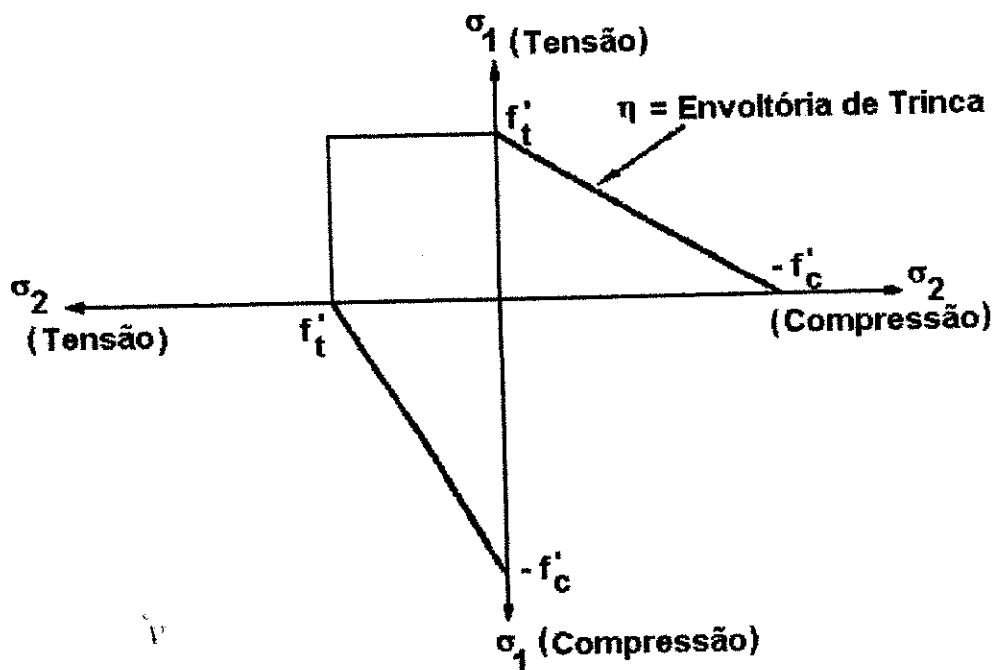


FIGURA D.18 - Projeção do Critério de Fraturamento por Tração no Plano  $\sigma_1 \sigma_2$

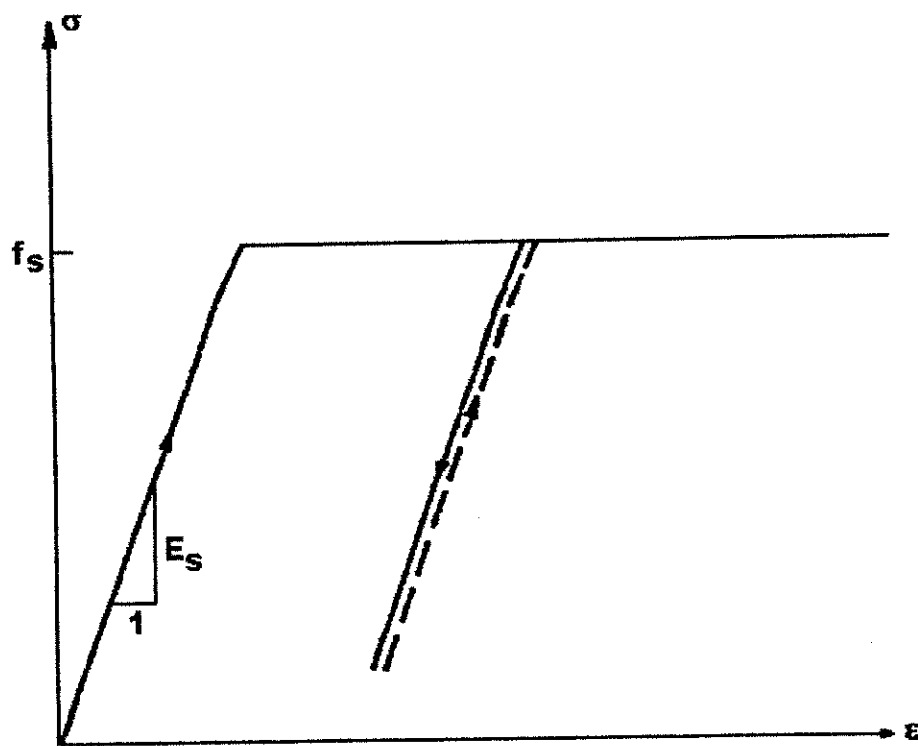
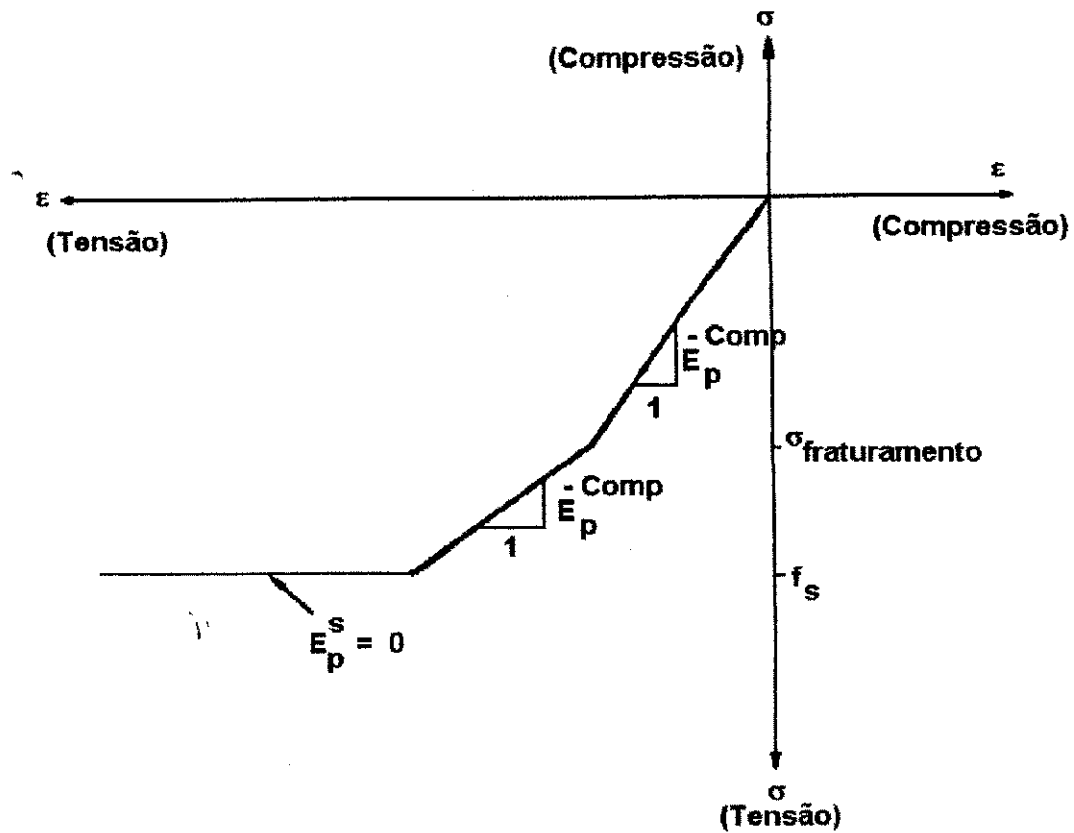


FIGURA D.19 - Tensão e Relações Compressivas Tensão / Deformação Para o Aço



**FIGURA D.20 - Tensão e relação Tensão/Deformação Para o Concreto Composto**

#### D.8.1.1 - Propriedades do Aço

As importantes propriedades do aço reforçado incluem a fração da área do aço e suas propriedades de tensão/deformação. Ambas são originariamente definidas pelo usuário nas assim chamadas coordenadas do aço; que estão nas direções paralelas aos eixos das barras. Estas áreas são então transformadas para a direção principal de ortotropia onde são incorporadas juntamente com o módulo tangente do aço dentro do módulo de composição.

### D.8.1.2 - Transformações da Área do Aço

O número do aço reforçado atribuído a uma estrutura que está sendo analisada é especificado pela entrada de dados do programa do computador. Cada atribuição do aço é definida como reforço do aço em quaisquer direções que não são necessariamente ortogonais; as três direções são especificadas pelos cossenos diretores com relação às coordenadas globais. As áreas do aço atuais envolvidas nas três direções são deixadas como variáveis de elemento para elemento. Assim, o reforço do aço em um elemento é completamente definido pela especificação do aço envolvido. A atribuição do aço define as direções de reforço e as três áreas do aço que atribuem as quantidades de reforço nas três direções.

Em cada etapa de carga, para cada elemento individual, o programa determina as coordenadas baseado nas direções principais de ortotropia. O programa então determina a quantidade equivalente de reforço do aço nas direções principais de ortotropia pela transformação das áreas atuais do aço.

X, Y e Z representam as coordenadas globais para a estrutura inteira; x, y e z as coordenadas locais para o elemento;  $X_S$ ,  $Y_S$  e  $Z_S$  as atuais direções do aço; e  $A_{X_S}$ ,  $A_{Y_S}$  e  $A_{Z_S}$  as áreas associadas do aço (Figura D.21, pág. 388). As áreas do aço (ou percentagens) são definidas como:

$$\text{Taxa do Aço} = \frac{\text{Área do Aço}}{\text{Área Total da Seção Transversal}} \quad \text{D.84}$$

Dessa forma, os cossenos diretores das direções das coordenadas x, y e z com relação às coordenadas X, Y e Z são representadas pela matriz:

$$[\mathbf{DC}] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_x & \cos \beta_x & \cos \gamma_x \\ \cos \alpha_y & \cos \beta_y & \cos \gamma_y \\ \cos \alpha_z & \cos \beta_z & \cos \gamma_z \end{bmatrix} \quad \text{D.85}$$

Onde  $\alpha_x$ ,  $\beta_x$  e  $\gamma_x$ , por exemplo, denotam os ângulos entre o eixo  $x$  e os eixos  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ , respectivamente. Assim, a mudança de eixos pode ser escrita como:

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = [\mathbf{DC}] \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \quad \text{D.86}$$

De um modo similar a matriz:

$$[\mathbf{DC}] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{x_s} & \cos \alpha_{y_s} & \cos \alpha_{z_s} \\ \cos \beta_{x_s} & \cos \beta_{y_s} & \cos \beta_{z_s} \\ \cos \gamma_{x_s} & \cos \gamma_{y_s} & \cos \gamma_{z_s} \end{bmatrix} \quad \text{D.87}$$

representa os cossenos diretores das direções do eixo  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$ , com relação às coordenadas globais  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ . Aqui a mudança de eixos é escrita:

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = [\mathbf{DCS}] \begin{Bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{Bmatrix} \quad \text{D.88}$$

ou equivalentemente,  $\mathbf{DCS}^{-1} = \mathbf{DCS}^T$

$$\begin{Bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{Bmatrix} = [\mathbf{DCS}]^T \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \quad \text{D.89}$$



Os cossenos diretores das coordenadas locais x, y e z com relação às direções do aço  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$  são encontrados pela substituição da equação de mudança dos eixos na equação acima para o vetor

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \tag{D.90}$$

assim,

$$\begin{Bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{Bmatrix} = [DCC] \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \tag{D.91}$$

onde:

$$[DCC] = [DCS]^T [DC] = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{xs} & \cos\beta_{xs} & \cos\gamma_{xs} \\ \cos\alpha_{ys} & \cos\beta_{ys} & \cos\gamma_{ys} \\ \cos\alpha_{zs} & \cos\beta_{zs} & \cos\gamma_{zs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha_x & \cos\beta_x & \cos\gamma_x \\ \cos\alpha_y & \cos\beta_y & \cos\gamma_y \\ \cos\alpha_z & \cos\beta_z & \cos\gamma_z \end{bmatrix} \tag{D.92}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\bar{\alpha}_{xs} & \cos\bar{\beta}_{xs} & \cos\bar{\gamma}_{xs} \\ \cos\bar{\alpha}_{ys} & \cos\bar{\beta}_{ys} & \cos\bar{\gamma}_{ys} \\ \cos\bar{\alpha}_{zs} & \cos\bar{\beta}_{zs} & \cos\bar{\gamma}_{zs} \end{bmatrix}$$

Onde  $\bar{\alpha}_{xs}$ ,  $\bar{\beta}_{xs}$  e  $\bar{\gamma}_{xs}$ , por exemplo, representam os ângulos entre o eixo x e as direções do aço  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$ , respectivamente. Pela inversão de [DCC] temos  $[DCC]^T$ , obtendo-se a rotação dos eixos do aço para as direções locais que são:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = [DCC]^T \begin{Bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{Bmatrix} \tag{D.93}$$

As áreas do aço são transformadas de maneira similar às usadas para transformar tensões em três dimensões. A transformação em relação à rotação dos eixos é representada por:

$$\begin{bmatrix} A_x & 0 & 0 \\ 0 & A_y & 0 \\ 0 & 0 & A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \bar{\alpha}_{xs} & \cos \bar{\alpha}_{ys} & \cos \bar{\alpha}_{zs} \\ \cos \bar{\beta}_{xs} & \cos \bar{\beta}_{ys} & \cos \bar{\beta}_{zs} \\ \cos \bar{\gamma}_{xs} & \cos \bar{\gamma}_{ys} & \cos \bar{\gamma}_{zs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{xs} & 0 & 0 \\ 0 & A_{ys} & 0 \\ 0 & 0 & A_{zs} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \bar{\alpha}_{xs} & \cos \bar{\beta}_{xs} & \cos \bar{\gamma}_{xs} \\ \cos \bar{\alpha}_{ys} & \cos \bar{\beta}_{ys} & \cos \bar{\gamma}_{ys} \\ \cos \bar{\alpha}_{zs} & \cos \bar{\beta}_{zs} & \cos \bar{\gamma}_{zs} \end{bmatrix}$$

D.94

em forma reduzida:

$$\begin{Bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \bar{\alpha}_{xs} & \cos^2 \bar{\alpha}_{ys} & \cos^2 \bar{\alpha}_{zs} \\ \cos^2 \bar{\beta}_{xs} & \cos^2 \bar{\beta}_{ys} & \cos^2 \bar{\beta}_{zs} \\ \cos^2 \bar{\gamma}_{xs} & \cos^2 \bar{\gamma}_{ys} & \cos^2 \bar{\gamma}_{zs} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{xs} \\ A_{ys} \\ A_{zs} \end{Bmatrix}$$

D.95

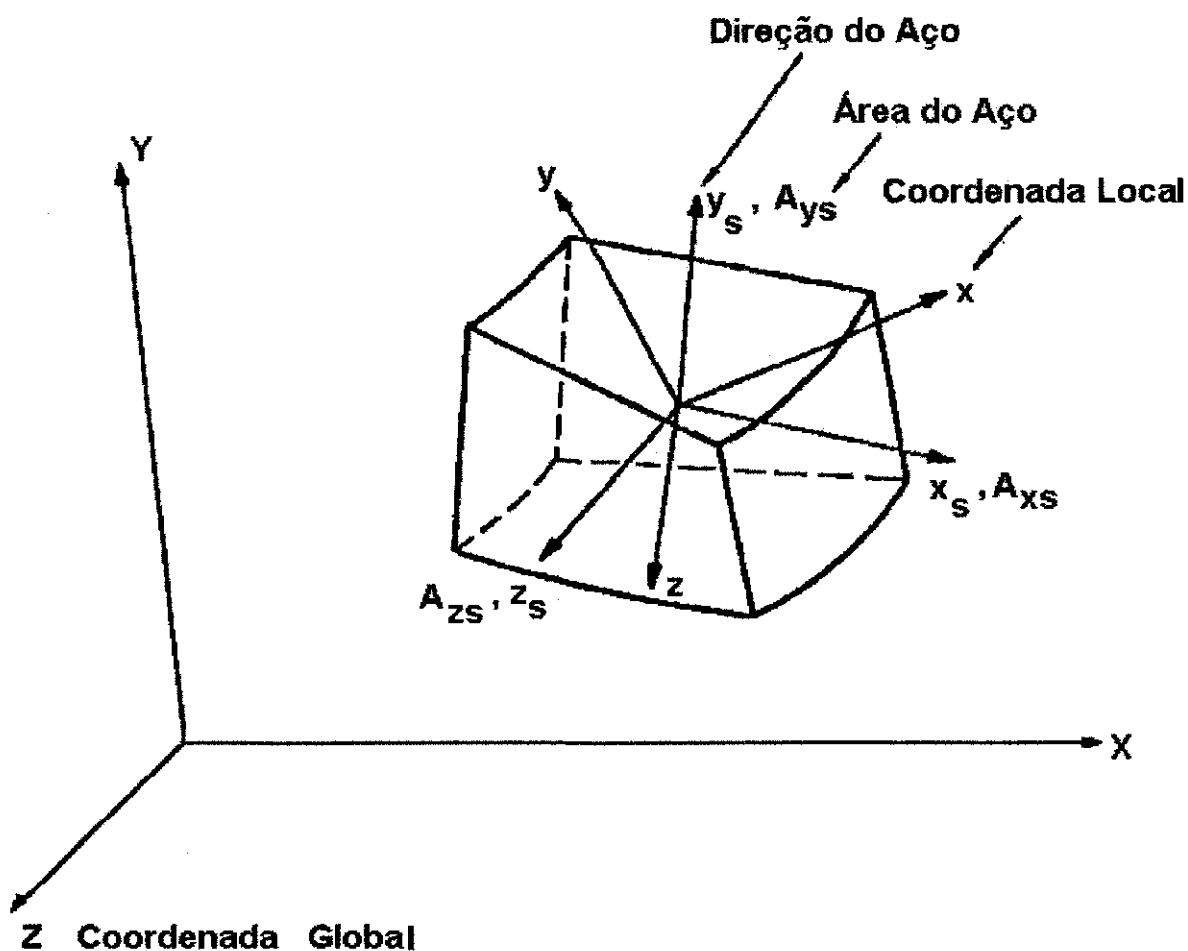


FIGURA D.21 - Sistema de Coordenadas Para Transformação das Áreas do Aço

### D.8.2 - Modelo Plástico "cap model" Para Concreto Simples

O modelo de plasticidade do concreto empregado no pacote de propriedades do material é baseado no trabalho de Green et al (1973).

As feições deste modelo incluem:

- Superfície de escoamento consistindo de dois segmentos:

a) Um envelope de encruamento que é restringido para se mover apenas na direção para fora da origem. Este envelope de falha é da forma:

$$f_1(J_1, \sqrt{J_2}, \varepsilon^p) = Y_1 [Y_2 - Y_3 \exp(J_1 / Y_4)] [1 - \exp((J_1 - Y_5) / Y_6)] + Y_{24} - \sqrt{J_2} \quad \text{D.96}$$

Onde  $f_1 \geq 0$

b) Um "cap" de encruamento da deformação que também se move apenas na direção para fora da origem, mas se move independentemente da envoltória de encruamento (Figura D.22, pág. 292). O Parâmetro do "cap" é da família das elipses da forma:

$$f_2(J_1, \sqrt{J_2}, \varepsilon^p) = \frac{(\sqrt{J_2})^2}{(\sqrt{2y_{25}})^2} + \frac{(J_1)^2}{\left(\frac{\sqrt{2Y_7}}{\sqrt{2y_{25}}}\right)^2} - 1 \quad \text{D.97}$$

Onde  $f_2 \geq 0$  e  $1/\sqrt{2Y_7}$  é o raio do maior para o menor eixo.

- Encruamento isotrópico

- Regime de fluxo associado para descrever o comportamento do material no estado de deformação contínua irreversível.

Desde que duas superfícies de escoamento se movam independentemente, é necessário ter um regime de endurecimento para cada segmento. Os regimes de endurecimento são dados abaixo:

$$h_1 = Y_8 \frac{1 - Y_9 \left[ 1 - \exp\left( Y_{10} \sqrt{I_2^P} / (1 - Y_{11} J_1) \right) \right]}{Y_{12} - Y_{13} J_1} \quad \text{D.98}$$

para  $f_1 \geq 0$ , onde  $\sqrt{I_2^P}$  é o segundo invariante do deviatório da deformação plástica e

$$h_2 = Y_{14} \sqrt{J_2} \left[ 1 - \exp\left( -\sqrt{J_2} / Y_{15} \right) \right] \frac{\exp\left( -J_2^2 / Y_{16} \right)}{1 - Y_{20} J_1} - Y_{17} \left[ 1 - \exp\left( J_1 / Y_{18} \right) \right] \exp\left( J_1 / Y_{19} \right)$$

para  $f_2 \geq 0$  D.99

Os coeficientes de  $Y_1$  até  $Y_{25}$  nas equações acima são parâmetros de ajuste do modelo.

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	Atribuir valores para B, G e RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 1 NSPLIT = 0 NITER = 0
Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	Atribuir valores para DELTA e CONV NVM = 0 MAXITR = Número máximo de subdivisões da deformação aceitável ICOMPS = 2 ITYPE = 0

Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	De $G_1$ até $G_{20} = 0.0$ (inserir três dados em branco)
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	<p>De <math>B_1</math> até <math>B_{40} = 0.0</math> (inserir cinco dados em branco)</p> <p>Atribuir valores de <math>Y_1</math> até <math>Y_{25}</math>. Os seguintes valores exemplo representam um modelo concreto executável (Adhan, 1975)</p> <p><math>Y_1 = f'_c / 7</math>  <math>Y_2 = 12.2</math>  <math>Y_3 = 11.0</math>  <math>Y_4 = 40000.0</math>  <math>Y_5 = 800.0</math>  <math>Y_6 = 700.0</math>  <math>Y_7 = 2.0</math>  <math>Y_8 = 1.0 \times 10^{-6}</math>  <math>Y_9 = 100.0</math>  <math>Y_{10} = 120.0</math>  <math>Y_{11} = 1.0 \times 10^{-4}</math>  <math>Y_{12} = 2.0</math>  <math>Y_{13} = 7.0 \times 10^{-5}</math>  <math>Y_{14} = 2.4 \times 10^{-4} \times  f'_c / 7000 </math>  <math>Y_{15} = 4000.0</math>  <math>Y_{16} = 8.0 \times 10^{15}</math>  <math>Y_{17} = 7.02 \times 10^{-2} \times  f'_c / 7000 </math>  <math>Y_{18} = 1.35 \times 10^{13}</math>  <math>Y_{19} = 6.0 \times 10^4</math>  <math>Y_{20} = 0.0005</math>  De <math>Y_{21}</math> até <math>Y_{24} = 0.0</math>  <math>Y_{25} = 5.0 \times 10^7</math></p> <p>Observar que os valores de <math>Y_1</math> até <math>Y_{25}</math> são dados no sistema de unidades polegada-pound-segundo.</p>

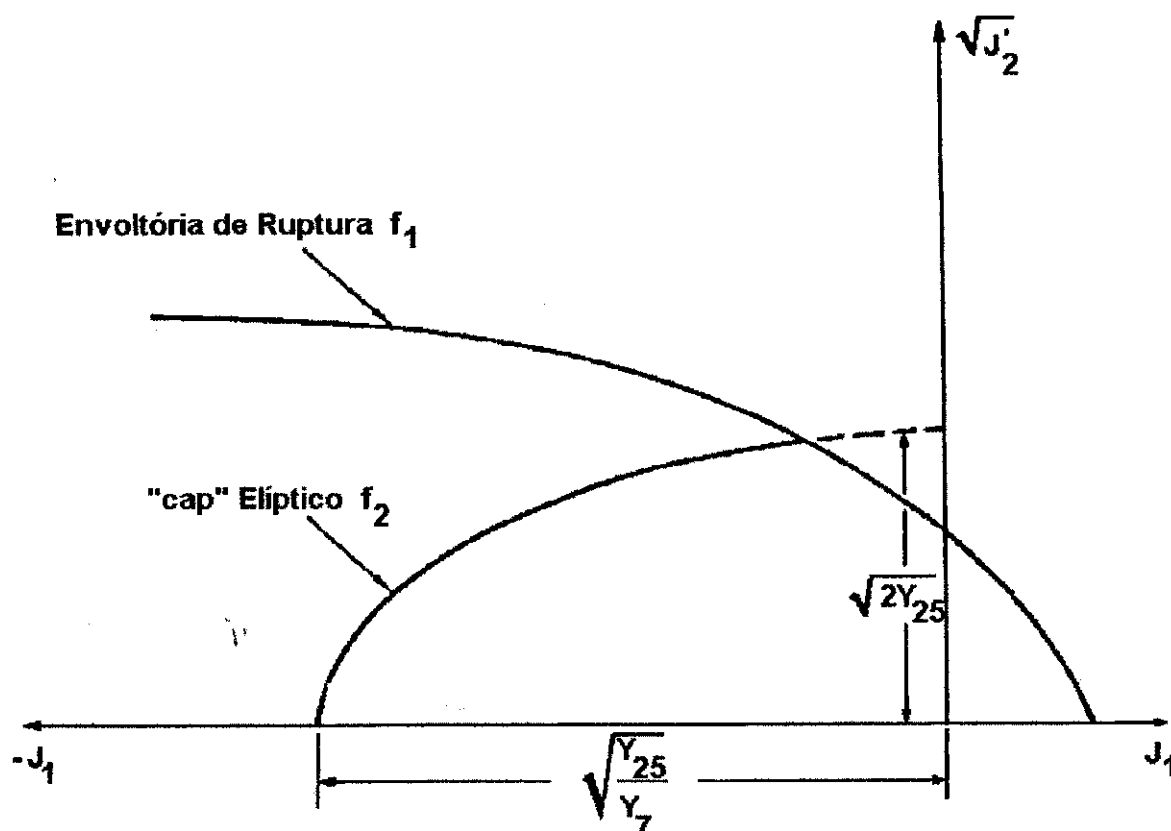


FIGURA D.22 - Modelo "cap" Para o Concreto

#### D.9 - MODELOS DE JUNTAS

As feições deste modelo incluem:

- Relação tensão/deformação bilinear normal
- Capacidade do esforço de tensão para fraturas intactas
- Formulação de plasticidade não associada a escorregamento e dilatação
- Esforço de cisalhamento residual e de pico
- Taxa de decréscimo da dilatação para aumento do cumulativo do escorregamento

Abaixo são mostradas as equações que controlam as relações constitutivas dos elementos de juntas:

**Tensão/ deformação normal:**

$$\Delta\sigma = \begin{cases} B_2(\Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon_D) & \sigma \leq -B_4 \\ B_3(\Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon_D) & \sigma > -B_4 \end{cases} \quad \text{D.100}$$

Para fraturas intactas

$$\text{se } (\sigma + \Delta\sigma) > B_5 \text{ então } \sigma = 0 \quad \text{D.101}$$

Para fraturas previamente danificadas

$$\text{se } (\sigma + \Delta\sigma) > B_5 \text{ então } \sigma = 0 \quad \text{D.102}$$

**Dilatação:**

$$\dot{v} = \left(1 + \frac{\sigma}{G_3}\right)^{G_9} * G_7 \quad \text{D.103}$$

$$\Delta\varepsilon_D = \begin{cases} \dot{v} \left(1 - \frac{\Gamma}{G_{10}}\right) \Delta\Gamma & \Gamma + \Delta\Gamma \leq G_{10} \\ 0 & \Gamma + \Delta\Gamma > G_{10} \end{cases}$$

**Resistência ao Cisalhamento de Pico:**

a) Equação de Patton

$$\text{Atribuir } Y_{21} = 1 \quad \text{D.104}$$

$$\tau_p = \begin{cases} G_{13} - \sigma [\tan \tan^{-1} G_6 + \tan^{-1} G_7] & \sigma \geq -G_3 \\ G_{13} + G_3 [\tan \tan^{-1} G_6 + \tan^{-1} G_7] - (\sigma + G_3) G_{12} & \sigma < -G_3 \end{cases} \quad \text{D.105}$$

b) Equação e Ladanyi e Archambault

Atribuir  $Y_{21} = 1$

D.106

$$\tau_p = \frac{-\sigma(1+a_s)(\dot{\nu} + G_6) + a_s S_R}{1 - (1-a_s)\dot{\nu}G_6}$$

D.107

Onde:

$$a_s = 1 - \left(1 + \frac{\sigma}{G_3}\right)^{G_8}$$

$$S_R = G_4 \frac{\sqrt{1+G_5} - 1}{G_5} \left(1 - \frac{G_5\sigma}{G_4}\right)^{1/2}$$

D.108

**Resistência ao Cisalhamento Residual:**

$$\tau_r = \begin{cases} \tau_p \left( G_{11} - \frac{1 - G_{11}}{G_4} \sigma \right) & \sigma \geq -G_4 \\ \tau_p & \sigma < -G_4 \end{cases}$$

109

**Resistência ao Cisalhamento:**

$$\tau_{max} = \tau_r + \left(1 - \frac{\Gamma}{G_{10}}\right) (\tau_p - \tau_r) \quad \Gamma \leq G_{10}$$

D.110

Os coeficientes do material necessários para implementar este modelo são:

Grupo de dados 7.9.1 (pág. 268)	B = 0.0 G = 0.0 atribuir valor para RHO
Grupo de dados 7.9.2 (pág. 269)	NISO = 0 NPL = 0 NVISC = 0 ITER = 0 NSPLIT = 0 NITER = Número máximo de iterações no loop da regra de escoamento



Grupo de dados 7.9.3 (pág. 270)	<p>DELTA = tamanho máximo do incremento para subdivisões da deformação (deve ser negativo de modo a ativar a subdivisão)</p> <p>CONV = critério de convergência</p> <p>NVM = 0</p> <p>MAXITR = número máximo de subdivisões da deformação</p> <p>ICOMPS = Opção de finalização de execução se 0, encerra a execução se o loop de iteração não convergir se 1, continua mesmo que não haja convergência (Deve ser atribuído o valor 1 apenas para a opção de depuração do programa)</p> <p>ITYPE = 0</p>
Grupo de dados 7.9.4 (pág. 271)	<p><math>G_1 = 0.0</math></p> <p><math>G_2 = G =</math> módulo de cisalhamento elástico</p> <p><math>G_3 = -\sigma_T =</math> Pressão de transição na qual a junta deixa de ser mais fraca do que a parede da rocha (atribuir valor positivo)</p> <p><math>G_4 = -q_U =</math> esforço compressivo não confinado da parede de rocha (atribuir valor positivo)</p> <p><math>G_5^2 = n =</math> valor absoluto da taxa de esforço compressivo para o esforço de tensão uniaxial da parede de rocha (atribuir valor positivo)</p> <p><math>G_6 = \tan \phi_{11} =</math> tangente do ângulo de fricção para fratura</p> <p><math>G_7 = \tan i =</math> tangente do ângulo de inclinação das asperezas</p> <p><math>G_8^3 = K_1 =</math> expoente empírico</p> <p><math>G_9 = K_2 =</math> expoente empírico</p> <p><math>G_{10} = \Gamma_M =</math> quantidade de número de subdivisões da deformação na qual a degradação das rugosidades ocorre</p> <p><math>G_{11} = B_0 =</math> taxa de resistência ao cisalhamento residual / pico para tensões normais baixas</p> <p><math>G_{12}^4 = \tan \phi_r =</math> tangente do ângulo de fricção residual</p> <p><math>G_{13}^5 = C_0 =</math> Esforço de cisalhamento coesivo para fratura</p> <p>De <math>G_{14}</math> até <math>G_{20} = 0.0</math></p>
Grupo de dados 7.9.5 (pág. 272)	<p><math>B_1 = 0.0</math></p> <p><math>B_2 = E_1 =</math> resistência normal da junta por contato pleno</p> <p><math>B_3 = E_2 =</math> resistência normal da junta para zona de transição</p> <p><math>B_4 = -\sigma_1 =</math> tensão compressiva requerida para estabelecer o contato pleno (atribuir valor positivo)</p> <p><math>B_5 = \sigma_c =</math> tensão normal na qual o contato ocorre</p> <p>De <math>B_6</math> até <math>B_{39} = 0.0</math></p> <p><math>B_{40} =</math> valor da deformação abaixo do qual é utilizado o refinamento da deformação (atribuir valor positivo)</p> <p>De <math>Y_1</math> até <math>Y_{20} = 0.0</math></p> <p><math>Y_{21} = 1</math> ou <math>2</math> dependendo da escolha da equação para a resistência de pico</p> <p>De <math>Y_{22}</math> até <math>Y_{25} = 0.0</math></p>

<sup>2</sup> Parâmetro utilizado apenas na equação de Ladanyi e Archambault ( $Y_{21}=2$ )

<sup>3</sup> Parâmetro usado apenas na equação de Patton ( $Y_{21}=1$ )

<sup>4</sup> Parâmetro usado apenas na equação de Patton ( $Y_{21}=1$ )

<sup>5</sup> Parâmetro usado apenas na equação de Patton ( $Y_{21}=1$ )

## APÊNDICE E

### ELEMENTOS ISOPARAMÉTRICOS

Sabe-se que podemos dividir os elementos finitos em famílias, um acréscimo no número de nós de uma determinada família caracteriza cada novo membro dela e presumivelmente o número de elementos necessários para se obter uma solução adequada que rapidamente decresce.

Elementos uni, bi e tridimensionais podem ser mapeados em formas distorcidas como indicado nas Figuras E.1 e E.2.

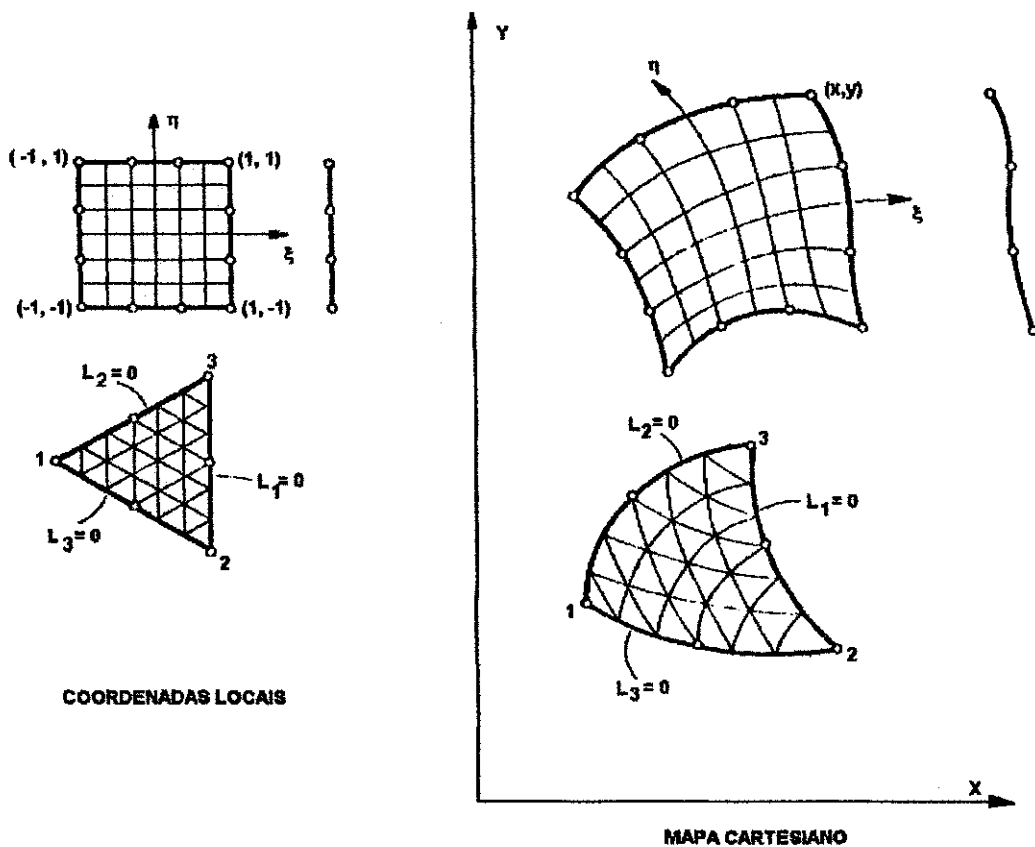


Figura E.1 - Mapeamento Bidimensional de Alguns Elementos

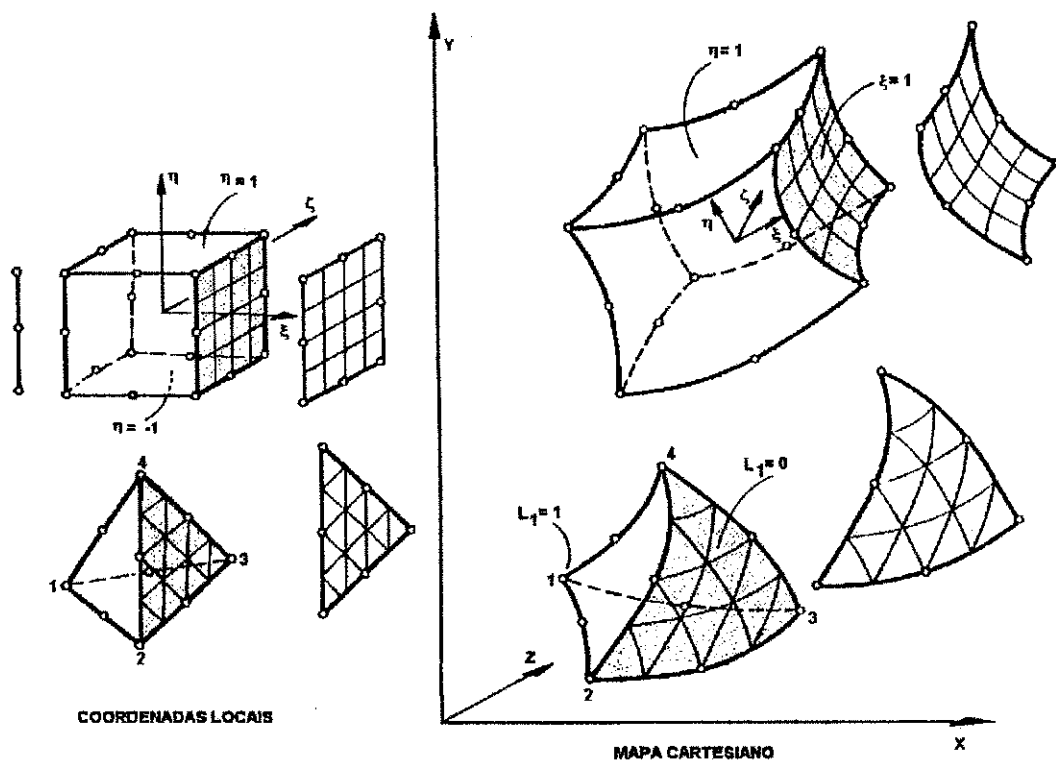


Figura E.2 - Mapeamento Tridimensional de Alguns Elementos

Nestas Figuras são mostradas as coordenadas  $\xi, \zeta, \eta$  ou  $L1, L2, L3, L4$  podem ser distorcidas para novas coordenadas quando plotadas no plano cartesiano.

Não apenas elementos bidimensionais podem ser distorcidos em outros de duas dimensões mas o mapeamento destes pode ser tornado em três dimensões como indicado na Figura E.2, distorcido no espaço tridimensional. A aplicação deste princípio geralmente gera uma correspondência entre as coordenadas cartesianas e curvilineares na seguinte forma:

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = f \begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{Bmatrix} \text{ ou } f \begin{Bmatrix} L1 \\ L2 \\ L3 \\ L4 \end{Bmatrix}$$

E.1

Uma vez que as relações entre as coordenadas são conhecidas, as funções de forma podem ser especificadas em coordenadas locais e pelas transformações das propriedades dos elementos estabelecidos.

**E.1 - Utilização das Funções e Forma no Estabelecimento das Transformações da Coordenada.**

Um método conveniente no estabelecimento das transformações da coordenada é usar as funções de forma já derivadas para representar a variação da função desconhecida ( $\phi$ ). Se escrevermos:

$$x = N_1 x_1 + N_2 x_2 \dots = N \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} = N \cdot x$$

$$y = N_1 y_1 + N_2 y_2 \dots = N \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} = N \cdot y$$

$$z = N_1 z_1 + N_2 z_2 \dots = N \begin{Bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix} = N \cdot z$$

**E.2**

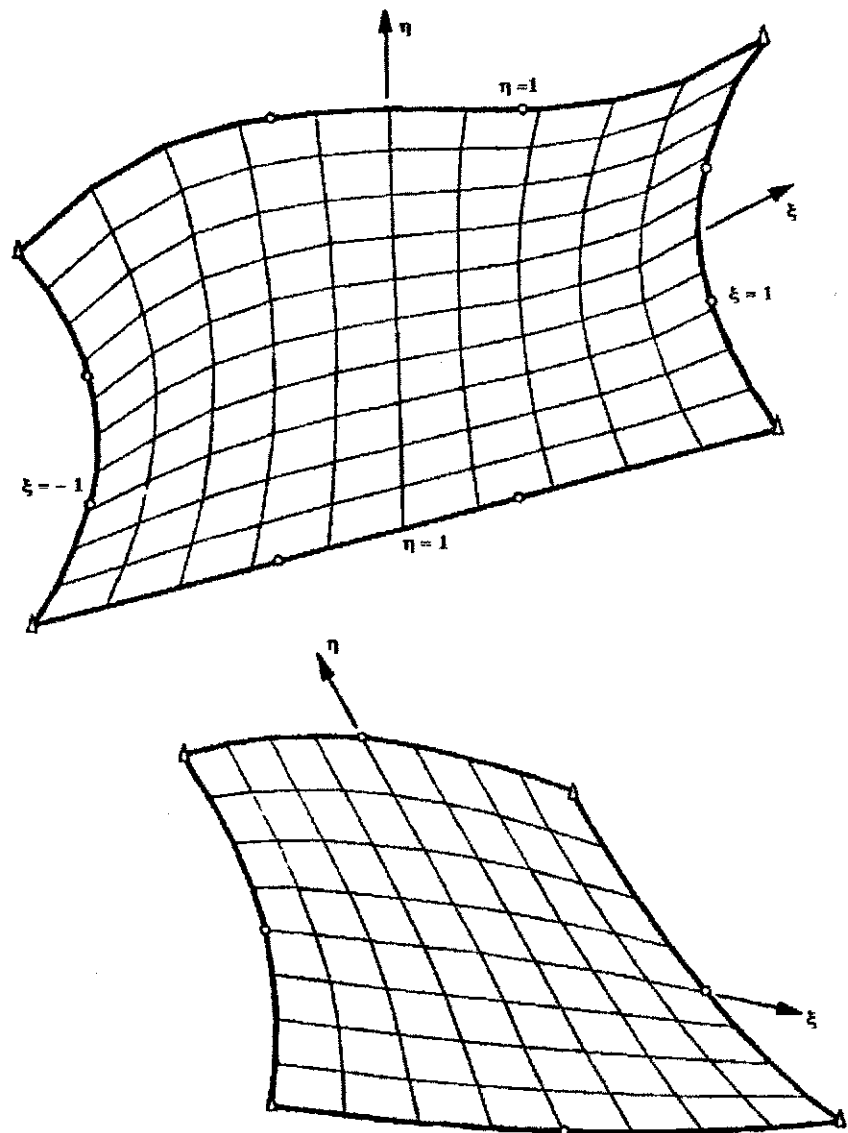
Onde  $N'$  são as funções de forma dadas em termos de coordenadas locais, ficando dessa forma disponível a relação da forma. Os pontos com coordenadas  $x_1$ ,  $y_1$  e  $z_1$  etc. consistirão em pontos apropriados do elemento de fronteira (como forma da definição

geral da função de forma nós sabemos que elas tem um valor de unidade no ponto em questão e zero fora dele).

A cada atribuição da coordenada local corresponde um grupo de coordenadas cartesianas globais e geralmente apenas uma é atribuída. A não-unicidade pode provocar, algumas vezes, uma violenta distorção.

O conceito de utilização das funções de forma do elemento para a determinação das coordenadas curvilineares foi inicialmente mencionado por Taig (1961), na primeira aplicação das relações lineares quadrilaterais básicas. Irons (1966) generalizou a idéia para outros elementos.

Na Figura E.3 é mostrada uma distorção atual dos elementos baseados nos membros cúbicos e quadráticos da família "serendipity". Pode-se observar a relação existente entre as coordenadas locais ( $\xi, \eta$ ) e as globais ( $x, y$ ). Se os pontos fixos são tais que ocorre uma violenta distorção então a não-unicidade pode ocorrer de modo indicado em uma das duas situações.



**Figura E.3 - Plotagem das Coordenadas Curvilíneas Para Elementos Cúbicos e Parabólicos.**

A já mencionada condição de mapeamento ponto-a-ponto (como visto na Figura E.3) é que o sinal desta quantidade deve permanecer imutável em todos os pontos do domínio mapeado.

Pode ser mostrado que com uma transformação paramétrica baseada nas funções de forma lineares, a condição necessária é que nenhum ângulo interno (tal como  $\alpha$  na Figura E.4 seja maior que  $180^\circ$ ) (Strang, 1973). Nas transformações baseadas nas

funções parabólicas do tipo "serendipity", é necessário, ainda, acrescentar à esta condição o fato de que os nós nos meios dos lados estejam a  $1/3$  da distância entre cantos adjacentes (Jordan, 1970). Para funções cúbicas tais regras gerais são incompatíveis e a verificação no sinal do determinante do jacobiano é necessária.

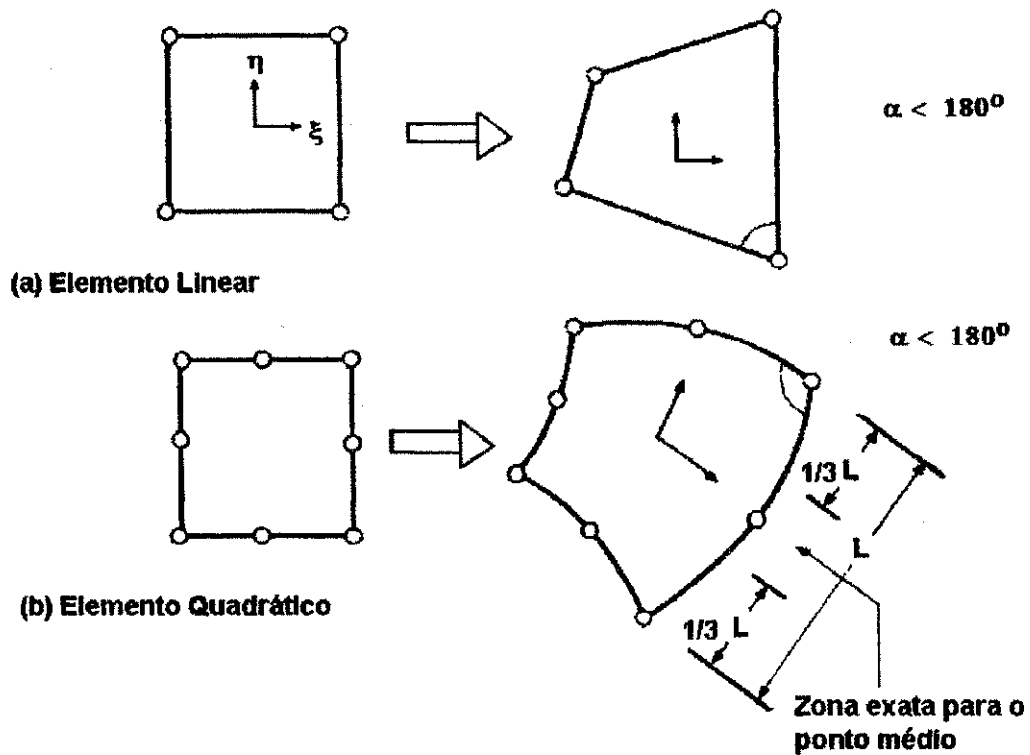


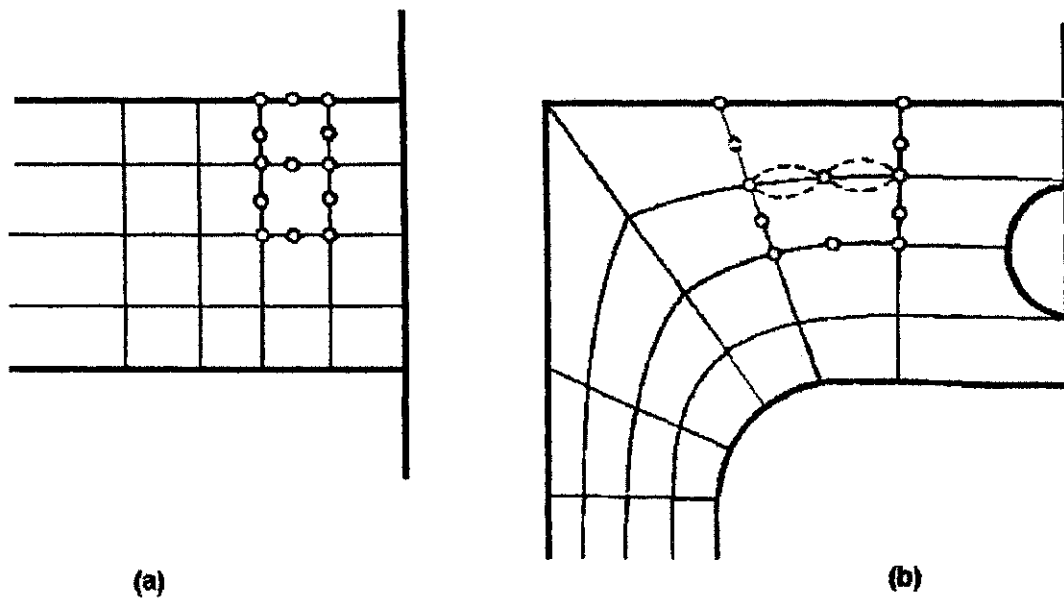
Figura E.4 - Regras Para a Unicidade. do Mapeamento (a) e (b)

**E.2 - Conformidade geométrica de elementos**

Enquanto foi mostrado que pelo uso da transformação das funções de forma de cada elemento originário mapeia uma única parte do objeto real, é importante que a subdivisão dentro deste novo elemento curvado não deve deixar vazios. A possibilidade de tais vazios é indicada na Figura E.5.

*Teorema 1 : Se dois elementos adjacentes são gerados do "original" na qual a função de forma satisfaz as necessidades de continuidade então os elementos distorcidos serão contínuos.*

Este teorema é óbvio, como em tais casos a unicidade de qualquer função  $\phi$  necessária pela continuidade é simplesmente relocada pela unicidade de  $x$ ,  $y$  ou da coordenada  $z$ . Como para elementos adjacentes são atribuídas as mesmas coordenadas aos nós, a continuidade é implícita. Nós de novos elementos distorcidos não precisam necessariamente serem locados apenas em pontos para as quais as funções de forma são especificadas. Outras atribuições de nós podem ser acrescentadas em interfaces ou fronteiras.



**Figura E.5 - Compatibilidade Necessária na Subdivisão do Espaço Real**



### E.3 - Variação da Função Desconhecida Dentro dos Elementos Distorcidos Curvilíneos. Continuidade

Com a forma dos elementos agora definidas pela função de forma  $N'$  a variação de  $\varphi$  desconhecido, deve ser especificada antes do estabelecimento das propriedades do elemento. Esta é mostrada mais convenientemente em termos de coordenadas locais curvilíneas pela seguintes relação:

$$\varphi = N a^e \quad \text{E.3}$$

onde  $a^e$  lista os valores dos nós.

*Teorema 2 : Se as funções de forma  $N$  são tais que a continuidade de  $\varphi$  é preservada na coordenada do elemento original - então as necessidades de continuidade deverão ser satisfeitas em elementos distorcidos.*

Os valores nodais podem ou não ser associados com os mesmos nós como usado para especificar a geometria do elemento. Se os mesmos pontos definem a geometria e os pontos de análise do elementos finito, ou seja, se  $N = N'$  as funções de forma definindo a geometria e a função são as mesmas, o elemento é então chamado isoparamétrico

### E.4 - Avaliação das Matrizes dos Elementos (Transformação em Coordenadas $\xi, \eta, \zeta$ )

Para realizar a análise do elemento finito as matrizes que definem as propriedades dos elementos, rigidez, etc. devem ser encontradas. Estas matrizes devem ser da forma:

$$\int_v G dv \quad \text{E.4}$$

onde a matriz  $\mathbf{G}$  depende de  $\mathbf{N}$  ou suas derivadas com relação às coordenadas globais. Como exemplo tem-se a matriz de rigidez:

$$\int_V \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dv \quad \text{E.5}$$

e os vetores associados:

$$\int_V \mathbf{N}^T \mathbf{b} dv \quad \text{E.6}$$

Para uma classe particular de problemas elásticos as matrizes de  $\mathbf{B}$  são dadas explicitamente por suas componentes. Para problemas planos temos:

$$\mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \quad \text{E.7}$$

Em problemas de elasticidade a matriz  $\mathbf{G}$  é, desse modo, uma função das primeiras derivadas de  $\mathbf{N}$  e nesta situação surgirá em muitas outras classes de problemas. Em todos a continuidade de  $C_0$  é necessária.

Para avaliar tais matrizes observar que duas transformações são necessárias. Em primeiro lugar como  $N_i$  é definida em termos de coordenadas locais (curvilineares) é necessário projetar alguns meios de expressar as derivadas globais do tipo de ocorre na equação E.7, em termos de derivadas locais. Em segundo lugar o elemento de volume (ou superfície) sobre a qual a integração tem que ser executada, precisa ser expressa em termos de coordenadas locais com mudança apropriada nos limites de integração.

Considerar o grupo de coordenadas locais  $\xi, \eta, \zeta$ , e o grupo de coordenadas globais correspondentes  $x, y$  e  $z$ . Usando a regra da diferenciação parcial podemos escrever a derivada em relação a  $\xi$  como:

$$\frac{\partial N_i}{\partial \xi} = \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \xi} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial \xi} \quad \text{E.8}$$

Realizando a mesma diferenciação com relação às outras duas coordenadas e escrevendo a matriz temos:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} = \mathbf{J} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} \quad \text{E.9}$$

O lado esquerdo da matriz E.9 pode ser avaliado como como as funções  $N_i$  são especificadas em termos de coordenadas locais. Além disso, como  $x, y$  e  $z$  são explicitamente dadas pela relação definindo as coordenadas curvilíneas, a matriz  $\mathbf{J}$ , pode ser encontrada explicitamente em termos de coordenadas locais. Esta matriz é conhecida como matriz jacobiana.

Para encontrar as derivadas globais, invertemos  $\mathbf{J}$  e escrevemos:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \quad \text{E.10}$$

Em termos de funções de forma definindo a transformação da coordenada  $\mathbf{N}'$  (como dito anteriormente, só são idênticos com as funções de forma  $\mathbf{N}$  quando é usada a formulação isoparamétrica). Temos:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \xi} x_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \xi} y_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \xi} z_i, \\ \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \eta} x_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \eta} y_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \eta} z_i, \\ \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \zeta} x_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \zeta} y_i, & \sum \frac{\partial N'_i}{\partial \zeta} z_i, \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N'_1}{\partial \xi} & \frac{\partial N'_2}{\partial \xi} & \frac{\partial N'_3}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N'_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N'_2}{\partial \eta} & \frac{\partial N'_3}{\partial \eta} \\ \frac{\partial N'_1}{\partial \zeta} & \frac{\partial N'_2}{\partial \zeta} & \frac{\partial N'_3}{\partial \zeta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \quad \text{E.11}$$

Para transformar as variáveis e a região com relação a qual integração é feita, um processo padrão será usado envolvendo o determinante  $\mathbf{J}$ . Assim, o volume do elemento se torna:

$$dx dy dz = \det \mathbf{J} d\xi d\eta d\zeta \quad \text{E.12}$$

O tipo de transformação é válida independente do número de coordenadas usadas.

Assumindo-se que o inverso de  $\mathbf{J}$  pode ser encontrado temos que reduzir a avaliação das propriedades do elemento para que possamos chegar à integral do tipo E.4 (pág. 403).

Podemos escrever como:

$$\int_{\Omega} G(x, y, z) d\Omega = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \mathbf{G}(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta \quad \text{E.13}$$

Se as coordenadas curvilíneas são do tipo normalizado baseadas no prisma reto, sem dúvida a integração é executada dentro de um prisma e não em uma forma distorcida complicada, dessa maneira explicando os limites da integração simples. Problemas similares uni e bidimensionais resultarão em integrais com relação a uma ou duas coordenadas dentro dos limites simples.

## APÊNDICE F

ENTRADA DE DADOS DOS PROBLEMAS-EXEMPLOS PARA A VALIDAÇÃO DA  
VERSÃO MODIFICADA

## F.1 - ENTRADA DE DADOS USADA PARA DEFINIR O PROBLEMA-EXEMPLO 1.

*START				0	0	0.0	
SAMPLE	PROBLEM	1	BRAZILIAN	TEST			
*GENE				0	0		
0	1	48	1	4			
10	1	0	0	0	1	1.0	
10	10	1	1	2	13	12	
10	10	1	12	13	24	23	
10	10	1	23	24	35	34	
10	10	1	34	35	46	45	
9	10	1	46	47	57	56	
9	10	1	56	57	67	66	
8	10	1	67	68	77	76	
7	10	1	77	78	86	85	
6	10	1	86	87	94	93	
4	10	1	95	96	101	100	
1	1	0	1	1	1	1	1
			0.0		10.000	0.0	
10	1	0	1	1	1	1	1
					0.0	1.000	0.0
11	1	1	1	1	1	1	1
					0.0	0.000	0.0
12	0	0	1	1	1	1	1
					1.0	9.950	0.0
13	0	0	1	1	1	1	1
			1		1.0	9.000	0.0
21	0	0	1	1	1	1	1
					1.0	1.000	0.0
22	0	1	1	1	1	1	1
					1.0	0.000	0.0
23	0	0	1	1	1	1	1
					2.0	9.798	0.0
24	0	0	1	1	1	1	1
			1		2.0	9.000	0.0
32	0	0	1	1	1	1	1
					2.0	1.000	0.0
33	0	1	1	1	1	1	1
					2.0	0.000	0.0
34	0	0	1	1	1	1	1
					3.0	9.539	0.0
35	0	0	1	1	1	1	1
			1		3.0	9.000	0.0
43	0	0	1	1	1	1	1
					3.0	1.000	0.0
44	0	1	1	1	1	1	1
					3.0	0.000	0.0
45	0	0	1	1	1	1	1
					3.5	9.367	0.0
46	0	0	1	1	1	1	1
					4.0	9.165	0.0
47	0	0	1	1	1	1	1
			1		4.0	8.000	0.0
54	0	0	1	1	1	1	1
					4.0	1.000	0.0
55	0	1	1	1	1	1	1
					4.0	0.000	0.0
56	0	0	1	1	1	1	1
					5.0	8.660	0.0
57	0	0	1	1	1	1	1
			1		5.0	8.000	0.0
64	0	0	1	1	1	1	1
					5.0	1.000	0.0
65	0	1	1	1	1	1	1
					5.0	0.000	0.0
66	0	0	1	1	1	1	1
					5.5	8.352	0.0
67	0	0	1	1	1	1	1
			1		6.0	8.000	0.0
74	0	0	1	1	1	1	1
					6.0	1.000	0.0
75	0	1	1	1	1	1	1
					6.0	0.000	0.0
76	0	0	1	1	1	1	1
					6.5	7.599	0.0
77	0	0	1	1	1	1	1
					7.071	7.071	0.0
78	0	0	1	1	1	1	1
			1		7.0	6.000	0.0
83	0	0	1	1	1	1	1
					7.0	1.000	0.0
84	0	1	1	1	1	1	1
					7.0	0.000	0.0
85	0	0	1	1	1	1	1
					7.599	6.500	0.0
86	0	0	1	1	1	1	1
			1		8.0	6.000	0.0
91	0	0	1	1	1	1	1
					8.0	1.000	0.0
92	0	1	1	1	1	1	1
					8.0	0.000	0.0
93	0	0	1	1	1	1	1
					8.352	5.500	0.0
94	0	0	1	1	1	1	1
					8.660	5.000	0.0
95	0	0	1	1	1	1	1
					9.165	4.000	0.0
96	0	0	1	1	1	1	1
			1		9.0	3.000	0.0
98	0	0	1	1	1	1	1
					9.0	1.000	0.0
99	0	1	1	1	1	1	1
					9.0	0.000	0.0
100	0	0	1	1	1	1	1
					9.367	3.500	0.0
101	0	0	1	1	1	1	1
					9.539	3.000	0.0
102	0	0	1	1	1	1	1
					9.798	2.000	0.0
103	0	0	1	1	1	1	1
					9.950	1.000	0.0
104	0	1	1	1	1	1	1
					10.0	0.000	0.0
1	2	-1	1	-5000.0		0	0

```

*NOPL      0.0      0.0      0.0
*LINK      0          0          0
0
*PLOT      3.5      .03      .04
0
0
8000.0     4800.0      0.0
0          0          0          0          0          0
0.0        0.0        0          0          0          0
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.0        0.
0.0        0.0        0.0        0          0          0.0        0.0        0.
0.0
0.0
1 0 0 0 0 0 0
1.0 0 1.0
*EXECUTE      100      0
*OUTPUT       1      0
OPTN ELEM
OPTN NODE
STOP
ELEM      1  83  1
NODE      1 104  1
STOP
*EXIT
    
```



F.3 - ENTRADA DE DADOS USADA PARA DEFINIR O PROBLEMA-EXEMPLO 2b.

```

*START          0          0          0.0
SAMPLE PROBLEM 2 ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER
*AUTO          0          0
  1  1  0  0  12  4F
    12.0  12.0  24.0  24.0
    1.2  0.0  1.2  0.0
  1  0  0  0  0
  1
  10
    0.01  3  1
    -1.0  0.0  0.0  0.0
  1  1  0  3  1  0  0  0  0
 -1  0  1  0  0  0  0  0  0
  1  0  0  0  0  0  0  0  0
  1  1  0  1  3  0  0  0  0
 -2  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  3  1  0  3  3  0  0  0  0
 -2  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
*NOPL          0.0          0.0          0.0
*LINK          0          0
  0
*NOPL          0.0          0.0          0.0
  0
  1.25+6  1.0+6  1.0
    0  1  0  0  1  10
    -1.0  0.01  0  0  0  0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0
    1.0  0.0  156.0  0.0  0.0  0.0  0.0  156.0
    0.0  0.0  0.0  1  0  0.0  0.0  0.0
    0.0
    0.0  0.0  0.0
  19  0  0
    1.0  0  117.360
    2.0  0  127.080
    3.0  0  136.810
    4.0  0  146.530
    5.0  0  156.350
    6.0  0  156.350
    7.0  0  156.350
    8.0  0  164.580
    9.0  0  172.920
    10.0  0  184.390
    11.0  0  184.390
    12.0  0  184.390
    13.0  0  192.360
    14.0  0  201.860
    15.0  0  201.860
    16.0  0  201.860
    17.0  0  212.000
    18.0  0  212.000
    19.0  0  212.000
*EXECUTE          1          0
*OUTPUT          1          0
OPTN ELEM
OPTN NODE
STOP
ELEM  1  10  1
NODE  1  22  1
STOP
*EXIT

```



F.4 - ENTRADA DE DADOS USADA PARA DEFINIR O PROBLEMA-EXEMPLO 3

```

*START          0          0          0.0
SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD
*GENE          1          0
  0   1   23   0   4
 16  1   0   0   0   1   1.0
  1  10   2   1   4   3
  1  10   5   2   3   6
  1  10   6   3   8   7
  1  10   3   4   8   8
  1  10  10   5   6  11
  1  10  11   6   7  12
  1  10  12   7  14  13
  1  10   7   8  15  14
  1  10   8   9  16  15
  1  10  17  10  11  18
  1  10  18  11  12  19
  1  10  19  12  13  20
  1  10  13  14  21  20
  1  10  14  15  22  21
  1  10  15  16  23  22
  1  10  24  17  18  25
  1  1  1  1  1  1  1  0.0  0.0  0.0
  2  1  0  1  1  1  1  0.0  2.0  0.0
  3  0  0  1  1  1  1  2.0  2.0  0.0
  4  0  1  1  1  1  1  2.0  0.0  0.0
  5  1  0  1  1  1  1  0.0  4.0  0.0
  6  0  0  1  1  1  1  2.0  4.0  0.0
  7  0  0  1  1  1  1  2.0  4.0  0.0
  8  0  0  1  1  1  1  4.0  2.0  0.0
  9  0  1  1  1  1  1  4.0  0.0  0.0
 10  1  0  1  1  1  1  0.0  6.0  0.0
 11  0  0  1  1  1  1  2.0  6.0  0.0
 12  0  0  1  1  1  1  4.0  6.0  0.0
 13  0  0  1  1  1  1  5.5  5.5  0.0
 14  0  0  1  1  1  1  6.0  4.0  0.0
 15  0  0  1  1  1  1  6.0  2.0  0.0
 16  0  1  1  1  1  1  6.0  0.0  0.0
 17  1  0  1  1  1  1  0.0  8.0  0.0
 18  0  0  1  1  1  1  2.0  8.0  0.0
 19  0  0  1  1  1  1  4.5  7.5  0.0
 20  0  0  1  1  1  1  6.25  6.25  0.0
 21  0  0  1  1  1  1  7.5  4.5  0.0
 22  0  0  1  1  1  1  8.0  2.0  0.0
 23  0  1  1  1  1  1  8.0  0.0  0.0
*NOPL          0.0          0.0          0.0
*AUTO          1          0
  6   2   0  14  10  4F
    0.0  2.588  5.000  7.071  8.660  9.659  10.0  0.0
 23.044 49.652 86.0 86.0 86.0 86.0 0.0 187.564
404.145 700.0 700.0 700.0 700.0 700.0
    10.0  9.659  8.660  7.071  5.000  5.588  0.0  86.0
    86.0  86.0  86.0  49.652 23.044  0.0  700.0  700.0
    700.0  700.0 404.145 187.564  0.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  0  0  0  0  1.0
  1  1  1  1  1  1
  7  10
-1  2  0  3.0
-3  2  0  3.0
-5  2  0  3.0
-7  2  0  3.0
-9  2  0  3.0

```

-11	2	0	3.0						
-13	2	0	3.0						
-1	4	0	32.0						
-3	4	0	33.129						
-5	4	0	36.950						
-7	4	0	45.255						
-9	4	0	36.950						
-11	4	0	33.129						
-13	4	0	32.000						
0.01	4	0							
1	1	0	1	5	0	0	0	0	
-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	1	0	13	5	0	0	0	0	
-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	5	0	7	5	0	0	0	0	
-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	5	0	13	5	0	0	0	0	
-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
*PLOT		0.0							
0		0.0							
*LINK			0						
0									
*PLOT		4.0							
4		1.0							
	0.0								
	120.0								
	120.0	0.0							
	1044.0	323.0							
	323.0	1044.0							
21	123								
1	0	2							
2	0	2							
3	0	2							
4	0	2							
5	0	2							
6	0	2							
7	0	2							
8	0	2							
9	0	2							
10	0	2							
11	0	2							
12	0	2							
13	0	2							
14	0	2							
15	0	2							
16	0	2							
17	0	2							
18	0	2							
19	0	2							
20	0	2							
21	0	2							
1	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	-5000.0-10000.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0





F.5 - ENTRADA DE DADOS USADA PARA DEFINIR O PROBLEMA-EXEMPLO 4

F.5.1 - MALHA DO TIPO 4 X 16.

```

*START          0          0          0.0
SAMPLE PROBLEM 4 CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH
*AUTO          0          0
  4          1          0          0 -10          4F
    0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          16.0          16.0          16.0
    16.0          16.0
    2.0          1.5          1.0          0.5          0.0          2.0          1.5          1.0
    0.5          0.0
  1          0          0          0          1          1.0
  1          0          0          0          1          1.0
  1          0          0          0          1          1.0
  1          0          0          0          1          1.0
  1          1          1          1
16
  0.01          12          5
0.37891          0.0 -0.04688          0.0
0.42578          0.0 -0.14063          0.0
0.51953          0.0 -0.23438          0.0
0.66016          0.0 -0.32813          0.0
  0.0          0.0 -3.0          0.0
  9          1          0          9          3          0          0          0          0
-3          0          1          0          1          1          1          1
  0          0          0          0          0          0
  7          1          0          9          1          0          0          0          0
-3          0          1          1          1          1          1          1
  0          0          0          0          0          0
  1          1          0          3          1          0          0          0          0
-3          0          1          0          1          1          1          1
  0          0          0          0          0          0
  3          1          0          7          1          0          0          0          0
-3          0          0          0          1          1          1          1
  0          0          0          0          0          0
  1          1          0          3          1          0          0          0          0
-1          0          1          0          0          1          0          0
  5          0          0          4          0          0
  3          1          0          5          1          0          0          0          0
-1          0          1          0          0          1          0          0
  5          0          0          3          0          0
  5          1          0          7          1          0          0          0          0
-1          0          1          0          0          1          0          0
  5          0          0          2          0          0
  7          1          0          9          1          0          0          0          0
-1          0          1          0          0          1          0          0
  5          0          0          1          0          0
  1          3          0          3          3          0          0          0          0
-1          0          0          0          0          1          0          0
  0          0          0          4          0          0
  3          3          0          5          3          0          0          0          0
-1          0          0          0          0          1          0          0
  0          0          0          3          0          0
  5          3          0          7          3          0          0          0          0
-1          0          0          0          0          1          0          0
  0          0          0          2          0          0
  7          3          0          9          3          0          0          0          0
-1          0          0          0          0          1          0          0
  0          0          0          1          0          0
*NOPL          0.0          0.0          0.0
*LINK          0          0
  0
*PLOT          1.0          -1.0          -1.0
  0
  0          0
  2.5E+7          1.154E+7          0.0
  0          0          0          0          0          0          0
  0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0
  0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0
  0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0
  0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0          0.0
  
```

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0
0.0							
0.0	-386.1	0.0					
1	0	0					
1.0	0	1.0E+5					
*EXECUTE		100	0				
*OUTPUT		1	0				
OPTN ELEM							
OPTN NODE							
STOP							
ELEM	1	64	1				
NODE	1	85	1				
STOP							
*EXIT							



1  
1  
ITINERARY OPTION STAR  
1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 1

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

\*GENE  
NUMBER OF SLIP ELEMENTS TO BE ADDED = 0  
NUMBER OF ELEMENT GROUPS TO BE ADDED = 1  
NUMBER OF NODAL POINT CARDS TO BE READ = 48  
NUMBER OF LOAD CARDS TO BE READ = 1  
MAXIMUM POSITION NUMBER OF ELEMENT CONNECTIVITY = 4  
COORDINATE UNIT CONVERSION FLAG = 0  
TIME UNIT CONVERSION FLAG = 0

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 2

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

INPUT ELEMENT DATA FOR \*GENERATE OPTION

MATERIAL PROPERTY DATA

MATERIAL PROPERTY SET NUMBER = 1  
STEEL PCT DATA SET NUMBER = 0  
REBAR PROPERTY SET NUMBER = 0  
NUMBER OF INTEGRATION POINTS = 2  
STIFFNESS FORMULATION TYPE = 1  
ELEMENT THICKNESS (2-D) = 1.0000  
NUMBER OF ELEMENT DATA CARDS = 10

ONO. ELEMENTS TO GENERATE	ELEMENT TYPE	NODE INCR	CONNECTIVITY							
			I	J	K	L	II	JJ	KK	LL
10	10	1	1	2	13	12				
10	10	1	12	13	24	23				
10	10	1	23	24	35	34				
10	10	1	34	35	46	45				
9	10	1	46	47	57	56				
9	10	1	56	57	67	66				
8	10	1	67	68	77	76				
7	10	1	77	78	86	85				
6	10	1	86	87	94	93				
4	10	1	95	96	101	100				

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 3

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

\* ELEMENTS ADDED \*

ELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	CONNECTIVITY								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	2D S	1	2	13	12					1	0	0	2	1	1.00	12
2	2D S	2	3	14	13					1	0	0	2	1	1.00	12
3	2D S	3	4	15	14					1	0	0	2	1	1.00	12
4	2D S	4	5	16	15					1	0	0	2	1	1.00	12



5	2D S	5	6	17	16	1	0	0	2	1	1.00	12
6	2D S	6	7	18	17	1	0	0	2	1	1.00	12
7	2D S	7	8	19	18	1	0	0	2	1	1.00	12
8	2D S	8	9	20	19	1	0	0	2	1	1.00	12
9	2D S	9	10	21	20	1	0	0	2	1	1.00	12
10	2D S	10	11	22	21	1	0	0	2	1	1.00	12
11	2D S	11	12	23	22	1	0	0	2	1	1.00	12
12	2D S	12	13	24	23	1	0	0	2	1	1.00	12
13	2D S	13	14	25	24	1	0	0	2	1	1.00	12
14	2D S	14	15	26	25	1	0	0	2	1	1.00	12
15	2D S	15	16	27	26	1	0	0	2	1	1.00	12
16	2D S	16	17	28	27	1	0	0	2	1	1.00	12
17	2D S	17	18	29	28	1	0	0	2	1	1.00	12
18	2D S	18	19	30	29	1	0	0	2	1	1.00	12
19	2D S	19	20	31	30	1	0	0	2	1	1.00	12
20	2D S	20	21	32	31	1	0	0	2	1	1.00	12
21	2D S	21	22	33	32	1	0	0	2	1	1.00	12
22	2D S	22	23	34	33	1	0	0	2	1	1.00	12
23	2D S	23	24	35	34	1	0	0	2	1	1.00	12
24	2D S	24	25	36	35	1	0	0	2	1	1.00	12
25	2D S	25	26	37	36	1	0	0	2	1	1.00	12
26	2D S	26	27	38	37	1	0	0	2	1	1.00	12
27	2D S	27	28	39	38	1	0	0	2	1	1.00	12
28	2D S	28	29	40	39	1	0	0	2	1	1.00	12
29	2D S	29	30	41	40	1	0	0	2	1	1.00	12
30	2D S	30	31	42	41	1	0	0	2	1	1.00	12
31	2D S	31	32	43	42	1	0	0	2	1	1.00	12
32	2D S	32	33	44	43	1	0	0	2	1	1.00	12
33	2D S	33	34	45	44	1	0	0	2	1	1.00	12
34	2D S	34	35	46	45	1	0	0	2	1	1.00	12
35	2D S	35	36	47	46	1	0	0	2	1	1.00	12
36	2D S	36	37	48	47	1	0	0	2	1	1.00	12
37	2D S	37	38	49	48	1	0	0	2	1	1.00	12
38	2D S	38	39	50	49	1	0	0	2	1	1.00	12
39	2D S	39	40	51	50	1	0	0	2	1	1.00	12
40	2D S	40	41	52	51	1	0	0	2	1	1.00	12
41	2D S	41	42	53	52	1	0	0	2	1	1.00	12
42	2D S	42	43	54	53	1	0	0	2	1	1.00	12
43	2D S	43	44	55	54	1	0	0	2	1	1.00	12
44	2D S	44	45	56	55	1	0	0	2	1	1.00	12
45	2D S	45	46	57	56	1	0	0	2	1	1.00	12
46	2D S	46	47	58	57	1	0	0	2	1	1.00	12
47	2D S	47	48	59	58	1	0	0	2	1	1.00	12
48	2D S	48	49	60	59	1	0	0	2	1	1.00	12
49	2D S	49	50	61	60	1	0	0	2	1	1.00	12
50	2D S	50	51	62	61	1	0	0	2	1	1.00	12
51	2D S	51	52	63	62	1	0	0	2	1	1.00	12
52	2D S	52	53	64	63	1	0	0	2	1	1.00	12
53	2D S	53	54	65	64	1	0	0	2	1	1.00	12
54	2D S	54	55	66	65	1	0	0	2	1	1.00	12
55	2D S	55	56	67	66	1	0	0	2	1	1.00	12
56	2D S	56	57	68	67	1	0	0	2	1	1.00	12
57	2D S	57	58	69	68	1	0	0	2	1	1.00	12
58	2D S	58	59	70	69	1	0	0	2	1	1.00	12
59	2D S	59	60	71	70	1	0	0	2	1	1.00	12
60	2D S	60	61	72	71	1	0	0	2	1	1.00	12
61	2D S	61	62	73	72	1	0	0	2	1	1.00	12
62	2D S	62	63	74	73	1	0	0	2	1	1.00	12
63	2D S	63	64	75	74	1	0	0	2	1	1.00	12
64	2D S	64	65	76	75	1	0	0	2	1	1.00	12
65	2D S	65	66	77	76	1	0	0	2	1	1.00	12
66	2D S	66	67	78	77	1	0	0	2	1	1.00	12
67	2D S	67	68	79	78	1	0	0	2	1	1.00	12
68	2D S	68	69	80	79	1	0	0	2	1	1.00	12
69	2D S	69	70	81	80	1	0	0	2	1	1.00	12
70	2D S	70	71			1	0	0	2	1	1.00	12
71	2D S	71	72			1	0	0	2	1	1.00	12
72	2D S	72				1	0	0	2	1	1.00	12

64	2D S	72	73	82	81	1	0	0	2	1	1.00	10
65	2D S	73	74	83	82	1	0	0	2	1	1.00	10
66	2D S	74	75	84	83	1	0	0	2	1	1.00	10
67	2D S	77	78	86	85	1	0	0	2	1	1.00	9
68	2D S	78	79	87	86	1	0	0	2	1	1.00	9
69	2D S	79	80	88	87	1	0	0	2	1	1.00	9
70	2D S	80	81	89	88	1	0	0	2	1	1.00	9
71	2D S	81	82	90	89	1	0	0	2	1	1.00	9
72	2D S	82	83	91	90	1	0	0	2	1	1.00	9
73	2D S	83	84	92	91	1	0	0	2	1	1.00	9
74	2D S	86	87	94	93	1	0	0	2	1	1.00	8
75	2D S	87	88	95	94	1	0	0	2	1	1.00	8
76	2D S	88	89	96	95	1	0	0	2	1	1.00	8
77	2D S	89	90	97	96	1	0	0	2	1	1.00	8
78	2D S	90	91	98	97	1	0	0	2	1	1.00	8
79	2D S	91	92	99	98	1	0	0	2	1	1.00	8
80	2D S	95	96	101	100	1	0	0	2	1	1.00	6
81	2D S	96	97	102	101	1	0	0	2	1	1.00	6
82	2D S	97	98	103	102	1	0	0	2	1	1.00	6
83	2D S	98	99	104	103	1	0	0	2	1	1.00	6

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

EMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

PAGE 4

\* ELEMENTS ADDED \*

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	I	J	C O N N E C T I V I T Y						MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
				K	L	II	JJ	KK	LL							
1	2D S	1	2	13	12					1	0	0	2	1	1.00	12
2	2D S	2	3	14	13					1	0	0	2	1	1.00	12
3	2D S	3	4	15	14					1	0	0	2	1	1.00	12
4	2D S	4	5	16	15					1	0	0	2	1	1.00	12
5	2D S	5	6	17	16					1	0	0	2	1	1.00	12
6	2D S	6	7	18	17					1	0	0	2	1	1.00	12
7	2D S	7	8	19	18					1	0	0	2	1	1.00	12
8	2D S	8	9	20	19					1	0	0	2	1	1.00	12
9	2D S	9	10	21	20					1	0	0	2	1	1.00	12
10	2D S	10	11	22	21					1	0	0	2	1	1.00	12
11	2D S	12	13	24	23					1	0	0	2	1	1.00	12
12	2D S	13	14	25	24					1	0	0	2	1	1.00	12
13	2D S	14	15	26	25					1	0	0	2	1	1.00	12
14	2D S	15	16	27	26					1	0	0	2	1	1.00	12
15	2D S	16	17	28	27					1	0	0	2	1	1.00	12
16	2D S	17	18	29	28					1	0	0	2	1	1.00	12
17	2D S	18	19	30	29					1	0	0	2	1	1.00	12
18	2D S	19	20	31	30					1	0	0	2	1	1.00	12
19	2D S	20	21	32	31					1	0	0	2	1	1.00	12
20	2D S	21	22	33	32					1	0	0	2	1	1.00	12
21	2D S	23	24	35	34					1	0	0	2	1	1.00	12
22	2D S	24	25	36	35					1	0	0	2	1	1.00	12
23	2D S	25	26	37	36					1	0	0	2	1	1.00	12
24	2D S	26	27	38	37					1	0	0	2	1	1.00	12
25	2D S	27	28	39	38					1	0	0	2	1	1.00	12
26	2D S	28	29	40	39					1	0	0	2	1	1.00	12
27	2D S	29	30	41	40					1	0	0	2	1	1.00	12
28	2D S	30	31	42	41					1	0	0	2	1	1.00	12
29	2D S	31	32	43	42					1	0	0	2	1	1.00	12

30	2D S	32	33	44	43	1	0	0	2	1	1.00	12
31	2D S	34	35	46	45	1	0	0	2	1	1.00	12
32	2D S	35	36	47	46	1	0	0	2	1	1.00	12
33	2D S	36	37	48	47	1	0	0	2	1	1.00	12
34	2D S	37	38	49	48	1	0	0	2	1	1.00	12
35	2D S	38	39	50	49	1	0	0	2	1	1.00	12
36	2D S	39	40	51	50	1	0	0	2	1	1.00	12
37	2D S	40	41	52	51	1	0	0	2	1	1.00	12
38	2D S	41	42	53	52	1	0	0	2	1	1.00	12
39	2D S	42	43	54	53	1	0	0	2	1	1.00	12
40	2D S	43	44	55	54	1	0	0	2	1	1.00	12
41	2D S	46	47	57	56	1	0	0	2	1	1.00	11
42	2D S	47	48	58	57	1	0	0	2	1	1.00	11
43	2D S	48	49	59	58	1	0	0	2	1	1.00	11
44	2D S	49	50	60	59	1	0	0	2	1	1.00	11
45	2D S	50	51	61	60	1	0	0	2	1	1.00	11
46	2D S	51	52	62	61	1	0	0	2	1	1.00	11
47	2D S	52	53	63	62	1	0	0	2	1	1.00	11
48	2D S	53	54	64	63	1	0	0	2	1	1.00	11
49	2D S	54	55	65	64	1	0	0	2	1	1.00	11
50	2D S	56	57	67	66	1	0	0	2	1	1.00	11
51	2D S	57	58	68	67	1	0	0	2	1	1.00	11
52	2D S	58	59	69	68	1	0	0	2	1	1.00	11
53	2D S	59	60	70	69	1	0	0	2	1	1.00	11
54	2D S	60	61	71	70	1	0	0	2	1	1.00	11
55	2D S	61	62	72	71	1	0	0	2	1	1.00	11
56	2D S	62	63	73	72	1	0	0	2	1	1.00	11
57	2D S	63	64	74	73	1	0	0	2	1	1.00	11
58	2D S	64	65	75	74	1	0	0	2	1	1.00	11
59	2D S	67	68	77	76	1	0	0	2	1	1.00	10
60	2D S	68	69	78	77	1	0	0	2	1	1.00	10
61	2D S	69	70	79	78	1	0	0	2	1	1.00	10
62	2D S	70	71	80	79	1	0	0	2	1	1.00	10
63	2D S	71	72	81	80	1	0	0	2	1	1.00	10
64	2D S	72	73	82	81	1	0	0	2	1	1.00	10
65	2D S	73	74	83	82	1	0	0	2	1	1.00	10
66	2D S	74	75	84	83	1	0	0	2	1	1.00	10
67	2D S	77	78	86	85	1	0	0	2	1	1.00	9
68	2D S	78	79	87	86	1	0	0	2	1	1.00	9
69	2D S	79	80	88	87	1	0	0	2	1	1.00	9
70	2D S	80	81	89	88	1	0	0	2	1	1.00	9
71	2D S	81	82	90	89	1	0	0	2	1	1.00	9
72	2D S	82	83	91	90	1	0	0	2	1	1.00	9
73	2D S	83	84	92	91	1	0	0	2	1	1.00	9
74	2D S	86	87	94	93	1	0	0	2	1	1.00	8
75	2D S	87	88	95	94	1	0	0	2	1	1.00	8
76	2D S	88	89	96	95	1	0	0	2	1	1.00	8
77	2D S	89	90	97	96	1	0	0	2	1	1.00	8
78	2D S	90	91	98	97	1	0	0	2	1	1.00	8
79	2D S	91	92	99	98	1	0	0	2	1	1.00	8
80	2D S	95	96	101	100	1	0	0	2	1	1.00	6
81	2D S	96	97	102	101	1	0	0	2	1	1.00	6
82	2D S	97	98	103	102	1	0	0	2	1	1.00	6
83	2D S	98	99	104	103	1	0	0	2	1	1.00	6

0CONTROLLING BANDWIDTH = 12 AT ELEMENT 1

SAMPLE PROBLEM 1   BRAZILIAN TEST

PAGE 5

OINPUT NODE DATA FOR \*GENERATE OPTION

NODE NUMBER	BOUNDARY CODE	NODE INCR	C O O R D I N A T E S		
			X-ORD	Y-ORD	Z-ORD
1	1 0 1 1 1 1	1	.0000	10.0000	.0000
10	1 0 1 1 1 1	0	.0000	1.0000	.0000
11	1 1 1 1 1 1	0	.0000	.0000	.0000
12	0 0 1 1 1 1	0	1.0000	9.9500	.0000
13	0 0 1 1 1 1	1	1.0000	9.0000	.0000
21	0 0 1 1 1 1	0	1.0000	1.0000	.0000
22	0 1 1 1 1 1	0	1.0000	.0000	.0000
23	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	9.7980	.0000
24	0 0 1 1 1 1	1	2.0000	9.0000	.0000
32	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	1.0000	.0000
33	0 1 1 1 1 1	0	2.0000	.0000	.0000
34	0 0 1 1 1 1	0	3.0000	9.5390	.0000
35	0 0 1 1 1 1	1	3.0000	9.0000	.0000
43	0 0 1 1 1 1	0	3.0000	1.0000	.0000
44	0 1 1 1 1 1	0	3.0000	.0000	.0000
45	0 0 1 1 1 1	0	3.5000	9.3670	.0000
46	0 0 1 1 1 1	0	4.0000	9.1650	.0000
47	0 0 1 1 1 1	1	4.0000	8.0000	.0000
54	0 0 1 1 1 1	0	4.0000	1.0000	.0000
55	0 1 1 1 1 1	0	4.0000	.0000	.0000
56	0 0 1 1 1 1	0	5.0000	8.6600	.0000
57	0 0 1 1 1 1	1	5.0000	8.0000	.0000
64	0 0 1 1 1 1	0	5.0000	1.0000	.0000
65	0 1 1 1 1 1	0	5.0000	.0000	.0000
66	0 0 1 1 1 1	0	5.5000	8.3520	.0000
67	0 0 1 1 1 1	1	6.0000	8.0000	.0000
74	0 0 1 1 1 1	0	6.0000	1.0000	.0000
75	0 1 1 1 1 1	0	6.0000	.0000	.0000
76	0 0 1 1 1 1	0	6.5000	7.5990	.0000
77	0 0 1 1 1 1	0	7.0710	7.0710	.0000
78	0 0 1 1 1 1	1	7.0000	6.0000	.0000
83	0 0 1 1 1 1	0	7.0000	1.0000	.0000
84	0 1 1 1 1 1	0	7.0000	.0000	.0000
85	0 0 1 1 1 1	0	7.5990	6.5000	.0000
86	0 0 1 1 1 1	1	8.0000	6.0000	.0000
91	0 0 1 1 1 1	0	8.0000	1.0000	.0000
92	0 1 1 1 1 1	0	8.0000	.0000	.0000
93	0 0 1 1 1 1	0	8.3520	5.5000	.0000
94	0 0 1 1 1 1	0	8.6600	5.0000	.0000
95	0 0 1 1 1 1	0	9.1650	4.0000	.0000
96	0 0 1 1 1 1	1	9.0000	3.0000	.0000
98	0 0 1 1 1 1	0	9.0000	1.0000	.0000
99	0 1 1 1 1 1	0	9.0000	.0000	.0000
100	0 0 1 1 1 1	0	9.3670	3.5000	.0000
101	0 0 1 1 1 1	0	9.5390	3.0000	.0000
102	0 0 1 1 1 1	0	9.7980	2.0000	.0000
103	0 0 1 1 1 1	0	9.9500	1.0000	.0000
104	0 1 1 1 1 1	0	10.0000	.0000	.0000

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

PAGE 6

0	NODE NUMBER	LOAD DIRECTION	LOAD TYPE	LOAD HISTORY NUMBER	LOAD COEFFICIENT (IN2)
	1	2	-1	1	-5.000000E+03

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

PAGE 7

0	NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	COORDINATES			LOAD COUNT
			X-(IN)	Y-(IN)	Z-(IN)	
	1	1 0 1 1 1 1	.000000	10.000000	.000000	1
	2	1 0 1 1 1 1	.000000	9.000000	.000000	
	3	1 0 1 1 1 1	.000000	8.000000	.000000	
	4	1 0 1 1 1 1	.000000	7.000000	.000000	
	5	1 0 1 1 1 1	.000000	6.000000	.000000	
	6	1 0 1 1 1 1	.000000	5.000000	.000000	
	7	1 0 1 1 1 1	.000000	4.000000	.000000	
	8	1 0 1 1 1 1	.000000	3.000000	.000000	
	9	1 0 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000	
	10	1 0 1 1 1 1	.000000	1.000000	.000000	
	11	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000	
	12	0 0 1 1 1 1	1.000000	9.950000	.000000	
	13	0 0 1 1 1 1	1.000000	9.000000	.000000	
	14	0 0 1 1 1 1	1.000000	8.000000	.000000	
	15	0 0 1 1 1 1	1.000000	7.000000	.000000	
	16	0 0 1 1 1 1	1.000000	6.000000	.000000	
	17	0 0 1 1 1 1	1.000000	5.000000	.000000	
	18	0 0 1 1 1 1	1.000000	4.000000	.000000	
	19	0 0 1 1 1 1	1.000000	3.000000	.000000	
	20	0 0 1 1 1 1	1.000000	2.000000	.000000	
	21	0 0 1 1 1 1	1.000000	1.000000	.000000	
	22	0 1 1 1 1 1	1.000000	.000000	.000000	
	23	0 0 1 1 1 1	2.000000	9.798000	.000000	
	24	0 0 1 1 1 1	2.000000	9.000000	.000000	
	25	0 0 1 1 1 1	2.000000	8.000000	.000000	
	26	0 0 1 1 1 1	2.000000	7.000000	.000000	
	27	0 0 1 1 1 1	2.000000	6.000000	.000000	
	28	0 0 1 1 1 1	2.000000	5.000000	.000000	
	29	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000	
	30	0 0 1 1 1 1	2.000000	3.000000	.000000	
	31	0 0 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000	
	32	0 0 1 1 1 1	2.000000	1.000000	.000000	
	33	0 1 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000	
	34	0 0 1 1 1 1	3.000000	9.539000	.000000	
	35	0 0 1 1 1 1	3.000000	9.000000	.000000	
	36	0 0 1 1 1 1	3.000000	8.000000	.000000	
	37	0 0 1 1 1 1	3.000000	7.000000	.000000	
	38	0 0 1 1 1 1	3.000000	6.000000	.000000	
	39	0 0 1 1 1 1	3.000000	5.000000	.000000	
	40	0 0 1 1 1 1	3.000000	4.000000	.000000	
	41	0 0 1 1 1 1	3.000000	3.000000	.000000	

42	0 0 1 1 1 1	3.000000	2.000000	.000000
43	0 0 1 1 1 1	3.000000	1.000000	.000000
44	0 1 1 1 1 1	3.000000	.000000	.000000
45	0 0 1 1 1 1	3.500000	9.367000	.000000
46	0 0 1 1 1 1	4.000000	9.165000	.000000
47	0 0 1 1 1 1	4.000000	8.000000	.000000
48	0 0 1 1 1 1	4.000000	7.000000	.000000
49	0 0 1 1 1 1	4.000000	6.000000	.000000
50	0 0 1 1 1 1	4.000000	5.000000	.000000
51	0 0 1 1 1 1	4.000000	4.000000	.000000
52	0 0 1 1 1 1	4.000000	3.000000	.000000
53	0 0 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000
54	0 0 1 1 1 1	4.000000	1.000000	.000000
55	0 1 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000
56	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.660000	.000000
57	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.000000	.000000
58	0 0 1 1 1 1	5.000000	7.000000	.000000
59	0 0 1 1 1 1	5.000000	6.000000	.000000
60	0 0 1 1 1 1	5.000000	5.000000	.000000
61	0 0 1 1 1 1	5.000000	4.000000	.000000
62	0 0 1 1 1 1	5.000000	3.000000	.000000
63	0 0 1 1 1 1	5.000000	2.000000	.000000
64	0 0 1 1 1 1	5.000000	1.000000	.000000
65	0 1 1 1 1 1	5.000000	.000000	.000000
66	0 0 1 1 1 1	5.500000	8.352000	.000000
67	0 0 1 1 1 1	6.000000	8.000000	.000000
68	0 0 1 1 1 1	6.000000	7.000000	.000000
69	0 0 1 1 1 1	6.000000	6.000000	.000000
70	0 0 1 1 1 1	6.000000	5.000000	.000000
71	0 0 1 1 1 1	6.000000	4.000000	.000000
72	0 0 1 1 1 1	6.000000	3.000000	.000000
73	0 0 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000
74	0 0 1 1 1 1	6.000000	1.000000	.000000
75	0 1 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000
76	0 0 1 1 1 1	6.500000	7.599000	.000000
77	0 0 1 1 1 1	7.071000	7.071000	.000000
78	0 0 1 1 1 1	7.000000	6.000000	.000000
79	0 0 1 1 1 1	7.000000	5.000000	.000000
80	0 0 1 1 1 1	7.000000	4.000000	.000000
81	0 0 1 1 1 1	7.000000	3.000000	.000000
82	0 0 1 1 1 1	7.000000	2.000000	.000000
83	0 0 1 1 1 1	7.000000	1.000000	.000000
84	0 1 1 1 1 1	7.000000	.000000	.000000
85	0 0 1 1 1 1	7.599000	6.500000	.000000
86	0 0 1 1 1 1	8.000000	6.000000	.000000
87	0 0 1 1 1 1	8.000000	5.000000	.000000
88	0 0 1 1 1 1	8.000000	4.000000	.000000
89	0 0 1 1 1 1	8.000000	3.000000	.000000
90	0 0 1 1 1 1	8.000000	2.000000	.000000
91	0 0 1 1 1 1	8.000000	1.000000	.000000
92	0 1 1 1 1 1	8.000000	.000000	.000000
93	0 0 1 1 1 1	8.352000	5.500000	.000000
94	0 0 1 1 1 1	8.660000	5.000000	.000000
95	0 0 1 1 1 1	9.165000	4.000000	.000000
96	0 0 1 1 1 1	9.000000	3.000000	.000000
97	0 0 1 1 1 1	9.000000	2.000000	.000000
98	0 0 1 1 1 1	9.000000	1.000000	.000000
99	0 1 1 1 1 1	9.000000	.000000	.000000
100	0 0 1 1 1 1	9.367000	3.500000	.000000



30	2D S	32	33	44	43	1	0	0	2	1	1.00	24
31	2D S	34	35	46	45	1	0	0	2	1	1.00	25
32	2D S	35	36	47	46	1	0	0	2	1	1.00	25
33	2D S	36	37	48	47	1	0	0	2	1	1.00	25
34	2D S	37	38	49	48	1	0	0	2	1	1.00	25
35	2D S	38	39	50	49	1	0	0	2	1	1.00	25
36	2D S	39	40	51	50	1	0	0	2	1	1.00	25
37	2D S	40	41	52	51	1	0	0	2	1	1.00	25
38	2D S	41	42	53	52	1	0	0	2	1	1.00	25
39	2D S	42	43	54	53	1	0	0	2	1	1.00	25
40	2D S	43	44	55	54	1	0	0	2	1	1.00	24
41	2D S	46	47	57	56	1	0	0	2	1	1.00	23
42	2D S	47	48	58	57	1	0	0	2	1	1.00	23
43	2D S	48	49	59	58	1	0	0	2	1	1.00	23
44	2D S	49	50	60	59	1	0	0	2	1	1.00	23
45	2D S	50	51	61	60	1	0	0	2	1	1.00	23
46	2D S	51	52	62	61	1	0	0	2	1	1.00	23
47	2D S	52	53	63	62	1	0	0	2	1	1.00	23
48	2D S	53	54	64	63	1	0	0	2	1	1.00	23
49	2D S	54	55	65	64	1	0	0	2	1	1.00	22
50	2D S	56	57	67	66	1	0	0	2	1	1.00	23
51	2D S	57	58	68	67	1	0	0	2	1	1.00	23
52	2D S	58	59	69	68	1	0	0	2	1	1.00	23
53	2D S	59	60	70	69	1	0	0	2	1	1.00	23
54	2D S	60	61	71	70	1	0	0	2	1	1.00	23
55	2D S	61	62	72	71	1	0	0	2	1	1.00	23
56	2D S	62	63	73	72	1	0	0	2	1	1.00	23
57	2D S	63	64	74	73	1	0	0	2	1	1.00	23
58	2D S	64	65	75	74	1	0	0	2	1	1.00	22
59	2D S	67	68	77	76	1	0	0	2	1	1.00	21
60	2D S	68	69	78	77	1	0	0	2	1	1.00	21
61	2D S	69	70	79	78	1	0	0	2	1	1.00	21
62	2D S	70	71	80	79	1	0	0	2	1	1.00	21
63	2D S	71	72	81	80	1	0	0	2	1	1.00	21
64	2D S	72	73	82	81	1	0	0	2	1	1.00	21
65	2D S	73	74	83	82	1	0	0	2	1	1.00	21
66	2D S	74	75	84	83	1	0	0	2	1	1.00	20
67	2D S	77	78	86	85	1	0	0	2	1	1.00	19
68	2D S	78	79	87	86	1	0	0	2	1	1.00	19
69	2D S	79	80	88	87	1	0	0	2	1	1.00	19
70	2D S	80	81	89	88	1	0	0	2	1	1.00	19
71	2D S	81	82	90	89	1	0	0	2	1	1.00	19
72	2D S	82	83	91	90	1	0	0	2	1	1.00	19
73	2D S	83	84	92	91	1	0	0	2	1	1.00	18
74	2D S	86	87	94	93	1	0	0	2	1	1.00	17
75	2D S	87	88	95	94	1	0	0	2	1	1.00	17
76	2D S	88	89	96	95	1	0	0	2	1	1.00	17
77	2D S	89	90	97	96	1	0	0	2	1	1.00	17
78	2D S	90	91	98	97	1	0	0	2	1	1.00	17
79	2D S	91	92	99	98	1	0	0	2	1	1.00	16
80	2D S	95	96	101	100	1	0	0	2	1	1.00	13
81	2D S	96	97	102	101	1	0	0	2	1	1.00	13
82	2D S	97	98	103	102	1	0	0	2	1	1.00	13
83	2D S	98	99	104	103	1	0	0	2	1	1.00	12

CONTROLLING BANDWIDTH = 25 AT ELEMENT 11



1

A G B A B I A N   A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 1   B R A Z I L I A N   T E S T

PAGE 11

\*   P L O T   C O N T R O L   D A T A   F O R   T H E   M E S H   P L O T   \*

HORIZON VECTOR -   1.000   .000   .000  
VIEW VECTOR   -   .000   .000   -1.000  
PAPER SIZE TO BE USED - 3.5 INCHES  
HEIGHT OF NODAL POINT NUMBERS - .030 INCHES  
HEIGHT OF ELEMENT NUMBERS - .040 INCHES  
NUMBER OF CUTTING PLANES - 0  
ONUMBER OF MATLS AND REBARS=   1   0

1

A G B A B I A N   A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 1   B R A Z I L I A N   T E S T

PAGE 12

\*   M A T E R I A L   D A T A   \*

MATERIAL NO. 1

BULK MODULUS (PSI)                      SHEAR MODULUS (PSI)                      MASS DENSITY (LB- SEC/IN4)  
.80000E+04                                      .48000E+04                                      .00000E+00

ANISOTROPIC FLAG              PLASTICITY FLAG              VISCOUS FLAG              ITERATION FLAG              NO. OF SPLITS              NO. OF ITERATION  
0.                                      0.                                      0.                                      0.                                      0.                                      0.

SPLIT CRITERION              CONVERGENCE CRITERION              VARIABLE MODULUS FLAG              MAX SPLITS              COMPOSITE              PLASTICITY  
.00000E+00                      .00000E+00                                      0.                                      0.                                      0.                                      0.

SHEAR MODULUS COEFFICIENTS

.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00  
.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00

BULK MODULUS COEFFICIENTS

.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00  
.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00  
.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00  
.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00

INELASTICITY COEFFICIENTS

.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00  
.00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   0.  
0.   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00   .00000E+00



SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

PRINT SPECIFICATION

TYPE	FIRST	LAST	OPTION
ELEM	1	83	1
NODE	1	104	1

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-BS)*****						
				XX OR X	YY OR Y	ZZ OR Z	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
				SIGMA(N)	TAU1	TAU2				
1	2D S		.000	-2.3608E+03	-5.1285E+03	0.0000E+00	2.6547E+03			
2	2D S		.000	1.6465E+00	-3.2440E+03	0.0000E+00	9.9730E+02			
3	2D S		.000	1.9229E+02	-2.2793E+03	0.0000E+00	3.9505E+02			
4	2D S		.000	2.6645E+02	-1.7552E+03	0.0000E+00	2.1661E+02			
5	2D S		.000	2.9104E+02	-1.4407E+03	0.0000E+00	1.3067E+02			
6	2D S		.000	3.0260E+02	-1.2401E+03	0.0000E+00	8.3880E+01			
7	2D S		.000	3.0846E+02	-1.1084E+03	0.0000E+00	5.4672E+01			
8	2D S		.000	3.1168E+02	-1.0228E+03	0.0000E+00	3.4522E+01			
9	2D S		.000	3.1341E+02	-9.7102E+02	0.0000E+00	1.9151E+01			
10	2D S		.000	3.1418E+02	-9.4654E+02	0.0000E+00	6.1450E+00			
11	2D S		.000	-6.8051E+02	9.4271E+01	0.0000E+00	3.0525E+02			
12	2D S		.000	-9.0523E+02	-1.3546E+03	0.0000E+00	1.1712E+03			
13	2D S		.000	-1.3668E+02	-1.5044E+03	0.0000E+00	7.9608E+02			
14	2D S		.000	8.5727E+01	-1.3770E+03	0.0000E+00	5.0415E+02			
15	2D S		.000	1.8980E+02	-1.2302E+03	0.0000E+00	3.3043E+02			
16	2D S		.000	2.3904E+02	-1.1099E+03	0.0000E+00	2.2122E+02			
17	2D S		.000	2.6513E+02	-1.0201E+03	0.0000E+00	1.4797E+02			
18	2D S		.000	2.7941E+02	-9.5738E+02	0.0000E+00	9.4879E+01			
19	2D S		.000	2.8709E+02	-9.1778E+02	0.0000E+00	5.3103E+01			
20	2D S		.000	2.9048E+02	-8.9864E+02	0.0000E+00	1.7108E+01			
21	2D S		.000	-2.2703E+02	-1.3282E+02	0.0000E+00	6.0004E+01			
22	2D S		.000	-5.0110E+02	-2.6347E+02	0.0000E+00	4.2771E+02			
23	2D S		.000	-3.6608E+02	-7.1504E+02	0.0000E+00	6.3280E+02			
24	2D S		.000	-9.2644E+01	-8.8361E+02	0.0000E+00	5.2782E+02			
25	2D S		.000	5.7656E+01	-9.1626E+02	0.0000E+00	3.9673E+02			
26	2D S		.000	1.4511E+02	-8.9885E+02	0.0000E+00	2.8744E+02			
27	2D S		.000	1.9535E+02	-8.6891E+02	0.0000E+00	2.0156E+02			
28	2D S		.000	2.2458E+02	-8.4099E+02	0.0000E+00	1.3303E+02			
29	2D S		.000	2.4081E+02	-8.2077E+02	0.0000E+00	7.5709E+01			
30	2D S		.000	2.4808E+02	-8.1033E+02	0.0000E+00	2.4580E+01			
31	2D S		.000	-1.7336E+01	1.8726E+01	0.0000E+00	-3.3431E+01			
32	2D S		.000	-2.2519E+02	-9.5344E+01	0.0000E+00	1.5661E+02			
33	2D S		.000	-2.7483E+02	-3.0064E+02	0.0000E+00	3.3902E+02			
34	2D S		.000	-1.6560E+02	-5.0322E+02	0.0000E+00	3.9445E+02			
35	2D S		.000	-3.4081E+01	-6.1714E+02	0.0000E+00	3.5181E+02			

36	2D S	.000	5.9578E+01	-6.7057E+02	0.0000E+00	2.8192E+02
37	2D S	.000	1.2210E+02	-6.9094E+02	0.0000E+00	2.1046E+02
38	2D S	.000	1.6155E+02	-6.9605E+02	0.0000E+00	1.4441E+02
39	2D S	.000	1.8462E+02	-6.9552E+02	0.0000E+00	8.4084E+01
40	2D S	.000	1.9524E+02	-6.9425E+02	0.0000E+00	2.7589E+01
41	2D S	.000	-6.6226E+01	-3.1118E+01	0.0000E+00	3.6930E+01
42	2D S	.000	-1.6774E+02	-1.4246E+02	0.0000E+00	1.6949E+02
43	2D S	.000	-1.4039E+02	-2.7340E+02	0.0000E+00	2.4488E+02
44	2D S	.000	-7.0213E+01	-3.8995E+02	0.0000E+00	2.5898E+02
45	2D S	.000	4.0011E+00	-4.6883E+02	0.0000E+00	2.3151E+02
46	2D S	.000	6.2222E+01	-5.1707E+02	0.0000E+00	1.8546E+02
47	2D S	.000	1.0316E+02	-5.4437E+02	0.0000E+00	1.3316E+02
48	2D S	.000	1.2862E+02	-5.5862E+02	0.0000E+00	7.9657E+01
49	2D S	.000	1.4076E+02	-5.6461E+02	0.0000E+00	2.6471E+01
50	2D S	.000	-1.3605E+01	-1.4145E+01	0.0000E+00	-1.5351E+01
51	2D S	.000	-6.4700E+01	-5.2367E+01	0.0000E+00	6.4902E+01
52	2D S	.000	-9.4384E+01	-1.4300E+02	0.0000E+00	1.3184E+02
53	2D S	.000	-6.5843E+01	-2.3277E+02	0.0000E+00	1.6564E+02
54	2D S	.000	-2.1735E+01	-3.0898E+02	0.0000E+00	1.6564E+02
55	2D S	.000	-2.2261E+01	-3.6446E+02	0.0000E+00	1.4312E+02
56	2D S	.000	5.6997E+01	-4.0158E+02	0.0000E+00	1.0793E+02
57	2D S	.000	8.0267E+01	-4.2372E+02	0.0000E+00	6.6546E+01
58	2D S	.000	9.1774E+01	-4.3398E+02	0.0000E+00	2.2431E+01
59	2D S	.000	-9.2464E+00	-1.0775E+01	0.0000E+00	-4.2993E+00
60	2D S	.000	-4.1575E+01	-5.7006E+01	0.0000E+00	5.3933E+01
61	2D S	.000	-4.6139E+01	-1.2644E+02	0.0000E+00	8.9573E+01
62	2D S	.000	-2.5962E+01	-1.8705E+02	0.0000E+00	1.0345E+02
63	2D S	.000	4.9943E-01	-2.3827E+02	0.0000E+00	9.7074E+01
64	2D S	.000	2.5419E+01	-2.7570E+02	0.0000E+00	7.7496E+01
65	2D S	.000	4.3332E+01	-2.9975E+02	0.0000E+00	4.9418E+01
66	2D S	.000	5.2620E+01	-3.1148E+02	0.0000E+00	1.6908E+01
67	2D S	.000	-7.4781E+00	-6.0074E+00	0.0000E+00	-3.5309E+00
68	2D S	.000	-1.9780E+01	-4.5602E+01	0.0000E+00	3.4145E+01
69	2D S	.000	-1.9485E+01	-9.6028E+01	0.0000E+00	5.2406E+01
70	2D S	.000	-7.3553E+00	-1.3581E+02	0.0000E+00	5.5542E+01
71	2D S	.000	7.1918E+00	-1.6888E+02	0.0000E+00	4.8099E+01
72	2D S	.000	1.8500E+01	-1.9119E+02	0.0000E+00	3.1894E+01
73	2D S	.000	2.4935E+01	-2.0233E+02	0.0000E+00	1.1135E+01
74	2D S	.000	-4.8128E+00	-2.6679E+00	0.0000E+00	-6.7215E+00
75	2D S	.000	-6.0236E+00	-2.1571E+01	0.0000E+00	1.0515E+01
76	2D S	.000	-4.4693E+00	-5.1670E+01	0.0000E+00	2.1643E+01
77	2D S	.000	-9.3483E-01	-8.1026E+01	0.0000E+00	2.2600E+01
78	2D S	.000	4.8564E+00	-9.9209E+01	0.0000E+00	1.6426E+01
79	2D S	.000	8.2456E+00	-1.0846E+02	0.0000E+00	5.9784E+00
80	2D S	.000	-1.2204E+00	-2.3282E-01	0.0000E+00	-4.0582E+00
81	2D S	.000	-2.2086E+00	-1.6772E+01	0.0000E+00	4.2359E+00
82	2D S	.000	3.7313E-01	-2.5657E+01	0.0000E+00	3.9924E+00
83	2D S	.000	1.3366E+00	-3.0136E+01	0.0000E+00	1.5364E+00

SAMPLE PROBLEM 1   BRAZILIAN TEST

PAGE 18

LOAD STEP =   1      TIME =   1.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	2D	S	-8.989E-02	-3.782E-01	1.560E-01	5.531E-01			
2	2D	S	6.772E-02	-2.704E-01	6.755E-02	2.078E-01			
3	2D	S	6.351E-02	-1.940E-01	4.348E-02	8.230E-02			
4	2D	S	5.877E-02	-1.518E-01	3.102E-02	4.513E-02			
5	2D	S	5.427E-02	-1.261E-01	2.395E-02	2.722E-02			
6	2D	S	5.105E-02	-1.096E-01	1.953E-02	1.747E-02			
7	2D	S	4.880E-02	-9.879E-02	1.667E-02	1.139E-02			
8	2D	S	4.728E-02	-9.173E-02	1.482E-02	7.192E-03			
9	2D	S	4.635E-02	-8.745E-02	1.370E-02	3.990E-03			
10	2D	S	4.590E-02	-8.542E-02	1.317E-02	1.280E-03			
11	2D	S	-5.867E-02	2.203E-02	1.221E-02	6.359E-02			
12	2D	S	-4.722E-02	-9.402E-02	4.708E-02	2.440E-01			
13	2D	S	1.995E-02	-1.225E-01	3.419E-02	1.658E-01			
14	2D	S	3.583E-02	-1.165E-01	2.690E-02	1.050E-01			
15	2D	S	4.145E-02	-1.065E-01	2.167E-02	6.884E-02			
16	2D	S	4.304E-02	-9.747E-02	1.814E-02	4.609E-02			
17	2D	S	4.335E-02	-9.054E-02	1.573E-02	3.083E-02			
18	2D	S	4.323E-02	-8.560E-02	1.412E-02	1.977E-02			
19	2D	S	4.304E-02	-8.246E-02	1.314E-02	1.106E-02			
20	2D	S	4.293E-02	-8.094E-02	1.267E-02	3.564E-03			
21	2D	S	-1.615E-02	-6.339E-03	7.497E-03	1.250E-02			
22	2D	S	-3.627E-02	-1.152E-02	1.593E-02	8.911E-02			
23	2D	S	-1.561E-02	-5.196E-02	2.252E-02	1.318E-01			
24	2D	S	1.069E-02	-7.170E-02	2.034E-02	1.100E-01			
25	2D	S	2.389E-02	-7.756E-02	1.789E-02	8.265E-02			
26	2D	S	3.082E-02	-7.793E-02	1.570E-02	5.988E-02			
27	2D	S	3.438E-02	-7.648E-02	1.403E-02	4.199E-02			
28	2D	S	3.624E-02	-7.476E-02	1.284E-02	2.771E-02			
29	2D	S	3.717E-02	-7.341E-02	1.208E-02	1.577E-02			
30	2D	S	3.756E-02	-7.270E-02	1.171E-02	5.121E-03			
31	2D	S	-1.835E-03	1.922E-03	-2.895E-05	-6.965E-03			
32	2D	S	-1.678E-02	-3.254E-03	6.678E-03	3.263E-02			
33	2D	S	-1.664E-02	-1.933E-02	1.199E-02	7.063E-02			
34	2D	S	-3.317E-03	-3.848E-02	1.393E-02	8.218E-02			
35	2D	S	1.002E-02	-5.072E-02	1.357E-02	7.329E-02			
36	2D	S	1.894E-02	-5.712E-02	1.273E-02	5.873E-02			
37	2D	S	2.457E-02	-6.012E-02	1.185E-02	4.385E-02			
38	2D	S	2.796E-02	-6.137E-02	1.114E-02	3.008E-02			
39	2D	S	2.987E-02	-6.181E-02	1.064E-02	1.752E-02			
40	2D	S	3.073E-02	-6.192E-02	1.040E-02	5.748E-03			
41	2D	S	-4.871E-03	-1.213E-03	2.028E-03	7.694E-03			
42	2D	S	-1.101E-02	-8.377E-03	6.463E-03	3.531E-02			
43	2D	S	-6.003E-03	-1.986E-02	8.620E-03	5.102E-02			
44	2D	S	2.273E-03	-3.103E-02	9.587E-03	5.395E-02			
45	2D	S	1.010E-02	-3.915E-02	9.684E-03	4.823E-02			
46	2D	S	1.596E-02	-4.439E-02	9.476E-03	3.864E-02			
47	2D	S	1.994E-02	-4.751E-02	9.192E-03	2.774E-02			
48	2D	S	2.236E-02	-4.923E-02	8.958E-03	1.660E-02			

49	2D S	2.349E-02	-4.998E-02	8.830E-03	5.515E-03
50	2D S	-8.391E-04	-8.953E-04	5.781E-04	-3.198E-03
51	2D S	-4.301E-03	-3.016E-03	2.439E-03	1.352E-02
52	2D S	-4.886E-03	-9.951E-03	4.946E-03	2.747E-02
53	2D S	-6.375E-04	-1.803E-02	6.221E-03	3.451E-02
54	2D S	4.626E-03	-2.530E-02	6.890E-03	3.451E-02
55	2D S	9.448E-03	-3.084E-02	7.129E-03	2.982E-02
56	2D S	1.312E-02	-3.465E-02	7.179E-03	2.249E-02
57	2D S	1.552E-02	-3.698E-02	7.155E-03	1.386E-02
58	2D S	1.669E-02	-3.808E-02	7.129E-03	4.673E-03
59	2D S	-5.461E-04	-7.053E-04	4.171E-04	-8.957E-04
60	2D S	-2.277E-03	-3.884E-03	2.054E-03	1.124E-02
61	2D S	-1.211E-03	-9.575E-03	3.595E-03	1.866E-02
62	2D S	1.733E-03	-1.505E-02	4.438E-03	2.155E-02
63	2D S	5.006E-03	-1.987E-02	4.953E-03	2.022E-02
64	2D S	7.862E-03	-2.350E-02	5.214E-03	1.615E-02
65	2D S	9.856E-03	-2.588E-02	5.342E-03	1.030E-02
66	2D S	1.087E-02	-2.705E-02	5.393E-03	3.523E-03
67	2D S	-4.980E-04	-3.448E-04	2.809E-04	-7.356E-04
68	2D S	-6.983E-04	-3.388E-03	1.362E-03	7.114E-03
69	2D S	3.768E-04	-7.596E-03	2.407E-03	1.092E-02
70	2D S	2.216E-03	-1.116E-02	2.983E-03	1.157E-02
71	2D S	4.118E-03	-1.422E-02	3.369E-03	1.002E-02
72	2D S	5.525E-03	-1.632E-02	3.598E-03	6.645E-03
73	2D S	6.293E-03	-1.738E-02	3.696E-03	2.320E-03
74	2D S	-3.455E-04	-1.221E-04	1.558E-04	-1.400E-03
75	2D S	-5.307E-05	-1.672E-03	5.750E-04	2.191E-03
76	2D S	7.040E-04	-4.213E-03	1.170E-03	4.509E-03
77	2D S	1.610E-03	-6.733E-03	1.708E-03	4.708E-03
78	2D S	2.472E-03	-8.369E-03	1.966E-03	3.422E-03
79	2D S	2.947E-03	-9.210E-03	2.088E-03	1.245E-03
80	2D S	-9.685E-05	6.024E-06	3.028E-05	-8.455E-04
81	2D S	1.654E-04	-1.352E-03	3.954E-04	8.825E-04
82	2D S	5.656E-04	-2.146E-03	5.268E-04	8.317E-04
83	2D S	7.392E-04	-2.539E-03	6.000E-04	3.201E-04

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 19

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	NODE IS FIXED	*****			
2	*****	NODE IS FIXED	*****			
3	*****	NODE IS FIXED	*****			
4	*****	NODE IS FIXED	*****			
5	*****	NODE IS FIXED	*****			
6	*****	NODE IS FIXED	*****			
7	*****	NODE IS FIXED	*****			
8	*****	NODE IS FIXED	*****			
9	*****	NODE IS FIXED	*****			
10	*****	NODE IS FIXED	*****			
11	*****	NODE IS FIXED	*****			
12	*****	NODE IS FIXED	*****			
13	*****	NODE IS FIXED	*****			
14	*****	NODE IS FIXED	*****			
15	*****	NODE IS FIXED	*****			
16	*****	NODE IS FIXED	*****			

17	0.0000E+00	-1.7039E-01	4.6010E-02	9.6318E-02	-5.9601E-01	4.6010E-02
18	-8.4253E-02	-5.0337E-01	9.6318E-02	-8.4253E-02	4.5792E-02	9.5111E-02
19	-5.0337E-01	4.5792E-02	-2.1335E-01	-4.1077E-01	9.5111E-02	-2.1335E-01
20	-7.0036E-01	9.3079E-02	-4.1077E-01	-3.3023E-02	-6.9027E-01	9.1210E-02
21	-3.2205E-01	-6.9027E-01	7.4033E-02	-2.3752E-01	9.1210E-02	7.4033E-02
22	-6.7339E-01	8.9815E-02	-2.3752E-01	-6.7339E-01	9.2888E-02	-1.5641E-01
23	8.9815E-02	9.2888E-02	-5.9601E-01	8.9970E-02	-1.5641E-01	-5.9601E-01
24	9.6318E-02	-7.7624E-02	8.8970E-02	9.6318E-02	-5.0337E-01	8.8689E-02
25	-7.7624E-02	-5.0337E-01	9.5111E-02	-1.5538E-01	8.8689E-02	9.5111E-02
26	-4.1077E-01	-4.8415E-01	-1.5538E-01	-4.1077E-01	9.3079E-02	-7.2272E-02
27	-4.8415E-01	9.1210E-02	-2.3752E-01	4.0744E-02	-4.8576E-01	-2.3752E-01
28	8.9815E-02	-4.7961E-01	4.0744E-02	8.9815E-02	-1.5641E-01	9.4958E-02
29	-4.7961E-01	-1.5641E-01	8.8970E-02	-4.5306E-01	9.4958E-02	8.8970E-02
30	-7.7624E-02	1.1563E-01	-4.5306E-01	-7.7624E-02	8.8689E-02	-4.0230E-01
31	1.1563E-01	8.8689E-02	-1.5538E-01	1.2359E-01	-4.0230E-01	-1.5538E-01
32	-4.8415E-01	-3.3978E-01	1.2359E-01	-4.8415E-01	-7.2272E-02	1.2624E-01
33	-3.3978E-01	-4.8576E-01	4.0744E-02	1.2681E-01	-2.7266E-01	4.0744E-02
34	-4.7961E-01	-2.0422E-01	1.2681E-01	-4.7961E-01	9.4958E-02	1.2668E-01
35	-2.0422E-01	9.4958E-02	-4.5306E-01	-1.3581E-01	1.2668E-01	-4.5306E-01
36	1.1563E-01	1.2644E-01	-1.3581E-01	1.1563E-01	-4.0230E-01	-6.7768E-02
37	1.2644E-01	-4.0230E-01	1.2359E-01	1.2633E-01	-6.7768E-02	1.2359E-01
38	-3.3978E-01	-1.2780E-01	1.2633E-01	-3.3978E-01	1.2624E-01	-4.1414E-01
39	-1.2780E-01	1.2681E-01	-2.0422E-01	-3.4302E-01	-1.0156E-01	-2.0422E-01
40	1.2668E-01	1.8694E-02	-3.4302E-01	1.2668E-01	-1.3581E-01	-3.4214E-01
41	1.8694E-02	-1.3581E-01	1.2644E-01	8.3729E-02	-3.4214E-01	1.2644E-01
42	-6.7768E-02	-3.3003E-01	8.3729E-02	-6.7768E-02	1.2633E-01	1.2022E-01
43	-3.3003E-01	1.2633E-01	-1.2780E-01	-3.0382E-01	1.2022E-01	-1.2780E-01
44	-4.1414E-01	1.3903E-01	-3.0382E-01	-3.4302E-01	1.8694E-02	1.4867E-01
45	-2.6490E-01	1.8694E-02	-3.4214E-01	-2.1778E-01	1.4867E-01	-3.4214E-01
46	8.3729E-02	1.5352E-01	-2.1778E-01	8.3729E-02	-3.3003E-01	-1.6597E-01
47	1.5352E-01	-3.3003E-01	1.2022E-01	1.5590E-01	-1.6597E-01	1.2022E-01
48	-3.0382E-01	-1.1165E-01	1.5590E-01	-3.0382E-01	1.3903E-01	1.5697E-01
49	-1.1165E-01	1.4867E-01	-2.1778E-01	1.5727E-01	-5.6075E-02	-2.1778E-01
50	1.5352E-01	-5.0186E-02	1.5727E-01	1.5352E-01	-1.6597E-01	-2.3826E-01
51	-5.0186E-02	-1.6597E-01	1.5590E-01	6.5572E-03	-2.3826E-01	1.5590E-01
52	-1.1165E-01	-2.3693E-01	6.5572E-03	-1.1165E-01	1.5697E-01	7.3845E-02
53	-2.3693E-01	-5.0186E-02	-2.3826E-01	1.1810E-01	-2.3229E-01	-2.3826E-01
54	6.5572E-03	-2.1878E-01	1.1810E-01	6.5572E-03	-2.3693E-01	1.4570E-01
55	-2.1878E-01	-2.3693E-01	7.3845E-02	-1.9563E-01	1.4570E-01	-8.9169E-01
56	6.1393E-02	-7.2403E-01	4.6010E-02	-1.7039E-01	-8.6595E-02	4.7880E-02
57	5.2388E-02	4.9715E-02	9.3079E-02	9.5111E-02	-4.6326E-01	-3.5703E-01
58	-3.2205E-01	-4.1077E-01	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00
59	-2.1538E+00	4.9715E-02	-2.3752E-01	6.1393E-02	-7.2403E-01	5.6149E-02
60	-8.4253E-02	4.6010E-02	-8.6595E-02	4.7880E-02	4.9715E-02	4.7880E-02
61	9.1210E-02	9.3079E-02	-3.5703E-01	-2.6049E-01	-2.3752E-01	-3.2205E-01
62	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	4.7880E-02
63	-1.5641E-01	-7.2403E-01	5.6149E-02	-5.8360E-01	4.5792E-02	-8.4253E-02
64	-8.6595E-02	4.7880E-02	4.7880E-02	4.6685E-02	8.9815E-02	9.1210E-02
65	-2.6049E-01	-1.7039E-01	-1.5641E-01	-2.3752E-01	-2.1538E+00	
66	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	4.6685E-02	-7.7624E-02	5.6149E-02
67	-5.8360E-01	5.2388E-02	-2.1335E-01	4.5792E-02	-8.6595E-02	4.7880E-02
68	4.6685E-02	4.6010E-02	8.8970E-02	8.9815E-02	-1.7039E-01	-8.4253E-02
69	-7.7624E-02	-1.5641E-01	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00
70	-2.1538E+00	4.6010E-02	8.8689E-02	-5.8360E-01	5.2388E-02	-4.6326E-01
71	-7.0036E-01	-2.1335E-01	-8.6595E-02	-3.5703E-01	4.6010E-02	4.5792E-02
72	8.8689E-02	8.8970E-02	-8.4253E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	-7.7624E-02
73	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	-2.1335E-01
74	-4.8576E-01	5.2388E-02	4.9715E-02	-3.5703E-01	-6.9027E-01	-3.3023E-02
75	-8.6595E-02	4.7880E-02	-2.1335E-01	-3.3023E-02	-7.2272E-02	-1.5538E-01



76	-7.0036E-01	-6.9027E-01	-4.8576E-01	-4.8415E-01	-2.1538E+00	
77	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	-3.3023E-02	-4.7961E-01	-4.6326E-01
78	-3.5703E-01	4.7880E-02	7.4033E-02	-6.9027E-01	-8.6595E-02	4.7880E-02
79	-3.3023E-02	7.4033E-02	4.0744E-02	-7.2272E-02	-6.9027E-01	-6.7339E-01
80	-4.7961E-01	-4.8576E-01	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00
81	-2.1538E+00	7.4033E-02	-4.5306E-01	4.9715E-02	4.7880E-02	-2.6049E-01
82	-6.7339E-01	7.4033E-02	-8.6595E-02	4.7880E-02	7.4033E-02	9.2888E-02
83	9.4958E-02	4.0744E-02	-6.7339E-01	-5.9601E-01	-4.5306E-01	-4.7961E-01
84	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	9.2888E-02
85	-4.0230E-01	-3.5703E-01	-2.6049E-01	4.6685E-02	9.2888E-02	-6.7339E-01
86	-8.6595E-02	4.7880E-02	9.2888E-02	9.6318E-02	1.1563E-01	9.4958E-02
87	-5.9601E-01	-5.0337E-01	-4.0230E-01	-4.5306E-01	-2.1538E+00	
88	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	9.6318E-02	-3.3978E-01	4.7880E-02
89	4.6685E-02	-1.7039E-01	-5.9601E-01	9.2888E-02	-8.6595E-02	4.7880E-02
90	9.6318E-02	9.5111E-02	1.2359E-01	1.1563E-01	-5.0337E-01	-4.1077E-01
91	-3.3978E-01	-4.0230E-01	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00
92	-2.1538E+00	9.5111E-02	-2.7266E-01	-2.6049E-01	-1.7039E-01	4.6010E-02
93	9.6318E-02	-5.9601E-01	-8.6595E-02	4.7880E-02	9.5111E-02	9.3079E-02
94	1.2624E-01	1.2359E-01	-4.1077E-01	-3.2205E-01	-2.7266E-01	-3.3978E-01
95	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	9.3079E-02
96	-2.0422E-01	4.6685E-02	4.6010E-02	-8.4253E-02	-5.0337E-01	9.6318E-02
97	-8.6595E-02	4.7880E-02	9.3079E-02	9.1210E-02	1.2681E-01	1.2624E-01
98	-3.2205E-01	-2.3752E-01	-2.0422E-01	-2.7266E-01	-2.1538E+00	
99	0.0000E+00	-1.3677E+00	-2.1538E+00	9.1210E-02	-1.3581E-01	-1.7039E-01
100	-8.4253E-02	4.5792E-02	9.5111E-02	-5.0337E-01	-8.6595E-02	4.7880E-02
101	9.1210E-02	8.9815E-02	1.2668E-01	1.2681E-01	-2.3752E-01	-1.5641E-01
102	-1.3581E-01	-2.0422E-01	-2.1538E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.3677E+00
103	-2.1538E+00	8.9815E-02	-6.7768E-02	4.6010E-02	4.5792E-02	-2.1335E-01
104	-4.1077E-01	9.5111E-02	-8.6595E-02	4.7880E-02	8.9815E-02	8.8970E-02

ITINERARY OPTION EXIT





1  
 1  
 ITINERARY OPTION STAR  
 1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 1

\*AUTO  
 NUMBER OF BLOCKS  
 .... IN THE Y-DIRECTION = 1  
 .... IN THE X-DIRECTION = 1  
 .... IN THE Z-DIRECTION = 0  
 NUMBER OF MIDPOINTS TO BE SPECIFIED = 0  
 ELEMENT TYPE TO BE GENERATED = 12  
 INCOMPATIBLE DOF TO BE USED = F  
 OCCORDINATE UNIT CONVERSION FLAG = 0  
 TIME UNIT CONVERSION FLAG = 0

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 2

\* X-COORDINATES \*  
 12.000 12.000 24.000 24.000  
 0\* Y-COORDINATES \*  
 1.200 .000 1.200 .000

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 3

\* BLOCK MATERIAL NUMBERS \*  

MATERIAL NUMBER	STEEL SET	REBAR SET	INTEG PTS	STIFFNESS FLAG	THICKNESS
1	0	0	2	0	1.0000

0\* NUMBER OF DIVISIONS IN BLOCKS \*  
 ... IN THE Y-DIRECTION (TOP TO BOTTOM)  
 1  
 ... IN THE X-DIRECTION (LEFT TO RIGHT)  
 10  
 O MESH GENERATION ERROR TOLERANCE = .10000E-01  
 NUMBER OF CONTROLLED BOUNDARY SEGMENTS = 3  
 NUMBER OF LOAD COEFFICIENT FORMULAE = 1

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 4

FORMULA NUMBER	LOAD CONSTANT TERM	COEFFICIENT OF X	COEFFICIENT OF Y	COEFFICIENT OF Z
1	-1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00



1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 8

ELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	CONNECTIVITY								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	AX	1	2	4	3					1	0	0	2	0	1.00	3
2	AX	3	4	6	5					1	0	0	2	0	1.00	3
3	AX	5	6	8	7					1	0	0	2	0	1.00	3
4	AX	7	8	10	9					1	0	0	2	0	1.00	3
5	AX	9	10	12	11					1	0	0	2	0	1.00	3
6	AX	11	12	14	13					1	0	0	2	0	1.00	3
7	AX	13	14	16	15					1	0	0	2	0	1.00	3
8	AX	15	16	18	17					1	0	0	2	0	1.00	3
9	AX	17	18	20	19					1	0	0	2	0	1.00	3
10	AX	19	20	22	21					1	0	0	2	0	1.00	3

CONTROLLING BANDWIDTH = 3 AT ELEMENT 1

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 9

\*LINK  
NUMBER OF EQUATIONS = 22

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 10

ELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	CONNECTIVITY								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	AX	1	2	4	3					1	0	0	2	0	1.00	4
2	AX	3	4	6	5					1	0	0	2	0	1.00	4
3	AX	5	6	8	7					1	0	0	2	0	1.00	4
4	AX	7	8	10	9					1	0	0	2	0	1.00	4
5	AX	9	10	12	11					1	0	0	2	0	1.00	4
6	AX	11	12	14	13					1	0	0	2	0	1.00	4
7	AX	13	14	16	15					1	0	0	2	0	1.00	4
8	AX	15	16	18	17					1	0	0	2	0	1.00	4
9	AX	17	18	20	19					1	0	0	2	0	1.00	4
10	AX	19	20	22	21					1	0	0	2	0	1.00	4

CONTROLLING BANDWIDTH = 4 AT ELEMENT 1  
NUMBER OF MATLS AND REBARS = 1 0

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

\* MATERIAL DATA \*

MATERIAL NO. 1

BULK MODULUS (PSI)	SHEAR MODULUS (PSI)	MASS DENSITY (LB- SEC/IN4)			
.12500E+07	.10000E+07	.10000E+01			
ANISOTROPIC FLAG	PLASTICITY FLAG	VISCOUS FLAG	ITERATION FLAG	NO. OF SPLITS	NO. OF ITERATION
0.	0.	0.	0.	0.	0.
SPLIT CRITERION	CONVERGENCE CRITERION	VARIABLE MODULUS FLAG	MAX SPLITS	COMPOSITE	PLASTICITY
.00000E+00	.00000E+00	0.	0.	0.	0.

SHEAR MODULUS COEFFICIENTS

.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00

BULK MODULUS COEFFICIENTS

.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00

INELASTICITY COEFFICIENTS

.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	0.
0.	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	0.

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

COMPONENTS OF GRAVITY LOADING = .0000 .0000 .0000  
NUMBER OF DEADLOAD INCREMENTS = 0  
OUTPUT TYPE (0=INCLUDE DEADLOAD) = 0

OSTATIC LOAD HISTORY NUMBERS

TIME	NUMBER	1
1.00	1.0000	
ELEMENT DATA TAPE ON UNIT	2	
LINK TAPE WRITTEN ON UNIT	1	
ITINERARY OPTION EXEC		
OK REFORMED EVERY	1-TH STEP	
RESTART AND EXIT AFTER	0 STEPS	
RESTART INTERVAL IS	.000 SEC	

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

ONCRMAL START

ONUMBER OF NODE POINTS 22  
 NUMBER OF ELEMENTS 10  
 NUMBER OF MATERIALS 1  
 NUMBER OF EQUATION 22  
 BANDWIDTH 4  
 NUMBER OF BLOCKS 1  
 EQUATIONS PER BLOCK 22  
 OPASS 1 T T  
 OTIME IN KFORM = .54688E-01  
 ODECOMP -1  
 OTIME IN DECOM = .54688E-01  
 OPASS 2 F F  
 OTIME IN KFORM = .54688E-01  
 BMCALC .21875000E+00  
 OITINERARY OPTION OUTP

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PRINT OPTIONS SPECIFICATION

ELEMENT OPTIONS

OPTION NUMBER	STRESS REQUESTED	STRAIN REQUESTED	EXTRA PRINTS	GLOBAL-LOCAL TRANSFORM	*****TRANSFORMATION DEFINITION*****
1	YES	YES	NONE	NONE	

NODAL OPTIONS

OPTION NUMBER	DISPLACEMENT REQUESTS
1	YES

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PRINT SPECIFICATION

TYPE	FIRST	LAST	OPTION
ELEM	1	10	1
NODE	1	22	1

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		.000	-8.7637E-01	1.2300E-01	1.5441E+00	5.0142E-07		
2	AX		.000	-6.7502E-01	1.2291E-01	1.3423E+00	-2.4204E-07		
3	AX		.000	-5.2007E-01	1.2286E-01	1.1870E+00	6.9802E-07		
4	AX		.000	-3.9828E-01	1.2283E-01	1.0651E+00	1.1072E-06		
5	AX		.000	-3.0083E-01	1.2280E-01	9.6748E-01	1.9255E-07		
6	AX		.000	-2.2164E-01	1.2279E-01	8.8819E-01	-2.9648E-07		
7	AX		.000	-1.5641E-01	1.2277E-01	8.2289E-01	-1.2215E-07		
8	AX		.000	-1.0204E-01	1.2276E-01	7.6848E-01	4.2824E-07		
9	AX		.000	-5.6257E-02	1.2276E-01	7.2265E-01	1.6112E-07		
10	AX		.000	-1.7336E-02	1.2275E-01	6.8370E-01	-8.7520E-08		

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-4.997E-07	0.000E+00	7.105E-07	5.014E-13		
2	AX		-3.990E-07	0.000E+00	6.097E-07	-2.420E-13		
3	AX		-3.215E-07	0.000E+00	5.321E-07	6.980E-13		
4	AX		-2.606E-07	0.000E+00	4.711E-07	1.107E-12		
5	AX		-2.118E-07	0.000E+00	4.223E-07	1.925E-13		
6	AX		-1.722E-07	0.000E+00	3.827E-07	-2.965E-13		
7	AX		-1.396E-07	0.000E+00	3.501E-07	-1.221E-13		
8	AX		-1.124E-07	0.000E+00	3.229E-07	4.282E-13		
9	AX		-8.951E-08	0.000E+00	2.999E-07	1.611E-13		
10	AX		-7.004E-08	0.000E+00	2.805E-07	-8.752E-14		

1

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

```

1 ***** NODE IS FIXED *****
2 ***** NODE IS FIXED *****
3 ***** NODE IS FIXED *****
4 ***** NODE IS FIXED *****
5 ***** NODE IS FIXED *****
6 ***** NODE IS FIXED *****
7 ***** NODE IS FIXED *****
8 ***** NODE IS FIXED *****
9 ***** NODE IS FIXED *****
10 ***** NODE IS FIXED *****
11 ***** NODE IS FIXED *****
12 ***** NODE IS FIXED *****
13 ***** NODE IS FIXED *****
14 ***** NODE IS FIXED *****
15 ***** NODE IS FIXED *****
16 ***** NODE IS FIXED *****
17 0.0000E+00 7.2216E-06
18 9.2526E-06 0.0000E+00 0.0000E+00 9.2526E-06 0.0000E+00 7.2216E-06
19 7.0149E-06 8.1742E-06 7.2216E-06 7.2216E-06 7.0149E-06 7.0149E-06
20 7.2216E-06 8.6530E-06 7.2216E-06 7.2216E-06 7.0149E-06 7.0149E-06
21 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 9.2526E-06
22 0.0000E+00 9.2526E-06 0.0000E+00 7.0149E-06 6.8474E-06 7.7884E-06

```

OITINERARY OPTION EXIT





1  
 0ITINERARY OPTION STAR  
 1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 1

\*AUTO  
 NUMBER OF BLOCKS  
 .... IN THE Y-DIRECTION = 1  
 .... IN THE X-DIRECTION = 1  
 .... IN THE Z-DIRECTION = 0  
 NUMBER OF MIDPOINTS TO BE SPECIFIED = 0  
 ELEMENT TYPE TO BE GENERATED = 12  
 INCOMPATIBLE DOF TO BE USED = F  
 OCCORDINATE UNIT CONVERSION FLAG = 0  
 TIME UNIT CONVERSION FLAG = 0

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 2

\* X-COORDINATES \*  
 12.000 12.000 24.000 24.000  
 0\* Y-COORDINATES \*  
 1.200 .000 1.200 .000

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 3

\* BLOCK MATERIAL NUMBERS \*  

MATERIAL NUMBER	STEEL SET	REBAR SET	INTEG PTS	STIFFNESS FLAG	THICKNESS
1	0	0	2	0	1.0000

 0\* NUMBER OF DIVISIONS IN BLOCKS \*

... IN THE Y-DIRECTION (TOP TO BOTTOM)  
 1  
 ... IN THE X-DIRECTION (LEFT TO RIGHT)  
 10  
 0MESH GENERATION ERROR TOLERANCE = .10000E-01  
 NUMBER OF CONTROLLED BOUNDARY SEGMENTS = 3  
 NUMBER OF LOAD COEFFICIENT FORMULAE = 1

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 4

FORMULA NUMBER	LOAD CONSTANT TERM	COEFFICIENT OF X	COEFFICIENT OF Y	COEFFICIENT OF Z
1	-1.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 5

CONTROL PARAMETERS FOR AUTOMATICALLY GENERATED BOUNDARY CONDITIONS

CORNER NODES OF SURFACE									BOUNDARY TYPE	BOUNDARY DIRECTION	STRESS HISTORY NUMBER						LOAD COEFFICIENT FORMULA					
I1	J1	K1	I2	J2	K2	I3	J3	K3			X	Y	Z	XY	YZ	ZX	X	Y	Z	XY	YZ	ZX
1	1	0	3	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	1	3	0	0	0	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	1	0	3	3	0	0	0	0	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 6

0 NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	C O O R D I N A T E S			LOAD COUNT
		X-(IN)	Y-(IN)	Z-(IN)	
1	0 1 1 1 1 1	12.000000	1.200000	.000000	1
2	0 1 1 1 1 1	12.000000	.000000	.000000	1
3	0 1 1 1 1 1	13.200000	1.200000	.000000	
4	0 1 1 1 1 1	13.200000	.000000	.000000	
5	0 1 1 1 1 1	14.400000	1.200000	.000000	
6	0 1 1 1 1 1	14.400000	.000000	.000000	
7	0 1 1 1 1 1	15.600000	1.200000	.000000	
8	0 1 1 1 1 1	15.600000	.000000	.000000	
9	0 1 1 1 1 1	16.800000	1.200000	.000000	
10	0 1 1 1 1 1	16.800000	.000000	.000000	
11	0 1 1 1 1 1	18.000000	1.200000	.000000	
12	0 1 1 1 1 1	18.000000	.000000	.000000	
13	0 1 1 1 1 1	19.200000	1.200000	.000000	
14	0 1 1 1 1 1	19.200000	.000000	.000000	
15	0 1 1 1 1 1	20.400000	1.200000	.000000	
16	0 1 1 1 1 1	20.400000	.000000	.000000	
17	0 1 1 1 1 1	21.600000	1.200000	.000000	
18	0 1 1 1 1 1	21.600000	.000000	.000000	
19	0 1 1 1 1 1	22.800000	1.200000	.000000	
20	0 1 1 1 1 1	22.800000	.000000	.000000	
21	0 1 1 1 1 1	24.000000	1.200000	.000000	
22	0 1 1 1 1 1	24.000000	.000000	.000000	

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 7

0 NODE NUMBER	LOAD DIRECTION	LOAD TYPE	LOAD HISTORY NUMBER	LOAD COEFFICIENT (IN2)
1	1	-1	1	7.200001E+00
2	1	-1	1	7.200001E+00



1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 11

\* MATERIAL DATA \*

MATERIAL NO. 1

BULK MODULUS (PSI)	SHEAR MODULUS (PSI)		MASS DENSITY (LB- SEC/IN4)						
.12500E+07	.10000E+07		.10000E+01						
ANISOTROPIC FLAG	PLASTICITY FLAG	VISCOUS FLAG	ITERATION FLAG	NO. OF SPLITS	NO. OF ITERATION				
0.	1.	0.	0.	1.	10.				
SPLIT CRITERION	CONVERGENCE CRITERION	VARIABLE MODULUS FLAG	MAX SPLITS	COMPOSITE	PLASTICITY				
-.10000E+01	.10000E-01	0.	0.	0.	0.				
SHEAR MODULUS COEFFICIENTS									
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
BULK MODULUS COEFFICIENTS									
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
INELASTICITY COEFFICIENTS									
.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.10000E+01	.00000E+00
.15600E+03	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.15600E+03	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	1.
0.	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 12

COMPONENTS OF GRAVITY LOADING = .0000 .0000 .0000  
 NUMBER OF DEADLOAD INCREMENTS = 0  
 OUTPUT TYPE (0=INCLUDE DEADLOAD) = 0

OSTATIC LOAD HISTORY NUMBERS

TIME	NUMBER	1
1.00	117.3600	
2.00	127.0800	
3.00	136.8100	
4.00	146.5300	
5.00	156.3500	
6.00	156.3500	
7.00	156.3500	
8.00	164.5800	
9.00	172.9200	
10.00	184.3900	
11.00	184.3900	

```

12.00          184.3900
13.00          192.3600
14.00          201.8600
15.00          201.8600
16.00          201.8600
17.00          212.0000
18.00          212.0000
19.00          212.0000

```

```

OELEMENT DATA TAPE ON UNIT  2
OLINK TAPE WRITTEN ON UNIT  1
OITINERARY OPTION EXEC
OK REFORMED EVERY 1-TH STEP
RESTART AND EXIT AFTER 0 STEPS
RESTART INTERVAL IS .000 SEC

```

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 13

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

ONORMAL START

```

ONUMBER OF NODE POINTS 22
NUMBER OF ELEMENTS 10
NUMBER OF MATERIALS 1
NUMBER OF EQUATION 22
BANDWIDTH 4
NUMBER OF BLOCKS 1
EQUATIONS PER BLOCK 22
OPASS 1 T T
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .00000E+00
OPASS 2 T F
OTIME IN KFORM = .46875E-01
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .62500E-01
OPASS 3 T F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .46875E-01
OPASS 4 T F
OTIME IN KFORM = .62500E-01
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .46875E-01
OPASS 5 T F
OTIME IN KFORM = .62500E-01
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .46875E-01
OPASS 6 T F
OTIME IN KFORM = .46875E-01
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .62500E-01
OPASS 7 T F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS 8 T F
OTIME IN KFORM = .10938E+00

```

```

ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS       9   T   F
OTIME IN KFORM = .54688E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS      10   T   F
OTIME IN KFORM = .54688E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .10938E+00
OPASS      11   T   F
OTIME IN KFORM = .62500E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .46875E-01
OPASS      12   T   F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .62500E-01
OPASS      13   T   F
OTIME IN KFORM = .46875E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .62500E-01
OPASS      14   T   F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .46875E-01
OPASS      15   T   F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .62500E-01
OPASS      16   T   F
OTIME IN KFORM = .46875E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .11719E+00
OPASS      17   T   F
OTIME IN KFORM = .54688E-01
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS      18   T   F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS      19   T   F
OTIME IN KFORM = .10938E+00
ODECOMP      -1
OTIME IN DECOM = .54688E-01
OPASS      20   F   F
OTIME IN KFORM = .62500E-01
  BMCALC .27500000E+01
  OTINERARY OPTION OUTP

```

1

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PRINT OPTIONS SPECIFICATION

ELEMENT OPTIONS

OPTION NUMBER	STRESS REQUESTED	STRAIN REQUESTED	EXTRA PRINTS	GLOBAL-LOCAL TRANSFORM	*****TRANSFORMATION DEFINITION*****
1	YES	YES	NONE	NONE	

NODAL OPTIONS

OPTION NUMBER	DISPLACEMENT REQUESTS
1	YES

1

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PRINT SPECIFICATION

TYPE	FIRST	LAST	OPTION
ELEM	1	10	1
NODE	1	22	1

1

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X	YY OR Y	ZZ OR Z	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
				SIGMA(N)	TAU1	TAU2				
1	AX		.915	-1.0285E+02	1.4435E+01	1.8121E+02	6.9015E-05			
2	AX		.764	-7.9220E+01	1.4425E+01	1.5753E+02	-3.6237E-05			
3	AX		.649	-6.1035E+01	1.4419E+01	1.3931E+02	6.9559E-05			
4	AX		.558	-4.6742E+01	1.4415E+01	1.2500E+02	1.4816E-04			
5	AX		.486	-3.5305E+01	1.4412E+01	1.1354E+02	5.4692E-05			
6	AX		.427	-2.6011E+01	1.4410E+01	1.0424E+02	-1.7788E-05			
7	AX		.380	-1.8356E+01	1.4409E+01	9.6575E+01	-2.9211E-05			
8	AX		.340	-1.1976E+01	1.4408E+01	9.0188E+01	7.3781E-05			
9	AX		.307	-6.6024E+00	1.4407E+01	8.4811E+01	6.8797E-06			
10	AX		.279	-2.0347E+00	1.4406E+01	8.0239E+01	-2.0778E-05			



1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 17

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-5.864E-05	0.000E+00	8.339E-05	6.901E-11			
2	AX		-4.682E-05	0.000E+00	7.155E-05	-3.624E-11			
3	AX		-3.773E-05	0.000E+00	6.245E-05	6.956E-11			
4	AX		-3.058E-05	0.000E+00	5.529E-05	1.482E-10			
5	AX		-2.486E-05	0.000E+00	4.957E-05	5.469E-11			
6	AX		-2.021E-05	0.000E+00	4.491E-05	-1.779E-11			
7	AX		-1.638E-05	0.000E+00	4.108E-05	-2.921E-11			
8	AX		-1.319E-05	0.000E+00	3.789E-05	7.378E-11			
9	AX		-1.050E-05	0.000E+00	3.520E-05	6.880E-12			
10	AX		-8.220E-06	0.000E+00	3.292E-05	-2.078E-11			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 18

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	NODE IS FIXED	*****			
2	*****	NODE IS FIXED	*****			
3	*****	NODE IS FIXED	*****			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 19

LOAD STEP = 2 TIME = 2.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		.991	-1.1137E+02	1.5630E+01	1.9622E+02	1.6616E-05		
2	AX		.828	-8.5782E+01	1.5620E+01	1.7057E+02	-1.4708E-05		
3	AX		.702	-6.6091E+01	1.5613E+01	1.5085E+02	4.7517E-05		
4	AX		.604	-5.0614E+01	1.5609E+01	1.3535E+02	3.3014E-05		
5	AX		.526	-3.8230E+01	1.5605E+01	1.2295E+02	-5.8194E-05		
6	AX		.463	-2.8166E+01	1.5603E+01	1.1287E+02	-1.3964E-05		
7	AX		.411	-1.9877E+01	1.5602E+01	1.0457E+02	7.9996E-06		
8	AX		.368	-1.2968E+01	1.5601E+01	9.7656E+01	5.9730E-05		
9	AX		.332	-7.1494E+00	1.5600E+01	9.1833E+01	8.0419E-06		
10	AX		.302	-2.2032E+00	1.5599E+01	8.6883E+01	-4.1917E-05		

UFPA/BIBLIOTECA/PRAI

Apêndice G

451

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 20

LOAD STEP = 2 TIME = 2.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-6.350E-05	0.000E+00	9.029E-05	1.662E-11		
2	AX		-5.070E-05	0.000E+00	7.748E-05	-1.471E-11		
3	AX		-4.085E-05	0.000E+00	6.762E-05	4.752E-11		
4	AX		-3.311E-05	0.000E+00	5.987E-05	3.301E-11		
5	AX		-2.692E-05	0.000E+00	5.367E-05	-5.819E-11		
6	AX		-2.188E-05	0.000E+00	4.863E-05	-1.396E-11		
7	AX		-1.774E-05	0.000E+00	4.448E-05	8.000E-12		
8	AX		-1.428E-05	0.000E+00	4.103E-05	5.973E-11		
9	AX		-1.137E-05	0.000E+00	3.812E-05	8.042E-12		
10	AX		-8.901E-06	0.000E+00	3.564E-05	-4.192E-11		

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 21

LOAD STEP = 2 TIME = 2.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	NODE IS FIXED	*****			
2	*****	NODE IS FIXED	*****			
3	*****	NODE IS FIXED	*****			

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 22

LOAD STEP = 3 TIME = 3.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.1015E+02	1.8029E+01	2.0029E+02	1.5813E-05		
2	AX		.891	-9.2350E+01	1.6816E+01	1.8363E+02	-1.9863E-05		
3	AX		.756	-7.1151E+01	1.6808E+01	1.6240E+02	4.4715E-05		
4	AX		.650	-5.4490E+01	1.6804E+01	1.4571E+02	3.9566E-05		
5	AX		.566	-4.1157E+01	1.6800E+01	1.3236E+02	-5.8205E-05		
6	AX		.498	-3.0323E+01	1.6798E+01	1.2151E+02	-1.8604E-05		
7	AX		.442	-2.1399E+01	1.6796E+01	1.1258E+02	8.5143E-06		
8	AX		.396	-1.3961E+01	1.6795E+01	1.0513E+02	6.4220E-05		
9	AX		.358	-7.6968E+00	1.6794E+01	9.8864E+01	1.0321E-05		
10	AX		.325	-2.3719E+00	1.6793E+01	9.3536E+01	-4.5035E-05		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 23

LOAD STEP = 3 TIME = 3.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-6.836E-05	0.000E+00	9.721E-05	1.690E-11			
2	AX		-5.458E-05	0.000E+00	8.341E-05	-1.986E-11			
3	AX		-4.398E-05	0.000E+00	7.279E-05	4.471E-11			
4	AX		-3.565E-05	0.000E+00	6.445E-05	3.957E-11			
5	AX		-2.898E-05	0.000E+00	5.778E-05	-5.821E-11			
6	AX		-2.356E-05	0.000E+00	5.236E-05	-1.860E-11			
7	AX		-1.910E-05	0.000E+00	4.789E-05	8.514E-12			
8	AX		-1.538E-05	0.000E+00	4.417E-05	6.422E-11			
9	AX		-1.225E-05	0.000E+00	4.104E-05	1.032E-11			
10	AX		-9.583E-06	0.000E+00	3.837E-05	-4.504E-11			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 24

LOAD STEP = 3 TIME = 3.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	NODE IS FIXED	*****			
2	*****	NODE IS FIXED	*****			
3	*****	NODE IS FIXED	*****			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 25

LOAD STEP = 4 TIME = 4.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.2959E+02	1.4218E+01	1.8210E+02	1.1991E-05			
2	AX		.988	-1.0246E+02	1.8656E+01	2.0373E+02	-1.6100E-05			
3	AX		.839	-7.8937E+01	1.8648E+01	1.8017E+02	6.2152E-05			
4	AX		.722	-6.0452E+01	1.8642E+01	1.6165E+02	3.9171E-05			
5	AX		.628	-4.5661E+01	1.8639E+01	1.4684E+02	-7.1343E-05			
6	AX		.553	-3.3641E+01	1.8636E+01	1.3481E+02	-2.7333E-05			
7	AX		.491	-2.3740E+01	1.8634E+01	1.2490E+02	-9.7346E-07			
8	AX		.440	-1.5489E+01	1.8633E+01	1.1664E+02	6.5719E-05			
9	AX		.397	-8.5391E+00	1.8632E+01	1.0968E+02	6.1483E-06			
10	AX		.361	-2.6314E+00	1.8631E+01	1.0377E+02	-5.7998E-05			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 26

LOAD STEP = 4 TIME = 4.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-9.076E-05	0.000E+00	1.086E-04	1.599E-11		
2	AX		-6.056E-05	0.000E+00	9.254E-05	-1.610E-11		
3	AX		-4.879E-05	0.000E+00	8.076E-05	6.215E-11		
4	AX		-3.955E-05	0.000E+00	7.151E-05	3.917E-11		
5	AX		-3.215E-05	0.000E+00	6.410E-05	-7.134E-11		
6	AX		-2.614E-05	0.000E+00	5.809E-05	-2.733E-11		
7	AX		-2.119E-05	0.000E+00	5.313E-05	-9.735E-13		
8	AX		-1.706E-05	0.000E+00	4.900E-05	6.572E-11		
9	AX		-1.359E-05	0.000E+00	4.553E-05	6.148E-12		
10	AX		-1.063E-05	0.000E+00	4.257E-05	-5.800E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 27

LOAD STEP = 4 TIME = 4.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 28

LOAD STEP = 5 TIME = 5.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.4016E+02	1.1386E+01	1.7180E+02	1.3807E-05		
2	AX		1.000	-1.0074E+02	2.1781E+01	2.0901E+02	-1.6513E-05		
3	AX		.910	-8.5600E+01	2.0222E+01	1.9539E+02	6.0108E-05		
4	AX		.783	-6.5555E+01	2.0216E+01	1.7530E+02	3.0600E-05		
5	AX		.681	-4.9516E+01	2.0212E+01	1.5924E+02	-8.0645E-05		
6	AX		.599	-3.6481E+01	2.0209E+01	1.4619E+02	-2.9320E-05		
7	AX		.532	-2.5744E+01	2.0207E+01	1.3544E+02	1.1450E-05		
8	AX		.477	-1.6796E+01	2.0206E+01	1.2648E+02	7.9279E-05		
9	AX		.430	-9.2599E+00	2.0205E+01	1.1894E+02	9.9268E-06		
10	AX		.391	-2.8536E+00	2.0204E+01	1.1253E+02	-5.7791E-05		

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 29

LOAD STEP = 5 TIME = 5.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-1.066E-04	0.000E+00	1.181E-04	1.991E-11			
2	AX		-6.567E-05	0.000E+00	1.003E-04	-1.769E-11			
3	AX		-5.291E-05	0.000E+00	8.758E-05	6.011E-11			
4	AX		-4.289E-05	0.000E+00	7.754E-05	3.060E-11			
5	AX		-3.486E-05	0.000E+00	6.951E-05	-8.065E-11			
6	AX		-2.834E-05	0.000E+00	6.299E-05	-2.932E-11			
7	AX		-2.298E-05	0.000E+00	5.762E-05	1.145E-11			
8	AX		-1.850E-05	0.000E+00	5.314E-05	7.928E-11			
9	AX		-1.473E-05	0.000E+00	4.937E-05	9.927E-12			
10	AX		-1.153E-05	0.000E+00	4.616E-05	-5.779E-11			

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 30

LOAD STEP = 5 TIME = 5.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 31

LOAD STEP = 6 TIME = 6.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.4033E+02	1.1455E+01	1.7163E+02	9.0362E-06			
2	AX		1.000	-1.1189E+02	1.9326E+01	1.9886E+02	-1.5346E-05			
3	AX		.927	-8.7219E+01	2.0604E+01	1.9907E+02	5.4703E-05			
4	AX		.797	-6.6795E+01	2.0598E+01	1.7861E+02	3.3772E-05			
5	AX		.694	-5.0452E+01	2.0594E+01	1.6225E+02	-8.1090E-05			
6	AX		.611	-3.7170E+01	2.0591E+01	1.4895E+02	-2.7810E-05			
7	AX		.542	-2.6231E+01	2.0589E+01	1.3800E+02	1.1911E-05			
8	AX		.486	-1.7114E+01	2.0588E+01	1.2888E+02	7.1759E-05			
9	AX		.439	-9.4350E+00	2.0587E+01	1.2119E+02	9.9271E-06			
10	AX		.399	-2.9075E+00	2.0586E+01	1.1466E+02	-5.8199E-05			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 32

LOAD STEP = 6 TIME = 6.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-1.097E-04	0.000E+00	1.211E-04	1.558E-11		
2	AX		-7.422E-05	0.000E+00	1.026E-04	-1.758E-11		
3	AX		-5.391E-05	0.000E+00	8.923E-05	5.470E-11		
4	AX		-4.370E-05	0.000E+00	7.901E-05	3.377E-11		
5	AX		-3.552E-05	0.000E+00	7.083E-05	-8.109E-11		
6	AX		-2.888E-05	0.000E+00	6.418E-05	-2.781E-11		
7	AX		-2.341E-05	0.000E+00	5.871E-05	1.191E-11		
8	AX		-1.885E-05	0.000E+00	5.414E-05	7.176E-11		
9	AX		-1.501E-05	0.000E+00	5.030E-05	9.927E-12		
10	AX		-1.175E-05	0.000E+00	4.704E-05	-5.820E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 33

LOAD STEP = 6 TIME = 6.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 34

LOAD STEP = 7 TIME = 7.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.4032E+02	1.1459E+01	1.7164E+02	5.4607E-06		
2	AX		1.000	-1.1208E+02	1.9277E+01	1.9869E+02	-1.7254E-05		
3	AX		.927	-8.7232E+01	2.0607E+01	1.9910E+02	5.3880E-05		
4	AX		.797	-6.6805E+01	2.0601E+01	1.7864E+02	3.2740E-05		
5	AX		.694	-5.0459E+01	2.0597E+01	1.6227E+02	-8.0426E-05		
6	AX		.611	-3.7176E+01	2.0594E+01	1.4897E+02	-2.4675E-05		
7	AX		.542	-2.6235E+01	2.0592E+01	1.3802E+02	1.5037E-05		
8	AX		.486	-1.7116E+01	2.0591E+01	1.2889E+02	7.2741E-05		
9	AX		.439	-9.4364E+00	2.0590E+01	1.2121E+02	1.1525E-05		
10	AX		.399	-2.9080E+00	2.0589E+01	1.1468E+02	-5.6881E-05		

1

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 35

LOAD STEP = 7 TIME = 7.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-1.097E-04	0.000E+00	1.211E-04	1.201E-11		
2	AX		-7.435E-05	0.000E+00	1.026E-04	-1.950E-11		
3	AX		-5.392E-05	0.000E+00	8.925E-05	5.388E-11		
4	AX		-4.370E-05	0.000E+00	7.902E-05	3.274E-11		
5	AX		-3.553E-05	0.000E+00	7.084E-05	-8.043E-11		
6	AX		-2.889E-05	0.000E+00	6.419E-05	-2.467E-11		
7	AX		-2.341E-05	0.000E+00	5.871E-05	1.504E-11		
8	AX		-1.885E-05	0.000E+00	5.415E-05	7.274E-11		
9	AX		-1.501E-05	0.000E+00	5.031E-05	1.152E-11		
10	AX		-1.175E-05	0.000E+00	4.704E-05	-5.688E-11		

1

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 36

LOAD STEP = 7 TIME = 7.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 37

LOAD STEP = 8 TIME = 8.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.4832E+02	8.7027E+00	1.6368E+02	2.0762E-05		
2	AX		1.000	-1.1998E+02	1.8669E+01	1.9139E+02	-1.1005E-05		
3	AX		1.000	-9.3961E+01	2.2371E+01	2.1492E+02	4.9454E-05		
4	AX		.863	-7.2279E+01	2.2290E+01	1.9323E+02	3.3523E-05		
5	AX		.751	-5.4594E+01	2.2285E+01	1.7557E+02	-8.3845E-05		
6	AX		.661	-4.0222E+01	2.2282E+01	1.6118E+02	-3.1149E-05		
7	AX		.587	-2.8385E+01	2.2280E+01	1.4933E+02	1.1693E-05		
8	AX		.526	-1.8519E+01	2.2278E+01	1.3946E+02	8.0639E-05		
9	AX		.475	-1.0210E+01	2.2277E+01	1.3114E+02	8.0858E-06		
10	AX		.432	-3.1462E+00	2.2276E+01	1.2407E+02	-6.2349E-05		



1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 38

LOAD STEP = 8 TIME = 8.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-1.256E-04	0.000E+00	1.320E-04	2.969E-11			
2	AX		-8.727E-05	0.000E+00	1.113E-04	-1.515E-11			
3	AX		-5.834E-05	0.000E+00	9.656E-05	4.993E-11			
4	AX		-4.728E-05	0.000E+00	8.549E-05	3.352E-11			
5	AX		-3.844E-05	0.000E+00	7.664E-05	-8.385E-11			
6	AX		-3.125E-05	0.000E+00	6.945E-05	-3.115E-11			
7	AX		-2.533E-05	0.000E+00	6.353E-05	1.169E-11			
8	AX		-2.040E-05	0.000E+00	5.859E-05	8.064E-11			
9	AX		-1.624E-05	0.000E+00	5.443E-05	8.086E-12			
10	AX		-1.271E-05	0.000E+00	5.090E-05	-6.235E-11			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 39

LOAD STEP = 8 TIME = 8.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 40

LOAD STEP = 9 TIME = 9.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.5663E+02	4.9723E+00	1.5530E+02	-1.9955E-06			
2	AX		1.000	-1.2826E+02	1.7610E+01	1.8353E+02	-1.8360E-05			
3	AX		1.000	-1.0230E+02	2.3503E+01	2.0787E+02	5.6295E-05			
4	AX		.949	-7.9493E+01	2.4514E+01	2.1257E+02	3.9107E-05			
5	AX		.826	-6.0043E+01	2.4509E+01	1.9309E+02	-9.1190E-05			
6	AX		.727	-4.4236E+01	2.4506E+01	1.7727E+02	-3.9927E-05			
7	AX		.645	-3.1217E+01	2.4503E+01	1.6424E+02	9.7940E-06			
8	AX		.578	-2.0367E+01	2.4501E+01	1.5337E+02	8.4765E-05			
9	AX		.522	-1.1229E+01	2.4500E+01	1.4423E+02	6.7244E-06			
10	AX		.475	-3.4602E+00	2.4499E+01	1.3646E+02	-6.3948E-05			



1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 41

LOAD STEP = 9 TIME = 9.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-1.461E-04	0.000E+00	1.471E-04	8.734E-12		
2	AX		-1.040E-04	0.000E+00	1.234E-04	-2.528E-11		
3	AX		-7.209E-05	0.000E+00	1.065E-04	6.465E-11		
4	AX		-5.200E-05	0.000E+00	9.403E-05	3.911E-11		
5	AX		-4.228E-05	0.000E+00	8.429E-05	-9.119E-11		
6	AX		-3.437E-05	0.000E+00	7.638E-05	-3.993E-11		
7	AX		-2.786E-05	0.000E+00	6.987E-05	9.794E-12		
8	AX		-2.243E-05	0.000E+00	6.444E-05	8.477E-11		
9	AX		-1.786E-05	0.000E+00	5.986E-05	6.724E-12		
10	AX		-1.398E-05	0.000E+00	5.598E-05	-6.395E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 42

LOAD STEP = 9 TIME = 9.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 43

LOAD STEP = 10 TIME = 10.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.6796E+02	-1.4000E+00	1.4380E+02	7.8576E-06		
2	AX		1.000	-1.3953E+02	1.4582E+01	1.7246E+02	-5.5112E-06		
3	AX		1.000	-1.1346E+02	2.3557E+01	1.9780E+02	4.1161E-05		
4	AX		1.000	-8.0041E+01	2.9563E+01	2.2774E+02	3.5464E-05		
5	AX		.929	-6.7538E+01	2.7569E+01	2.1720E+02	-1.1520E-04		
6	AX		.817	-4.9758E+01	2.7565E+01	1.9940E+02	-6.1071E-05		
7	AX		.726	-3.5114E+01	2.7562E+01	1.8474E+02	5.3935E-07		
8	AX		.650	-2.2909E+01	2.7560E+01	1.7252E+02	1.0061E-04		
9	AX		.587	-1.2630E+01	2.7558E+01	1.6223E+02	8.6665E-06		
10	AX		.534	-3.8922E+00	2.7557E+01	1.5349E+02	-8.3389E-05		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 44

LOAD STEP = 10 TIME = 10.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-1.748E-04	0.000E+00	1.679E-04	1.982E-11			
2	AX		-1.275E-04	0.000E+00	1.402E-04	-1.526E-11			
3	AX		-9.145E-05	0.000E+00	1.202E-04	5.973E-11			
4	AX		-5.849E-05	0.000E+00	1.058E-04	3.819E-11			
5	AX		-4.755E-05	0.000E+00	9.481E-05	-1.152E-10			
6	AX		-3.866E-05	0.000E+00	8.592E-05	-6.107E-11			
7	AX		-3.134E-05	0.000E+00	7.859E-05	5.394E-13			
8	AX		-2.523E-05	0.000E+00	7.248E-05	1.006E-10			
9	AX		-2.009E-05	0.000E+00	6.734E-05	8.667E-12			
10	AX		-1.572E-05	0.000E+00	6.297E-05	-8.339E-11			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 45

LOAD STEP = 10 TIME = 10.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 46

LOAD STEP = 11 TIME = 11.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.6823E+02	-1.9457E+00	1.4354E+02	4.3954E-06			
2	AX		1.000	-1.3996E+02	1.4484E+01	1.7203E+02	-3.0036E-06			
3	AX		1.000	-1.1402E+02	2.3897E+01	1.9730E+02	5.2217E-05			
4	AX		1.000	-9.0031E+01	2.8017E+01	2.1911E+02	4.5207E-05			
5	AX		.947	-6.8804E+01	2.8085E+01	2.2127E+02	-1.0230E-04			
6	AX		.833	-5.0691E+01	2.8082E+01	2.0313E+02	-3.9734E-05			
7	AX		.740	-3.5773E+01	2.8079E+01	1.8820E+02	1.4172E-05			
8	AX		.663	-2.3339E+01	2.8077E+01	1.7575E+02	9.8627E-05			
9	AX		.598	-1.2867E+01	2.8075E+01	1.6527E+02	1.7993E-05			
10	AX		.544	-3.9651E+00	2.8074E+01	1.5637E+02	-7.5877E-05			

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 47

LOAD STEP = 11 TIME = 11.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-1.791E-04	0.000E+00	1.720E-04	1.668E-11			
2	AX		-1.311E-04	0.000E+00	1.436E-04	-1.294E-11			
3	AX		-9.447E-05	0.000E+00	1.231E-04	7.253E-11			
4	AX		-6.610E-05	0.000E+00	1.080E-04	5.034E-11			
5	AX		-4.844E-05	0.000E+00	9.659E-05	-1.023E-10			
6	AX		-3.939E-05	0.000E+00	8.753E-05	-3.973E-11			
7	AX		-3.193E-05	0.000E+00	8.006E-05	1.417E-11			
8	AX		-2.571E-05	0.000E+00	7.384E-05	9.863E-11			
9	AX		-2.047E-05	0.000E+00	6.860E-05	1.799E-11			
10	AX		-1.602E-05	0.000E+00	6.415E-05	-7.588E-11			

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 48

LOAD STEP = 11 TIME = 11.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER PAGE 49

LOAD STEP = 12 TIME = 12.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.6821E+02	-1.9426E+00	1.4356E+02	-1.5662E-06			
2	AX		1.000	-1.3995E+02	1.4490E+01	1.7205E+02	-4.0983E-06			
3	AX		1.000	-1.1403E+02	2.3899E+01	1.9729E+02	5.6635E-05			
4	AX		1.000	-9.0199E+01	2.7982E+01	2.1896E+02	4.8662E-05			
5	AX		.947	-6.8814E+01	2.8090E+01	2.2130E+02	-1.0252E-04			
6	AX		.833	-5.0699E+01	2.8086E+01	2.0316E+02	-3.7651E-05			
7	AX		.740	-3.5778E+01	2.8083E+01	1.8823E+02	1.6903E-05			
8	AX		.663	-2.3342E+01	2.8081E+01	1.7578E+02	9.8018E-05			
9	AX		.598	-1.2869E+01	2.8079E+01	1.6530E+02	1.7526E-05			
10	AX		.544	-3.9658E+00	2.8078E+01	1.5639E+02	-7.5829E-05			

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 50

LOAD STEP = 12 TIME = 12.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-1.791E-04	0.000E+00	1.720E-04	1.072E-11			
2	AX		-1.312E-04	0.000E+00	1.436E-04	-1.404E-11			
3	AX		-9.450E-05	0.000E+00	1.231E-04	7.697E-11			
4	AX		-6.621E-05	0.000E+00	1.080E-04	5.383E-11			
5	AX		-4.845E-05	0.000E+00	9.661E-05	-1.025E-10			
6	AX		-3.939E-05	0.000E+00	8.754E-05	-3.765E-11			
7	AX		-3.193E-05	0.000E+00	8.007E-05	1.690E-11			
8	AX		-2.571E-05	0.000E+00	7.385E-05	9.802E-11			
9	AX		-2.047E-05	0.000E+00	6.861E-05	1.753E-11			
10	AX		-1.602E-05	0.000E+00	6.416E-05	-7.583E-11			

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 51

LOAD STEP = 12 TIME = 12.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 52

LOAD STEP = 13 TIME = 13.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.7600E+02	-7.4905E+00	1.3566E+02	-2.5174E-06			
2	AX		1.000	-1.4764E+02	1.1451E+01	1.6434E+02	-6.6413E-06			
3	AX		1.000	-1.2163E+02	2.3299E+01	1.9012E+02	5.7941E-05			
4	AX		1.000	-9.7696E+01	2.9463E+01	2.1262E+02	5.0021E-05			
5	AX		1.000	-7.0144E+01	3.2206E+01	2.3623E+02	-1.1952E-04			
6	AX		.915	-5.5686E+01	3.0849E+01	2.2315E+02	-5.6483E-05			
7	AX		.813	-3.9298E+01	3.0846E+01	2.0674E+02	8.4799E-06			
8	AX		.728	-2.5639E+01	3.0843E+01	1.9307E+02	1.0762E-04			
9	AX		.657	-1.4135E+01	3.0842E+01	1.8156E+02	1.1921E-05			
10	AX		.597	-4.3558E+00	3.0840E+01	1.7177E+02	-7.9183E-05			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 53

LOAD STEP = 13 TIME = 13.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-2.043E-04	0.000E+00	1.916E-04	9.160E-12		
2	AX		-1.519E-04	0.000E+00	1.594E-04	-1.788E-11		
3	AX		-1.116E-04	0.000E+00	1.361E-04	8.931E-11		
4	AX		-8.041E-05	0.000E+00	1.189E-04	6.301E-11		
5	AX		-5.322E-05	0.000E+00	1.061E-04	-1.238E-10		
6	AX		-4.327E-05	0.000E+00	9.615E-05	-5.648E-11		
7	AX		-3.507E-05	0.000E+00	8.795E-05	8.480E-12		
8	AX		-2.824E-05	0.000E+00	8.112E-05	1.076E-10		
9	AX		-2.249E-05	0.000E+00	7.536E-05	1.192E-11		
10	AX		-1.760E-05	0.000E+00	7.047E-05	-7.918E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 54

LOAD STEP = 13 TIME = 13.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 55

LOAD STEP = 14 TIME = 14.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.8549E+02	-1.6117E+01	1.2611E+02	-8.5407E-06		
2	AX		1.000	-1.5703E+02	6.1705E+00	1.5486E+02	-2.7182E-05		
3	AX		1.000	-1.3088E+02	2.1626E+01	1.8109E+02	2.6193E-05		
4	AX		1.000	-1.0674E+02	3.1275E+01	2.0459E+02	3.1669E-05		
5	AX		1.000	-8.4109E+01	3.5841E+01	2.2530E+02	-9.3092E-05		
6	AX		1.000	-5.6927E+01	3.7659E+01	2.4785E+02	-6.2623E-05		
7	AX		.937	-4.5296E+01	3.5554E+01	2.3830E+02	6.2523E-06		
8	AX		.839	-2.9552E+01	3.5551E+01	2.2254E+02	1.2256E-04		
9	AX		.757	-1.6292E+01	3.5549E+01	2.0927E+02	1.3306E-05		
10	AX		.689	-5.0207E+00	3.5547E+01	1.9799E+02	-8.5856E-05		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 56

LOAD STEP = 14 TIME = 14.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-2.461E-04	0.000E+00	2.259E-04	-4.037E-14		
2	AX		-1.864E-04	0.000E+00	1.875E-04	-4.625E-11		
3	AX		-1.403E-04	0.000E+00	1.594E-04	7.047E-11		
4	AX		-1.041E-04	0.000E+00	1.385E-04	5.589E-11		
5	AX		-7.559E-05	0.000E+00	1.228E-04	-1.232E-10		
6	AX		-4.987E-05	0.000E+00	1.108E-04	-6.598E-11		
7	AX		-4.042E-05	0.000E+00	1.014E-04	6.252E-12		
8	AX		-3.255E-05	0.000E+00	9.350E-05	1.226E-10		
9	AX		-2.592E-05	0.000E+00	8.686E-05	1.331E-11		
10	AX		-2.028E-05	0.000E+00	8.122E-05	-8.586E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 57

LOAD STEP = 14 TIME = 14.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 58

LOAD STEP = 15 TIME = 15.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.8552E+02	-1.6855E+01	1.2613E+02	-6.3168E-06		
2	AX		1.000	-1.5730E+02	5.7354E+00	1.5459E+02	4.2958E-06		
3	AX		1.000	-1.3139E+02	2.1571E+01	1.8059E+02	5.4593E-05		
4	AX		1.000	-1.0742E+02	3.1617E+01	2.0398E+02	4.6778E-05		
5	AX		1.000	-8.5266E+01	3.6463E+01	2.2438E+02	-1.0364E-04		
6	AX		1.000	-6.4647E+01	3.7244E+01	2.4168E+02	-6.2561E-05		
7	AX		.954	-4.6164E+01	3.6235E+01	2.4287E+02	1.7015E-05		
8	AX		.855	-3.0119E+01	3.6233E+01	2.2681E+02	1.2092E-04		
9	AX		.772	-1.6605E+01	3.6231E+01	2.1329E+02	1.6672E-05		
10	AX		.702	-5.1170E+00	3.6229E+01	2.0179E+02	-9.3854E-05		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 59

LOAD STEP = 15 TIME = 15.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-2.517E-04	0.000E+00	2.313E-04	1.659E-12			
2	AX		-1.912E-04	0.000E+00	1.920E-04	-1.542E-11			
3	AX		-1.443E-04	0.000E+00	1.632E-04	1.009E-10			
4	AX		-1.076E-04	0.000E+00	1.418E-04	7.268E-11			
5	AX		-7.874E-05	0.000E+00	1.256E-04	-1.375E-10			
6	AX		-5.598E-05	0.000E+00	1.131E-04	-6.904E-11			
7	AX		-4.120E-05	0.000E+00	1.033E-04	1.701E-11			
8	AX		-3.318E-05	0.000E+00	9.529E-05	1.209E-10			
9	AX		-2.642E-05	0.000E+00	8.853E-05	1.667E-11			
10	AX		-2.067E-05	0.000E+00	8.278E-05	-9.385E-11			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 60

LOAD STEP = 15 TIME = 15.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 61

LOAD STEP = 16 TIME = 16.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	AX		1.000	-1.8551E+02	-1.6855E+01	1.2614E+02	-7.7885E-06			
2	AX		1.000	-1.5728E+02	5.7407E+00	1.5461E+02	6.2730E-06			
3	AX		1.000	-1.3136E+02	2.1580E+01	1.8062E+02	5.6658E-05			
4	AX		1.000	-1.0743E+02	3.1619E+01	2.0397E+02	4.7604E-05			
5	AX		1.000	-8.5281E+01	3.6467E+01	2.2437E+02	-1.0286E-04			
6	AX		1.000	-6.4770E+01	3.7227E+01	2.4158E+02	-5.8866E-05			
7	AX		.955	-4.6171E+01	3.6241E+01	2.4291E+02	2.2510E-05			
8	AX		.855	-3.0123E+01	3.6238E+01	2.2684E+02	1.2422E-04			
9	AX		.772	-1.6607E+01	3.6236E+01	2.1332E+02	1.9442E-05			
10	AX		.702	-5.1178E+00	3.6235E+01	2.0182E+02	-9.3590E-05			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 62

LOAD STEP = 16 TIME = 16.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-2.517E-04	0.000E+00	2.314E-04	1.835E-13		
2	AX		-1.912E-04	0.000E+00	1.920E-04	-1.344E-11		
3	AX		-1.443E-04	0.000E+00	1.632E-04	1.030E-10		
4	AX		-1.076E-04	0.000E+00	1.418E-04	7.352E-11		
5	AX		-7.877E-05	0.000E+00	1.256E-04	-1.367E-10		
6	AX		-5.606E-05	0.000E+00	1.131E-04	-6.538E-11		
7	AX		-4.121E-05	0.000E+00	1.033E-04	2.251E-11		
8	AX		-3.318E-05	0.000E+00	9.530E-05	1.242E-10		
9	AX		-2.642E-05	0.000E+00	8.854E-05	1.944E-11		
10	AX		-2.068E-05	0.000E+00	8.279E-05	-9.359E-11		

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 63

LOAD STEP = 16 TIME = 16.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 64

LOAD STEP = 17 TIME = 17.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.9554E+02	-2.7098E+01	1.1612E+02	8.9610E-07		
2	AX		1.000	-1.6701E+02	-1.5923E+00	1.4480E+02	1.7672E-05		
3	AX		1.000	-1.4080E+02	1.7871E+01	1.7118E+02	3.3284E-05		
4	AX		1.000	-1.1671E+02	3.1852E+01	1.9517E+02	2.6985E-05		
5	AX		1.000	-9.4288E+01	4.0171E+01	2.1676E+02	-1.3143E-04		
6	AX		1.000	-7.3495E+01	4.3823E+01	2.3553E+02	-7.6673E-05		
7	AX		1.000	-3.8500E+01	4.7828E+01	2.6431E+02	1.4645E-05		
8	AX		1.000	-3.4832E+01	4.2774E+01	2.6568E+02	1.3718E-04		
9	AX		.907	-1.9506E+01	4.2561E+01	2.5055E+02	1.3766E-05		
10	AX		.824	-6.0109E+00	4.2559E+01	2.3705E+02	-1.0177E-04		



1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 65

LOAD STEP = 17 TIME = 17.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	AX		-3.068E-04	0.000E+00	2.784E-04	7.996E-12			
2	AX		-2.369E-04	0.000E+00	2.305E-04	5.572E-12			
3	AX		-1.824E-04	0.000E+00	1.953E-04	9.834E-11			
4	AX		-1.395E-04	0.000E+00	1.689E-04	6.693E-11			
5	AX		-1.054E-04	0.000E+00	1.488E-04	-2.025E-10			
6	AX		-7.839E-05	0.000E+00	1.333E-04	-1.013E-10			
7	AX		-4.840E-05	0.000E+00	1.214E-04	1.713E-11			
8	AX		-3.897E-05	0.000E+00	1.119E-04	1.384E-10			
9	AX		-3.103E-05	0.000E+00	1.040E-04	1.377E-11			
10	AX		-2.428E-05	0.000E+00	9.724E-05	-1.018E-10			

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 66

LOAD STEP = 17 TIME = 17.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 67

LOAD STEP = 18 TIME = 18.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	AX		1.000	-1.9554E+02	-2.9757E+01	1.1625E+02	2.6248E-06		
2	AX		1.000	-1.6736E+02	-3.4299E+00	1.4450E+02	1.9561E-05		
3	AX		1.000	-1.4145E+02	1.7188E+01	1.7054E+02	6.0749E-05		
4	AX		1.000	-1.1736E+02	3.2572E+01	1.9456E+02	3.6338E-05		
5	AX		1.000	-9.5092E+01	4.2298E+01	2.1620E+02	-1.1784E-04		
6	AX		1.000	-7.4383E+01	4.7252E+01	2.3525E+02	-7.2470E-05		
7	AX		1.000	-5.4427E+01	4.9595E+01	2.5232E+02	3.5807E-05		
8	AX		1.000	-3.7121E+01	4.7541E+01	2.6527E+02	1.6770E-04		
9	AX		.970	-2.0871E+01	4.5539E+01	2.6808E+02	4.3114E-05		
10	AX		.882	-6.4316E+00	4.5537E+01	2.5363E+02	-1.1107E-04		



1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 71

LOAD STEP = 19 TIME = 19.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****					
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ
1	AX		-3.314E-04	0.000E+00	3.024E-04	-4.240E-12		
2	AX		-2.574E-04	0.000E+00	2.505E-04	6.169E-12		
3	AX		-1.997E-04	0.000E+00	2.121E-04	1.397E-10		
4	AX		-1.541E-04	0.000E+00	1.833E-04	8.806E-11		
5	AX		-1.178E-04	0.000E+00	1.613E-04	-2.007E-10		
6	AX		-8.878E-05	0.000E+00	1.442E-04	-1.093E-10		
7	AX		-6.525E-05	0.000E+00	1.308E-04	3.165E-11		
8	AX		-4.671E-05	0.000E+00	1.202E-04	1.609E-10		
9	AX		-3.327E-05	0.000E+00	1.115E-04	2.908E-11		
10	AX		-2.604E-05	0.000E+00	1.043E-04	-1.165E-10		

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

PAGE 72

LOAD STEP = 19 TIME = 19.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****

ROUTINERARY OPTION EXIT



```

1
ITINERARY OPTION STAR
1          A G B A B I A N   A S S O C I A T E S          BMINES (VER. 200, 10/80)
          SAMPLE PROBLEM 3  CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95          PAGE 1

```

```

*GENE
ONUMBER OF SLIP ELEMENTS TO BE ADDED      = 0
NUMBER OF ELEMENT GROUPS TO BE ADDED      = 1
NUMBER OF NODAL POINT CARDS TO BE READ    = 23
NUMBER OF LOAD CARDS TO BE READ           = 0
MAXIMUM POSITION NUMBER OF ELEMENT CONNECTIVITY = 4
OCCORDINATE UNIT CONVERSION FLAG = 1
TIME UNIT CONVERSION FLAG = 0

```

```

1          A G B A B I A N   A S S O C I A T E S          BMINES (VER. 200, 10/80)
          SAMPLE PROBLEM 3  CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95          PAGE 2

```

INPUT ELEMENT DATA FOR \*GENERATE OPTION

MATERIAL PROPERTY DATA

```

MATERIAL PROPERTY SET NUMBER = 1
STEEL PCT DATA SET NUMBER  = 0
REBAR PROPERTY SET NUMBER   = 0
NUMBER OF INTEGRATION POINTS = 2
STIFFNESS FORMULATION TYPE  = 1
ELEMENT THICKNESS (2-D)     = 1.0000
NUMBER OF ELEMENT DATA CARDS = 16

```

ONC. TO GENERATE	ELEMENT TYPE	NODE INCR	C O N N E C T I V I T Y							
			I	J	K	L	II	JJ	KK	LL
1	10	1	2	1	4	3				
1	10	1	5	2	3	6				
1	10	1	6	3	8	7				
1	10	1	3	4	8	8				
1	10	1	10	5	6	11				
1	10	1	11	6	7	12				
1	10	1	12	7	14	13				
1	10	1	7	8	15	14				
1	10	1	8	9	16	15				
1	10	1	17	10	11	18				
1	10	1	18	11	12	19				
1	10	1	19	12	13	20				
1	10	1	13	14	21	20				
1	10	1	14	15	22	21				
1	10	1	15	16	23	22				
1	10	1	24	17	18	25				

1

A G B A B I A N   A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3   CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE   3

\* ELEMENTS ADDED \*

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	I	J	C O N N E C T I V I T Y				KK	LL	MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
1	2D S	2	1	4	3				1	0	0	2	1	1.00	3	
2	2D S	5	2	3	6				1	0	0	2	1	1.00	4	
3	2D S	6	3	8	7				1	0	0	2	1	1.00	5	
4	2D S	3	4	8	8				1	0	0	2	1	1.00	5	
5	2D S	10	5	6	11				1	0	0	2	1	1.00	6	
6	2D S	11	6	7	12				1	0	0	2	1	1.00	6	
7	2D S	12	7	14	13				1	0	0	2	1	1.00	7	
8	2D S	7	8	15	14				1	0	0	2	1	1.00	8	
9	2D S	8	9	16	15				1	0	0	2	1	1.00	8	
10	2D S	17	10	11	18				1	0	0	2	1	1.00	8	
11	2D S	18	11	12	19				1	0	0	2	1	1.00	8	
12	2D S	19	12	13	20				1	0	0	2	1	1.00	8	
13	2D S	13	14	21	20				1	0	0	2	1	1.00	8	
14	2D S	14	15	22	21				1	0	0	2	1	1.00	8	
15	2D S	15	16	23	22				1	0	0	2	1	1.00	8	
16	2D S	24	17	18	25				1	0	0	2	1	1.00	8	

1

A G B A B I A N   A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3   CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE   4

\* ELEMENTS ADDED \*

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	I	J	C O N N E C T I V I T Y				KK	LL	MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
1	2D S	2	1	4	3				1	0	0	2	1	1.00	3	
2	2D S	5	2	3	6				1	0	0	2	1	1.00	4	
3	2D S	6	3	8	7				1	0	0	2	1	1.00	5	
4	2D S	3	4	8	8				1	0	0	2	1	1.00	5	
5	2D S	10	5	6	11				1	0	0	2	1	1.00	6	
6	2D S	11	6	7	12				1	0	0	2	1	1.00	6	
7	2D S	12	7	14	13				1	0	0	2	1	1.00	7	
8	2D S	7	8	15	14				1	0	0	2	1	1.00	8	
9	2D S	8	9	16	15				1	0	0	2	1	1.00	8	
10	2D S	17	10	11	18				1	0	0	2	1	1.00	8	
11	2D S	18	11	12	19				1	0	0	2	1	1.00	8	
12	2D S	19	12	13	20				1	0	0	2	1	1.00	8	
13	2D S	13	14	21	20				1	0	0	2	1	1.00	8	
14	2D S	14	15	22	21				1	0	0	2	1	1.00	8	
15	2D S	15	16	23	22				1	0	0	2	1	1.00	8	
16	2D S	24	17	18	25				1	0	0	2	1	1.00	8	

OCONTROLLING BANDWIDTH =        8 AT ELEMENT        8

SAMPLE PROBLEM 3   CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE   5

OINPUT NODE DATA FOR \*GENERATE OPTION

NODE NUMBER	BOUNDARY CODE	NODE INCR	C O O R D I N A T E S		
			X-ORD	Y-ORD	Z-ORD
1	1 1 1 1 1 1	0	.0000	.0000	.0000
2	1 0 1 1 1 1	0	.0000	2.0000	.0000
3	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	2.0000	.0000
4	0 1 1 1 1 1	0	2.0000	.0000	.0000
5	1 0 1 1 1 1	0	.0000	4.0000	.0000
6	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	4.0000	.0000
7	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	4.0000	.0000
8	0 0 1 1 1 1	0	4.0000	2.0000	.0000
9	0 1 1 1 1 1	0	4.0000	.0000	.0000
10	1 0 1 1 1 1	0	.0000	6.0000	.0000
11	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	6.0000	.0000
12	0 0 1 1 1 1	0	4.0000	6.0000	.0000
13	0 0 1 1 1 1	0	5.5000	5.5000	.0000
14	0 0 1 1 1 1	0	6.0000	4.0000	.0000
15	0 0 1 1 1 1	0	6.0000	2.0000	.0000
16	0 1 1 1 1 1	0	6.0000	.0000	.0000
17	1 0 1 1 1 1	0	.0000	8.0000	.0000
18	0 0 1 1 1 1	0	2.0000	8.0000	.0000
19	0 0 1 1 1 1	0	4.5000	7.5000	.0000
20	0 0 1 1 1 1	0	6.2500	6.2500	.0000
21	0 0 1 1 1 1	0	7.5000	4.5000	.0000
22	0 0 1 1 1 1	0	8.0000	2.0000	.0000
23	0 1 1 1 1 1	0	8.0000	.0000	.0000

SAMPLE PROBLEM 3   CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE   6

O NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	C O O R D I N A T E S			LOAD COUNT
		X-(FT)	Y-(FT)	Z-(FT)	
1	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000	
2	1 0 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000	
3	0 0 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000	
4	0 1 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000	
5	1 0 1 1 1 1	.000000	4.000000	.000000	
6	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000	
7	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000	
8	0 0 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000	
9	0 1 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000	
10	1 0 1 1 1 1	.000000	6.000000	.000000	
11	0 0 1 1 1 1	2.000000	6.000000	.000000	
12	0 0 1 1 1 1	4.000000	6.000000	.000000	
13	0 0 1 1 1 1	5.500000	5.500000	.000000	
14	0 0 1 1 1 1	6.000000	4.000000	.000000	
15	0 0 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000	
16	0 1 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000	
17	1 0 1 1 1 1	.000000	8.000000	.000000	





```

1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000
1      0      0      2      0      1.0000

```

0\* NUMBER OF DIVISIONS IN BLOCKS \*

```

... IN THE Y-DIRECTION (TOP TO BOTTOM)
1      1      1      1      1      1
... IN THE X-DIRECTION (LEFT TO RIGHT)
7      10

```

0\* MIDPOINT DATA \*

ROW	LOCATION		COORDINATES		
	COL	PLANE	X	Y	Z
-1	2	0	3.000	.000	.000
1	2	1	.000	31.958	.000
-3	2	0	3.000	.000	.000
3	2	1	8.435	31.480	.000
-5	2	0	3.000	.000	.000
5	2	1	17.365	30.077	.000
-7	2	0	3.000	.000	.000
7	2	1	27.846	27.846	.000
-9	2	0	3.000	.000	.000
9	2	1	30.077	17.365	.000
-11	2	0	3.000	.000	.000
11	2	1	31.480	8.435	.000
-13	2	0	3.000	.000	.000
13	2	1	31.958	.000	.000
-1	4	0	32.000	.000	.000
1	4	1	.000	311.333	.000
-3	4	0	33.129	.000	.000
3	4	1	83.422	311.334	.000
-5	4	0	36.950	.000	.000
5	4	1	179.748	311.332	.000
-7	4	0	45.255	.000	.000
7	4	1	311.334	311.334	.000
-9	4	0	36.950	.000	.000
9	4	1	311.332	179.748	.000
-11	4	0	33.129	.000	.000
11	4	1	311.334	83.422	.000
-13	4	0	32.000	.000	.000
13	4	1	311.333	.000	.000

OMESH GENERATION ERROR TOLERANCE = .10000E-01  
NUMBER OF CONTROLLED BOUNDARY SEGMENTS = 4  
NUMBER OF LOAD COEFFICIENT FORMULAE = 0

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAXIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 10

CONTROL PARAMETERS FOR AUTOMATICALLY GENERATED BOUNDARY CONDITIONS

CORNER I1	NODES J1 K1	OF SURFACE I2 J2 K2	I3 J3 K3	BOUNDARY TYPE	BOUNDARY DIRECTION	STRESS HISTORY NUMBER						LOAD COEFFICIENT FORMULA								
						X	Y	Z	XY	YZ	ZX	X	Y	Z	XY	YZ	ZX			
1	1 0	1 5 0	0 0 0	-2	1	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1 0	13 5 0	0 0 0	-2	2	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5 0	7 5 0	0 0 0	-2	2	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5 0	13 5 0	0 0 0	-2	1	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAXIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 11

0 NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	C O O R D I N A T E S			LOAD COUNT
		X-(FT)	Y-(FT)	Z-(FT)	
1	1 0 1 1 1 1	.000000	10.000000	.000000	
2	0 0 1 1 1 1	2.588000	9.659000	.000000	
3	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.660000	.000000	
4	0 0 1 1 1 1	7.071001	7.071001	.000000	
5	0 0 1 1 1 1	8.660000	5.000000	.000000	
6	0 0 1 1 1 1	9.659000	2.588000	.000000	
7	0 1 1 1 1 1	10.000000	.000000	.000000	
8	1 0 1 1 1 1	.000000	13.000000	.000000	
9	0 0 1 1 1 1	3.364474	12.556770	.000000	
10	0 0 1 1 1 1	6.499994	11.258080	.000000	
11	0 0 1 1 1 1	9.192321	9.192321	.000000	
12	0 0 1 1 1 1	11.258080	6.499994	.000000	
13	0 0 1 1 1 1	12.556770	3.364474	.000000	
14	0 1 1 1 1 1	13.000000	.000000	.000000	
15	1 0 1 1 1 1	.000000	18.619050	.000000	
16	0 0 1 1 1 1	4.856219	18.123910	.000000	
17	0 0 1 1 1 1	9.626275	16.672990	.000000	
18	0 0 1 1 1 1	14.365060	14.365060	.000000	
19	0 0 1 1 1 1	16.672990	9.626275	.000000	
20	0 0 1 1 1 1	18.123910	4.856219	.000000	
21	0 1 1 1 1 1	18.619050	.000000	.000000	
22	1 0 1 1 1 1	.000000	26.857140	.000000	
23	0 0 1 1 1 1	7.063235	26.360400	.000000	
24	0 0 1 1 1 1	14.378840	24.904730	.000000	
25	0 0 1 1 1 1	22.589210	22.589210	.000000	
26	0 0 1 1 1 1	24.904730	14.378840	.000000	
27	0 0 1 1 1 1	26.360400	7.063235	.000000	
28	0 1 1 1 1 1	26.857140	.000000	.000000	
29	1 0 1 1 1 1	.000000	37.714290	.000000	
30	0 0 1 1 1 1	9.985521	37.266270	.000000	
31	0 0 1 1 1 1	20.757700	35.953300	.000000	
32	0 0 1 1 1 1	33.864780	33.864780	.000000	
33	0 0 1 1 1 1	35.953300	20.757700	.000000	
34	0 0 1 1 1 1	37.266270	9.985521	.000000	
35	0 1 1 1 1 1	37.714290	.000000	.000000	
36	1 0 1 1 1 1	.000000	51.190480	.000000	
37	0 0 1 1 1 1	13.623080	50.841480	.000000	
38	0 0 1 1 1 1	28.762850	49.818710	.000000	

39	0 0 1 1 1 1	48.191770	.000000
40	0 0 1 1 1 1	28.762850	.000000
41	0 0 1 1 1 1	13.623080	.000000
42	0 0 1 1 1 1	.000000	.000000
43	1 0 1 1 1 1	67.285720	.000000
44	0 0 1 1 1 1	67.086060	.000000
45	0 0 1 1 1 1	38.394280	.000000
46	0 0 1 1 1 1	65.570180	.000000
47	0 0 1 1 1 1	38.394280	.000000
48	0 0 1 1 1 1	17.975900	.000000
49	1 0 1 1 1 1	.000000	.000000
50	1 0 1 1 1 1	86.000000	.000000
51	0 0 1 1 1 1	86.000000	.000000
52	0 0 1 1 1 1	86.000000	.000000
53	0 0 1 1 1 1	86.000000	.000000
54	0 0 1 1 1 1	49.652000	.000000
55	0 0 1 1 1 1	23.044000	.000000
56	0 1 1 1 1 1	.000000	.000000
57	1 0 1 1 1 1	118.000000	.000000
58	0 0 1 1 1 1	118.000200	.000000
59	0 0 1 1 1 1	117.999600	.000000
60	0 0 1 1 1 1	118.000100	.000000
61	0 0 1 1 1 1	68.126990	.000000
62	0 0 1 1 1 1	118.000200	.000000
63	0 1 1 1 1 1	118.000000	.000000
64	1 0 1 1 1 1	156.533300	.000000
65	0 0 1 1 1 1	156.533600	.000000
66	0 0 1 1 1 1	156.532700	.000000
67	0 0 1 1 1 1	156.533600	.000000
68	0 0 1 1 1 1	90.374050	.000000
69	0 0 1 1 1 1	156.533600	.000000
70	0 1 1 1 1 1	156.533300	.000000
71	1 0 1 1 1 1	.000000	.000000
72	0 0 1 1 1 1	54.018880	.000000
73	0 0 1 1 1 1	116.393200	.000000
74	0 0 1 1 1 1	201.600300	.000000
75	0 0 1 1 1 1	201.599200	.000000
76	0 0 1 1 1 1	201.600400	.000000
77	0 1 1 1 1 1	201.600000	.000000
78	1 0 1 1 1 1	.000000	.000000
79	0 0 1 1 1 1	67.845000	.000000
80	0 0 1 1 1 1	146.184400	.000000
81	0 0 1 1 1 1	253.200300	.000000
82	0 0 1 1 1 1	253.199000	.000000
83	0 0 1 1 1 1	253.200400	.000000
84	0 1 1 1 1 1	253.200000	.000000
85	1 0 1 1 1 1	.000000	.000000
86	0 0 1 1 1 1	83.421710	.000000
87	0 0 1 1 1 1	179.747700	.000000
88	0 0 1 1 1 1	311.333700	.000000
89	0 0 1 1 1 1	311.332300	.000000
90	0 0 1 1 1 1	311.333800	.000000
91	0 1 1 1 1 1	311.333300	.000000
92	1 0 1 1 1 1	.000000	.000000
93	0 0 1 1 1 1	100.749000	.000000
94	0 0 1 1 1 1	217.083000	.000000
95	0 0 1 1 1 1	376.000300	.000000
96	0 0 1 1 1 1	375.999000	.000000
97	0 0 1 1 1 1	376.000500	.000000



23	2D S	26	27	34	33	1	0	2	0	1.00	8
24	2D S	27	28	35	34	1	0	2	0	1.00	8
25	2D S	29	30	37	36	1	0	2	0	1.00	8
26	2D S	30	31	38	37	1	0	2	0	1.00	8
27	2D S	31	32	39	38	1	0	2	0	1.00	8
28	2D S	32	33	40	39	1	0	2	0	1.00	8
29	2D S	33	34	41	40	1	0	2	0	1.00	8
30	2D S	34	35	42	41	1	0	2	0	1.00	8
31	2D S	36	37	44	43	1	0	2	0	1.00	8
32	2D S	37	38	45	44	1	0	2	0	1.00	8
33	2D S	38	39	46	45	1	0	2	0	1.00	8
34	2D S	39	40	47	46	1	0	2	0	1.00	8
35	2D S	40	41	48	47	1	0	2	0	1.00	8
36	2D S	41	42	49	48	1	0	2	0	1.00	8
37	2D S	43	44	51	50	1	0	2	0	1.00	8
38	2D S	44	45	52	51	1	0	2	0	1.00	8
39	2D S	45	46	53	52	1	0	2	0	1.00	8
40	2D S	46	47	54	53	1	0	2	0	1.00	8
41	2D S	47	48	55	54	1	0	2	0	1.00	8
42	2D S	48	49	56	55	1	0	2	0	1.00	8
43	2D S	50	51	58	57	1	0	2	0	1.00	8
44	2D S	51	52	59	58	1	0	2	0	1.00	8
45	2D S	52	53	60	59	1	0	2	0	1.00	8
46	2D S	53	54	61	60	1	0	2	0	1.00	8
47	2D S	55	56	62	61	1	0	2	0	1.00	8
48	2D S	55	56	63	62	1	0	2	0	1.00	8
49	2D S	57	58	65	64	1	0	2	0	1.00	8
50	2D S	58	59	66	65	1	0	2	0	1.00	8
51	2D S	59	60	67	66	1	0	2	0	1.00	8
52	2D S	60	61	68	67	1	0	2	0	1.00	8
53	2D S	61	62	69	68	1	0	2	0	1.00	8
54	2D S	62	63	70	69	1	0	2	0	1.00	8
55	2D S	64	65	72	71	1	0	2	0	1.00	8
56	2D S	65	66	73	72	1	0	2	0	1.00	8
57	2D S	66	67	74	73	1	0	2	0	1.00	8
58	2D S	67	68	75	74	1	0	2	0	1.00	8
59	2D S	68	69	76	75	1	0	2	0	1.00	8
60	2D S	69	70	77	76	1	0	2	0	1.00	8
61	2D S	71	72	79	78	1	0	2	0	1.00	8
62	2D S	72	73	80	79	1	0	2	0	1.00	8
63	2D S	73	74	81	80	1	0	2	0	1.00	8
64	2D S	74	75	82	81	1	0	2	0	1.00	8
65	2D S	75	76	83	82	1	0	2	0	1.00	8
66	2D S	76	77	84	83	1	0	2	0	1.00	8
67	2D S	78	79	86	85	1	0	2	0	1.00	8
68	2D S	79	80	87	86	1	0	2	0	1.00	8
69	2D S	80	81	88	87	1	0	2	0	1.00	8
70	2D S	81	82	89	88	1	0	2	0	1.00	8
71	2D S	82	83	90	89	1	0	2	0	1.00	8
72	2D S	83	84	91	90	1	0	2	0	1.00	8
73	2D S	85	86	93	92	1	0	2	0	1.00	8
74	2D S	86	87	94	93	1	0	2	0	1.00	8
75	2D S	87	88	95	94	1	0	2	0	1.00	8
76	2D S	88	89	96	95	1	0	2	0	1.00	8
77	2D S	89	90	97	96	1	0	2	0	1.00	8
78	2D S	90	91	98	97	1	0	2	0	1.00	8
79	2D S	92	93	100	99	1	0	2	0	1.00	8
80	2D S	93	94	101	100	1	0	2	0	1.00	8
81	2D S	94	95	102	101	1	0	2	0	1.00	8

82	2D S	95	96	103	102	1	0	0	2	0	1.00	8
83	2D S	96	97	104	103	1	0	0	2	0	1.00	8
84	2D S	97	98	105	104	1	0	0	2	0	1.00	8
85	2D S	99	100	107	106	1	0	0	2	0	1.00	8
86	2D S	100	101	108	107	1	0	0	2	0	1.00	8
87	2D S	101	102	109	108	1	0	0	2	0	1.00	8
88	2D S	102	103	110	109	1	0	0	2	0	1.00	8
89	2D S	103	104	111	110	1	0	0	2	0	1.00	8
90	2D S	104	105	112	111	1	0	0	2	0	1.00	8
91	2D S	106	107	114	113	1	0	0	2	0	1.00	8
92	2D S	107	108	115	114	1	0	0	2	0	1.00	8
93	2D S	108	109	116	115	1	0	0	2	0	1.00	8
94	2D S	109	110	117	116	1	0	0	2	0	1.00	8
95	2D S	110	111	118	117	1	0	0	2	0	1.00	8
96	2D S	111	112	119	118	1	0	0	2	0	1.00	8
97	2D S	113	114	121	120	1	0	0	2	0	1.00	8
98	2D S	114	115	122	121	1	0	0	2	0	1.00	8
99	2D S	115	116	123	122	1	0	0	2	0	1.00	8
100	2D S	116	117	124	123	1	0	0	2	0	1.00	8
101	2D S	117	118	125	124	1	0	0	2	0	1.00	8
102	2D S	118	119	126	125	1	0	0	2	0	1.00	8

OCROLLING BANDWIDTH = 8 AT ELEMENT 1

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95 PAGE 13

\* PLOT CONTROL DATA FOR THE MESH PLOT \*

HORIZON VECTOR - 1.000 .000 .000  
VIEW VECTOR - .000 .000 -1.000  
PAPER SIZE TO BE USED - 10.0 INCHES  
HEIGHT OF NODAL POINT NUMBERS - -.070 INCHES  
HEIGHT OF ELEMENT NUMBERS - -.080 INCHES  
NUMBER OF CUTTING PLANES - 0  
READING OLD RESTART  
RESTART CYCLE COMPLETED.

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95 PAGE 14

\* ELEMENTS ADDED \*

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	I	J	C O N N E C T I V I T Y				MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH		
				K	L	II	JJ	KK	LL							
17	2D S	24	25	32	31					1	0	0	2	0	1.00	8
18	2D S	25	26	33	32					1	0	0	2	0	1.00	8
19	2D S	26	27	34	33					1	0	0	2	0	1.00	8
20	2D S	27	28	35	34					1	0	0	2	0	1.00	8
21	2D S	28	29	36	35					1	0	0	2	0	1.00	8
22	2D S	29	30	37	36					1	0	0	2	0	1.00	8
23	2D S	31	32	39	38					1	0	0	2	0	1.00	8
24	2D S	32	33	40	39					1	0	0	2	0	1.00	8
25	2D S	33	34	41	40					1	0	0	2	0	1.00	8
26	2D S	34	35	42	41					1	0	0	2	0	1.00	8
27	2D S	35	36	43	42					1	0	0	2	0	1.00	8
28	2D S	36	37	44	43					1	0	0	2	0	1.00	8

29	12D S	38	39	46	45
30	12D S	39	40	47	46
31	12D S	40	41	48	47
32	12D S	41	42	49	48
33	12D S	42	43	50	49
34	12D S	43	44	51	50
35	12D S	44	45	52	51
36	12D S	45	46	53	52
37	12D S	46	47	54	53
38	12D S	47	48	55	54
39	12D S	48	49	56	55
40	12D S	49	50	57	56
41	12D S	50	51	58	57
42	12D S	51	52	59	58
43	12D S	52	53	60	59
44	12D S	53	54	61	60
45	12D S	54	55	62	61
46	12D S	55	56	63	62
47	12D S	56	57	64	63
48	12D S	57	58	65	64
49	12D S	58	59	66	65
50	12D S	59	60	67	66
51	12D S	60	61	68	67
52	12D S	61	62	69	68
53	12D S	62	63	70	69
54	12D S	63	64	71	70
55	12D S	64	65	72	71
56	12D S	65	66	73	72
57	12D S	66	67	74	73
58	12D S	67	68	75	74
59	12D S	68	69	76	75
60	12D S	69	70	77	76
61	12D S	70	71	78	77
62	12D S	71	72	79	78
63	12D S	72	73	80	79
64	12D S	73	74	81	80
65	12D S	74	75	82	81
66	12D S	75	76	83	82
67	12D S	76	77	84	83
68	12D S	77	78	85	84
69	12D S	78	79	86	85
70	12D S	79	80	87	86
71	12D S	80	81	88	87
72	12D S	81	82	89	88
73	12D S	82	83	90	89
74	12D S	83	84	91	90
75	12D S	84	85	92	91
76	12D S	85	86	93	92
77	12D S	86	87	94	93
78	12D S	87	88	95	94
79	12D S	88	89	96	95
80	12D S	89	90	97	96
81	12D S	90	91	98	97
82	12D S	91	92	99	98
83	12D S	92	93	100	99
84	12D S	93	94	101	100
85	12D S	94	95	102	101
86	12D S	95	96	103	102
87	12D S	96	97	104	103
88	12D S	97	98	105	104
89	12D S	98	99	106	105
90	12D S	99	100	107	106
91	12D S	100	101	108	107
92	12D S	101	102	109	108
93	12D S	102	103	110	109
94	12D S	103	104	111	110
95	12D S	104	105	112	111
96	12D S	105	106	113	112

88	2D S	106	107	114	113	1	0	0	2	0	1.00	8
89	2D S	108	109	116	115	1	0	0	2	0	1.00	8
90	2D S	109	110	117	116	1	0	0	2	0	1.00	8
91	2D S	110	111	118	117	1	0	0	2	0	1.00	8
92	2D S	111	112	119	118	1	0	0	2	0	1.00	8
93	2D S	112	113	120	119	1	0	0	2	0	1.00	8
94	2D S	113	114	121	120	1	0	0	2	0	1.00	8
95	2D S	115	116	123	122	1	0	0	2	0	1.00	8
96	2D S	116	117	124	123	1	0	0	2	0	1.00	8
97	2D S	117	118	125	124	1	0	0	2	0	1.00	8
98	2D S	118	119	126	125	1	0	0	2	0	1.00	8
99	2D S	119	120	127	126	1	0	0	2	0	1.00	8
100	2D S	120	121	128	127	1	0	0	2	0	1.00	8
101	2D S	122	123	130	129	1	0	0	2	0	1.00	8
102	2D S	123	124	131	130	1	0	0	2	0	1.00	8
103	2D S	124	125	132	131	1	0	0	2	0	1.00	8
104	2D S	125	126	133	132	1	0	0	2	0	1.00	8
105	2D S	126	127	134	133	1	0	0	2	0	1.00	8
106	2D S	127	128	135	134	1	0	0	2	0	1.00	8
107	2D S	129	130	137	136	1	0	0	2	0	1.00	8
108	2D S	130	131	138	137	1	0	0	2	0	1.00	8
109	2D S	131	132	139	138	1	0	0	2	0	1.00	8
110	2D S	132	133	140	139	1	0	0	2	0	1.00	8
111	2D S	133	134	141	140	1	0	0	2	0	1.00	8
112	2D S	134	135	142	141	1	0	0	2	0	1.00	8
113	2D S	136	137	144	143	1	0	0	2	0	1.00	8
114	2D S	137	138	145	144	1	0	0	2	0	1.00	8
115	2D S	138	139	146	145	1	0	0	2	0	1.00	8
116	2D S	139	140	147	146	1	0	0	2	0	1.00	8
117	2D S	140	141	148	147	1	0	0	2	0	1.00	8
118	2D S	141	142	149	148	1	0	0	2	0	1.00	8

1

A. G B A B I A N A S S O C I A T E S

EMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 15

\* ELEMENTS ADDED \*

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	I	J	C O N N E C T I V I T Y						MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
				K	L	II	JJ	KK	LL							
17	2D S	24	25	32	31					1	0	0	2	0	1.00	8
18	2D S	25	26	33	32					1	0	0	2	0	1.00	8
19	2D S	26	27	34	33					1	0	0	2	0	1.00	8
20	2D S	27	28	35	34					1	0	0	2	0	1.00	8
21	2D S	28	29	36	35					1	0	0	2	0	1.00	8
22	2D S	29	30	37	36					1	0	0	2	0	1.00	8
23	2D S	31	32	39	38					1	0	0	2	0	1.00	8
24	2D S	32	33	40	39					1	0	0	2	0	1.00	8
25	2D S	33	34	41	40					1	0	0	2	0	1.00	8
26	2D S	34	35	42	41					1	0	0	2	0	1.00	8
27	2D S	35	36	43	42					1	0	0	2	0	1.00	8
28	2D S	36	37	44	43					1	0	0	2	0	1.00	8
29	2D S	38	39	46	45					1	0	0	2	0	1.00	8
30	2D S	39	40	47	46					1	0	0	2	0	1.00	8
31	2D S	40	41	48	47					1	0	0	2	0	1.00	8
32	2D S	41	42	49	48					1	0	0	2	0	1.00	8
33	2D S	42	43	50	49					1	0	0	2	0	1.00	8
34	2D S	43	44	51	50					1	0	0	2	0	1.00	8
35	2D S	45	46	53	52					1	0	0	2	0	1.00	8





95	2D S	115	116	123	122	1	0	0	2	0	1.00	8
96	2D S	116	117	124	123	1	0	0	2	0	1.00	8
97	2D S	117	118	125	124	1	0	0	2	0	1.00	8
98	2D S	118	119	126	125	1	0	0	2	0	1.00	8
99	2D S	119	120	127	126	1	0	0	2	0	1.00	8
100	2D S	120	121	128	127	1	0	0	2	0	1.00	8
101	2D S	122	123	130	129	1	0	0	2	0	1.00	8
102	2D S	123	124	131	130	1	0	0	2	0	1.00	8
103	2D S	124	125	132	131	1	0	0	2	0	1.00	8
104	2D S	125	126	133	132	1	0	0	2	0	1.00	8
105	2D S	126	127	134	133	1	0	0	2	0	1.00	8
106	2D S	127	128	135	134	1	0	0	2	0	1.00	8
107	2D S	129	130	137	136	1	0	0	2	0	1.00	8
108	2D S	130	131	138	137	1	0	0	2	0	1.00	8
109	2D S	131	132	139	138	1	0	0	2	0	1.00	8
110	2D S	132	133	140	139	1	0	0	2	0	1.00	8
111	2D S	133	134	141	140	1	0	0	2	0	1.00	8
112	2D S	134	135	142	141	1	0	0	2	0	1.00	8
113	2D S	136	137	144	143	1	0	0	2	0	1.00	8
114	2D S	137	138	145	144	1	0	0	2	0	1.00	8
115	2D S	138	139	146	145	1	0	0	2	0	1.00	8
116	2D S	139	140	147	146	1	0	0	2	0	1.00	8
117	2D S	140	141	148	147	1	0	0	2	0	1.00	8
118	2D S	141	142	149	148	1	0	0	2	0	1.00	8

CONTROLLING BANDWIDTH = 8 AT ELEMENT 17

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S E M I N E S ( V E R . 2 0 0 , 1 0 / 8 0 )  
 SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95 PAGE 16

0	NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	C O O R D I N A T E S			LOAD COUNT
			X-(FT)	Y-(FT)	Z-(FT)	
	1	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000	
	2	1 C 1 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000	
	3	0 C 1 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000	
	4	0 1 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000	
	5	1 C 1 1 1 1 1	.000000	4.000000	.000000	
	6	0 C 1 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000	
	7	0 C 1 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000	
	8	0 C 1 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000	
	9	0 1 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000	
	10	1 C 1 1 1 1 1	.000000	6.000000	.000000	
	11	0 C 1 1 1 1 1	2.000000	6.000000	.000000	
	12	0 C 1 1 1 1 1	4.000000	6.000000	.000000	
	13	0 C 1 1 1 1 1	5.500000	5.500000	.000000	
	14	0 C 1 1 1 1 1	6.000000	4.000000	.000000	
	15	0 C 1 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000	
	16	0 1 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000	
	17	1 C 1 1 1 1 1	.000000	8.000000	.000000	
	18	0 C 1 1 1 1 1	2.000000	8.000000	.000000	
	19	0 C 1 1 1 1 1	4.500000	7.500000	.000000	
	20	0 C 1 1 1 1 1	6.250000	6.250000	.000000	
	21	0 C 1 1 1 1 1	7.500000	4.500000	.000000	
	22	0 C 1 1 1 1 1	8.000000	2.000000	.000000	
	23	0 1 1 1 1 1	8.000000	.000000	.000000	
	24	1 C 1 1 1 1 1	.000000	10.000000	.000000	
	25	0 C 1 1 1 1 1	2.588000	9.659000	.000000	



85	0 0 1 1 1 1	118.000200	31.618380	.000000
86	0 1 1 1 1 1	118.000000	.000000	.000000
87	1 0 1 1 1 1	.000000	156.533300	.000000
88	0 0 1 1 1 1	41.943340	156.533600	.000000
89	0 0 1 1 1 1	90.374050	156.532700	.000000
90	0 0 1 1 1 1	156.533600	156.533500	.000000
91	0 0 1 1 1 1	156.532700	90.374050	.000000
92	0 0 1 1 1 1	156.533600	41.943340	.000000
93	0 1 1 1 1 1	156.533300	.000000	.000000
94	1 0 1 1 1 1	.000000	201.600000	.000000
95	0 0 1 1 1 1	54.018880	201.600400	.000000
96	0 0 1 1 1 1	116.393200	201.599200	.000000
97	0 0 1 1 1 1	201.600300	201.600300	.000000
98	0 0 1 1 1 1	201.599200	116.393200	.000000
99	0 0 1 1 1 1	201.600400	54.018880	.000000
100	1 0 1 1 1 1	201.600000	.000000	.000000
101	1 0 1 1 1 1	.000000	253.200000	.000000
102	0 0 1 1 1 1	67.845000	253.200400	.000000
103	0 0 1 1 1 1	146.184400	253.199000	.000000
104	0 0 1 1 1 1	253.200300	253.200300	.000000
105	0 0 1 1 1 1	253.199000	146.184400	.000000
106	0 0 1 1 1 1	253.200400	67.845000	.000000
107	1 1 1 1 1 1	253.200000	.000000	.000000
108	1 0 1 1 1 1	.000000	311.333300	.000000
109	0 0 1 1 1 1	83.421710	311.333800	.000000
110	0 0 1 1 1 1	179.747700	311.332300	.000000
111	0 0 1 1 1 1	311.333700	311.333700	.000000
112	0 0 1 1 1 1	311.332300	179.747700	.000000
113	0 0 1 1 1 1	311.333800	83.421710	.000000
114	0 1 1 1 1 1	311.333300	.000000	.000000
115	1 0 1 1 1 1	.000000	376.000000	.000000
116	0 0 1 1 1 1	100.749000	376.000500	.000000
117	0 0 1 1 1 1	217.083000	375.999000	.000000
118	0 0 1 1 1 1	376.000300	376.000300	.000000
119	0 0 1 1 1 1	375.999000	217.083000	.000000
120	0 0 1 1 1 1	376.000500	100.749000	.000000
121	0 1 1 1 1 1	376.000000	.000000	.000000
122	1 0 1 1 1 1	.000000	447.200000	.000000
123	0 0 1 1 1 1	119.826900	447.200400	.000000
124	0 0 1 1 1 1	258.190400	447.199200	.000000
125	0 0 1 1 1 1	447.200300	447.200300	.000000
126	0 0 1 1 1 1	447.199200	258.190400	.000000
127	0 0 1 1 1 1	447.200400	119.826900	.000000
128	0 1 1 1 1 1	447.200000	.000000	.000000
129	1 0 1 1 1 1	.000000	524.933300	.000000
130	0 0 1 1 1 1	140.655300	524.933700	.000000
131	0 0 1 1 1 1	303.069900	524.932700	.000000
132	0 0 1 1 1 1	524.933600	524.933600	.000000
133	0 0 1 1 1 1	524.932700	303.069900	.000000
134	0 0 1 1 1 1	524.933700	140.655300	.000000
135	0 1 1 1 1 1	524.933300	.000000	.000000
136	1 0 1 1 1 1	.000000	609.200000	.000000
137	0 0 1 1 1 1	163.234400	609.200200	.000000
138	0 0 1 1 1 1	351.721400	609.199600	.000000
139	0 0 1 1 1 1	609.200100	609.200100	.000000
140	0 0 1 1 1 1	609.199600	351.721400	.000000
141	0 0 1 1 1 1	609.200200	163.234400	.000000
142	0 1 1 1 1 1	609.200000	.000000	.000000
143	1 1 1 1 1 1	.000000	700.000000	.000000

```

144    0 1 1 1 1 1    187.564000    700.000000    .000000
145    0 1 1 1 1 1    404.145000    700.000000    .000000
146    1 1 1 1 1 1    700.000000    700.000000    .000000
147    1 0 1 1 1 1    700.000000    404.145000    .000000
148    1 0 1 1 1 1    700.000000    187.564000    .000000
149    1 1 1 1 1 1    700.000000    .000000    .000000
    
```

```

1                A G B A B I A N   A S S O C I A T E S                BMINES (VER. 200, 10/80)
SAMPLE PROBLEM 3  CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95                PAGE 17
    
```

```

*LINK
NUMBER OF EQUATIONS = 244
    
```

```

1                A G B A B I A N   A S S O C I A T E S                BMINES (VER. 200, 10/80)
SAMPLE PROBLEM 3  CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95                PAGE 18
    
```

ELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	C O N N E C T I V I T Y								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	2D S	2	1	4	3					1	0	0	2	1	1.00	4
2	2D S	5	2	3	6					1	0	0	2	1	1.00	7
3	2D S	6	3	8	7					1	0	0	2	1	1.00	10
4	2D S	3	4	8	8					1	0	0	2	1	1.00	10
5	2D S	10	5	6	11					1	0	0	2	1	1.00	11
6	2D S	11	6	7	12					1	0	0	2	1	1.00	12
7	2D S	12	7	14	13					1	0	0	2	1	1.00	14
8	2D S	7	8	15	14					1	0	0	2	1	1.00	16
9	2D S	8	9	16	15					1	0	0	2	1	1.00	15
10	2D S	17	10	11	18					1	0	0	2	1	1.00	15
11	2D S	18	11	12	19					1	0	0	2	1	1.00	16
12	2D S	19	12	13	20					1	0	0	2	1	1.00	16
13	2D S	13	14	21	20					1	0	0	2	1	1.00	16
14	2D S	14	15	22	21					1	0	0	2	1	1.00	16
15	2D S	15	16	23	22					1	0	0	2	1	1.00	15
16	2D S	24	17	18	25					1	0	0	2	1	1.00	15
17	2D S	24	25	32	31					1	0	0	2	0	1.00	15
18	2D S	25	26	33	32					1	0	0	2	0	1.00	16
19	2D S	26	27	34	33					1	0	0	2	0	1.00	16
20	2D S	27	28	35	34					1	0	0	2	0	1.00	16
21	2D S	28	29	36	35					1	0	0	2	0	1.00	16
22	2D S	29	30	37	36					1	0	0	2	0	1.00	15
23	2D S	31	32	39	38					1	0	0	2	0	1.00	15
24	2D S	32	33	40	39					1	0	0	2	0	1.00	16
25	2D S	33	34	41	40					1	0	0	2	0	1.00	16
26	2D S	34	35	42	41					1	0	0	2	0	1.00	16
27	2D S	35	36	43	42					1	0	0	2	0	1.00	16
28	2D S	36	37	44	43					1	0	0	2	0	1.00	15
29	2D S	38	39	46	45					1	0	0	2	0	1.00	15
30	2D S	39	40	47	46					1	0	0	2	0	1.00	16
31	2D S	40	41	48	47					1	0	0	2	0	1.00	16
32	2D S	41	42	49	48					1	0	0	2	0	1.00	16
33	2D S	42	43	50	49					1	0	0	2	0	1.00	16
34	2D S	43	44	51	50					1	0	0	2	0	1.00	15
35	2D S	45	46	53	52					1	0	0	2	0	1.00	15
36	2D S	46	47	54	53					1	0	0	2	0	1.00	16
37	2D S	47	48	55	54					1	0	0	2	0	1.00	16
38	2D S	48	49	56	55					1	0	0	2	0	1.00	16
39	2D S	49	50	57	56					1	0	0	2	0	1.00	16

40	2E	S	50	51	58	57	15
41	2E	S	52	53	60	59	15
42	2E	S	53	54	61	60	16
43	2E	S	54	55	62	61	16
44	2E	S	55	56	63	62	16
45	2E	S	56	57	64	63	16
46	2E	S	57	58	65	64	15
47	2E	S	59	60	67	66	15
48	2E	S	60	61	68	67	16
49	2E	S	61	62	69	68	16
50	2E	S	62	63	70	69	16
51	2E	S	63	64	71	70	16
52	2E	S	64	65	72	71	15
53	2E	S	66	67	74	73	15
54	2E	S	67	68	75	74	16
55	2E	S	68	69	76	75	16
56	2E	S	69	70	77	76	16
57	2E	S	70	71	78	77	16
58	2E	S	71	72	79	78	15
59	2E	S	73	74	81	80	15
60	2E	S	74	75	82	81	16
61	2E	S	75	76	83	82	16
62	2E	S	76	77	84	83	16
63	2E	S	77	78	85	84	16
64	2E	S	78	79	86	85	15
65	2E	S	80	81	88	87	15
66	2E	S	81	82	89	88	16
67	2E	S	82	83	90	89	16
68	2E	S	83	84	91	90	16
69	2E	S	84	85	92	91	15
70	2E	S	85	86	93	92	15
71	2E	S	87	88	95	94	16
72	2E	S	88	89	96	95	16
73	2E	S	89	90	97	96	16
74	2E	S	90	91	98	97	16
75	2E	S	91	92	99	98	15
76	2E	S	92	93	100	99	15
77	2E	S	94	95	102	101	16
78	2E	S	95	96	103	102	16
79	2E	S	96	97	104	103	16
80	2E	S	97	98	105	104	16
81	2E	S	98	99	106	105	16
82	2E	S	99	100	107	106	15
83	2E	S	101	102	109	108	15
84	2E	S	102	103	110	109	16
85	2E	S	103	104	111	110	16
86	2E	S	104	105	112	111	16
87	2E	S	105	106	113	112	16
88	2E	S	106	107	114	113	15
89	2E	S	108	109	116	115	15
90	2E	S	109	110	117	116	16
91	2E	S	110	111	118	117	16
92	2E	S	111	112	119	118	16
93	2E	S	112	113	120	119	16
94	2E	S	113	114	121	120	15
95	2E	S	115	116	123	122	15
96	2E	S	116	117	124	123	16
97	2E	S	117	118	125	124	16
98	2E	S	118	119	126	125	16

99	2D S	119	120	127	126	1	0	0	2	0	1.00	16
100	2D S	120	121	128	127	1	0	0	2	0	1.00	15
101	2D S	122	123	130	129	1	0	0	2	0	1.00	15
102	2D S	123	124	131	130	1	0	0	2	0	1.00	16
103	2D S	124	125	132	131	1	0	0	2	0	1.00	16
104	2D S	125	126	133	132	1	0	0	2	0	1.00	16
105	2D S	126	127	134	133	1	0	0	2	0	1.00	16
106	2D S	127	128	135	134	1	0	0	2	0	1.00	15
107	2D S	129	130	137	136	1	0	0	2	0	1.00	15
108	2D S	130	131	138	137	1	0	0	2	0	1.00	16
109	2D S	131	132	139	138	1	0	0	2	0	1.00	16
110	2D S	132	133	140	139	1	0	0	2	0	1.00	16
111	2D S	133	134	141	140	1	0	0	2	0	1.00	16
112	2D S	134	135	142	141	1	0	0	2	0	1.00	15
113	2D S	136	137	144	143	1	0	0	2	0	1.00	13
114	2D S	137	138	145	144	1	0	0	2	0	1.00	13
115	2D S	138	139	146	145	1	0	0	2	0	1.00	11
116	2D S	139	140	147	146	1	0	0	2	0	1.00	10
117	2D S	140	141	148	147	1	0	0	2	0	1.00	9
118	2D S	141	142	149	148	1	0	0	2	0	1.00	7

OCROLLING BANDWIDTH = 16 AT ELEMENT 8

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95 PAGE 19

\* PLOT CONTROL DATA FOR THE MESH PLOT \*

HORIZON VECTOR - 1.000 .000 .000  
VIEW VECTOR - .000 .000 -1.000  
PAPER SIZE TO BE USED - 4.0 INCHES  
HEIGHT OF NODAL POINT NUMBERS - -.070 INCHES  
HEIGHT OF ELEMENT NUMBERS - -.080 INCHES  
NUMBER OF CUTTING PLANES - 4

POINT ON PLANE			NORMAL TO PLANE		
.000	120.000	.000	1.000	.000	.000
120.000	.000	.000	.000	1.000	.000
1044.000	323.000	.000	-1.000	.000	.000
323.000	1044.000	.000	.000	-1.000	.000

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95 PAGE 20

OLEMENT ACTIVITY TABLE

ELEMENT NUMBER	TIME STEP ON	TIME STEP OFF
1	0.	2.
2	0.	2.
3	0.	2.
4	0.	2.
5	0.	2.
6	0.	2.
7	0.	2.
8	0.	2.
9	0.	2.







```

100  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
101  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
102  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
103  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
104  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
105  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
106  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
107  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
108  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
109  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
110  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
111  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
112  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
113  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
114  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
115  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
116  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
117  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
118  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
112  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
113  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
120  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
119  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
113  -.5000E+04  -.1000E+05  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00  .0000E+00
ONUMBER OF MATLS AND REBARS= 1 0

```

```

1          A G B A B I A N   A S S O C I A T E S          BMINES (VER. 200, 10/80)
SAMPLE PROBLEM 3  CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95          PAGE 22

```

\* MATERIAL DATA \*

MATERIAL NO. 1

```

BULK MODULUS (PSI)          SHEAR MODULUS (PSI)          MASS DENSITY (LB- SEC/IN4)
.71430E+07                   .34880E+07                   .00000E+00

```

```

ANISOTROPIC FLAG          PLASTICITY FLAG          VISCIOUS FLAG          ITERATION FLAG          NO. OF SPLITS          NO. OF ITERATION
0.                          0.                          0.                          0.                          0.                          0.

```

```

SPLIT CRITERION          CONVERGENCE CRITERION          VARIABLE MODULUS FLAG          MAX SPLITS          COMPOSITE          PLASTICITY
.00000E+00                .00000E+00                    0.                          0.                          0.                          0.

```

SHEAR MODULUS COEFFICIENTS

```

.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00
.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00

```

BULK MODULUS COEFFICIENTS

```

.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00
.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00
.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00
.00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00  .00000E+00

```



1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S  
 SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

BMINES (VER. 200, 10/80)  
 PAGE 25

PRINT OPTIONS SPECIFICATION

ELEMENT OPTIONS

OPTION NUMBER	STRESS REQUESTED	STRAIN REQUESTED	EXTRA PRINTS	GLOBAL-LOCAL TRANSFORM	*****TRANSFORMATION DEFINITION*****					
1	YES	YES	NONE	CYLN	.00	.00	.00	.00	.00	1.00

NODAL OPTIONS

OPTION NUMBER	DISPLACEMENT REQUESTS
1	YES

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S  
 SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

BMINES (VER. 200, 10/80)  
 PAGE 26

PRINT SPECIFICATION

TYPE	FIRST	LAST	OPTION
ELEM	1	118	1
NODE	1	149	1

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S  
 SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

BMINES (VER. 200, 10/80)  
 PAGE 27

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
			XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	2D S	.000	0.0000E+00	-4.6205E+03	-4.9171E+03	0.0000E+00	4.0424E+03	0.0000E+00	
2	2D S	.000	0.0000E+00	-1.6678E+03	-7.7997E+03	0.0000E+00	3.3877E+03	0.0000E+00	
3	2D S	.000	0.0000E+00	-5.9225E+03	-5.0427E+03	0.0000E+00	3.7919E+03	0.0000E+00	
4	2D S	.000	0.0000E+00	-7.5492E+03	-4.0113E+03	0.0000E+00	2.8780E+03	0.0000E+00	
5	2D S	.000	0.0000E+00	-8.8047E+02	-1.0062E+04	0.0000E+00	3.1100E+03	0.0000E+00	
6	2D S	.000	0.0000E+00	-5.1753E+03	-5.2487E+03	0.0000E+00	5.3611E+03	0.0000E+00	
7	2D S	.000	0.0000E+00	-4.4880E+03	-5.1456E+02	0.0000E+00	1.4787E+03	0.0000E+00	
8	2D S	.000	0.0000E+00	-4.5489E+03	1.5432E+03	0.0000E+00	8.3626E+02	0.0000E+00	

9	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.3789E+03	5.4981E+02	0.0000E+00	1.3175E+03	0.0000E+00
10	2D	S	.000	0.0000E+00	-3.8872E+03	-1.3110E+04	0.0000E+00	2.5779E+03	0.0000E+00
11	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.4772E+03	-4.1943E+03	0.0000E+00	4.0692E+03	0.0000E+00
12	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0092E+03	4.3475E+02	0.0000E+00	-6.7258E+02	0.0000E+00
13	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.4380E+03	2.5764E+02	0.0000E+00	-1.4193E+02	0.0000E+00
14	2D	S	.000	0.0000E+00	-2.2116E+03	1.7628E+02	0.0000E+00	3.7134E+02	0.0000E+00
15	2D	S	.000	0.0000E+00	-2.5486E+03	1.0640E+02	0.0000E+00	3.0801E+02	0.0000E+00
16	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.7769E+03	-1.8094E+04	0.0000E+00	-4.3842E+02	0.0000E+00
17	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.4732E+03	-1.1513E+04	0.0000E+00	-9.1949E+02	0.0000E+00
18	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.3009E+03	-5.8589E+03	0.0000E+00	-1.4707E+03	0.0000E+00
19	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.7574E+03	-1.4227E+03	0.0000E+00	1.2257E+03	0.0000E+00
20	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.1373E+04	-1.5761E+03	0.0000E+00	1.6131E+03	0.0000E+00
21	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.4062E+04	-1.6988E+03	0.0000E+00	1.2787E+03	0.0000E+00
22	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.5695E+04	-1.8118E+03	0.0000E+00	4.7812E+02	0.0000E+00
23	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.3104E+03	-9.6267E+03	0.0000E+00	6.5260E+01	0.0000E+00
24	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.2792E+03	-7.5464E+03	0.0000E+00	6.5749E+02	0.0000E+00
25	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.6240E+03	-5.4567E+03	0.0000E+00	1.8496E+03	0.0000E+00
26	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9952E+03	-4.2967E+03	0.0000E+00	2.4653E+03	0.0000E+00
27	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.1412E+04	-3.7717E+03	0.0000E+00	1.9587E+03	0.0000E+00
28	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.2252E+04	-3.6091E+03	0.0000E+00	7.3898E+02	0.0000E+00
29	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7934E+03	-9.3673E+03	0.0000E+00	5.1170E+02	0.0000E+00
30	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.5276E+03	-8.4529E+03	0.0000E+00	1.5234E+03	0.0000E+00
31	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.6708E+03	-7.2095E+03	0.0000E+00	2.2868E+03	0.0000E+00
32	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.9338E+03	-5.9565E+03	0.0000E+00	2.4516E+03	0.0000E+00
33	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0164E+04	-4.8588E+03	0.0000E+00	1.8882E+03	0.0000E+00
34	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0863E+04	-4.3509E+03	0.0000E+00	7.0886E+02	0.0000E+00
35	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.4821E+03	-9.5461E+03	0.0000E+00	6.2336E+02	0.0000E+00
36	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.1357E+03	-8.8585E+03	0.0000E+00	1.7293E+03	0.0000E+00
37	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.2322E+03	-7.7465E+03	0.0000E+00	2.3983E+03	0.0000E+00
38	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.4515E+03	-6.5297E+03	0.0000E+00	2.4347E+03	0.0000E+00
39	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.6698E+03	-5.3396E+03	0.0000E+00	1.8140E+03	0.0000E+00
40	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0358E+04	-4.6941E+03	0.0000E+00	6.7242E+02	0.0000E+00
41	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.3049E+03	-9.6987E+03	0.0000E+00	6.4785E+02	0.0000E+00
42	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.9519E+03	-9.0438E+03	0.0000E+00	1.7739E+03	0.0000E+00
43	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.0639E+03	-7.9289E+03	0.0000E+00	2.4208E+03	0.0000E+00
44	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.2590E+03	-6.7355E+03	0.0000E+00	2.4325E+03	0.0000E+00
45	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.4562E+03	-5.5466E+03	0.0000E+00	1.7963E+03	0.0000E+00
46	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0142E+04	-4.8724E+03	0.0000E+00	6.6079E+02	0.0000E+00
47	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.2113E+03	-9.7869E+03	0.0000E+00	6.5442E+02	0.0000E+00
48	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.8645E+03	-9.1316E+03	0.0000E+00	1.7859E+03	0.0000E+00
49	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9941E+03	-8.0017E+03	0.0000E+00	2.4270E+03	0.0000E+00
50	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.1739E+03	-6.8229E+03	0.0000E+00	2.4322E+03	0.0000E+00
51	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.3575E+03	-5.6424E+03	0.0000E+00	1.7936E+03	0.0000E+00
52	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0039E+04	-4.9647E+03	0.0000E+00	6.5862E+02	0.0000E+00
53	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.1612E+03	-9.8354E+03	0.0000E+00	6.5696E+02	0.0000E+00
54	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.8209E+03	-9.1754E+03	0.0000E+00	1.7907E+03	0.0000E+00
55	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9629E+03	-8.0343E+03	0.0000E+00	2.4295E+03	0.0000E+00
56	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.1321E+03	-6.8656E+03	0.0000E+00	2.4324E+03	0.0000E+00
57	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.3079E+03	-5.6907E+03	0.0000E+00	1.7938E+03	0.0000E+00
58	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9863E+03	-5.0138E+03	0.0000E+00	6.5849E+02	0.0000E+00
59	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.1294E+03	-9.8679E+03	0.0000E+00	6.5777E+02	0.0000E+00
60	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7934E+03	-9.2037E+03	0.0000E+00	1.7923E+03	0.0000E+00
61	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9432E+03	-8.0540E+03	0.0000E+00	2.4305E+03	0.0000E+00
62	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.1085E+03	-6.8890E+03	0.0000E+00	2.4322E+03	0.0000E+00
63	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2781E+03	-5.7203E+03	0.0000E+00	1.7940E+03	0.0000E+00
64	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9535E+03	-5.0457E+03	0.0000E+00	6.5851E+02	0.0000E+00
65	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.1103E+03	-9.8868E+03	0.0000E+00	6.5794E+02	0.0000E+00
66	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7768E+03	-9.2203E+03	0.0000E+00	1.7927E+03	0.0000E+00
67	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9310E+03	-8.0663E+03	0.0000E+00	2.4309E+03	0.0000E+00

68	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0962E+03	-6.9013E+03	0.0000E+00	2.4317E+03	0.0000E+00
69	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2613E+03	-5.7366E+03	0.0000E+00	1.7935E+03	0.0000E+00
70	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9341E+03	-5.0641E+03	0.0000E+00	6.5829E+02	0.0000E+00
71	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.1007E+03	-9.8965E+03	0.0000E+00	6.5800E+02	0.0000E+00
72	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7684E+03	-9.2288E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
73	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9248E+03	-8.0726E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
74	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0900E+03	-6.9075E+03	0.0000E+00	2.4315E+03	0.0000E+00
75	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2528E+03	-5.7448E+03	0.0000E+00	1.7933E+03	0.0000E+00
76	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9244E+03	-5.0735E+03	0.0000E+00	6.5820E+02	0.0000E+00
77	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0954E+03	-9.9018E+03	0.0000E+00	6.5801E+02	0.0000E+00
78	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7639E+03	-9.2334E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
79	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9214E+03	-8.0759E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
80	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0866E+03	-6.9108E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
81	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2483E+03	-5.7493E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
82	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9191E+03	-5.0785E+03	0.0000E+00	6.5816E+02	0.0000E+00
83	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0925E+03	-9.9048E+03	0.0000E+00	6.5800E+02	0.0000E+00
84	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7613E+03	-9.2360E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
85	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9195E+03	-8.0779E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
86	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0847E+03	-6.9127E+03	0.0000E+00	2.4313E+03	0.0000E+00
87	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2457E+03	-5.7518E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
88	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9161E+03	-5.0814E+03	0.0000E+00	6.5815E+02	0.0000E+00
89	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0907E+03	-9.9066E+03	0.0000E+00	6.5798E+02	0.0000E+00
90	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7597E+03	-9.2376E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
91	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9183E+03	-8.0791E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
92	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0835E+03	-6.9139E+03	0.0000E+00	2.4313E+03	0.0000E+00
93	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2441E+03	-5.7533E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
94	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9144E+03	-5.0831E+03	0.0000E+00	6.5815E+02	0.0000E+00
95	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0896E+03	-9.9077E+03	0.0000E+00	6.5796E+02	0.0000E+00
96	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7587E+03	-9.2386E+03	0.0000E+00	1.7927E+03	0.0000E+00
97	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9175E+03	-8.0799E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
98	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0827E+03	-6.9147E+03	0.0000E+00	2.4313E+03	0.0000E+00
99	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2431E+03	-5.7543E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
100	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9133E+03	-5.0842E+03	0.0000E+00	6.5817E+02	0.0000E+00
101	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0889E+03	-9.9084E+03	0.0000E+00	6.5792E+02	0.0000E+00
102	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7581E+03	-9.2393E+03	0.0000E+00	1.7927E+03	0.0000E+00
103	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9169E+03	-8.0804E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
104	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0821E+03	-6.9153E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
105	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2425E+03	-5.7549E+03	0.0000E+00	1.7933E+03	0.0000E+00
106	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9126E+03	-5.0848E+03	0.0000E+00	6.5821E+02	0.0000E+00
107	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0885E+03	-9.9088E+03	0.0000E+00	6.5785E+02	0.0000E+00
108	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7576E+03	-9.2398E+03	0.0000E+00	1.7926E+03	0.0000E+00
109	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9165E+03	-8.0808E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
110	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0817E+03	-6.9156E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
111	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2420E+03	-5.7554E+03	0.0000E+00	1.7934E+03	0.0000E+00
112	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9122E+03	-5.0852E+03	0.0000E+00	6.5826E+02	0.0000E+00
113	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.0883E+03	-9.9091E+03	0.0000E+00	6.5775E+02	0.0000E+00
114	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7572E+03	-9.2401E+03	0.0000E+00	1.7924E+03	0.0000E+00
115	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.9162E+03	-8.0811E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
116	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.0814E+03	-6.9159E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
117	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.2417E+03	-5.7557E+03	0.0000E+00	1.7935E+03	0.0000E+00
118	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.9120E+03	-5.0855E+03	0.0000E+00	6.5836E+02	0.0000E+00



SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAxIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 28

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

## ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	2D	S	-1.760E-04	2.580E-04	1.729E-04	0.000E+00	2.211E-04	0.000E+00	
2	2D	S	-1.783E-04	2.962E-04	1.403E-04	0.000E+00	3.705E-04	0.000E+00	
3	2D	S	-1.300E-04	-1.260E-04	4.443E-04	0.000E+00	2.199E-04	0.000E+00	
4	2D	S	-1.108E-04	1.329E-04	1.385E-04	0.000E+00	1.527E-04	0.000E+00	
5	2D	S	-1.308E-04	4.264E-04	-1.063E-04	0.000E+00	4.542E-04	0.000E+00	
6	2D	S	-1.475E-04	-3.948E-04	7.558E-04	0.000E+00	7.559E-04	0.000E+00	
7	2D	S	-3.222E-04	-2.333E-04	1.022E-03	0.000E+00	-1.113E-04	0.000E+00	
8	2D	S	-3.865E-04	-1.552E-04	1.101E-03	0.000E+00	-3.482E-04	0.000E+00	
9	2D	S	-3.278E-04	3.113E-04	4.911E-04	0.000E+00	6.108E-05	0.000E+00	
10	2D	S	6.435E-05	1.907E-04	-3.482E-04	0.000E+00	4.321E-04	0.000E+00	
11	2D	S	-1.395E-04	-6.104E-04	9.519E-04	0.000E+00	6.466E-04	0.000E+00	
12	2D	S	-4.649E-04	3.095E-04	8.285E-04	0.000E+00	-4.288E-04	0.000E+00	
13	2D	S	-4.454E-04	3.813E-04	7.090E-04	0.000E+00	-3.969E-04	0.000E+00	
14	2D	S	-4.178E-04	5.051E-04	5.177E-04	0.000E+00	-2.785E-04	0.000E+00	
15	2D	S	-4.047E-04	6.461E-04	3.447E-04	0.000E+00	-6.665E-05	0.000E+00	
16	2D	S	3.826E-04	-8.899E-05	-8.475E-04	0.000E+00	-3.759E-04	0.000E+00	
17	2D	S	1.285E-04	-1.615E-04	-1.530E-04	0.000E+00	-4.199E-04	0.000E+00	
18	2D	S	-2.708E-05	-3.774E-04	4.437E-04	0.000E+00	-4.821E-04	0.000E+00	
19	2D	S	-1.553E-04	-9.628E-04	1.343E-03	0.000E+00	-2.727E-05	0.000E+00	
20	2D	S	-6.609E-05	-1.126E-03	1.288E-03	0.000E+00	-2.750E-04	0.000E+00	
21	2D	S	2.452E-05	-1.014E-03	9.541E-04	0.000E+00	-4.215E-04	0.000E+00	
22	2D	S	8.080E-05	-7.973E-04	5.996E-04	0.000E+00	-2.090E-04	0.000E+00	
23	2D	S	3.020E-05	-1.317E-04	5.780E-05	0.000E+00	-1.344E-04	0.000E+00	
24	2D	S	-5.622E-06	-2.644E-04	2.781E-04	0.000E+00	-1.223E-04	0.000E+00	
25	2D	S	-2.963E-05	-5.596E-04	6.321E-04	0.000E+00	-8.312E-06	0.000E+00	
26	2D	S	-2.282E-05	-5.841E-04	6.400E-04	0.000E+00	-7.083E-05	0.000E+00	
27	2D	S	5.921E-06	-4.365E-04	4.220E-04	0.000E+00	-1.071E-04	0.000E+00	
28	2D	S	2.775E-05	-3.225E-04	2.545E-04	0.000E+00	-4.341E-05	0.000E+00	
29	2D	S	5.177E-06	-9.726E-05	8.458E-05	0.000E+00	-1.601E-05	0.000E+00	
30	2D	S	-6.294E-07	-1.527E-04	1.542E-04	0.000E+00	2.587E-06	0.000E+00	
31	2D	S	-3.860E-06	-2.270E-04	2.365E-04	0.000E+00	8.745E-06	0.000E+00	
32	2D	S	-3.535E-06	-2.360E-04	2.447E-04	0.000E+00	-2.540E-05	0.000E+00	
33	2D	S	7.375E-07	-1.860E-04	1.842E-04	0.000E+00	-4.039E-05	0.000E+00	
34	2D	S	6.889E-06	-1.353E-04	1.184E-04	0.000E+00	-1.435E-05	0.000E+00	
35	2D	S	9.101E-07	-5.839E-05	5.616E-05	0.000E+00	5.467E-06	0.000E+00	
36	2D	S	-1.871E-07	-8.056E-05	8.102E-05	0.000E+00	1.662E-05	0.000E+00	
37	2D	S	-6.853E-07	-9.544E-05	9.712E-05	0.000E+00	7.676E-06	0.000E+00	
38	2D	S	-6.054E-07	-9.759E-05	9.907E-05	0.000E+00	-1.054E-05	0.000E+00	
39	2D	S	3.023E-07	-8.732E-05	8.658E-05	0.000E+00	-2.287E-05	0.000E+00	
40	2D	S	1.673E-06	-6.549E-05	6.139E-05	0.000E+00	-9.871E-06	0.000E+00	
41	2D	S	1.151E-07	-3.292E-05	3.263E-05	0.000E+00	5.781E-06	0.000E+00	
42	2D	S	-1.379E-07	-4.278E-05	4.312E-05	0.000E+00	1.176E-05	0.000E+00	
43	2D	S	-2.296E-07	-4.520E-05	4.577E-05	0.000E+00	4.398E-06	0.000E+00	
44	2D	S	-1.777E-07	-4.560E-05	4.604E-05	0.000E+00	-4.762E-06	0.000E+00	
45	2D	S	8.929E-08	-4.411E-05	4.389E-05	0.000E+00	-1.276E-05	0.000E+00	
46	2D	S	4.780E-07	-3.446E-05	3.329E-05	0.000E+00	-6.519E-06	0.000E+00	
47	2D	S	-5.918E-08	-1.892E-05	1.906E-05	0.000E+00	3.919E-06	0.000E+00	





107	2D S	-8.496E-08	-1.485E-07	3.564E-07	0.000E+00	4.847E-09	0.000E+00
108	2D S	-8.487E-08	-1.133E-07	3.211E-07	0.000E+00	-5.789E-09	0.000E+00
109	2D S	-8.493E-08	-1.486E-08	2.228E-07	0.000E+00	-1.377E-08	0.000E+00
110	2D S	-8.443E-08	-1.408E-08	2.208E-07	0.000E+00	1.563E-08	0.000E+00
111	2D S	-8.321E-08	-1.096E-07	3.133E-07	0.000E+00	7.274E-09	0.000E+00
112	2D S	-8.241E-08	-1.432E-07	3.449E-07	0.000E+00	-3.803E-09	0.000E+00
113	2D S	-8.401E-08	-1.108E-07	3.165E-07	0.000E+00	-3.133E-08	0.000E+00
114	2D S	-8.538E-08	-2.524E-08	2.343E-07	0.000E+00	-5.787E-08	0.000E+00
115	2D S	-8.535E-08	7.046E-08	1.385E-07	0.000E+00	-2.329E-08	0.000E+00
116	2D S	-8.499E-08	7.022E-08	1.378E-07	0.000E+00	2.552E-08	0.000E+00
117	2D S	-8.395E-08	-2.411E-08	2.296E-07	0.000E+00	5.746E-08	0.000E+00
118	2D S	-8.177E-08	-1.065E-07	3.067E-07	0.000E+00	3.067E-08	0.000E+00

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAXIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 29

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	3.9833E-02	1.8493E-02	-5.8393E-02	-8.7776E-02	1.8493E-02	4.1650E-02
18	-8.3691E-02	-5.8393E-02	4.1650E-02	-2.4635E-02	-6.7076E-02	-8.3691E-02
19	-1.1402E-02	-4.7188E-02	-7.1779E-02	-6.4293E-02	-4.7188E-02	-4.4991E-02
20	-3.4616E-02	-7.1779E-02	-4.4991E-02	-8.7776E-02	-7.3270E-02	-3.4616E-02
21	-8.7776E-02	-5.8393E-02	-3.4072E-02	-7.3270E-02	-5.8393E-02	-8.3691E-02
22	-8.5947E-03	-3.4072E-02	-8.3691E-02	-6.7076E-02	-4.5368E-02	-8.5947E-03
23	-6.4293E-02	-7.1779E-02	-6.1571E-02	-2.9359E-02	-7.1779E-02	-3.4616E-02
24	-4.8188E-02	-6.1571E-02	-3.4616E-02	-7.3270E-02	-5.6968E-02	-4.8188E-02
25	-7.3270E-02	-3.4072E-02	-5.4443E-02	-5.6968E-02	-3.4072E-02	-8.5947E-03
26	-3.9828E-02	-5.4443E-02	-8.5947E-03	-4.5368E-02	-5.4174E-02	-3.9828E-02
27	-2.9359E-02	-6.1571E-02	-5.3242E-02	-1.9655E-02	-6.1571E-02	-4.8188E-02
28	-3.3504E-02	-5.3242E-02	-4.8188E-02	-5.6968E-02	-7.8292E-03	-3.3504E-02
29	-5.6968E-02	-5.4443E-02	-3.6308E-02	-7.8292E-03	-5.4443E-02	-3.9828E-02
30	-1.9272E-02	-3.6308E-02	-3.9828E-02	-5.4174E-02	-3.8093E-02	-1.9272E-02
31	-1.9655E-02	-5.3242E-02	-3.1155E-02	-2.8741E-02	-5.3242E-02	-3.3504E-02
32	-3.6654E-02	-3.1155E-02	-3.3504E-02	-7.8292E-03	-2.2882E-02	-3.6654E-02
33	-7.8292E-03	-3.6308E-02	-3.8087E-02	-2.2882E-02	-3.6308E-02	-1.9272E-02
34	-1.1229E-02	-3.8087E-02	-1.9272E-02	-3.8093E-02	-3.7752E-02	-1.1229E-02
35	-2.8741E-02	-3.1155E-02	-6.4678E-03	-2.6646E-02	-3.1155E-02	-3.6654E-02

UFPB/CA/PRAI

36	-2.6553E-02	-6.4678E-03	-3.6654E-02	-2.2882E-02	-1.3167E-02	-2.6553E-02
37	-2.2882E-02	-3.8087E-02	-2.4342E-02	-1.3167E-02	-3.8087E-02	-1.1229E-02
38	-1.7414E-02	-2.4342E-02	-1.1229E-02	-3.7752E-02	-1.8183E-02	-1.7414E-02
39	-2.6646E-02	-6.4678E-03	-1.4289E-02	-2.3750E-02	-6.4678E-03	-2.6553E-02
40	-2.6620E-02	-1.4289E-02	-2.6553E-02	-1.3167E-02	-7.3928E-03	-2.6620E-02
41	-1.3167E-02	-2.4342E-02	-2.7136E-02	-7.3928E-03	-2.4342E-02	-1.7414E-02
42	-1.9958E-02	-2.7136E-02	-1.7414E-02	-1.8183E-02	-4.9284E-03	-1.9958E-02
43	-2.3750E-02	-1.4289E-02	-9.2196E-03	-1.9223E-02	-1.4289E-02	-2.6620E-02
44	-1.6514E-02	-9.2196E-03	-2.6620E-02	-7.3928E-03	-1.1418E-02	-1.6514E-02
45	-7.3928E-03	-2.7136E-02	-1.1730E-02	-1.1418E-02	-2.7136E-02	-1.9958E-02
46	-1.6123E-02	-1.1730E-02	-1.9958E-02	-4.9284E-03	-9.5899E-03	-1.6123E-02
47	-1.9223E-02	-9.2196E-03	-5.2132E-03	-1.8914E-02	-9.2196E-03	-1.6514E-02
48	-1.9722E-02	-5.2132E-03	-1.6514E-02	-1.1418E-02	-1.4978E-02	-1.9722E-02
49	-1.1418E-02	-1.1730E-02	-3.7174E-03	-1.4978E-02	-1.1730E-02	-1.6123E-02
50	-1.4195E-02	-3.7174E-03	-1.6123E-02	-9.5899E-03	-6.6747E-03	-1.4195E-02
51	-1.8914E-02	-5.2132E-03	-7.9518E-03	-1.1791E-02	-5.2132E-03	-1.9722E-02
52	-8.1119E-03	-7.9518E-03	-1.9722E-02	-1.4978E-02	-1.1510E-02	-8.1119E-03
53	-1.4978E-02	-3.7174E-03	-6.8157E-03	-1.1510E-02	-3.7174E-03	-1.4195E-02
54	-1.3854E-02	-6.8157E-03	-1.4195E-02	-6.6747E-03	-3.8113E-03	-1.3854E-02
55	-1.1791E-02	-7.9518E-03	-1.1454E-02	-1.4627E-02	-7.9518E-03	-8.1119E-03
56	-2.8431E-03	-1.1454E-02	-8.1119E-03	-1.1510E-02	-1.0760E-02	-2.8431E-03
57	-1.1510E-02	-6.8157E-03	-4.9884E-03	-1.0760E-02	-6.8157E-03	-1.3854E-02
58	-8.7622E-03	-4.9884E-03	-1.3854E-02	-3.8113E-03	-5.7946E-03	-8.7622E-03
59	-1.4627E-02	-1.1454E-02	-8.5525E-03	-5.8917E-03	-1.1454E-02	-2.8431E-03
60	-5.0491E-03	-8.5525E-03	-2.8431E-03	-1.0760E-02	-1.0462E-02	-5.0491E-03
61	-1.0760E-02	-4.9884E-03	-2.8734E-03	-1.0462E-02	-4.9884E-03	-8.7622E-03
62	-1.1124E-02	-2.8734E-03	-8.7622E-03	-5.7946E-03	-8.9483E-03	-1.1124E-02
63	-5.8917E-03	-8.5525E-03	-8.3609E-03	-2.2044E-03	-8.5525E-03	-5.0491E-03
64	-3.8166E-03	-8.3609E-03	-5.0491E-03	-1.0462E-02	-6.7177E-03	-3.8166E-03
65	-1.0462E-02	-2.8734E-03	-4.3739E-03	-6.7177E-03	-2.8734E-03	-1.1124E-02
66	-4.4394E-03	-4.3739E-03	-1.1124E-02	-8.9483E-03	-6.5566E-03	-4.4394E-03
67	-2.2044E-03	-8.3609E-03	-8.1131E-03	-3.8453E-03	-8.3609E-03	-3.8166E-03
68	-2.2112E-03	-8.1131E-03	-3.8166E-03	-6.7177E-03	-8.6662E-03	-2.2112E-03
69	-6.7177E-03	-4.3739E-03	-6.4854E-03	-8.6662E-03	-4.3739E-03	-4.4394E-03
70	-1.5981E-03	-6.4854E-03	-4.4394E-03	-6.5566E-03	-6.0449E-03	-1.5981E-03
71	-3.8453E-03	-8.1131E-03	-4.8312E-03	-2.7530E-03	-8.1131E-03	-2.2112E-03
72	-3.1155E-03	-4.8312E-03	-2.2112E-03	-8.6662E-03	-3.1561E-03	-3.1155E-03
73	-8.6662E-03	-6.4854E-03	-4.7156E-03	-3.1561E-03	-6.4854E-03	-1.5981E-03
74	-2.7634E-03	-4.7156E-03	-1.5981E-03	-6.0449E-03	-5.8574E-03	-2.7634E-03
75	-2.7530E-03	-4.8312E-03	-6.2682E-03	-1.5940E-03	-4.8312E-03	-3.1155E-03
76	-4.8167E-03	-6.2682E-03	-3.1155E-03	-3.1561E-03	-1.1879E-03	-4.8167E-03
77	-3.1561E-03	-4.7156E-03	-4.4801E-03	-1.1879E-03	-4.7156E-03	-2.7634E-03
78	-2.0325E-03	-4.4801E-03	-2.7634E-03	-5.8574E-03	-3.5568E-03	-2.0325E-03
79	-7.3270E-02	-5.3242E-02	-5.4174E-02	-3.4616E-02		
80	-1.9655E-02	-5.5501E-04	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	
81	-3.4072E-02	-3.6308E-02	1.3124E-02	5.3183E-02	3.2297E-02	-4.7188E-02
82	-1.1402E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	0.0000E+00	-8.5947E-03	-7.8292E-03
83	0.0000E+00	-3.4072E-02	-4.5368E-02	-3.6308E-02	-3.3504E-02	-5.5501E-04
84	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-8.5947E-03	-3.8093E-02
85	3.4025E-02	3.2297E-02	4.0855E-02	-4.4991E-02	-4.7188E-02	1.5265E-02
86	2.1783E-02	-8.5947E-03	-2.9359E-02	-1.9272E-02	-7.8292E-03	-4.5368E-02
87	-6.1571E-02	-3.8093E-02	-3.6308E-02	-5.5501E-04		
88	9.0374E-03	0.0000E+00	-2.9359E-02	-3.1155E-02	-2.6446E-02	4.0855E-02
89	3.9833E-02	-8.7776E-02	-4.4991E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-2.9359E-02
90	-4.8188E-02	-2.8741E-02	-1.9272E-02	-6.1571E-02	-5.6968E-02	-3.1155E-02
91	-3.8093E-02	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
92	-4.8188E-02	-2.2882E-02	1.6731E-03	3.9833E-02	1.8493E-02	-5.8393E-02
93	-8.7776E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-4.8188E-02	-5.4443E-02	-3.6654E-02
94	-2.8741E-02	-5.6968E-02	-3.9828E-02	-2.2882E-02	-3.1155E-02	-5.5501E-04

95	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-5.4443E-02	-1.1229E-02
96	-1.1517E-02	1.8493E-02	4.1650E-02	-8.3691E-02	-5.8393E-02	1.5265E-02
97	2.1783E-02	-5.4443E-02	-5.4174E-02	-3.8087E-02	-3.6654E-02	-3.9828E-02
98	-1.9655E-02	-1.1229E-02	-2.2882E-02	-5.5501E-04		
99	9.0374E-03	0.0000E+00	-5.4174E-02	-3.7752E-02	4.6126E-03	4.1650E-02
100	-2.4635E-02	-6.7076E-02	-8.3691E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	-5.4174E-02
101	-5.3242E-02	-3.7752E-02	-3.8087E-02	-1.9655E-02		
102	-1.1229E-04	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
103	-3.3504E-02	-2.6553E-02	5.3017E-02	-1.1402E-02	-4.7188E-02	-7.1779E-02
104	-6.4293E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	0.0000E+00	-7.8292E-03	-6.4678E-03
105	0.0000E+00	-3.3504E-02	-3.6308E-02	-2.6553E-02	-2.6646E-02	-5.5501E-04
106	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-7.8292E-03	-2.4342E-02
107	2.1989E-02	-4.7188E-02	-4.4991E-02	-3.4616E-02	-7.1779E-02	1.5265E-02
108	2.1783E-02	-7.8292E-03	-1.9272E-02	-1.3167E-02	-6.4678E-03	-3.6308E-02
109	-3.8093E-02	-2.4342E-02	-2.6553E-02	-5.5501E-04		
110	9.0374E-03	0.0000E+00	-1.9272E-02	-1.8183E-02	5.3183E-02	-4.4991E-02
111	-8.7776E-02	-7.3270E-02	-3.4616E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-1.9272E-02
112	-2.8741E-02	-1.7414E-02	-1.3167E-02	-3.8093E-02	-3.1155E-02	-1.8183E-02
113	-2.4342E-02	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
114	-2.8741E-02	-1.4289E-02	3.2297E-02	-8.7776E-02	-5.8393E-02	-3.4072E-02
115	-7.3270E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-2.8741E-02	-3.6654E-02	-2.3750E-02
116	-1.7414E-02	-3.1155E-02	-2.2882E-02	-1.4289E-02	-1.8183E-02	-5.5501E-04
117	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-3.6654E-02	-7.3928E-03
118	4.0855E-02	-5.8393E-02	-8.3691E-02	-8.5947E-03	-3.4072E-02	1.5265E-02
119	2.1783E-02	-3.6654E-02	-3.8087E-02	-2.6620E-02	-2.3750E-02	-2.2882E-02
120	-1.1229E-02	-7.3928E-03	-1.4289E-02	-5.5501E-04		
121	9.0374E-03	0.0000E+00	-3.8087E-02	-2.7136E-02	3.9833E-02	-8.3691E-02
122	-6.7076E-02	-4.5368E-02	-8.5947E-03	1.5265E-02	-1.7514E-03	-3.8087E-02
123	-3.7752E-02	-2.7136E-02	-2.6620E-02	-1.1229E-02		
124	-7.3928E-03	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
125	-2.6646E-02	-1.9223E-02	1.8493E-02	-6.4293E-02	-7.1779E-02	-6.1571E-02
126	-2.9359E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	0.0000E+00	-6.4678E-03	-4.9284E-03
127	0.0000E+00	-2.6646E-02	-2.6553E-02	-1.9223E-02	-1.9958E-02	-5.5501E-04
128	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-6.4678E-03	-1.6514E-02
129	4.1650E-02	-7.1779E-02	-3.4616E-02	-4.8188E-02	-6.1571E-02	1.5265E-02
130	2.1783E-02	-6.4678E-03	-1.3167E-02	-9.2196E-03	-4.9284E-03	-2.6553E-02
131	-2.4342E-02	-1.6514E-02	-1.9223E-02	-5.5501E-04		
132	9.0374E-03	0.0000E+00	-1.3167E-02	-1.1730E-02	-2.4635E-02	-3.4616E-02
133	-7.3270E-02	-5.6968E-02	-4.8188E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-1.3167E-02
134	-1.7414E-02	-1.1418E-02	-9.2196E-03	-2.4342E-02	-1.8183E-02	-1.1730E-02
135	-1.6514E-02	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
136	-1.7414E-02	-9.5899E-03	-1.1402E-02	-7.3270E-02	-3.4072E-02	-5.4443E-02
137	-5.6968E-02	1.5265E-02	2.1783E-02	-1.7414E-02	-2.3750E-02	-1.6123E-02
138	-1.1418E-02	-1.8183E-02	-1.4289E-02	-9.5899E-03	-1.1730E-02	-5.5501E-04
139	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	0.0000E+00	-2.3750E-02	-5.2132E-03
140	-4.7188E-02	-3.4072E-02	-8.5947E-03	-3.9828E-02	-5.4443E-02	1.5265E-02
141	2.1783E-02	-2.3750E-02	-2.6620E-02	-1.8914E-02	-1.6123E-02	-1.4289E-02
142	-7.3928E-03	-5.2132E-03	-9.5899E-03	-5.5501E-04		
143	9.0374E-03	0.0000E+00	-2.6620E-02	-1.9722E-02	-4.4991E-02	-8.5947E-03
144	-4.5368E-02	-5.4174E-02	-3.9828E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	-2.6620E-02
145	-2.7136E-02	-1.9722E-02	-1.8914E-02	-7.3928E-03		
146	-5.2132E-03	-5.5501E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	9.0374E-03	
147	-1.9958E-02	-1.4195E-02	-8.7776E-02	-2.9359E-02	-6.1571E-02	-5.3242E-02
148	-1.9655E-02	1.5265E-02	-1.7514E-03	0.0000E+00	-4.9284E-03	-3.7174E-03
149	0.0000E+00	-1.9958E-02	-1.9223E-02	-1.4195E-02	-1.4978E-02	-5.5501E-04

LOAD STEP = 2 TIME = 2.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****					
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ
1	2D	S	.000	0.0000E+00	-4.3330E+03	-4.2172E+03	0.0000E+00	4.5500E+03	0.0000E+00
2	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.0237E+02	-7.8397E+03	0.0000E+00	3.6507E+03	0.0000E+00
3	2D	S	.000	0.0000E+00	-4.6495E+03	-4.4865E+03	0.0000E+00	4.5815E+03	0.0000E+00
4	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.4000E+03	-2.0237E+03	0.0000E+00	3.2031E+03	0.0000E+00
5	2D	S	.000	0.0000E+00	-3.7935E+02	-9.9829E+03	0.0000E+00	3.1365E+03	0.0000E+00
6	2D	S	.000	0.0000E+00	-4.8932E+03	-5.1699E+03	0.0000E+00	5.3757E+03	0.0000E+00
7	2D	S	.000	0.0000E+00	-4.1883E+03	-3.9195E+02	0.0000E+00	1.6938E+03	0.0000E+00
8	2D	S	.000	0.0000E+00	-4.0720E+03	1.2141E+03	0.0000E+00	1.1093E+03	0.0000E+00
9	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.2560E+03	3.8104E+02	0.0000E+00	1.1981E+03	0.0000E+00
10	2D	S	.000	0.0000E+00	-3.7857E+03	-1.3004E+04	0.0000E+00	2.5821E+03	0.0000E+00
11	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.3797E+03	-4.1073E+03	0.0000E+00	4.0456E+03	0.0000E+00
12	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.5155E+02	4.5413E+02	0.0000E+00	-6.2485E+02	0.0000E+00
13	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.1724E+03	2.2026E+02	0.0000E+00	-7.3250E+01	0.0000E+00
14	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.8183E+03	7.5936E+01	0.0000E+00	3.7391E+02	0.0000E+00
15	2D	S	.000	0.0000E+00	-2.0497E+03	5.8106E+01	0.0000E+00	2.8454E+02	0.0000E+00
16	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.7458E+03	-1.7922E+04	0.0000E+00	-4.2300E+02	0.0000E+00
17	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.4564E+03	-1.1437E+04	0.0000E+00	-9.2007E+02	0.0000E+00
18	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.3031E+03	-5.8061E+03	0.0000E+00	-1.4522E+03	0.0000E+00
19	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.7826E+03	-1.4148E+03	0.0000E+00	1.2313E+03	0.0000E+00
20	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.1408E+04	-1.5811E+03	0.0000E+00	1.6154E+03	0.0000E+00
21	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.4100E+04	-1.7033E+03	0.0000E+00	1.2787E+03	0.0000E+00
22	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.5735E+04	-1.8176E+03	0.0000E+00	4.7798E+02	0.0000E+00
23	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.3132E+03	-9.5846E+03	0.0000E+00	6.9699E+01	0.0000E+00
24	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.2841E+03	-7.5180E+03	0.0000E+00	6.6968E+02	0.0000E+00
25	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.6317E+03	-5.4438E+03	0.0000E+00	1.8592E+03	0.0000E+00
26	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0009E+04	-4.2955E+03	0.0000E+00	2.4725E+03	0.0000E+00
27	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.1429E+04	-3.7807E+03	0.0000E+00	1.9632E+03	0.0000E+00
28	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.2270E+04	-3.6211E+03	0.0000E+00	7.4046E+02	0.0000E+00
29	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.7978E+03	-9.3452E+03	0.0000E+00	5.1462E+02	0.0000E+00
30	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.5311E+03	-8.4376E+03	0.0000E+00	1.5300E+03	0.0000E+00
31	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.6740E+03	-7.2035E+03	0.0000E+00	2.2934E+03	0.0000E+00
32	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.9383E+03	-5.9563E+03	0.0000E+00	2.4559E+03	0.0000E+00
33	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0170E+04	-4.8637E+03	0.0000E+00	1.8915E+03	0.0000E+00
34	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0870E+04	-4.3592E+03	0.0000E+00	7.1008E+02	0.0000E+00
35	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.4845E+03	-9.5350E+03	0.0000E+00	6.2471E+02	0.0000E+00
36	2D	S	.000	0.0000E+00	-6.1378E+03	-8.8508E+03	0.0000E+00	1.7325E+03	0.0000E+00
37	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.2338E+03	-7.7435E+03	0.0000E+00	2.4013E+03	0.0000E+00
38	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.4535E+03	-6.5297E+03	0.0000E+00	2.4372E+03	0.0000E+00
39	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.6725E+03	-5.3422E+03	0.0000E+00	1.8160E+03	0.0000E+00
40	2D	S	.000	0.0000E+00	-1.0361E+04	-4.6987E+03	0.0000E+00	6.7319E+02	0.0000E+00
41	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.3061E+03	-9.6929E+03	0.0000E+00	6.4850E+02	0.0000E+00
42	2D	S	.000	0.0000E+00	-5.9530E+03	-9.0399E+03	0.0000E+00	1.7754E+03	0.0000E+00
43	2D	S	.000	0.0000E+00	-7.0648E+03	-7.9274E+03	0.0000E+00	2.4223E+03	0.0000E+00
44	2D	S	.000	0.0000E+00	-8.2599E+03	-6.7355E+03	0.0000E+00	2.4339E+03	0.0000E+00
45	2D	S	.000	0.0000E+00	-9.4575E+03	-5.5481E+03	0.0000E+00	1.7974E+03	0.0000E+00



46	2D S	.000	0.0000E+00	-1.0144E+04	-4.8749E+03	0.0000E+00	6.6123E+02	0.0000E+00
47	2D S	.000	0.0000E+00	-5.2120E+03	-9.7837E+03	0.0000E+00	6.5477E+02	0.0000E+00
48	2D S	.000	0.0000E+00	-5.8651E+03	-9.1294E+03	0.0000E+00	1.7867E+03	0.0000E+00
49	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9945E+03	-8.0009E+03	0.0000E+00	2.4278E+03	0.0000E+00
50	2D S	.000	0.0000E+00	-8.1743E+03	-6.8228E+03	0.0000E+00	2.4329E+03	0.0000E+00
51	2D S	.000	0.0000E+00	-9.3582E+03	-5.6432E+03	0.0000E+00	1.7943E+03	0.0000E+00
52	2D S	.000	0.0000E+00	-1.0040E+04	-4.9662E+03	0.0000E+00	6.5888E+02	0.0000E+00
53	2D S	.000	0.0000E+00	-5.1616E+03	-9.8336E+03	0.0000E+00	6.5715E+02	0.0000E+00
54	2D S	.000	0.0000E+00	-5.8213E+03	-9.1742E+03	0.0000E+00	1.7912E+03	0.0000E+00
55	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9632E+03	-8.0337E+03	0.0000E+00	2.4299E+03	0.0000E+00
56	2D S	.000	0.0000E+00	-8.1324E+03	-6.8655E+03	0.0000E+00	2.4328E+03	0.0000E+00
57	2D S	.000	0.0000E+00	-9.3082E+03	-5.6912E+03	0.0000E+00	1.7942E+03	0.0000E+00
58	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9868E+03	-5.0147E+03	0.0000E+00	6.5865E+02	0.0000E+00
59	2D S	.000	0.0000E+00	-5.1296E+03	-9.8668E+03	0.0000E+00	6.5787E+02	0.0000E+00
60	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7936E+03	-9.2030E+03	0.0000E+00	1.7926E+03	0.0000E+00
61	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9433E+03	-8.0537E+03	0.0000E+00	2.4307E+03	0.0000E+00
62	2D S	.000	0.0000E+00	-8.1086E+03	-6.8890E+03	0.0000E+00	2.4324E+03	0.0000E+00
63	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2783E+03	-5.7206E+03	0.0000E+00	1.7942E+03	0.0000E+00
64	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9537E+03	-5.0462E+03	0.0000E+00	6.5861E+02	0.0000E+00
65	2D S	.000	0.0000E+00	-5.1105E+03	-9.8862E+03	0.0000E+00	6.5800E+02	0.0000E+00
66	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7770E+03	-9.2199E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
67	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9310E+03	-8.0661E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
68	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0962E+03	-6.9013E+03	0.0000E+00	2.4318E+03	0.0000E+00
69	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2614E+03	-5.7367E+03	0.0000E+00	1.7936E+03	0.0000E+00
70	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9343E+03	-5.0644E+03	0.0000E+00	6.5834E+02	0.0000E+00
71	2D S	.000	0.0000E+00	-5.1007E+03	-9.8962E+03	0.0000E+00	6.5803E+02	0.0000E+00
72	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7685E+03	-9.2286E+03	0.0000E+00	1.7929E+03	0.0000E+00
73	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9248E+03	-8.0725E+03	0.0000E+00	2.4311E+03	0.0000E+00
74	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0900E+03	-6.9075E+03	0.0000E+00	2.4316E+03	0.0000E+00
75	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2529E+03	-5.7449E+03	0.0000E+00	1.7933E+03	0.0000E+00
76	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9244E+03	-5.0737E+03	0.0000E+00	6.5823E+02	0.0000E+00
77	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0955E+03	-9.9016E+03	0.0000E+00	6.5803E+02	0.0000E+00
78	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7639E+03	-9.2333E+03	0.0000E+00	1.7929E+03	0.0000E+00
79	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9214E+03	-8.0759E+03	0.0000E+00	2.4311E+03	0.0000E+00
80	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0866E+03	-6.9108E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
81	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2483E+03	-5.7493E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
82	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9191E+03	-5.0787E+03	0.0000E+00	6.5817E+02	0.0000E+00
83	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0925E+03	-9.9047E+03	0.0000E+00	6.5801E+02	0.0000E+00
84	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7613E+03	-9.2359E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
85	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9195E+03	-8.0778E+03	0.0000E+00	2.4311E+03	0.0000E+00
86	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0847E+03	-6.9127E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
87	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2457E+03	-5.7518E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
88	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9161E+03	-5.0815E+03	0.0000E+00	6.5816E+02	0.0000E+00
89	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0907E+03	-9.9065E+03	0.0000E+00	6.5799E+02	0.0000E+00
90	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7597E+03	-9.2375E+03	0.0000E+00	1.7928E+03	0.0000E+00
91	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9183E+03	-8.0791E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
92	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0835E+03	-6.9139E+03	0.0000E+00	2.4313E+03	0.0000E+00
93	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2441E+03	-5.7534E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
94	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9144E+03	-5.0832E+03	0.0000E+00	6.5816E+02	0.0000E+00
95	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0896E+03	-9.9076E+03	0.0000E+00	6.5796E+02	0.0000E+00
96	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7587E+03	-9.2386E+03	0.0000E+00	1.7927E+03	0.0000E+00
97	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9175E+03	-8.0799E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
98	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0827E+03	-6.9147E+03	0.0000E+00	2.4313E+03	0.0000E+00
99	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2431E+03	-5.7543E+03	0.0000E+00	1.7932E+03	0.0000E+00
100	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9133E+03	-5.0842E+03	0.0000E+00	6.5818E+02	0.0000E+00
101	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0890E+03	-9.9083E+03	0.0000E+00	6.5792E+02	0.0000E+00
102	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7581E+03	-9.2392E+03	0.0000E+00	1.7927E+03	0.0000E+00
103	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9169E+03	-8.0804E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
104	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0821E+03	-6.9152E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00

105	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2425E+03	-5.7550E+03	0.0000E+00	1.7933E+03	0.0000E+00
106	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9126E+03	-5.0849E+03	0.0000E+00	6.5821E+02	0.0000E+00
107	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0886E+03	-9.9089E+03	0.0000E+00	6.5785E+02	0.0000E+00
108	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7576E+03	-9.2397E+03	0.0000E+00	1.7926E+03	0.0000E+00
109	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9165E+03	-8.0809E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
110	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0817E+03	-6.9156E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
111	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2420E+03	-5.7554E+03	0.0000E+00	1.7934E+03	0.0000E+00
112	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9122E+03	-5.0853E+03	0.0000E+00	6.5826E+02	0.0000E+00
113	2D S	.000	0.0000E+00	-5.0883E+03	-9.9090E+03	0.0000E+00	6.5775E+02	0.0000E+00
114	2D S	.000	0.0000E+00	-5.7572E+03	-9.2401E+03	0.0000E+00	1.7924E+03	0.0000E+00
115	2D S	.000	0.0000E+00	-6.9162E+03	-8.0811E+03	0.0000E+00	2.4310E+03	0.0000E+00
116	2D S	.000	0.0000E+00	-8.0814E+03	-6.9159E+03	0.0000E+00	2.4314E+03	0.0000E+00
117	2D S	.000	0.0000E+00	-9.2417E+03	-5.7557E+03	0.0000E+00	1.7935E+03	0.0000E+00
118	2D S	.000	0.0000E+00	-9.9120E+03	-5.0855E+03	0.0000E+00	6.5836E+02	0.0000E+00

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAXIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

PAGE 31

LOAD STEP = 2 TIME = 2.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	2D S		-2.079E-04	2.378E-04	2.710E-04	0.000E+00	2.939E-04	0.000E+00	
2	2D S		-2.113E-04	4.263E-04	9.111E-05	0.000E+00	3.942E-04	0.000E+00	
3	2D S		-1.890E-04	2.722E-05	4.354E-04	0.000E+00	3.277E-04	0.000E+00	
4	2D S		-1.797E-04	2.342E-05	4.165E-04	0.000E+00	1.528E-04	0.000E+00	
5	2D S		-1.495E-04	4.827E-04	-1.168E-04	0.000E+00	4.505E-04	0.000E+00	
6	2D S		-1.591E-04	-3.576E-04	7.471E-04	0.000E+00	7.518E-04	0.000E+00	
7	2D S		-3.358E-04	-1.947E-04	1.017E-03	0.000E+00	-8.149E-05	0.000E+00	
8	2D S		-3.913E-04	-2.846E-05	9.864E-04	0.000E+00	-2.828E-04	0.000E+00	
9	2D S		-3.263E-04	3.274E-04	4.714E-04	0.000E+00	3.682E-05	0.000E+00	
10	2D S		5.769E-05	1.984E-04	-3.396E-04	0.000E+00	4.333E-04	0.000E+00	
11	2D S		-1.454E-04	-6.002E-04	9.563E-04	0.000E+00	6.413E-04	0.000E+00	
12	2D S		-4.674E-04	3.165E-04	8.277E-04	0.000E+00	-4.223E-04	0.000E+00	
13	2D S		-4.527E-04	4.348E-04	6.735E-04	0.000E+00	-3.820E-04	0.000E+00	
14	2D S		-4.273E-04	5.723E-04	4.736E-04	0.000E+00	-2.605E-04	0.000E+00	
15	2D S		-4.192E-04	7.052E-04	3.211E-04	0.000E+00	-6.257E-05	0.000E+00	
16	2D S		3.760E-04	-9.225E-05	-8.283E-04	0.000E+00	-3.692E-04	0.000E+00	
17	2D S		1.255E-04	-1.623E-04	-1.448E-04	0.000E+00	-4.190E-04	0.000E+00	
18	2D S		-2.871E-05	-3.826E-04	4.529E-04	0.000E+00	-4.762E-04	0.000E+00	
19	2D S		-1.548E-04	-9.682E-04	1.347E-03	0.000E+00	-2.583E-05	0.000E+00	
20	2D S		-6.481E-05	-1.131E-03	1.290E-03	0.000E+00	-2.752E-04	0.000E+00	
21	2D S		2.590E-05	-1.019E-03	9.561E-04	0.000E+00	-4.227E-04	0.000E+00	
22	2D S		8.227E-05	-8.018E-04	6.004E-04	0.000E+00	-2.097E-04	0.000E+00	
23	2D S		2.893E-05	-1.338E-04	6.294E-05	0.000E+00	-1.324E-04	0.000E+00	
24	2D S		-6.377E-06	-2.679E-04	2.835E-04	0.000E+00	-1.185E-04	0.000E+00	
25	2D S		-2.979E-05	-5.626E-04	6.355E-04	0.000E+00	-6.478E-06	0.000E+00	
26	2D S		-2.243E-05	-5.864E-04	6.413E-04	0.000E+00	-6.999E-05	0.000E+00	
27	2D S		6.750E-06	-4.380E-04	4.215E-04	0.000E+00	-1.064E-04	0.000E+00	
28	2D S		2.872E-05	-3.241E-04	2.538E-04	0.000E+00	-4.311E-05	0.000E+00	
29	2D S		4.606E-06	-9.869E-05	8.742E-05	0.000E+00	-1.472E-05	0.000E+00	
30	2D S		-1.007E-06	-1.547E-04	1.572E-04	0.000E+00	4.682E-06	0.000E+00	
31	2D S		-3.949E-06	-2.284E-04	2.381E-04	0.000E+00	9.907E-06	0.000E+00	
32	2D S		-3.397E-06	-2.367E-04	2.450E-04	0.000E+00	-2.482E-05	0.000E+00	

33	2D S	1.099E-06	-1.864E-04	1.837E-04	0.000E+00	-3.972E-05	0.000E+00
34	2D S	7.401E-06	-1.358E-04	1.177E-04	0.000E+00	-1.400E-05	0.000E+00
35	2D S	6.294E-07	-5.913E-05	5.759E-05	0.000E+00	6.085E-06	0.000E+00
36	2D S	-3.677E-07	-8.161E-05	8.251E-05	0.000E+00	1.763E-05	0.000E+00
37	2D S	-7.292E-07	-9.613E-05	9.792E-05	0.000E+00	8.219E-06	0.000E+00
38	2D S	-5.435E-07	-9.785E-05	9.918E-05	0.000E+00	-1.019E-05	0.000E+00
39	2D S	4.744E-07	-8.739E-05	8.623E-05	0.000E+00	-2.245E-05	0.000E+00
40	2D S	1.923E-06	-6.566E-05	6.095E-05	0.000E+00	-9.633E-06	0.000E+00
41	2D S	-3.054E-08	-3.330E-05	3.338E-05	0.000E+00	6.090E-06	0.000E+00
42	2D S	-2.299E-07	-4.332E-05	4.388E-05	0.000E+00	1.227E-05	0.000E+00
43	2D S	-2.521E-07	-4.556E-05	4.618E-05	0.000E+00	4.659E-06	0.000E+00
44	2D S	-1.490E-07	-4.573E-05	4.609E-05	0.000E+00	-4.573E-06	0.000E+00
45	2D S	1.787E-07	-4.411E-05	4.368E-05	0.000E+00	-1.251E-05	0.000E+00
46	2D S	6.097E-07	-3.452E-05	3.303E-05	0.000E+00	-6.379E-06	0.000E+00
47	2D S	-1.397E-07	-1.913E-05	1.947E-05	0.000E+00	4.085E-06	0.000E+00
48	2D S	-1.753E-07	-2.413E-05	2.456E-05	0.000E+00	7.458E-06	0.000E+00
49	2D S	-1.482E-07	-2.387E-05	2.423E-05	0.000E+00	2.587E-06	0.000E+00
50	2D S	-9.090E-08	-2.378E-05	2.400E-05	0.000E+00	-2.307E-06	0.000E+00
51	2D S	4.660E-08	-2.404E-05	2.393E-05	0.000E+00	-7.087E-06	0.000E+00
52	2D S	2.090E-07	-1.929E-05	1.878E-05	0.000E+00	-3.899E-06	0.000E+00
53	2D S	-1.562E-07	-1.143E-05	1.182E-05	0.000E+00	2.624E-06	0.000E+00
54	2D S	-1.466E-07	-1.422E-05	1.458E-05	0.000E+00	4.584E-06	0.000E+00
55	2D S	-1.002E-07	-1.359E-05	1.383E-05	0.000E+00	1.491E-06	0.000E+00
56	2D S	-6.685E-08	-1.348E-05	1.365E-05	0.000E+00	-1.270E-06	0.000E+00
57	2D S	-1.711E-08	-1.402E-05	1.406E-05	0.000E+00	-4.230E-06	0.000E+00
58	2D S	4.912E-08	-1.138E-05	1.126E-05	0.000E+00	-2.420E-06	0.000E+00
59	2D S	-1.156E-07	-6.484E-06	6.767E-06	0.000E+00	1.521E-06	0.000E+00
60	2D S	-1.093E-07	-7.982E-06	8.250E-06	0.000E+00	2.604E-06	0.000E+00
61	2D S	-9.655E-08	-7.522E-06	7.758E-06	0.000E+00	8.272E-07	0.000E+00
62	2D S	-7.660E-08	-7.447E-06	7.635E-06	0.000E+00	-6.896E-07	0.000E+00
63	2D S	-3.649E-08	-7.819E-06	7.908E-06	0.000E+00	-2.363E-06	0.000E+00
64	2D S	-4.174E-10	-6.404E-06	6.405E-06	0.000E+00	-1.376E-06	0.000E+00
65	2D S	-1.060E-07	-3.540E-06	3.800E-06	0.000E+00	8.533E-07	0.000E+00
66	2D S	-1.005E-07	-4.363E-06	4.609E-06	0.000E+00	1.450E-06	0.000E+00
67	2D S	-9.081E-08	-4.082E-06	4.304E-06	0.000E+00	4.642E-07	0.000E+00
68	2D S	-8.024E-08	-4.031E-06	4.228E-06	0.000E+00	-3.844E-07	0.000E+00
69	2D S	-6.016E-08	-4.253E-06	4.401E-06	0.000E+00	-1.306E-06	0.000E+00
70	2D S	-4.268E-08	-3.476E-06	3.581E-06	0.000E+00	-7.646E-07	0.000E+00
71	2D S	-9.907E-08	-2.041E-06	2.283E-06	0.000E+00	5.030E-07	0.000E+00
72	2D S	-9.483E-08	-2.517E-06	2.749E-06	0.000E+00	8.509E-07	0.000E+00
73	2D S	-8.820E-08	-2.337E-06	2.553E-06	0.000E+00	2.687E-07	0.000E+00
74	2D S	-8.197E-08	-2.305E-06	2.505E-06	0.000E+00	-2.226E-07	0.000E+00
75	2D S	-7.131E-08	-2.445E-06	2.619E-06	0.000E+00	-7.636E-07	0.000E+00
76	2D S	-6.192E-08	-1.995E-06	2.146E-06	0.000E+00	-4.488E-07	0.000E+00
77	2D S	-9.448E-08	-1.230E-06	1.461E-06	0.000E+00	3.092E-07	0.000E+00
78	2D S	-9.138E-08	-1.517E-06	1.741E-06	0.000E+00	5.195E-07	0.000E+00
79	2D S	-8.701E-08	-1.391E-06	1.604E-06	0.000E+00	1.598E-07	0.000E+00
80	2D S	-8.308E-08	-1.370E-06	1.573E-06	0.000E+00	-1.331E-07	0.000E+00
81	2D S	-7.678E-08	-1.469E-06	1.657E-06	0.000E+00	-4.659E-07	0.000E+00
82	2D S	-7.142E-08	-1.197E-06	1.372E-06	0.000E+00	-2.753E-07	0.000E+00
83	2D S	-9.150E-08	-7.680E-07	9.919E-07	0.000E+00	1.953E-07	0.000E+00
84	2D S	-8.927E-08	-9.430E-07	1.162E-06	0.000E+00	3.242E-07	0.000E+00
85	2D S	-8.634E-08	-8.431E-07	1.054E-06	0.000E+00	9.473E-08	0.000E+00
86	2D S	-8.365E-08	-8.293E-07	1.034E-06	0.000E+00	-7.938E-08	0.000E+00
87	2D S	-7.965E-08	-9.097E-07	1.105E-06	0.000E+00	-2.908E-07	0.000E+00
88	2D S	-7.643E-08	-7.436E-07	9.307E-07	0.000E+00	-1.738E-07	0.000E+00
89	2D S	-8.952E-08	-4.928E-07	7.119E-07	0.000E+00	1.237E-07	0.000E+00
90	2D S	-8.791E-08	-5.954E-07	8.105E-07	0.000E+00	2.004E-07	0.000E+00
91	2D S	-8.588E-08	-5.059E-07	7.161E-07	0.000E+00	5.288E-08	0.000E+00







22	-8.6471E-03	-3.5309E-02	-8.4349E-02	-6.6787E-02	-4.6480E-02	-8.6471E-03
23	-6.4713E-02	-7.1460E-02	-6.2339E-02	-2.9354E-02	-7.1460E-02	-3.4816E-02
24	-4.8088E-02	-6.2339E-02	-3.4816E-02	-7.2943E-02	-5.7462E-02	-4.8088E-02
25	-7.2943E-02	-3.5309E-02	-5.4206E-02	-5.7462E-02	-3.5309E-02	-8.6471E-03
26	-4.0089E-02	-5.4206E-02	-8.6471E-03	-4.6480E-02	-5.3849E-02	-4.0089E-02
27	-2.9354E-02	-6.2339E-02	-5.2887E-02	-1.9768E-02	-6.2339E-02	-4.8088E-02
28	-3.4408E-02	-5.2887E-02	-4.8088E-02	-5.7462E-02	-7.9134E-03	-3.4408E-02
29	-5.7462E-02	-5.4206E-02	-3.7098E-02	-7.9134E-03	-5.4206E-02	-4.0089E-02
30	-1.9336E-02	-3.7098E-02	-4.0089E-02	-5.3849E-02	-3.8626E-02	-1.9336E-02
31	-1.9768E-02	-5.2887E-02	-3.1436E-02	-2.8697E-02	-5.2887E-02	-3.4408E-02
32	-3.6496E-02	-3.1436E-02	-3.4408E-02	-7.9134E-03	-2.3038E-02	-3.6496E-02
33	-7.9134E-03	-3.7098E-02	-3.7820E-02	-2.3038E-02	-3.7098E-02	-1.9336E-02
34	-1.1290E-02	-3.7820E-02	-1.9336E-02	-3.8626E-02	-3.7446E-02	-1.1290E-02
35	-2.8697E-02	-3.1436E-02	-6.5332E-03	-2.7273E-02	-3.1436E-02	-3.6496E-02
36	-2.7100E-02	-6.5332E-03	-3.6496E-02	-2.3038E-02	-1.3226E-02	-2.7100E-02
37	-2.3038E-02	-3.7820E-02	-2.4705E-02	-2.4705E-02	-3.7820E-02	-1.1290E-02
38	-1.7401E-02	-2.4705E-02	-1.1290E-02	-3.7446E-02	-1.8364E-02	-1.7401E-02
39	-2.7273E-02	-6.5332E-03	-1.4380E-02	-2.3641E-02	-6.5332E-03	-2.7100E-02
40	-2.6423E-02	-1.4380E-02	-2.7100E-02	-1.3226E-02	-7.4243E-03	-2.6423E-02
41	-1.3226E-02	-2.4705E-02	-2.6902E-02	-7.4243E-03	-2.4705E-02	-1.7401E-02
42	-2.0400E-02	-2.6902E-02	-1.7401E-02	-1.8364E-02	-4.9754E-03	-2.0400E-02
43	-2.3641E-02	-1.4380E-02	-9.2643E-03	-1.9608E-02	-1.4380E-02	-2.6423E-02
44	-1.6767E-02	-9.2643E-03	-2.6423E-02	-7.4243E-03	-1.1417E-02	-1.6767E-02
45	-7.4243E-03	-2.6902E-02	-1.1854E-02	-1.1417E-02	-2.6902E-02	-2.0400E-02
46	-1.6048E-02	-1.1854E-02	-2.0400E-02	-4.9754E-03	-9.6496E-03	-1.6048E-02
47	-1.9608E-02	-9.2643E-03	-5.2315E-03	-1.8767E-02	-9.2643E-03	-1.6767E-02
48	-1.9547E-02	-5.2315E-03	-1.6767E-02	-1.1417E-02	-1.5301E-02	-1.9547E-02
49	-1.1417E-02	-1.1854E-02	-3.7519E-03	-1.5301E-02	-1.1854E-02	-1.6048E-02
50	-1.4476E-02	-3.7519E-03	-1.6048E-02	-9.6496E-03	-6.7087E-03	-1.4476E-02
51	-1.8767E-02	-5.2315E-03	-7.9531E-03	-1.1975E-02	-5.2315E-03	-1.9547E-02
52	-8.1994E-03	-7.9531E-03	-1.9547E-02	-1.5301E-02	-1.1457E-02	-8.1994E-03
53	-1.5301E-02	-3.7519E-03	-6.8579E-03	-1.1457E-02	-3.7519E-03	-1.4476E-02
54	-1.3745E-02	-6.8579E-03	-1.4476E-02	-6.7087E-03	-3.8232E-03	-1.3745E-02
55	-1.1975E-02	-7.9531E-03	-1.1697E-02	-1.4493E-02	-7.9531E-03	-8.1994E-03
56	-2.8692E-03	-1.1697E-02	-8.1994E-03	-1.1457E-02	-1.0971E-02	-2.8692E-03
57	-1.1457E-02	-6.8579E-03	-5.0143E-03	-1.0971E-02	-6.8579E-03	-1.3745E-02
58	-8.8997E-03	-5.0143E-03	-1.3745E-02	-3.8232E-03	-5.7964E-03	-8.8997E-03
59	-1.4493E-02	-1.1697E-02	-8.5138E-03	-5.9555E-03	-1.1697E-02	-2.8692E-03
60	-5.0800E-03	-8.5138E-03	-2.8692E-03	-1.0971E-02	-1.0378E-02	-5.0800E-03
61	-1.0971E-02	-5.0143E-03	-2.8816E-03	-1.0378E-02	-5.0143E-03	-8.8997E-03
62	-1.1021E-02	-2.8816E-03	-8.8997E-03	-5.7964E-03	-9.1367E-03	-1.1021E-02
63	-5.9555E-03	-8.5138E-03	-8.5246E-03	-2.2244E-03	-8.5138E-03	-5.0800E-03
64	-3.8369E-03	-8.5246E-03	-5.0800E-03	-1.0378E-02	-6.8238E-03	-3.8369E-03
65	-1.0378E-02	-2.8816E-03	-4.3748E-03	-6.8238E-03	-2.8816E-03	-1.1021E-02
66	-4.4863E-03	-4.3748E-03	-1.1021E-02	-9.1367E-03	-6.5275E-03	-4.4863E-03
67	-2.2244E-03	-8.5246E-03	-8.0482E-03	-3.8689E-03	-8.5246E-03	-3.8369E-03
68	-2.2172E-03	-8.0482E-03	-3.8369E-03	-6.8238E-03	-8.5856E-03	-2.2172E-03
69	-6.8238E-03	-4.3748E-03	-6.6207E-03	-8.5856E-03	-4.3748E-03	-4.4863E-03
70	-1.6131E-03	-6.6207E-03	-4.4863E-03	-6.5275E-03	-6.1624E-03	-1.6131E-03
71	-3.8689E-03	-8.0482E-03	-4.9066E-03	-2.7686E-03	-8.0482E-03	-2.2172E-03
72	-3.1183E-03	-4.9066E-03	-2.2172E-03	-8.5856E-03	-3.1895E-03	-3.1183E-03
73	-8.5856E-03	-6.6207E-03	-4.6945E-03	-3.1895E-03	-6.6207E-03	-1.6131E-03
74	-2.7795E-03	-4.6945E-03	-1.6131E-03	-6.1624E-03	-5.8100E-03	-2.7795E-03
75	-2.7686E-03	-4.9066E-03	-6.2092E-03	-1.5979E-03	-4.9066E-03	-3.1183E-03
76	-4.9164E-03	-6.2092E-03	-3.1183E-03	-3.1895E-03	-1.1996E-03	-4.9164E-03
77	-3.1895E-03	-4.6945E-03	-4.5665E-03	-1.1996E-03	-4.6945E-03	-2.7795E-03
78	-2.0452E-03	-4.5665E-03	-2.7795E-03	-5.8100E-03	-3.6118E-03	-2.0452E-03
79	-7.2943E-02	-5.2887E-02	-5.3849E-02	-3.4816E-02		
80	-1.9768E-02	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	

81	-3.5309E-02	-3.7098E-02	1.4085E-02	5.4892E-02	3.6349E-02	-4.8639E-02
82	-1.1371E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	0.0000E+00	-8.6471E-03	-7.9134E-03
83	0.0000E+00	-3.5309E-02	-4.6480E-02	-3.7098E-02	-3.4408E-02	-1.4084E-03
84	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-8.6471E-03	-3.8626E-02
85	4.2245E-02	3.6349E-02	4.3771E-02	-4.4834E-02	-4.8639E-02	2.4139E-02
86	2.3061E-02	-8.6471E-03	-2.9354E-02	-1.9336E-02	-7.9134E-03	-4.6480E-02
87	-6.2339E-02	-3.8626E-02	-3.7098E-02	-1.4084E-03		
88	1.3096E-02	0.0000E+00	-2.9354E-02	-3.1436E-02	-2.8425E-02	4.3771E-02
89	4.6789E-02	-8.8763E-02	-4.4834E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-2.9354E-02
90	-4.8088E-02	-2.8697E-02	-1.9336E-02	-6.2339E-02	-5.7462E-02	-3.1436E-02
91	-3.8626E-02	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
92	-4.8088E-02	-2.3038E-02	1.5624E-03	4.6789E-02	2.0238E-02	-5.8146E-02
93	-8.8763E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-4.8088E-02	-5.4206E-02	-3.6496E-02
94	-2.8697E-02	-5.7462E-02	-4.0089E-02	-2.3038E-02	-3.1436E-02	-1.4084E-03
95	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-5.4206E-02	-1.1290E-02
96	-1.3265E-02	2.0238E-02	4.9316E-02	-8.4349E-02	-5.8146E-02	2.4139E-02
97	2.3061E-02	-5.4206E-02	-5.3849E-02	-3.7820E-02	-3.6496E-02	-4.0089E-02
98	-1.9768E-02	-1.1290E-02	-2.3038E-02	-1.4084E-03		
99	1.3096E-02	0.0000E+00	-5.3849E-02	-3.7446E-02	4.3193E-03	4.9316E-02
100	-2.6113E-02	-6.6787E-02	-8.4349E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	-5.3849E-02
101	-5.2887E-02	-3.7446E-02	-3.7820E-02	-1.9768E-02		
102	-1.1290E-02	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
103	-3.4408E-02	-2.7100E-02	5.2757E-02	-1.1371E-02	-4.8639E-02	-7.1460E-02
104	-6.4713E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	0.0000E+00	-7.9134E-03	-6.5332E-03
105	0.0000E+00	-3.4408E-02	-3.7098E-02	-2.7100E-02	-2.7273E-02	-1.4084E-03
106	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-7.9134E-03	-2.4705E-02
107	2.3254E-02	-4.8639E-02	-4.4834E-02	-3.4816E-02	-7.1460E-02	2.4139E-02
108	2.3061E-02	-7.9134E-03	-1.9336E-02	-1.3226E-02	-6.5332E-03	-3.7098E-02
109	-3.8626E-02	-2.4705E-02	-2.7100E-02	-1.4084E-03		
110	1.3096E-02	0.0000E+00	-1.9336E-02	-1.8364E-02	5.4892E-02	-4.4834E-02
111	-8.8763E-02	-7.2943E-02	-3.4816E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-1.9336E-02
112	-2.8697E-02	-1.7401E-02	-1.3226E-02	-3.8626E-02	-3.1436E-02	-1.8364E-02
113	-2.4705E-02	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
114	-2.8697E-02	-1.4380E-02	3.6349E-02	-8.8763E-02	-5.8146E-02	-3.5309E-02
115	-7.2943E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-2.8697E-02	-3.6496E-02	-2.3641E-02
116	-1.7401E-02	-3.1436E-02	-2.3038E-02	-1.4380E-02	-1.8364E-02	-1.4084E-03
117	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-3.6496E-02	-7.4243E-03
118	4.3771E-02	-5.8146E-02	-8.4349E-02	-8.6471E-03	-3.5309E-02	2.4139E-02
119	2.3061E-02	-3.6496E-02	-3.7820E-02	-2.6423E-02	-2.3641E-02	-2.3038E-02
120	-1.1290E-02	-7.4243E-03	-1.4380E-02	-1.4084E-03		
121	1.3096E-02	0.0000E+00	-3.7820E-02	-2.6902E-02	4.6789E-02	-8.4349E-02
122	-6.6787E-02	-4.6480E-02	-8.6471E-03	2.4139E-02	-3.5917E-03	-3.7820E-02
123	-3.7446E-02	-2.6902E-02	-2.6423E-02	-1.1290E-02		
124	-7.4243E-03	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
125	-2.7273E-02	-1.9608E-02	2.0238E-02	-6.4713E-02	-7.1460E-02	-6.2339E-02
126	-2.9354E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	0.0000E+00	-6.5332E-03	-4.9754E-03
127	0.0000E+00	-2.7273E-02	-2.7100E-02	-1.9608E-02	-2.0400E-02	-1.4084E-03
128	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-6.5332E-03	-1.6767E-02
129	4.9316E-02	-7.1460E-02	-3.4816E-02	-4.8088E-02	-6.2339E-02	2.4139E-02
130	2.3061E-02	-6.5332E-03	-1.3226E-02	-9.2643E-03	-4.9754E-03	-2.7100E-02
131	-2.4705E-02	-1.6767E-02	-1.9608E-02	-1.4084E-03		
132	1.3096E-02	0.0000E+00	-1.3226E-02	-1.1854E-02	-2.6113E-02	-3.4816E-02
133	-7.2943E-02	-5.7462E-02	-4.8088E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-1.3226E-02
134	-1.7401E-02	-1.1417E-02	-9.2643E-03	-2.4705E-02	-1.8364E-02	-1.1854E-02
135	-1.6767E-02	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
136	-1.7401E-02	-9.6496E-03	-1.1371E-02	-7.2943E-02	-3.5309E-02	-5.4206E-02
137	-5.7462E-02	2.4139E-02	2.3061E-02	-1.7401E-02	-2.3641E-02	-1.6048E-02
138	-1.1417E-02	-1.8364E-02	-1.4380E-02	-9.6496E-03	-1.1854E-02	-1.4084E-03
139	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	0.0000E+00	-2.3641E-02	-5.2315E-03

140	-4.8639E-02	-3.5309E-02	-8.6471E-03	-4.0089E-02	-5.4206E-02	2.4139E-02
141	2.3061E-02	-2.3641E-02	-2.6423E-02	-1.8767E-02	-1.6048E-02	-1.4380E-02
142	-7.4243E-03	-5.2315E-03	-9.6496E-03	-1.4084E-03		
143	1.3096E-02	0.0000E+00	-2.6423E-02	-1.9547E-02	-4.4834E-02	-8.6471E-03
144	-4.6480E-02	-5.3849E-02	-4.0089E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	-2.6423E-02
145	-2.6902E-02	-1.9547E-02	-1.8767E-02	-7.4243E-03		
146	-5.2315E-03	-1.4084E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.3096E-02	
147	-2.0400E-02	-1.4476E-02	-8.8763E-02	-2.9354E-02	-6.2339E-02	-5.2887E-02
148	-1.9768E-02	2.4139E-02	-3.5917E-03	0.0000E+00	-4.9754E-03	-3.7519E-03
149	0.0000E+00	-2.0400E-02	-1.9608E-02	-1.4476E-02	-1.5301E-02	-1.4084E-03

ITINERARY OPTION EXIT



1  
 OITINERARY OPTION STAR  
 1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 1

\*AUTO  
 NUMBER OF BLOCKS  
 .... IN THE Y-DIRECTION = 4  
 .... IN THE X-DIRECTION = 1  
 .... IN THE Z-DIRECTION = 0  
 NUMBER OF MIDPOINTS TO BE SPECIFIED = 0  
 ELEMENT TYPE TO BE GENERATED = -10  
 INCOMPATIBLE DOF TO BE USED = F  
 OCCORDINATE UNIT CONVERSION FLAG = 0  
 TIME UNIT CONVERSION FLAG = 0

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 2

\* X-COORDINATES \*  
 .000 .000 .000 .000 .000 16.000 16.000 16.000 16.000 16.000  
 0\* Y-COORDINATES \*  
 2.000 1.500 1.000 .500 .000 2.000 1.500 1.000 .500 .000

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 3

\* BLOCK MATERIAL NUMBERS \*  

MATERIAL NUMBER	STEEL SET	REBAR SET	INTEG PTS	STIFFNESS FLAG	THICKNESS
1	0	0	2	1	1.0000
1	0	0	2	1	1.0000
1	0	0	2	1	1.0000
1	0	0	2	1	1.0000

0\* NUMBER OF DIVISIONS IN BLOCKS \*  
 ... IN THE Y-DIRECTION (TOP TO BOTTOM)  
 1 1 1 1  
 ... IN THE X-DIRECTION (LEFT TO RIGHT)  
 16  
 OMESS GENERATION ERROR TOLERANCE = .10000E-01  
 NUMBER OF CONTROLLED BOUNDARY SEGMENTS = 12  
 NUMBER OF LOAD COEFFICIENT FORMULAE = 5

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 4

0 LOAD COEFFICIENT FORMULAE  

FORMULA NUMBER	CONSTANT TERM	COEFFICIENT OF X	COEFFICIENT OF Y	COEFFICIENT OF Z

1	3.7891E-01	0.0000E+00	-4.6880E-02	0.0000E+00
2	4.2578E-01	0.0000E+00	-1.4063E-01	0.0000E+00
3	5.1953E-01	0.0000E+00	-2.3438E-01	0.0000E+00
4	6.6016E-01	0.0000E+00	-3.2813E-01	0.0000E+00
5	0.0000E+00	0.0000E+00	-3.0000E+00	0.0000E+00

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 5

CONTROL PARAMETERS FOR AUTOMATICALLY GENERATED BOUNDARY CONDITIONS

I1	CORNER NODES OF SURFACE			BOUNDARY TYPE	BOUNDARY DIRECTION	STRESS HISTORY NUMBER			LOAD COEFFICIENT			FORMULA										
	J1 K1	I2 J2 K2	I3 J3 K3			X	Y	Z	XY	YZ	ZX	X	Y	Z	XY	YZ	ZX					
9	1	0	9	3	0	0	0	0	-3	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	1	0	9	1	0	0	0	0	-3	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	3	1	0	0	0	0	-3	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	7	1	0	0	0	0	-3	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	3	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	4	0	0
3	1	0	5	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	3	0	0
5	1	0	7	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	2	0	0
7	1	0	9	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	1	0	0
1	3	0	3	3	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0
3	3	0	5	3	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0
5	3	0	7	3	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0
7	3	0	9	3	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 6

O NODE NUMBER	BOUNDARY CODES	C O O R D I N A T E S			LOAD COUNT
		X-(IN)	Y-(IN)	Z-(IN)	
1	1 0 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000	3
2	0 0 1 1 1 1	.000000	1.500000	.000000	6
3	0 0 1 1 1 1	.000000	1.000000	.000000	6
4	0 0 1 1 1 1	.000000	.500000	.000000	6
5	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000	3
6	0 0 1 1 1 1	1.000000	2.000000	.000000	
7	0 0 1 1 1 1	1.000000	1.500000	.000000	
8	0 0 1 1 1 1	1.000000	1.000000	.000000	
9	0 0 1 1 1 1	1.000000	.500000	.000000	
10	1 0 1 1 1 1	1.000000	.000000	.000000	
11	0 0 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000	
12	0 0 1 1 1 1	2.000000	1.500000	.000000	
13	0 0 1 1 1 1	2.000000	1.000000	.000000	
14	0 0 1 1 1 1	2.000000	.500000	.000000	
15	1 0 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000	
16	0 0 1 1 1 1	3.000000	2.000000	.000000	
17	0 0 1 1 1 1	3.000000	1.500000	.000000	
18	0 0 1 1 1 1	3.000000	1.000000	.000000	
19	0 0 1 1 1 1	3.000000	.500000	.000000	
20	1 0 1 1 1 1	3.000000	.000000	.000000	
21	0 0 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000	
22	0 0 1 1 1 1	4.000000	1.500000	.000000	
23	0 0 1 1 1 1	4.000000	1.000000	.000000	

24	0 0 1 1 1 1	4.000000	.500000	.000000
25	1 0 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000
26	0 0 1 1 1 1	5.000000	2.000000	.000000
27	0 0 1 1 1 1	5.000000	1.500000	.000000
28	0 0 1 1 1 1	5.000000	1.000000	.000000
29	0 0 1 1 1 1	5.000000	.500000	.000000
30	1 0 1 1 1 1	5.000000	.000000	.000000
31	0 0 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000
32	0 0 1 1 1 1	6.000000	1.500000	.000000
33	0 0 1 1 1 1	6.000000	1.000000	.000000
34	0 0 1 1 1 1	6.000000	.500000	.000000
35	1 0 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000
36	0 0 1 1 1 1	7.000000	2.000000	.000000
37	0 0 1 1 1 1	7.000000	1.500000	.000000
38	0 0 1 1 1 1	7.000000	1.000000	.000000
39	0 0 1 1 1 1	7.000000	.500000	.000000
40	1 0 1 1 1 1	7.000000	.000000	.000000
41	0 0 1 1 1 1	8.000000	2.000000	.000000
42	0 0 1 1 1 1	8.000000	1.500000	.000000
43	0 0 1 1 1 1	8.000000	1.000000	.000000
44	0 0 1 1 1 1	8.000000	.500000	.000000
45	1 0 1 1 1 1	8.000000	.000000	.000000
46	0 0 1 1 1 1	9.000000	2.000000	.000000
47	0 0 1 1 1 1	9.000000	1.500000	.000000
48	0 0 1 1 1 1	9.000000	1.000000	.000000
49	0 0 1 1 1 1	9.000000	.500000	.000000
50	1 0 1 1 1 1	9.000000	.000000	.000000
51	0 0 1 1 1 1	10.000000	2.000000	.000000
52	0 0 1 1 1 1	10.000000	1.500000	.000000
53	0 0 1 1 1 1	10.000000	1.000000	.000000
54	0 0 1 1 1 1	10.000000	.500000	.000000
55	1 0 1 1 1 1	10.000000	.000000	.000000
56	0 0 1 1 1 1	11.000000	2.000000	.000000
57	0 0 1 1 1 1	11.000000	1.500000	.000000
58	0 0 1 1 1 1	11.000000	1.000000	.000000
59	0 0 1 1 1 1	11.000000	.500000	.000000
60	1 0 1 1 1 1	11.000000	.000000	.000000
61	0 0 1 1 1 1	12.000000	2.000000	.000000
62	0 0 1 1 1 1	12.000000	1.500000	.000000
63	0 0 1 1 1 1	12.000000	1.000000	.000000
64	0 0 1 1 1 1	12.000000	.500000	.000000
65	1 0 1 1 1 1	12.000000	.000000	.000000
66	0 0 1 1 1 1	13.000000	2.000000	.000000
67	0 0 1 1 1 1	13.000000	1.500000	.000000
68	0 0 1 1 1 1	13.000000	1.000000	.000000
69	0 0 1 1 1 1	13.000000	.500000	.000000
70	1 0 1 1 1 1	13.000000	.000000	.000000
71	0 0 1 1 1 1	14.000000	2.000000	.000000
72	0 0 1 1 1 1	14.000000	1.500000	.000000
73	0 0 1 1 1 1	14.000000	1.000000	.000000
74	0 0 1 1 1 1	14.000000	.500000	.000000
75	1 0 1 1 1 1	14.000000	.000000	.000000
76	0 0 1 1 1 1	15.000000	2.000000	.000000
77	0 0 1 1 1 1	15.000000	1.500000	.000000
78	0 0 1 1 1 1	15.000000	1.000000	.000000
79	0 0 1 1 1 1	15.000000	.500000	.000000
80	1 0 1 1 1 1	15.000000	.000000	.000000
81	0 0 1 1 1 1	16.000000	2.000000	.000000
82	0 0 1 1 1 1	16.000000	1.500000	.000000

83	0 0 1 1 1 1	16.000000	1.000000	.000000	4
84	0 0 1 1 1 1	16.000000	.500000	.000000	4
85	1 0 1 1 1 1	16.000000	.000000	.000000	2

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 7

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

0	NODE NUMBER	LOAD DIRECTION	LOAD TYPE	LOAD HISTORY NUMBER	LOAD COEFFICIENT (IN2)
	1	1	-1	1	1.375000E+00
	1	1	-1	1	0.000000E+00
	1	2	-1	1	-1.464708E-02
	2	1	-1	1	1.250000E+00
	2	1	-1	1	0.000000E+00
	2	1	-1	1	1.000000E+00
	2	1	-1	1	0.000000E+00
	2	2	-1	1	-2.831916E-02
	2	2	-1	1	-5.175583E-02
	3	1	-1	1	8.750000E-01
	3	1	-1	1	0.000000E+00
	3	1	-1	1	6.250000E-01
	3	1	-1	1	0.000000E+00
	3	2	-1	1	-6.152166E-02
	3	2	-1	1	-7.714708E-02
	4	1	-1	1	5.000000E-01
	4	1	-1	1	0.000000E+00
	4	1	-1	1	2.500000E-01
	4	1	-1	1	0.000000E+00
	4	2	-1	1	-8.300667E-02
	4	2	-1	1	-9.082083E-02
	5	1	-1	1	1.250000E-01
	5	1	-1	1	0.000000E+00
	5	2	-1	1	-9.277417E-02
	5	2	-1	1	0.000000E+00
	81	1	-1	1	1.464708E-02
	81	2	-1	1	0.000000E+00
	82	1	-1	1	0.000000E+00
	82	1	-1	1	0.000000E+00
	82	2	-1	1	2.831916E-02
	82	2	-1	1	5.175583E-02
	83	1	-1	1	0.000000E+00
	83	1	-1	1	0.000000E+00
	83	2	-1	1	6.152166E-02
	83	2	-1	1	7.714708E-02
	84	1	-1	1	0.000000E+00
	84	1	-1	1	0.000000E+00
	84	2	-1	1	8.300667E-02
	84	2	-1	1	9.082083E-02
	85	1	-1	1	0.000000E+00
	85	2	-1	1	9.277417E-02



SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 8

ELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	CONNECTIVITY								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	2D E	1	2	7	6					1	0	0	2	1	1.00	6
2	2D E	2	3	8	7					1	0	0	2	1	1.00	6
3	2D E	3	4	9	8					1	0	0	2	1	1.00	6
4	2D E	4	5	10	9					1	0	0	2	1	1.00	6
5	2D E	6	7	12	11					1	0	0	2	1	1.00	6
6	2D E	7	8	13	12					1	0	0	2	1	1.00	6
7	2D E	8	9	14	13					1	0	0	2	1	1.00	6
8	2D E	9	10	15	14					1	0	0	2	1	1.00	6
9	2D E	11	12	17	16					1	0	0	2	1	1.00	6
10	2D E	12	13	18	17					1	0	0	2	1	1.00	6
11	2D E	13	14	19	18					1	0	0	2	1	1.00	6
12	2D E	14	15	20	19					1	0	0	2	1	1.00	6
13	2D E	16	17	22	21					1	0	0	2	1	1.00	6
14	2D E	17	18	23	22					1	0	0	2	1	1.00	6
15	2D E	18	19	24	23					1	0	0	2	1	1.00	6
16	2D E	19	20	25	24					1	0	0	2	1	1.00	6
17	2D E	21	22	27	26					1	0	0	2	1	1.00	6
18	2D E	22	23	28	27					1	0	0	2	1	1.00	6
19	2D E	23	24	29	28					1	0	0	2	1	1.00	6
20	2D E	24	25	30	29					1	0	0	2	1	1.00	6
21	2D E	26	27	32	31					1	0	0	2	1	1.00	6
22	2D E	27	28	33	32					1	0	0	2	1	1.00	6
23	2D E	28	29	34	33					1	0	0	2	1	1.00	6
24	2D E	29	30	35	34					1	0	0	2	1	1.00	6
25	2D E	31	32	37	36					1	0	0	2	1	1.00	6
26	2D E	32	33	38	37					1	0	0	2	1	1.00	6
27	2D E	33	34	39	38					1	0	0	2	1	1.00	6
28	2D E	34	35	40	39					1	0	0	2	1	1.00	6
29	2D E	36	37	42	41					1	0	0	2	1	1.00	6
30	2D E	37	38	43	42					1	0	0	2	1	1.00	6
31	2D E	38	39	44	43					1	0	0	2	1	1.00	6
32	2D E	39	40	45	44					1	0	0	2	1	1.00	6
33	2D E	41	42	47	46					1	0	0	2	1	1.00	6
34	2D E	42	43	48	47					1	0	0	2	1	1.00	6
35	2D E	43	44	49	48					1	0	0	2	1	1.00	6
36	2D E	44	45	50	49					1	0	0	2	1	1.00	6
37	2D E	46	47	52	51					1	0	0	2	1	1.00	6
38	2D E	47	48	53	52					1	0	0	2	1	1.00	6
39	2D E	48	49	54	53					1	0	0	2	1	1.00	6
40	2D E	49	50	55	54					1	0	0	2	1	1.00	6
41	2D E	51	52	57	56					1	0	0	2	1	1.00	6
42	2D E	52	53	58	57					1	0	0	2	1	1.00	6
43	2D E	53	54	59	58					1	0	0	2	1	1.00	6
44	2D E	54	55	60	59					1	0	0	2	1	1.00	6
45	2D E	56	57	62	61					1	0	0	2	1	1.00	6
46	2D E	57	58	63	62					1	0	0	2	1	1.00	6
47	2D E	58	59	64	63					1	0	0	2	1	1.00	6
48	2D E	59	60	65	64					1	0	0	2	1	1.00	6
49	2D E	61	62	67	66					1	0	0	2	1	1.00	6
50	2D E	62	63	68	67					1	0	0	2	1	1.00	6
51	2D E	63	64	69	68					1	0	0	2	1	1.00	6
52	2D E	64	65	70	69					1	0	0	2	1	1.00	6

53	2D E	66	67	72	71	1	0	0	2	1	1.00	6
54	2D E	67	68	73	72	1	0	0	2	1	1.00	6
55	2D E	68	69	74	73	1	0	0	2	1	1.00	6
56	2D E	69	70	75	74	1	0	0	2	1	1.00	6
57	2D E	71	72	77	76	1	0	0	2	1	1.00	6
58	2D E	72	73	78	77	1	0	0	2	1	1.00	6
59	2D E	73	74	79	78	1	0	0	2	1	1.00	6
60	2D E	74	75	80	79	1	0	0	2	1	1.00	6
61	2D E	76	77	82	81	1	0	0	2	1	1.00	6
62	2D E	77	78	83	82	1	0	0	2	1	1.00	6
63	2D E	78	79	84	83	1	0	0	2	1	1.00	6
64	2D E	79	80	85	84	1	0	0	2	1	1.00	6

OCONTROLLING BANDWIDTH = 6 AT ELEMENT 1

1 AGBABIAN ASSOCIATES BMINES (VER. 200, 10/80)  
 SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 9  
 \*LINK  
 ONUMBER OF EQUATIONS = 151

1 AGBABIAN ASSOCIATES BMINES (VER. 200, 10/80)  
 SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH PAGE 10

OELEMENT NUMBER	ELEMENT TYPE	CONNECTIVITY								MATERIAL NUMBER	STEEL SET	BAR SET	INTEG POINTS	STIF FLAG	THICK (2-D)	BAND WIDTH
		I	J	K	L	II	JJ	KK	LL							
1	2D E	1	2	7	6					1	0	0	2	1	1.00	11
2	2D E	2	3	8	7					1	0	0	2	1	1.00	12
3	2D E	3	4	9	8					1	0	0	2	1	1.00	12
4	2D E	4	5	10	9					1	0	0	2	1	1.00	11
5	2D E	6	7	12	11					1	0	0	2	1	1.00	13
6	2D E	7	8	13	12					1	0	0	2	1	1.00	13
7	2D E	8	9	14	13					1	0	0	2	1	1.00	13
8	2D E	9	10	15	14					1	0	0	2	1	1.00	12
9	2D E	11	12	17	16					1	0	0	2	1	1.00	13
10	2D E	12	13	18	17					1	0	0	2	1	1.00	13
11	2D E	13	14	19	18					1	0	0	2	1	1.00	13
12	2D E	14	15	20	19					1	0	0	2	1	1.00	12
13	2D E	16	17	22	21					1	0	0	2	1	1.00	13
14	2D E	17	18	23	22					1	0	0	2	1	1.00	13
15	2D E	18	19	24	23					1	0	0	2	1	1.00	13
16	2D E	19	20	25	24					1	0	0	2	1	1.00	12
17	2D E	21	22	27	26					1	0	0	2	1	1.00	13
18	2D E	22	23	28	27					1	0	0	2	1	1.00	13
19	2D E	23	24	29	28					1	0	0	2	1	1.00	13
20	2D E	24	25	30	29					1	0	0	2	1	1.00	12
21	2D E	26	27	32	31					1	0	0	2	1	1.00	13
22	2D E	27	28	33	32					1	0	0	2	1	1.00	13
23	2D E	28	29	34	33					1	0	0	2	1	1.00	13
24	2D E	29	30	35	34					1	0	0	2	1	1.00	12
25	2D E	31	32	37	36					1	0	0	2	1	1.00	13
26	2D E	32	33	38	37					1	0	0	2	1	1.00	13
27	2D E	33	34	39	38					1	0	0	2	1	1.00	13
28	2D E	34	35	40	39					1	0	0	2	1	1.00	12
29	2D E	36	37	42	41					1	0	0	2	1	1.00	13
30	2D E	37	38	43	42					1	0	0	2	1	1.00	13

31	2D E	38	39	44	43	1	0	0	2	1	1.00	13
32	2D E	39	40	45	44	1	0	0	2	1	1.00	12
33	2D E	41	42	47	46	1	0	0	2	1	1.00	13
34	2D E	42	43	48	47	1	0	0	2	1	1.00	13
35	2D E	43	44	49	48	1	0	0	2	1	1.00	13
36	2D E	44	45	50	49	1	0	0	2	1	1.00	12
37	2D E	46	47	52	51	1	0	0	2	1	1.00	13
38	2D E	47	48	53	52	1	0	0	2	1	1.00	13
39	2D E	48	49	54	53	1	0	0	2	1	1.00	13
40	2D E	49	50	55	54	1	0	0	2	1	1.00	12
41	2D E	51	52	57	56	1	0	0	2	1	1.00	13
42	2D E	52	53	58	57	1	0	0	2	1	1.00	13
43	2D E	53	54	59	58	1	0	0	2	1	1.00	13
44	2D E	54	55	60	59	1	0	0	2	1	1.00	12
45	2D E	56	57	62	61	1	0	0	2	1	1.00	13
46	2D E	57	58	63	62	1	0	0	2	1	1.00	13
47	2D E	58	59	64	63	1	0	0	2	1	1.00	13
48	2D E	59	60	65	64	1	0	0	2	1	1.00	12
49	2D E	61	62	67	66	1	0	0	2	1	1.00	13
50	2D E	62	63	68	67	1	0	0	2	1	1.00	13
51	2D E	63	64	69	68	1	0	0	2	1	1.00	13
52	2D E	64	65	70	69	1	0	0	2	1	1.00	12
53	2D E	66	67	72	71	1	0	0	2	1	1.00	13
54	2D E	67	68	73	72	1	0	0	2	1	1.00	13
55	2D E	68	69	74	73	1	0	0	2	1	1.00	13
56	2D E	69	70	75	74	1	0	0	2	1	1.00	12
57	2D E	71	72	77	76	1	0	0	2	1	1.00	13
58	2D E	72	73	78	77	1	0	0	2	1	1.00	13
59	2D E	73	74	79	78	1	0	0	2	1	1.00	13
60	2D E	74	75	80	79	1	0	0	2	1	1.00	12
61	2D E	76	77	82	81	1	0	0	2	1	1.00	13
62	2D E	77	78	83	82	1	0	0	2	1	1.00	13
63	2D E	78	79	84	83	1	0	0	2	1	1.00	13
64	2D E	79	80	85	84	1	0	0	2	1	1.00	12

CONROLLING BANDWIDTH = 13 AT ELEMENT 5

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 11

\* PLOT CONTROL DATA FOR THE MESH PLOT \*

HORIZON VECTOR - 1.000 .000 .000  
VIEW VECTOR - .000 .000 -1.000  
PAPER SIZE TO BE USED - 1.0 INCHES  
HEIGHT OF NODAL POINT NUMBERS --1.000 INCHES  
HEIGHT OF ELEMENT NUMBERS --1.000 INCHES  
NUMBER OF CUTTING PLANES - 0  
NUMBER OF MATLS AND REBARS= 1 0

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 12

\* MATERIAL DATA \*

MATERIAL NO. 1

BULK MODULUS (PSI)		SHEAR MODULUS (PSI)		MASS DENSITY (LB- SEC/IN4)					
.25000E+08		.11540E+08		.00000E+00					
ANISOTROPIC FLAG	PLASTICITY FLAG	VISCOUS FLAG	ITERATION FLAG	NO. OF SPLITS		NO. OF ITERATION			
0.	0.	0.	0.	0.		0.			
SPLIT CRITERION	CONVERGENCE CRITERION		VARIABLE MODULUS FLAG	MAX SPLITS	COMPOSITE	PLASTICITY			
.00000E+00	.00000E+00		0.	0.	0.	0.			
SHEAR MODULUS COEFFICIENTS									
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
BULK MODULUS COEFFICIENTS									
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
INELASTICITY COEFFICIENTS									
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	0.
0.	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	0.

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 13

0COMPONENTS OF GRAVITY LOADING = .0000 -386.1000 .0000  
 0NUMBER OF DEADLOAD INCREMENTS = 0  
 0OUTPUT TYPE (0=INCLUDE DEADLOAD) = 0

OSTATIC LOAD HISTORY NUMBERS

TIME	NUMBER	1		
1.00	100000.0000			
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	1	1		
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	1	1		
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	5	1		
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	5	1		
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	5	2		
**** WARNING - LOAD APPLIED TO CONSTRAINED NODE AT	85	1		
0ELEMENT DATA TAPE ON UNIT	2			
0LINK TAPE WRITTEN ON UNIT	1			
0ITINERARY OPTION EXEC				

OK REFORMED EVERY 100-TH STEP  
 RESTART AND EXIT AFTER 0 STEPS  
 RESTART INTERVAL IS .000 SEC

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 14

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH  
 ONORMAL START

ONUMBER OF NODE POINTS 85  
 NUMBER OF ELEMENTS 64  
 NUMBER OF MATERIALS 1  
 NUMBER OF EQUATION 151  
 BANDWIDTH 13  
 NUMBER OF BLOCKS 1  
 EQUATIONS PER BLOCK 151  
 OPASS 1 T T  
 OTIME IN KFORM = .21875E+00  
 ODECOMP -1  
 OTIME IN DECOM = .10938E+00  
 OPASS 2 F F  
 OTIME IN KFORM = .16406E+00  
 BMCALC .55468750E+00  
 OITINERARY OPTION OUTP

1 A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

PAGE 15

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PRINT OPTIONS SPECIFICATION

ELEMENT OPTIONS

OPTION NUMBER	STRESS REQUESTED	STRAIN REQUESTED	EXTRA PRINTS	GLOBAL-LOCAL TRANSFORM	*****TRANSFORMATION DEFINITION*****
1	YES	YES	NONE	NONE	

NODAL OPTIONS

OPTION NUMBER	DISPLACEMENT REQUESTS
1	YES

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 16

PRINT SPECIFICATION

TYPE	FIRST	LAST	OPTION
ELEM	1	64	1
NODE	1	85	1

1

AGBABIAN ASSOCIATES

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 17

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRESSES

ELEMENT	TYPE	LOCATION	YIELD FACTOR	*****STRESS (PSI) OR FORCE (LBS)-MOMENT (IN-LBS)*****						
				XX OR X SIGMA(N)	YY OR Y TAU1	ZZ OR Z TAU2	XY OR XX	YZ OR YY	XZ OR ZZ	
1	2D E		.000	-4.9122E+05	-1.6858E+03	-1.4786E+05	4.0359E+03			
2	2D E		.000	-3.6066E+05	-3.0179E+03	-1.0910E+05	2.3222E+04			
3	2D E		.000	-2.1722E+05	-2.1500E+03	-6.5805E+04	3.3925E+04			
4	2D E		.000	-7.2479E+04	-7.0699E+02	-2.1954E+04	3.8975E+04			
5	2D E		.000	-4.6320E+05	1.0283E+03	-1.3864E+05	7.7552E+03			
6	2D E		.000	-3.3247E+05	2.4547E+03	-9.8998E+04	2.1556E+04			
7	2D E		.000	-2.0098E+05	1.4882E+03	-5.9844E+04	3.2628E+04			
8	2D E		.000	-6.7178E+04	4.7657E+02	-2.0009E+04	3.8218E+04			
9	2D E		.000	-4.3244E+05	-6.1585E+01	-1.2974E+05	9.0120E+03			
10	2D E		.000	-3.0882E+05	2.3095E+02	-9.2570E+04	2.2548E+04			
11	2D E		.000	-1.8542E+05	5.6240E+02	-5.5454E+04	3.1842E+04			
12	2D E		.000	-6.1893E+04	2.4805E+02	-1.8492E+04	3.6757E+04			
13	2D E		.000	-4.0044E+05	9.3621E+00	-1.2012E+05	9.0333E+03			
14	2D E		.000	-2.8598E+05	-3.9689E+00	-8.5788E+04	2.2778E+04			
15	2D E		.000	-1.7154E+05	-6.2669E+00	-5.1461E+04	3.1899E+04			
16	2D E		.000	-5.7165E+04	1.5221E+01	-1.7143E+04	3.6446E+04			
17	2D E		.000	-3.6836E+05	-2.6176E+00	-1.1050E+05	9.0206E+03			
18	2D E		.000	-2.6310E+05	-9.7861E+00	-7.8928E+04	2.2755E+04			
19	2D E		.000	-1.5785E+05	-1.3706E+01	-4.7356E+04	3.1903E+04			
20	2D E		.000	-5.2616E+04	-1.0487E+01	-1.5787E+04	3.6468E+04			
21	2D E		.000	-3.3630E+05	1.8518E-02	-1.0088E+05	9.0140E+03			
22	2D E		.000	-2.4022E+05	-1.0167E+00	-7.2060E+04	2.2748E+04			
23	2D E		.000	-1.4413E+05	-1.6574E+00	-4.3236E+04	3.1902E+04			
24	2D E		.000	-4.8043E+04	1.0948E-01	-1.4412E+04	3.6478E+04			
25	2D E		.000	-3.0426E+05	9.9115E-01	-9.1270E+04	9.0100E+03			
26	2D E		.000	-2.1733E+05	-1.4248E+00	-6.5194E+04	2.2743E+04			
27	2D E		.000	-1.3040E+05	-1.6588E+00	-3.9117E+04	3.1900E+04			
28	2D E		.000	-4.3465E+04	2.3439E-01	-1.3039E+04	3.6479E+04			
29	2D E		.000	-2.7222E+05	-1.2530E-02	-8.1659E+04	9.0131E+03			
30	2D E		.000	-1.9444E+05	-8.7683E-01	-5.8327E+04	2.2747E+04			
31	2D E		.000	-1.1666E+05	-5.4888E-01	-3.4996E+04	3.1902E+04			

Appendice G

32	2D E	.000	-3.8887E+04	6.7261E-01	-1.1665E+04	3.6479E+04
33	2D E	.000	-2.4017E+05	6.8161E-01	-7.2045E+04	9.0139E+03
34	2D E	.000	-1.7155E+05	5.1805E+00	-5.1459E+04	2.2747E+04
35	2D E	.000	-1.0293E+05	2.7747E+00	-3.0876E+04	3.1902E+04
36	2D E	.000	-3.4310E+04	1.0057E+00	-1.0292E+04	3.6480E+04
37	2D E	.000	-2.0812E+05	2.6634E+00	-6.2431E+04	9.0122E+03
38	2D E	.000	-1.4866E+05	5.1188E+00	-4.4593E+04	2.2745E+04
39	2D E	.000	-8.9198E+04	7.8872E-01	-2.6757E+04	3.1901E+04
40	2D E	.000	-2.9733E+04	-7.1476E-01	-8.9194E+03	3.6478E+04
41	2D E	.000	-1.7608E+05	1.7652E+00	-5.2820E+04	9.0101E+03
42	2D E	.000	-1.2577E+05	3.6099E+00	-3.7728E+04	2.2742E+04
43	2D E	.000	-7.5464E+04	3.6612E+00	-2.2636E+04	3.1895E+04
44	2D E	.000	-2.5155E+04	1.3694E+00	-7.5454E+03	3.6472E+04
45	2D E	.000	-1.4405E+05	4.6650E+00	-4.3209E+04	9.0138E+03
46	2D E	.000	-1.0290E+05	1.2754E+00	-3.0866E+04	2.2740E+04
47	2D E	.000	-6.1738E+04	5.0268E+00	-1.8518E+04	3.1890E+04
48	2D E	.000	-2.0580E+04	6.2582E-01	-6.1734E+03	3.6465E+04
49	2D E	.000	-1.1202E+05	-7.0740E-01	-3.3603E+04	9.0033E+03
50	2D E	.000	-8.0018E+04	1.4373E+00	-2.4003E+04	2.2732E+04
51	2D E	.000	-4.8011E+04	4.1357E+00	-1.4401E+04	3.1881E+04
52	2D E	.000	-1.6002E+04	3.6982E+00	-4.7992E+03	3.6459E+04
53	2D E	.000	-8.0008E+04	1.8487E+01	-2.3995E+04	9.0070E+03
54	2D E	.000	-5.7156E+04	-3.0447E+01	-1.7155E+04	2.2706E+04
55	2D E	.000	-3.4272E+04	-1.6680E+01	-1.0286E+04	3.1871E+04
56	2D E	.000	-1.1423E+04	-1.0048E+01	-3.4298E+03	3.6456E+04
57	2D E	.000	-4.8070E+04	-1.6219E+02	-1.4468E+04	8.9164E+03
58	2D E	.000	-3.4215E+04	-3.2097E+01	-1.0273E+04	2.2722E+04
59	2D E	.000	-2.0518E+04	1.4404E+01	-6.1506E+03	3.1897E+04
60	2D E	.000	-6.8395E+03	9.8698E+00	-2.0487E+03	3.6472E+04
61	2D E	.000	-1.6006E+04	8.6521E+02	-4.5420E+03	9.0808E+03
62	2D E	.000	-1.1383E+04	4.2634E+02	-3.2868E+03	2.2723E+04
63	2D E	.000	-6.8335E+03	1.7980E+02	-1.9959E+03	3.1815E+04
64	2D E	.000	-2.2773E+03	5.3073E+01	-6.6720E+02	3.6368E+04

1

A G B A B I A N A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 18

LOAD STEP = 1 TIME = 1.0000

ELEMENT STRAINS

ELEMENT	TYPE	LOCATION	*****STRAIN (IN/IN)*****						
			XX EPS(N)	YY GAMMA1	ZZ GAMMA2	XY DILATATION	YZ SLIP	XZ	
1	2D E		-1.488E-02	6.333E-03	0.000E+00	3.497E-04			
2	2D E		-1.090E-02	4.596E-03	0.000E+00	2.012E-03			
3	2D E		-6.560E-03	2.758E-03	0.000E+00	2.940E-03			
4	2D E		-2.189E-03	9.206E-04	0.000E+00	3.377E-03			
5	2D E		-1.406E-02	6.052E-03	0.000E+00	6.720E-04			
6	2D E		-1.012E-02	4.396E-03	0.000E+00	1.868E-03			
7	2D E		-6.115E-03	2.657E-03	0.000E+00	2.827E-03			
8	2D E		-2.044E-03	8.876E-04	0.000E+00	3.312E-03			
9	2D E		-1.312E-02	5.619E-03	0.000E+00	7.809E-04			
10	2D E		-9.370E-03	4.021E-03	0.000E+00	1.954E-03			
11	2D E		-5.631E-03	2.427E-03	0.000E+00	2.759E-03			
12	2D E		-1.880E-03	8.120E-04	0.000E+00	3.185E-03			

1

## A G B A B I A N   A S S O C I A T E S

BMINES (VER. 200, 10/80)

SAMPLE PROBLEM 4A CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

PAGE 19

LOAD STEP = 1      TIME = 1.0000

NODAL DISPLACEMENTS

NODE	X-DISP	Y-DISP	Z-DISP	XX-ROT	YY-ROT	ZZ-ROT
1	*****	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	*****	*****	*****	*****	*****
6	*****	*****	*****	*****	*****	*****
7	*****	*****	*****	*****	*****	*****
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****
9	*****	*****	*****	*****	*****	*****
10	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12	*****	*****	*****	*****	*****	*****
13	*****	*****	*****	*****	*****	*****
14	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	0.0000E+00	-1.1513E-02	4.3930E-02	7.6421E-02	-4.5616E-02	4.3930E-02
18	4.3543E-02	-3.0130E-02	7.6421E-02	4.3543E-02	-6.1607E-02	7.4637E-02
19	-3.0130E-02	7.8919E-02	-4.5616E-02	7.3567E-02	-1.4981E-02	-4.5616E-02
20	7.6421E-02	7.3210E-02	7.3567E-02	7.6421E-02	-3.0130E-02	-7.4376E-02
21	7.3210E-02	-3.0130E-02	7.4637E-02	1.1477E-01	-7.4376E-02	-1.4981E-02
22	7.3567E-02	1.1248E-01	-5.5192E-02	7.3567E-02	7.3210E-02	-3.6514E-02
23	1.1248E-01	7.3210E-02	-7.4376E-02	1.1085E-01	-3.6514E-02	-7.4376E-02
24	1.1477E-01	-1.8172E-02	1.1085E-01	-5.5192E-02	1.1248E-01	1.0954E-01
25	1.0987E-01	1.1248E-01	-3.6514E-02	-8.6033E-02	1.0954E-01	-3.6514E-02
26	1.1085E-01	1.5673E-01	-8.6033E-02	1.1085E-01	-1.8172E-02	-6.3935E-02
27	1.5673E-01	1.0987E-01	1.0954E-01	-4.2342E-02	1.5465E-01	1.0954E-01
28	-8.6033E-02	1.5316E-01	-4.2342E-02	-8.6033E-02	1.5673E-01	-2.1087E-02
29	1.5316E-01	1.5673E-01	-6.3935E-02	1.5227E-01	-2.1087E-02	1.5465E-01
30	-4.2342E-02	-9.6580E-02	1.5197E-01	-4.2342E-02	1.5316E-01	2.0424E-01
31	-9.6580E-02	1.5316E-01	-2.1087E-02	-7.1845E-02	2.0424E-01	-2.1087E-02
32	1.5227E-01	2.0237E-01	-7.1845E-02	1.5197E-01	-9.6580E-02	2.0103E-01
33	-4.7616E-02	-9.6580E-02	2.0424E-01	-2.3723E-02	2.0103E-01	2.0424E-01
34	-7.1845E-02	2.0023E-01	-2.3723E-02	-7.1845E-02	2.0237E-01	1.9996E-01
35	2.0023E-01	-4.7616E-02	2.0103E-01	2.5675E-01	-1.0602E-01	2.0103E-01
36	-2.3723E-02	-7.8922E-02	2.5675E-01	-2.3723E-02	2.0023E-01	2.5508E-01
37	-7.8922E-02	2.0023E-01	1.9996E-01	-5.2333E-02	2.5508E-01	-1.0602E-01
38	2.5675E-01	-2.6082E-02	2.5389E-01	2.5675E-01	-7.8922E-02	2.5318E-01
39	-2.6082E-02	-7.8922E-02	2.5508E-01	2.5294E-01	2.5318E-01	2.5508E-01
40	-5.2333E-02	-1.1434E-01	2.5294E-01	2.5389E-01	-2.6082E-02	-8.5165E-02
41	3.1369E-01	-2.6082E-02	2.5318E-01	3.1224E-01	-8.5165E-02	2.5318E-01
42	2.5294E-01	-5.6496E-02	3.1224E-01	2.5294E-01	-1.1434E-01	3.1120E-01
43	-5.6496E-02	2.1073E-02	4.3543E-02	4.3930E-02	7.3083E-03	
44	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-4.7726E-02	7.6421E-02	8.1784E-03
45	6.3261E-03	-3.2733E-02	2.2766E-02	-1.5691E-02	0.0000E+00	8.1784E-03
46	-4.7726E-02	-3.5206E-02	-4.5616E-02	-6.1607E-02	4.9729E-02	4.7022E-02
47	7.6421E-02	7.8919E-02	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03
48	7.3083E-03	-3.5206E-02	7.4637E-02	-3.6647E-03	-3.2733E-02	2.7766E-02
49	-7.7521E-03	2.2766E-02	0.0000E+00	8.1784E-03	-3.5206E-02	-2.3192E-02
50	-3.0130E-02	-4.5616E-02	4.7022E-02	4.5089E-02	7.4637E-02	7.6421E-02
51	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-2.3192E-02
52	7.3567E-02	6.7887E-03	2.7766E-02	-2.3968E-02	2.1498E-02	-7.7521E-03
53	0.0000E+00	8.1784E-03	-2.3192E-02	-1.1513E-02	-1.4981E-02	-3.0130E-02



13	2D E	-1.215E-02	5.205E-03	0.000E+00	7.828E-04
14	2D E	-8.674E-03	3.717E-03	0.000E+00	1.974E-03
15	2D E	-5.203E-03	2.229E-03	0.000E+00	2.764E-03
16	2D E	-1.734E-03	7.434E-04	0.000E+00	3.158E-03
17	2D E	-1.117E-02	4.788E-03	0.000E+00	7.817E-04
18	2D E	-7.980E-03	3.419E-03	0.000E+00	1.972E-03
19	2D E	-4.788E-03	2.051E-03	0.000E+00	2.765E-03
20	2D E	-1.596E-03	6.835E-04	0.000E+00	3.160E-03
21	2D E	-1.020E-02	4.371E-03	0.000E+00	7.811E-04
22	2D E	-7.286E-03	3.122E-03	0.000E+00	1.971E-03
23	2D E	-4.372E-03	1.873E-03	0.000E+00	2.764E-03
24	2D E	-1.457E-03	6.244E-04	0.000E+00	3.161E-03
25	2D E	-9.228E-03	3.955E-03	0.000E+00	7.808E-04
26	2D E	-6.592E-03	2.825E-03	0.000E+00	1.971E-03
27	2D E	-3.955E-03	1.695E-03	0.000E+00	2.764E-03
28	2D E	-1.318E-03	5.649E-04	0.000E+00	3.161E-03
29	2D E	-8.256E-03	3.538E-03	0.000E+00	7.810E-04
30	2D E	-5.897E-03	2.527E-03	0.000E+00	1.971E-03
31	2D E	-3.538E-03	1.516E-03	0.000E+00	2.765E-03
32	2D E	-1.179E-03	5.054E-04	0.000E+00	3.161E-03
33	2D E	-7.284E-03	3.122E-03	0.000E+00	7.811E-04
34	2D E	-5.203E-03	2.230E-03	0.000E+00	1.971E-03
35	2D E	-3.122E-03	1.338E-03	0.000E+00	2.764E-03
36	2D E	-1.041E-03	4.460E-04	0.000E+00	3.161E-03
37	2D E	-6.312E-03	2.705E-03	0.000E+00	7.810E-04
38	2D E	-4.509E-03	1.932E-03	0.000E+00	1.971E-03
39	2D E	-2.705E-03	1.159E-03	0.000E+00	2.764E-03
40	2D E	-9.018E-04	3.864E-04	0.000E+00	3.161E-03
41	2D E	-5.341E-03	2.289E-03	0.000E+00	7.808E-04
42	2D E	-3.815E-03	1.635E-03	0.000E+00	1.971E-03
43	2D E	-2.289E-03	9.809E-04	0.000E+00	2.764E-03
44	2D E	-7.630E-04	3.270E-04	0.000E+00	3.160E-03
45	2D E	-4.369E-03	1.872E-03	0.000E+00	7.811E-04
46	2D E	-3.121E-03	1.337E-03	0.000E+00	1.971E-03
47	2D E	-1.873E-03	8.026E-04	0.000E+00	2.763E-03
48	2D E	-6.242E-04	2.675E-04	0.000E+00	3.160E-03
49	2D E	-3.398E-03	1.456E-03	0.000E+00	7.802E-04
50	2D E	-2.427E-03	1.040E-03	0.000E+00	1.970E-03
51	2D E	-1.456E-03	6.241E-04	0.000E+00	2.763E-03
52	2D E	-4.854E-04	2.081E-04	0.000E+00	3.159E-03
53	2D E	-2.427E-03	1.040E-03	0.000E+00	7.805E-04
54	2D E	-1.733E-03	7.419E-04	0.000E+00	1.968E-03
55	2D E	-1.039E-03	4.449E-04	0.000E+00	2.762E-03
56	2D E	-3.463E-04	1.482E-04	0.000E+00	3.159E-03
57	2D E	-1.456E-03	6.199E-04	0.000E+00	7.727E-04
58	2D E	-1.037E-03	4.437E-04	0.000E+00	1.969E-03
59	2D E	-6.225E-04	2.671E-04	0.000E+00	2.764E-03
60	2D E	-2.076E-04	8.919E-05	0.000E+00	3.160E-03
61	2D E	-4.967E-04	2.343E-04	0.000E+00	7.869E-04
62	2D E	-3.508E-04	1.609E-04	0.000E+00	1.969E-03
63	2D E	-2.096E-04	9.427E-05	0.000E+00	2.757E-03
64	2D E	-6.976E-05	3.121E-05	0.000E+00	3.151E-03

54	4.5089E-02	4.3930E-02	7.3567E-02	7.4637E-02	7.3083E-03	
55	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-1.1513E-02	7.3210E-02	6.3261E-03
56	-2.3968E-02	2.4854E-02	2.1073E-02	2.1498E-02	0.0000E+00	-7.5475E-03
57	-1.1513E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	-1.4981E-02	4.3930E-02	4.3543E-02
58	7.3210E-02	7.3567E-02	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03
59	7.3083E-03	-6.1607E-02	1.1248E-01	-3.2733E-02	-1.5691E-02	2.2766E-02
60	4.9729E-02	-4.7726E-02	0.0000E+00	8.1784E-03	-6.1607E-02	-4.5616E-02
61	-5.5192E-02	-7.4376E-02	7.8919E-02	7.6421E-02	1.1248E-01	1.1477E-01
62	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-4.5616E-02
63	1.1085E-01	2.7766E-02	2.2766E-02	-7.7521E-03	-3.5206E-02	4.9729E-02
64	0.0000E+00	8.1784E-03	-4.5616E-02	-3.0130E-02	-3.6514E-02	-5.5192E-02
65	7.6421E-02	7.4637E-02	1.1085E-01	1.1248E-01	7.3083E-03	
66	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-3.0130E-02	1.0987E-01	-2.3968E-02
67	-7.7521E-03	2.1498E-02	4.7022E-02	-3.5206E-02	0.0000E+00	8.1784E-03
68	-3.0130E-02	-1.4981E-02	-1.8172E-02	-3.6514E-02	7.4637E-02	7.3567E-02
69	1.0987E-01	1.1085E-01	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03
70	7.3083E-03	-1.4981E-02	1.0954E-01	2.4854E-02	2.1498E-02	2.1073E-02
71	-2.3192E-02	4.7022E-02	0.0000E+00	-7.5475E-03	-1.4981E-02	
72	0.0000E+00	-1.8172E-02	7.3567E-02	7.3210E-02	1.0954E-01	1.0987E-01
73	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-7.4376E-02
74	1.5465E-01	-1.5691E-02	-4.7726E-02	4.9729E-02	-1.1513E-02	4.5089E-02
75	0.0000E+00	8.1784E-03	-7.4376E-02	-5.5192E-02	-6.3935E-02	-8.6033E-02
76	1.1477E-01	1.1248E-01	1.5465E-01	1.5673E-01	7.3083E-03	
77	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-5.5192E-02	1.5316E-01	2.2766E-02
78	4.9729E-02	-3.5206E-02	4.3930E-02	-1.1513E-02	0.0000E+00	8.1784E-03
79	-5.5192E-02	-3.6514E-02	-4.2342E-02	-6.3935E-02	1.1248E-01	1.1085E-01
80	1.5316E-01	1.5465E-01	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03
81	7.3083E-03	-3.6514E-02	1.5227E-01	-7.7521E-03	-3.5206E-02	4.7022E-02
82	4.3543E-02	4.3930E-02	0.0000E+00	8.1784E-03	-3.6514E-02	-1.8172E-02
83	-2.1087E-02	-4.2342E-02	1.1085E-01	1.0987E-01	1.5227E-01	1.5316E-01
84	7.3083E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	1.1776E-03	7.3083E-03	-1.8172E-02
85	1.5197E-01	2.1498E-02	4.7022E-02	-2.3192E-02	-6.1607E-02	4.3543E-02

ITINERARY OPTION EXIT

## APÊNDICE H

## ENTRADA DE DADOS DO PROGRAMA MALHA\_2.EXE, PARA OS PROBLEMAS-

## EXEMPLOS CITADOS NO CAPÍTULO 5

## H.1 - Entrada de Dados do Problema-Exemplo 1 - Teste brasileiro

SAMPLE PROBLEM 1 BRAZILIAN TEST

104	83					
1	1 0 1 1 1 1	.000000	10.000000	.000000		1
2	1 0 1 1 1 1	.000000	9.000000	.000000		
3	1 0 1 1 1 1	.000000	8.000000	.000000		
4	1 0 1 1 1 1	.000000	7.000000	.000000		
5	1 0 1 1 1 1	.000000	6.000000	.000000		
6	1 0 1 1 1 1	.000000	5.000000	.000000		
7	1 0 1 1 1 1	.000000	4.000000	.000000		
8	1 0 1 1 1 1	.000000	3.000000	.000000		
9	1 0 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000		
10	1 0 1 1 1 1	.000000	1.000000	.000000		
11	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000		
12	0 0 1 1 1 1	1.000000	9.950000	.000000		
13	0 0 1 1 1 1	1.000000	9.000000	.000000		
14	0 0 1 1 1 1	1.000000	8.000000	.000000		
15	0 0 1 1 1 1	1.000000	7.000000	.000000		
16	0 0 1 1 1 1	1.000000	6.000000	.000000		
17	0 0 1 1 1 1	1.000000	5.000000	.000000		
18	0 0 1 1 1 1	1.000000	4.000000	.000000		
19	0 0 1 1 1 1	1.000000	3.000000	.000000		
20	0 0 1 1 1 1	1.000000	2.000000	.000000		
21	0 0 1 1 1 1	1.000000	1.000000	.000000		
22	0 1 1 1 1 1	1.000000	.000000	.000000		
23	0 0 1 1 1 1	2.000000	9.798000	.000000		
24	0 0 1 1 1 1	2.000000	9.000000	.000000		
25	0 0 1 1 1 1	2.000000	8.000000	.000000		
26	0 0 1 1 1 1	2.000000	7.000000	.000000		
27	0 0 1 1 1 1	2.000000	6.000000	.000000		
28	0 0 1 1 1 1	2.000000	5.000000	.000000		
29	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000		
30	0 0 1 1 1 1	2.000000	3.000000	.000000		
31	0 0 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000		
32	0 0 1 1 1 1	2.000000	1.000000	.000000		
33	0 1 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000		
34	0 0 1 1 1 1	3.000000	9.539000	.000000		
35	0 0 1 1 1 1	3.000000	9.000000	.000000		
36	0 0 1 1 1 1	3.000000	8.000000	.000000		
37	0 0 1 1 1 1	3.000000	7.000000	.000000		
38	0 0 1 1 1 1	3.000000	6.000000	.000000		
39	0 0 1 1 1 1	3.000000	5.000000	.000000		
40	0 0 1 1 1 1	3.000000	4.000000	.000000		
41	0 0 1 1 1 1	3.000000	3.000000	.000000		
42	0 0 1 1 1 1	3.000000	2.000000	.000000		
43	0 0 1 1 1 1	3.000000	1.000000	.000000		
44	0 1 1 1 1 1	3.000000	.000000	.000000		
45	0 0 1 1 1 1	3.500000	9.367000	.000000		
46	0 0 1 1 1 1	4.000000	9.165000	.000000		
47	0 0 1 1 1 1	4.000000	8.000000	.000000		
48	0 0 1 1 1 1	4.000000	7.000000	.000000		
49	0 0 1 1 1 1	4.000000	6.000000	.000000		
50	0 0 1 1 1 1	4.000000	5.000000	.000000		
51	0 0 1 1 1 1	4.000000	4.000000	.000000		
52	0 0 1 1 1 1	4.000000	3.000000	.000000		
53	0 0 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000		
54	0 0 1 1 1 1	4.000000	1.000000	.000000		
55	0 1 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000		
56	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.660000	.000000		
57	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.000000	.000000		
58	0 0 1 1 1 1	5.000000	7.000000	.000000		
59	0 0 1 1 1 1	5.000000	6.000000	.000000		
60	0 0 1 1 1 1	5.000000	5.000000	.000000		
61	0 0 1 1 1 1	5.000000	4.000000	.000000		
62	0 0 1 1 1 1	5.000000	3.000000	.000000		
63	0 0 1 1 1 1	5.000000	2.000000	.000000		
64	0 0 1 1 1 1	5.000000	1.000000	.000000		
65	0 1 1 1 1 1	5.000000	.000000	.000000		

66	0 0 1 1 1 1	5.500000	8.352000	.000000								
67	0 0 1 1 1 1	6.000000	8.000000	.000000								
68	0 0 1 1 1 1	6.000000	7.000000	.000000								
69	0 0 1 1 1 1	6.000000	6.000000	.000000								
70	0 0 1 1 1 1	6.000000	5.000000	.000000								
71	0 0 1 1 1 1	6.000000	4.000000	.000000								
72	0 0 1 1 1 1	6.000000	3.000000	.000000								
73	0 0 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000								
74	0 0 1 1 1 1	6.000000	1.000000	.000000								
75	0 1 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000								
76	0 0 1 1 1 1	6.500000	7.599000	.000000								
77	0 0 1 1 1 1	7.071000	7.071000	.000000								
78	0 0 1 1 1 1	7.000000	6.000000	.000000								
79	0 0 1 1 1 1	7.000000	5.000000	.000000								
80	0 0 1 1 1 1	7.000000	4.000000	.000000								
81	0 0 1 1 1 1	7.000000	3.000000	.000000								
82	0 0 1 1 1 1	7.000000	2.000000	.000000								
83	0 0 1 1 1 1	7.000000	1.000000	.000000								
84	0 1 1 1 1 1	7.000000	.000000	.000000								
85	0 0 1 1 1 1	7.599000	6.500000	.000000								
86	0 0 1 1 1 1	8.000000	6.000000	.000000								
87	0 0 1 1 1 1	8.000000	5.000000	.000000								
88	0 0 1 1 1 1	8.000000	4.000000	.000000								
89	0 0 1 1 1 1	8.000000	3.000000	.000000								
90	0 0 1 1 1 1	8.000000	2.000000	.000000								
91	0 0 1 1 1 1	8.000000	1.000000	.000000								
92	0 1 1 1 1 1	8.000000	.000000	.000000								
93	0 0 1 1 1 1	8.352000	5.500000	.000000								
94	0 0 1 1 1 1	8.660000	5.000000	.000000								
95	0 0 1 1 1 1	9.165000	4.000000	.000000								
96	0 0 1 1 1 1	9.000000	3.000000	.000000								
97	0 0 1 1 1 1	9.000000	2.000000	.000000								
98	0 0 1 1 1 1	9.000000	1.000000	.000000								
99	0 1 1 1 1 1	9.000000	.000000	.000000								
100	0 0 1 1 1 1	9.367000	3.500000	.000000								
101	0 0 1 1 1 1	9.539000	3.000000	.000000								
102	0 0 1 1 1 1	9.798000	2.000000	.000000								
103	0 0 1 1 1 1	9.950000	1.000000	.000000								
104	0 1 1 1 1 1	10.000000	.000000	.000000								
1	2D S	1	2	13	12	1	0	0	2	1	1.00	14
2	2D S	2	3	14	13	1	0	0	2	1	1.00	15
3	2D S	3	4	15	14	1	0	0	2	1	1.00	16
4	2D S	4	5	16	15	1	0	0	2	1	1.00	17
5	2D S	5	6	17	16	1	0	0	2	1	1.00	18
6	2D S	6	7	18	17	1	0	0	2	1	1.00	19
7	2D S	7	8	19	18	1	0	0	2	1	1.00	20
8	2D S	8	9	20	19	1	0	0	2	1	1.00	21
9	2D S	9	10	21	20	1	0	0	2	1	1.00	22
10	2D S	10	11	22	21	1	0	0	2	1	1.00	22
11	2D S	12	13	24	23	1	0	0	2	1	1.00	25
12	2D S	13	14	25	24	1	0	0	2	1	1.00	25
13	2D S	14	15	26	25	1	0	0	2	1	1.00	25
14	2D S	15	16	27	26	1	0	0	2	1	1.00	25
15	2D S	16	17	28	27	1	0	0	2	1	1.00	25
16	2D S	17	18	29	28	1	0	0	2	1	1.00	25
17	2D S	18	19	30	29	1	0	0	2	1	1.00	25
18	2D S	19	20	31	30	1	0	0	2	1	1.00	25
19	2D S	20	21	32	31	1	0	0	2	1	1.00	25
20	2D S	21	22	33	32	1	0	0	2	1	1.00	24
21	2D S	23	24	35	34	1	0	0	2	1	1.00	25
22	2D S	24	25	36	35	1	0	0	2	1	1.00	25
23	2D S	25	26	37	36	1	0	0	2	1	1.00	25
24	2D S	26	27	38	37	1	0	0	2	1	1.00	25
25	2D S	27	28	39	38	1	0	0	2	1	1.00	25
26	2D S	28	29	40	39	1	0	0	2	1	1.00	25
27	2D S	29	30	41	40	1	0	0	2	1	1.00	25
28	2D S	30	31	42	41	1	0	0	2	1	1.00	25
29	2D S	31	32	43	42	1	0	0	2	1	1.00	25
30	2D S	32	33	44	43	1	0	0	2	1	1.00	25
31	2D S	34	35	46	45	1	0	0	2	1	1.00	24
32	2D S	35	36	47	46	1	0	0	2	1	1.00	25
33	2D S	36	37	48	47	1	0	0	2	1	1.00	25
34	2D S	37	38	49	48	1	0	0	2	1	1.00	25
35	2D S	38	39	50	49	1	0	0	2	1	1.00	25
36	2D S	39	40	51	50	1	0	0	2	1	1.00	25
37	2D S	40	41	52	51	1	0	0	2	1	1.00	25
38	2D S	41	42	53	52	1	0	0	2	1	1.00	25
39	2D S	42	43	54	53	1	0	0	2	1	1.00	25
40	2D S	43	44	55	54	1	0	0	2	1	1.00	25
41	2D S	46	47	57	56	1	0	0	2	1	1.00	24
42	2D S	47	48	58	57	1	0	0	2	1	1.00	23
43	2D S	48	49	59	58	1	0	0	2	1	1.00	23
44	2D S	49	50	60	59	1	0	0	2	1	1.00	23
45	2D S	50	51	61	60	1	0	0	2	1	1.00	23
46	2D S	51	52	62	61	1	0	0	2	1	1.00	23

47	2D S	52	53	63	62	1	0	0	2	1	1.00	23
48	2D S	53	54	64	63	1	0	0	2	1	1.00	23
49	2D S	54	55	65	64	1	0	0	2	1	1.00	22
50	2D S	56	57	67	66	1	0	0	2	1	1.00	23
51	2D S	57	58	68	67	1	0	0	2	1	1.00	23
52	2D S	58	59	69	68	1	0	0	2	1	1.00	23
53	2D S	59	60	70	69	1	0	0	2	1	1.00	23
54	2D S	60	61	71	70	1	0	0	2	1	1.00	23
55	2D S	61	62	72	71	1	0	0	2	1	1.00	23
56	2D S	62	63	73	72	1	0	0	2	1	1.00	23
57	2D S	63	64	74	73	1	0	0	2	1	1.00	23
58	2D S	64	65	75	74	1	0	0	2	1	1.00	22
59	2D S	67	68	77	76	1	0	0	2	1	1.00	21
60	2D S	68	69	78	77	1	0	0	2	1	1.00	21
61	2D S	69	70	79	78	1	0	0	2	1	1.00	21
62	2D S	70	71	80	79	1	0	0	2	1	1.00	21
63	2D S	71	72	81	80	1	0	0	2	1	1.00	21
64	2D S	72	73	82	81	1	0	0	2	1	1.00	21
65	2D S	73	74	83	82	1	0	0	2	1	1.00	21
66	2D S	74	75	84	83	1	0	0	2	1	1.00	20
67	2D S	77	78	86	85	1	0	0	2	1	1.00	19
68	2D S	78	79	87	86	1	0	0	2	1	1.00	19
69	2D S	79	80	88	87	1	0	0	2	1	1.00	19
70	2D S	80	81	89	88	1	0	0	2	1	1.00	19
71	2D S	81	82	90	89	1	0	0	2	1	1.00	19
72	2D S	82	83	91	90	1	0	0	2	1	1.00	19
73	2D S	83	84	92	91	1	0	0	2	1	1.00	18
74	2D S	86	87	94	93	1	0	0	2	1	1.00	17
75	2D S	87	88	95	94	1	0	0	2	1	1.00	17
76	2D S	88	89	96	95	1	0	0	2	1	1.00	17
77	2D S	89	90	97	96	1	0	0	2	1	1.00	17
78	2D S	90	91	98	97	1	0	0	2	1	1.00	17
79	2D S	91	92	99	98	1	0	0	2	1	1.00	16
80	2D S	95	96	101	100	1	0	0	2	1	1.00	13
81	2D S	96	97	102	101	1	0	0	2	1	1.00	13
82	2D S	97	98	103	102	1	0	0	2	1	1.00	13
83	2D S	98	99	104	103	1	0	0	2	1	1.00	12

**H.2 - Entrada de Dados do Problema-Exemplo 2a - Elastic Thick-walled Cylinder**

SAMPLE PROBLEM 2A ELASTIC THICK-WALLED CYLINDER

22 10 4

1	0	1	1	1	1	1	12.000000	1.200000	.000000				1	
2	0	1	1	1	1	1	12.000000	.000000	.000000				1	
3	0	1	1	1	1	1	13.200000	1.200000	.000000					
4	0	1	1	1	1	1	13.200000	.000000	.000000					
5	0	1	1	1	1	1	14.400000	1.200000	.000000					
6	0	1	1	1	1	1	14.400000	.000000	.000000					
7	0	1	1	1	1	1	15.600000	1.200000	.000000					
8	0	1	1	1	1	1	15.600000	.000000	.000000					
9	0	1	1	1	1	1	16.800000	1.200000	.000000					
10	0	1	1	1	1	1	16.800000	.000000	.000000					
11	0	1	1	1	1	1	18.000000	1.200000	.000000					
12	0	1	1	1	1	1	18.000000	.000000	.000000					
13	0	1	1	1	1	1	19.200000	1.200000	.000000					
14	0	1	1	1	1	1	19.200000	.000000	.000000					
15	0	1	1	1	1	1	20.400000	1.200000	.000000					
16	0	1	1	1	1	1	20.400000	.000000	.000000					
17	0	1	1	1	1	1	21.600000	1.200000	.000000					
18	0	1	1	1	1	1	21.600000	.000000	.000000					
19	0	1	1	1	1	1	22.800000	1.200000	.000000					
20	0	1	1	1	1	1	22.800000	.000000	.000000					
21	0	1	1	1	1	1	24.000000	1.200000	.000000					
22	0	1	1	1	1	1	24.000000	.000000	.000000					
1	AX		1		2	4	3	1	0	0	2	0	1.00	3
2	AX		3		4	6	5	1	0	0	2	0	1.00	3
3	AX		5		6	8	7	1	0	0	2	0	1.00	3
4	AX		7		8	10	9	1	0	0	2	0	1.00	3
5	AX		9		10	12	11	1	0	0	2	0	1.00	3
6	AX		11		12	14	13	1	0	0	2	0	1.00	3
7	AX		13		14	16	15	1	0	0	2	0	1.00	3
8	AX		15		16	18	17	1	0	0	2	0	1.00	3
9	AX		17		18	20	19	1	0	0	2	0	1.00	3
10	AX		19		20	22	21	1	0	0	2	0	1.00	3

**H.3 - Entrada de Dados do Problema-Exemplo 2b - Elasto-Plastic Thick-walled Cylinder**

SAMPLE PROBLEM 2B ELASTO-PLASTIC THICK-WALLED CYLINDER

22	10	4											
1	0	1	1	1	1	1	12.000000	1.200000	.000000			1	
2	0	1	1	1	1	1	12.000000	.000000	.000000			1	
3	0	1	1	1	1	1	13.200000	1.200000	.000000				
4	0	1	1	1	1	1	13.200000	.000000	.000000				
5	0	1	1	1	1	1	14.400000	1.200000	.000000				
6	0	1	1	1	1	1	14.400000	.000000	.000000				
7	0	1	1	1	1	1	15.600000	1.200000	.000000				
8	0	1	1	1	1	1	15.600000	.000000	.000000				
9	0	1	1	1	1	1	16.800000	1.200000	.000000				
10	0	1	1	1	1	1	16.800000	.000000	.000000				
11	0	1	1	1	1	1	18.000000	1.200000	.000000				
12	0	1	1	1	1	1	18.000000	.000000	.000000				
13	0	1	1	1	1	1	19.200000	1.200000	.000000				
14	0	1	1	1	1	1	19.200000	.000000	.000000				
15	0	1	1	1	1	1	20.400000	1.200000	.000000				
16	0	1	1	1	1	1	20.400000	.000000	.000000				
17	0	1	1	1	1	1	21.600000	1.200000	.000000				
18	0	1	1	1	1	1	21.600000	.000000	.000000				
19	0	1	1	1	1	1	22.800000	1.200000	.000000				
20	0	1	1	1	1	1	22.800000	.000000	.000000				
21	0	1	1	1	1	1	24.000000	1.200000	.000000				
22	0	1	1	1	1	1	24.000000	.000000	.000000				
1	AX		1	2	4	3	1	0	0	2	0	1.00	3
2	AX		3	4	6	5	1	0	0	2	0	1.00	3
3	AX		5	6	8	7	1	0	0	2	0	1.00	3
4	AX		7	8	10	9	1	0	0	2	0	1.00	3
5	AX		9	10	12	11	1	0	0	2	0	1.00	3
6	AX		11	12	14	13	1	0	0	2	0	1.00	3
7	AX		13	14	16	15	1	0	0	2	0	1.00	3
8	AX		15	16	18	17	1	0	0	2	0	1.00	3
9	AX		17	18	20	19	1	0	0	2	0	1.00	3
10	AX		19	20	22	21	1	0	0	2	0	1.00	3

**H.4 - Entrada de Dados do Problema-Exemplo 3 - Cylindrical Shaft in a Biaxial Stress Field**

SAMPLE PROBLEM 3 CYLINDRICAL SHAFT IN A BIAXIAL STRESS FIELD = CORR. 27/06/95

149 118 4

1	1 1 1 1 1 1	.000000	.000000	.000000
2	1 0 1 1 1 1	.000000	2.000000	.000000
3	0 0 1 1 1 1	2.000000	2.000000	.000000
4	0 1 1 1 1 1	2.000000	.000000	.000000
5	1 0 1 1 1 1	.000000	4.000000	.000000
6	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000
7	0 0 1 1 1 1	2.000000	4.000000	.000000
8	0 0 1 1 1 1	4.000000	2.000000	.000000
9	0 1 1 1 1 1	4.000000	.000000	.000000
10	1 0 1 1 1 1	.000000	6.000000	.000000
11	0 0 1 1 1 1	2.000000	6.000000	.000000
12	0 0 1 1 1 1	4.000000	6.000000	.000000
13	0 0 1 1 1 1	5.500000	5.500000	.000000
14	0 0 1 1 1 1	6.000000	4.000000	.000000
15	0 0 1 1 1 1	6.000000	2.000000	.000000
16	0 1 1 1 1 1	6.000000	.000000	.000000
17	1 0 1 1 1 1	.000000	8.000000	.000000
18	0 0 1 1 1 1	2.000000	8.000000	.000000
19	0 0 1 1 1 1	4.500000	7.500000	.000000
20	0 0 1 1 1 1	6.250000	6.250000	.000000
21	0 0 1 1 1 1	7.500000	4.500000	.000000
22	0 0 1 1 1 1	8.000000	2.000000	.000000
23	0 1 1 1 1 1	8.000000	.000000	.000000
24	1 0 1 1 1 1	.000000	10.000000	.000000
25	0 0 1 1 1 1	2.588000	9.659000	.000000
26	0 0 1 1 1 1	5.000000	8.660000	.000000
27	0 0 1 1 1 1	7.071001	7.071001	.000000
28	0 0 1 1 1 1	8.660000	5.000000	.000000
29	0 0 1 1 1 1	9.659000	2.588000	.000000
30	0 1 1 1 1 1	10.000000	.000000	.000000
31	1 0 1 1 1 1	.000000	13.000000	.000000
32	0 0 1 1 1 1	3.364474	12.556770	.000000
33	0 0 1 1 1 1	6.499994	11.258080	.000000
34	0 0 1 1 1 1	9.192321	9.192321	.000000
35	0 0 1 1 1 1	11.258080	6.499994	.000000
36	0 0 1 1 1 1	12.556770	3.364474	.000000
37	0 1 1 1 1 1	13.000000	.000000	.000000
38	1 0 1 1 1 1	.000000	18.619050	.000000
39	0 0 1 1 1 1	4.856219	18.123910	.000000
40	0 0 1 1 1 1	9.626275	16.672990	.000000
41	0 0 1 1 1 1	14.365060	14.365060	.000000
42	0 0 1 1 1 1	16.672990	9.626275	.000000
43	0 0 1 1 1 1	18.123910	4.856219	.000000
44	0 1 1 1 1 1	18.619050	.000000	.000000
45	1 0 1 1 1 1	.000000	26.857140	.000000
46	0 0 1 1 1 1	7.063235	26.360400	.000000
47	0 0 1 1 1 1	14.378840	24.904730	.000000
48	0 0 1 1 1 1	22.589210	22.589210	.000000
49	0 0 1 1 1 1	24.904730	14.378840	.000000
50	0 0 1 1 1 1	26.360400	7.063235	.000000
51	0 1 1 1 1 1	26.857140	.000000	.000000
52	1 0 1 1 1 1	.000000	37.714290	.000000
53	0 0 1 1 1 1	9.985521	37.266270	.000000
54	0 0 1 1 1 1	20.757700	35.953300	.000000
55	0 0 1 1 1 1	33.864780	33.864780	.000000
56	0 0 1 1 1 1	35.953300	20.757700	.000000
57	0 0 1 1 1 1	37.266270	9.985521	.000000
58	0 1 1 1 1 1	37.714290	.000000	.000000
59	1 0 1 1 1 1	.000000	51.190480	.000000
60	0 0 1 1 1 1	13.623080	50.841480	.000000
61	0 0 1 1 1 1	28.762850	49.818710	.000000
62	0 0 1 1 1 1	48.191770	48.191770	.000000
63	0 0 1 1 1 1	49.818710	28.762850	.000000
64	0 0 1 1 1 1	50.841480	13.623080	.000000
65	0 1 1 1 1 1	51.190480	.000000	.000000
66	1 0 1 1 1 1	.000000	67.285720	.000000
67	0 0 1 1 1 1	17.975900	67.086060	.000000
68	0 0 1 1 1 1	38.394280	66.500940	.000000
69	0 0 1 1 1 1	65.570180	65.570180	.000000



70	0 0 1 1 1 1	66.500940	38.394280	.000000
71	0 0 1 1 1 1	67.086060	17.975900	.000000
72	0 1 1 1 1 1	67.285720	.000000	.000000
73	1 0 1 1 1 1	.000000	86.000000	.000000
74	0 0 1 1 1 1	23.044000	86.000000	.000000
75	0 0 1 1 1 1	49.652000	86.000000	.000000
76	0 0 1 1 1 1	86.000000	86.000000	.000000
77	0 0 1 1 1 1	86.000000	49.652000	.000000
78	0 0 1 1 1 1	86.000000	23.044000	.000000
79	0 1 1 1 1 1	86.000000	.000000	.000000
80	1 0 1 1 1 1	.000000	118.000000	.000000
81	0 0 1 1 1 1	31.618380	118.000200	.000000
82	0 0 1 1 1 1	68.126990	117.999600	.000000
83	0 0 1 1 1 1	118.000100	118.000100	.000000
84	0 0 1 1 1 1	117.999600	68.126990	.000000
85	0 0 1 1 1 1	118.000200	31.618380	.000000
86	0 1 1 1 1 1	118.000000	.000000	.000000
87	1 0 1 1 1 1	.000000	156.533300	.000000
88	0 0 1 1 1 1	41.943340	156.533600	.000000
89	0 0 1 1 1 1	90.374050	156.532700	.000000
90	0 0 1 1 1 1	156.533600	156.533500	.000000
91	0 0 1 1 1 1	156.532700	90.374050	.000000
92	0 0 1 1 1 1	156.533600	41.943340	.000000
93	0 1 1 1 1 1	156.533300	.000000	.000000
94	1 0 1 1 1 1	.000000	201.600000	.000000
95	0 0 1 1 1 1	54.018880	201.600400	.000000
96	0 0 1 1 1 1	116.393200	201.599200	.000000
97	0 0 1 1 1 1	201.600300	201.600300	.000000
98	0 0 1 1 1 1	201.599200	116.393200	.000000
99	0 0 1 1 1 1	201.600400	54.018880	.000000
100	0 1 1 1 1 1	201.600000	.000000	.000000
101	1 0 1 1 1 1	.000000	253.200000	.000000
102	0 0 1 1 1 1	67.845000	253.200400	.000000
103	0 0 1 1 1 1	146.184400	253.199000	.000000
104	0 0 1 1 1 1	253.200300	253.200300	.000000
105	0 0 1 1 1 1	253.199000	146.184400	.000000
106	0 0 1 1 1 1	253.200400	67.845000	.000000
107	0 1 1 1 1 1	253.200000	.000000	.000000
108	1 0 1 1 1 1	.000000	311.333300	.000000
109	0 0 1 1 1 1	83.421710	311.333800	.000000
110	0 0 1 1 1 1	179.747700	311.332300	.000000
111	0 0 1 1 1 1	311.333700	311.333700	.000000
112	0 0 1 1 1 1	311.332300	179.747700	.000000
113	0 0 1 1 1 1	311.333800	83.421710	.000000
114	0 1 1 1 1 1	311.333300	.000000	.000000
115	1 0 1 1 1 1	.000000	376.000000	.000000
116	0 0 1 1 1 1	100.749000	376.000500	.000000
117	0 0 1 1 1 1	217.083000	375.999000	.000000
118	0 0 1 1 1 1	376.000300	376.000300	.000000
119	0 0 1 1 1 1	375.999000	217.083000	.000000
120	0 0 1 1 1 1	376.000500	100.749000	.000000
121	0 1 1 1 1 1	376.000000	.000000	.000000
122	1 0 1 1 1 1	.000000	447.200000	.000000
123	0 0 1 1 1 1	119.826900	447.200400	.000000
124	0 0 1 1 1 1	258.190400	447.199200	.000000
125	0 0 1 1 1 1	447.200300	447.200300	.000000
126	0 0 1 1 1 1	447.199200	258.190400	.000000
127	0 0 1 1 1 1	447.200400	119.826900	.000000
128	0 1 1 1 1 1	447.200000	.000000	.000000
129	1 0 1 1 1 1	.000000	524.933300	.000000
130	0 0 1 1 1 1	140.655300	524.933700	.000000
131	0 0 1 1 1 1	303.069900	524.932700	.000000
132	0 0 1 1 1 1	524.933600	524.933600	.000000
133	0 0 1 1 1 1	524.932700	303.069900	.000000
134	0 0 1 1 1 1	524.933700	140.655300	.000000
135	0 1 1 1 1 1	524.933300	.000000	.000000
136	1 0 1 1 1 1	.000000	609.200000	.000000
137	0 0 1 1 1 1	163.234400	609.200200	.000000
138	0 0 1 1 1 1	351.721400	609.199600	.000000
139	0 0 1 1 1 1	609.200100	609.200100	.000000
140	0 0 1 1 1 1	609.199600	351.721400	.000000
141	0 0 1 1 1 1	609.200200	163.234400	.000000
142	0 1 1 1 1 1	609.200000	.000000	.000000
143	1 1 1 1 1 1	.000000	700.000000	.000000
144	0 1 1 1 1 1	187.564000	700.000000	.000000
145	0 1 1 1 1 1	404.145000	700.000000	.000000

146	1 1 1 1 1 1	700.000000	700.000000	.000000
147	1 0 1 1 1 1	700.000000	404.145000	.000000
148	1 0 1 1 1 1	700.000000	187.564000	.000000
149	1 1 1 1 1 1	700.000000	.000000	.000000
1	2D S	2	1 4 3	1 0 0 2 1 1.00 4
2	2D S	5	2 3 6	1 0 0 2 1 1.00 7
3	2D S	6	3 8 7	1 0 0 2 1 1.00 10
4	2D S	3	4 8 8	1 0 0 2 1 1.00 10
5	2D S	10	5 6 11	1 0 0 2 1 1.00 11
6	2D S	11	6 7 12	1 0 0 2 1 1.00 12
7	2D S	12	7 14 13	1 0 0 2 1 1.00 14
8	2D S	7	8 15 14	1 0 0 2 1 1.00 16
9	2D S	8	9 16 15	1 0 0 2 1 1.00 15
10	2D S	17	10 11 18	1 0 0 2 1 1.00 15
11	2D S	18	11 12 19	1 0 0 2 1 1.00 16
12	2D S	19	12 13 20	1 0 0 2 1 1.00 16
13	2D S	13	14 21 20	1 0 0 2 1 1.00 16
14	2D S	14	15 22 21	1 0 0 2 1 1.00 16
15	2D S	15	16 23 22	1 0 0 2 1 1.00 15
16	2D S	24	17 18 25	1 0 0 2 1 1.00 15
17	2D S	24	25 32 31	1 0 0 2 0 1.00 15
18	2D S	25	26 33 32	1 0 0 2 0 1.00 16
19	2D S	26	27 34 33	1 0 0 2 0 1.00 16
20	2D S	27	28 35 34	1 0 0 2 0 1.00 16
21	2D S	28	29 36 35	1 0 0 2 0 1.00 16
22	2D S	29	30 37 36	1 0 0 2 0 1.00 15
23	2D S	31	32 39 38	1 0 0 2 0 1.00 15
24	2D S	32	33 40 39	1 0 0 2 0 1.00 16
25	2D S	33	34 41 40	1 0 0 2 0 1.00 16
26	2D S	34	35 42 41	1 0 0 2 0 1.00 16
27	2D S	35	36 43 42	1 0 0 2 0 1.00 16
28	2D S	36	37 44 43	1 0 0 2 0 1.00 15
29	2D S	38	39 46 45	1 0 0 2 0 1.00 15
30	2D S	39	40 47 46	1 0 0 2 0 1.00 16
31	2D S	40	41 48 47	1 0 0 2 0 1.00 16
32	2D S	41	42 49 48	1 0 0 2 0 1.00 16
33	2D S	42	43 50 49	1 0 0 2 0 1.00 16
34	2D S	43	44 51 50	1 0 0 2 0 1.00 15
35	2D S	45	46 53 52	1 0 0 2 0 1.00 15
36	2D S	46	47 54 53	1 0 0 2 0 1.00 16
37	2D S	47	48 55 54	1 0 0 2 0 1.00 16
38	2D S	48	49 56 55	1 0 0 2 0 1.00 16
39	2D S	49	50 57 56	1 0 0 2 0 1.00 16
40	2D S	50	51 58 57	1 0 0 2 0 1.00 15
41	2D S	52	53 60 59	1 0 0 2 0 1.00 15
42	2D S	53	54 61 60	1 0 0 2 0 1.00 16
43	2D S	54	55 62 61	1 0 0 2 0 1.00 16
44	2D S	55	56 63 62	1 0 0 2 0 1.00 16
45	2D S	56	57 64 63	1 0 0 2 0 1.00 16
46	2D S	57	58 65 64	1 0 0 2 0 1.00 15
47	2D S	59	60 67 66	1 0 0 2 0 1.00 15
48	2D S	60	61 68 67	1 0 0 2 0 1.00 16
49	2D S	61	62 69 68	1 0 0 2 0 1.00 16
50	2D S	62	63 70 69	1 0 0 2 0 1.00 16
51	2D S	63	64 71 70	1 0 0 2 0 1.00 16
52	2D S	64	65 72 71	1 0 0 2 0 1.00 15
53	2D S	66	67 74 73	1 0 0 2 0 1.00 15
54	2D S	67	68 75 74	1 0 0 2 0 1.00 16
55	2D S	68	69 76 75	1 0 0 2 0 1.00 16
56	2D S	69	70 77 76	1 0 0 2 0 1.00 16
57	2D S	70	71 78 77	1 0 0 2 0 1.00 16
58	2D S	71	72 79 78	1 0 0 2 0 1.00 15
59	2D S	73	74 81 80	1 0 0 2 0 1.00 15
60	2D S	74	75 82 81	1 0 0 2 0 1.00 16
61	2D S	75	76 83 82	1 0 0 2 0 1.00 16
62	2D S	76	77 84 83	1 0 0 2 0 1.00 16
63	2D S	77	78 85 84	1 0 0 2 0 1.00 16
64	2D S	78	79 86 85	1 0 0 2 0 1.00 15
65	2D S	80	81 88 87	1 0 0 2 0 1.00 15
66	2D S	81	82 89 88	1 0 0 2 0 1.00 16
67	2D S	82	83 90 89	1 0 0 2 0 1.00 16
68	2D S	83	84 91 90	1 0 0 2 0 1.00 16
69	2D S	84	85 92 91	1 0 0 2 0 1.00 16
70	2D S	85	86 93 92	1 0 0 2 0 1.00 15
71	2D S	87	88 95 94	1 0 0 2 0 1.00 15
72	2D S	88	89 96 95	1 0 0 2 0 1.00 16

73	2D S	89	90	97	96	1	0	0	2	0	1.00	16
74	2D S	90	91	98	97	1	0	0	2	0	1.00	16
75	2D S	91	92	99	98	1	0	0	2	0	1.00	16
76	2D S	92	93	100	99	1	0	0	2	0	1.00	15
77	2D S	94	95	102	101	1	0	0	2	0	1.00	15
78	2D S	95	96	103	102	1	0	0	2	0	1.00	16
79	2D S	96	97	104	103	1	0	0	2	0	1.00	16
80	2D S	97	98	105	104	1	0	0	2	0	1.00	16
81	2D S	98	99	106	105	1	0	0	2	0	1.00	16
82	2D S	99	100	107	106	1	0	0	2	0	1.00	15
83	2D S	101	102	109	108	1	0	0	2	0	1.00	15
84	2D S	102	103	110	109	1	0	0	2	0	1.00	16
85	2D S	103	104	111	110	1	0	0	2	0	1.00	16
86	2D S	104	105	112	111	1	0	0	2	0	1.00	16
87	2D S	105	106	113	112	1	0	0	2	0	1.00	16
88	2D S	106	107	114	113	1	0	0	2	0	1.00	15
89	2D S	108	109	116	115	1	0	0	2	0	1.00	15
90	2D S	109	110	117	116	1	0	0	2	0	1.00	16
91	2D S	110	111	118	117	1	0	0	2	0	1.00	16
92	2D S	111	112	119	118	1	0	0	2	0	1.00	16
93	2D S	112	113	120	119	1	0	0	2	0	1.00	16
94	2D S	113	114	121	120	1	0	0	2	0	1.00	15
95	2D S	115	116	123	122	1	0	0	2	0	1.00	15
96	2D S	116	117	124	123	1	0	0	2	0	1.00	16
97	2D S	117	118	125	124	1	0	0	2	0	1.00	16
98	2D S	118	119	126	125	1	0	0	2	0	1.00	16
99	2D S	119	120	127	126	1	0	0	2	0	1.00	16
100	2D S	120	121	128	127	1	0	0	2	0	1.00	15
101	2D S	122	123	130	129	1	0	0	2	0	1.00	15
102	2D S	123	124	131	130	1	0	0	2	0	1.00	16
103	2D S	124	125	132	131	1	0	0	2	0	1.00	16
104	2D S	125	126	133	132	1	0	0	2	0	1.00	16
105	2D S	126	127	134	133	1	0	0	2	0	1.00	16
106	2D S	127	128	135	134	1	0	0	2	0	1.00	15
107	2D S	129	130	137	136	1	0	0	2	0	1.00	15
108	2D S	130	131	138	137	1	0	0	2	0	1.00	16
109	2D S	131	132	139	138	1	0	0	2	0	1.00	16
110	2D S	132	133	140	139	1	0	0	2	0	1.00	16
111	2D S	133	134	141	140	1	0	0	2	0	1.00	16
112	2D S	134	135	142	141	1	0	0	2	0	1.00	15
113	2D S	136	137	144	143	1	0	0	2	0	1.00	13
114	2D S	137	138	145	144	1	0	0	2	0	1.00	13
115	2D S	138	139	146	145	1	0	0	2	0	1.00	11
116	2D S	139	140	147	146	1	0	0	2	0	1.00	10
117	2D S	140	141	148	147	1	0	0	2	0	1.00	9
118	2D S	141	142	149	148	1	0	0	2	0	1.00	7

**H.5 - Entrada de Dados do Problema-Exemplo 4 - Cantilever Beam - 4 x 16  
Element Mesh**

SAMPLE PROBLEM 5 CANTILEVER BEAM - 4 X 16 ELEMENT MESH

85	64	4								
1	1	0	1	1	1	1	.000000	2.000000	.000000	3
2	0	0	1	1	1	1	.000000	1.500000	.000000	6
3	0	0	1	1	1	1	.000000	1.000000	.000000	6
4	0	0	1	1	1	1	.000000	.500000	.000000	6
5	1	1	1	1	1	1	.000000	.000000	.000000	3
6	0	0	1	1	1	1	1.000000	2.000000	.000000	
7	0	0	1	1	1	1	1.000000	1.500000	.000000	
8	0	0	1	1	1	1	1.000000	1.000000	.000000	
9	0	0	1	1	1	1	1.000000	.500000	.000000	
10	1	0	1	1	1	1	1.000000	.000000	.000000	
11	0	0	1	1	1	1	2.000000	2.000000	.000000	
12	0	0	1	1	1	1	2.000000	1.500000	.000000	
13	0	0	1	1	1	1	2.000000	1.000000	.000000	
14	0	0	1	1	1	1	2.000000	.500000	.000000	
15	1	0	1	1	1	1	2.000000	.000000	.000000	
16	0	0	1	1	1	1	3.000000	2.000000	.000000	
17	0	0	1	1	1	1	3.000000	1.500000	.000000	
18	0	0	1	1	1	1	3.000000	1.000000	.000000	
19	0	0	1	1	1	1	3.000000	.500000	.000000	
20	1	0	1	1	1	1	3.000000	.000000	.000000	
21	0	0	1	1	1	1	4.000000	2.000000	.000000	
22	0	0	1	1	1	1	4.000000	1.500000	.000000	
23	0	0	1	1	1	1	4.000000	1.000000	.000000	
24	0	0	1	1	1	1	4.000000	.500000	.000000	
25	1	0	1	1	1	1	4.000000	.000000	.000000	
26	0	0	1	1	1	1	5.000000	2.000000	.000000	
27	0	0	1	1	1	1	5.000000	1.500000	.000000	
28	0	0	1	1	1	1	5.000000	1.000000	.000000	
29	0	0	1	1	1	1	5.000000	.500000	.000000	
30	1	0	1	1	1	1	5.000000	.000000	.000000	
31	0	0	1	1	1	1	6.000000	2.000000	.000000	
32	0	0	1	1	1	1	6.000000	1.500000	.000000	
33	0	0	1	1	1	1	6.000000	1.000000	.000000	
34	0	0	1	1	1	1	6.000000	.500000	.000000	
35	1	0	1	1	1	1	6.000000	.000000	.000000	
36	0	0	1	1	1	1	7.000000	2.000000	.000000	
37	0	0	1	1	1	1	7.000000	1.500000	.000000	
38	0	0	1	1	1	1	7.000000	1.000000	.000000	
39	0	0	1	1	1	1	7.000000	.500000	.000000	
40	1	0	1	1	1	1	7.000000	.000000	.000000	
41	0	0	1	1	1	1	8.000000	2.000000	.000000	
42	0	0	1	1	1	1	8.000000	1.500000	.000000	
43	0	0	1	1	1	1	8.000000	1.000000	.000000	
44	0	0	1	1	1	1	8.000000	.500000	.000000	
45	1	0	1	1	1	1	8.000000	.000000	.000000	
46	0	0	1	1	1	1	9.000000	2.000000	.000000	
47	0	0	1	1	1	1	9.000000	1.500000	.000000	
48	0	0	1	1	1	1	9.000000	1.000000	.000000	
49	0	0	1	1	1	1	9.000000	.500000	.000000	
50	1	0	1	1	1	1	9.000000	.000000	.000000	
51	0	0	1	1	1	1	10.000000	2.000000	.000000	
52	0	0	1	1	1	1	10.000000	1.500000	.000000	
53	0	0	1	1	1	1	10.000000	1.000000	.000000	
54	0	0	1	1	1	1	10.000000	.500000	.000000	
55	1	0	1	1	1	1	10.000000	.000000	.000000	
56	0	0	1	1	1	1	11.000000	2.000000	.000000	
57	0	0	1	1	1	1	11.000000	1.500000	.000000	
58	0	0	1	1	1	1	11.000000	1.000000	.000000	
59	0	0	1	1	1	1	11.000000	.500000	.000000	
60	1	0	1	1	1	1	11.000000	.000000	.000000	
61	0	0	1	1	1	1	12.000000	2.000000	.000000	
62	0	0	1	1	1	1	12.000000	1.500000	.000000	
63	0	0	1	1	1	1	12.000000	1.000000	.000000	
64	0	0	1	1	1	1	12.000000	.500000	.000000	
65	1	0	1	1	1	1	12.000000	.000000	.000000	
66	0	0	1	1	1	1	13.000000	2.000000	.000000	
67	0	0	1	1	1	1	13.000000	1.500000	.000000	
68	0	0	1	1	1	1	13.000000	1.000000	.000000	
69	0	0	1	1	1	1	13.000000	.500000	.000000	

70	1 0 1 1 1 1	13.000000	.000000	.000000	
71	0 0 1 1 1 1	14.000000	2.000000	.000000	
72	0 0 1 1 1 1	14.000000	1.500000	.000000	
73	0 0 1 1 1 1	14.000000	1.000000	.000000	
74	0 0 1 1 1 1	14.000000	.500000	.000000	
75	1 0 1 1 1 1	14.000000	.000000	.000000	
76	0 0 1 1 1 1	15.000000	2.000000	.000000	
77	0 0 1 1 1 1	15.000000	1.500000	.000000	
78	0 0 1 1 1 1	15.000000	1.000000	.000000	
79	0 0 1 1 1 1	15.000000	.500000	.000000	
80	1 0 1 1 1 1	15.000000	.000000	.000000	
81	0 0 1 1 1 1	16.000000	2.000000	.000000	2
82	0 0 1 1 1 1	16.000000	1.500000	.000000	4
83	0 0 1 1 1 1	16.000000	1.000000	.000000	4
84	0 0 1 1 1 1	16.000000	.500000	.000000	4
85	1 0 1 1 1 1	16.000000	.000000	.000000	2
1	2D E 1	2 7 6	1 0 0	2 1 1.00	6
2	2D E 2	3 8 7	1 0 0	2 1 1.00	6
3	2D E 3	4 9 8	1 0 0	2 1 1.00	6
4	2D E 4	5 10 9	1 0 0	2 1 1.00	6
5	2D E 6	7 12 11	1 0 0	2 1 1.00	6
6	2D E 7	8 13 12	1 0 0	2 1 1.00	6
7	2D E 8	9 14 13	1 0 0	2 1 1.00	6
8	2D E 9	10 15 14	1 0 0	2 1 1.00	6
9	2D E 11	12 17 16	1 0 0	2 1 1.00	6
10	2D E 12	13 18 17	1 0 0	2 1 1.00	6
11	2D E 13	14 19 18	1 0 0	2 1 1.00	6
12	2D E 14	15 20 19	1 0 0	2 1 1.00	6
13	2D E 16	17 22 21	1 0 0	2 1 1.00	6
14	2D E 17	18 23 22	1 0 0	2 1 1.00	6
15	2D E 18	19 24 23	1 0 0	2 1 1.00	6
16	2D E 19	20 25 24	1 0 0	2 1 1.00	6
17	2D E 21	22 27 26	1 0 0	2 1 1.00	6
18	2D E 22	23 28 27	1 0 0	2 1 1.00	6
19	2D E 23	24 29 28	1 0 0	2 1 1.00	6
20	2D E 24	25 30 29	1 0 0	2 1 1.00	6
21	2D E 26	27 32 31	1 0 0	2 1 1.00	6
22	2D E 27	28 33 32	1 0 0	2 1 1.00	6
23	2D E 28	29 34 33	1 0 0	2 1 1.00	6
24	2D E 29	30 35 34	1 0 0	2 1 1.00	6
25	2D E 31	32 37 36	1 0 0	2 1 1.00	6
26	2D E 32	33 38 37	1 0 0	2 1 1.00	6
27	2D E 33	34 39 38	1 0 0	2 1 1.00	6
28	2D E 34	35 40 39	1 0 0	2 1 1.00	6
29	2D E 36	37 42 41	1 0 0	2 1 1.00	6
30	2D E 37	38 43 42	1 0 0	2 1 1.00	6
31	2D E 38	39 44 43	1 0 0	2 1 1.00	6
32	2D E 39	40 45 44	1 0 0	2 1 1.00	6
33	2D E 41	42 47 46	1 0 0	2 1 1.00	6
34	2D E 42	43 48 47	1 0 0	2 1 1.00	6
35	2D E 43	44 49 48	1 0 0	2 1 1.00	6
36	2D E 44	45 50 49	1 0 0	2 1 1.00	6
37	2D E 46	47 52 51	1 0 0	2 1 1.00	6
38	2D E 47	48 53 52	1 0 0	2 1 1.00	6
39	2D E 48	49 54 53	1 0 0	2 1 1.00	6
40	2D E 49	50 55 54	1 0 0	2 1 1.00	6
41	2D E 51	52 57 56	1 0 0	2 1 1.00	6
42	2D E 52	53 58 57	1 0 0	2 1 1.00	6
43	2D E 53	54 59 58	1 0 0	2 1 1.00	6
44	2D E 54	55 60 59	1 0 0	2 1 1.00	6
45	2D E 56	57 62 61	1 0 0	2 1 1.00	6
46	2D E 57	58 63 62	1 0 0	2 1 1.00	6
47	2D E 58	59 64 63	1 0 0	2 1 1.00	6
48	2D E 59	60 65 64	1 0 0	2 1 1.00	6
49	2D E 61	62 67 66	1 0 0	2 1 1.00	6
50	2D E 62	63 68 67	1 0 0	2 1 1.00	6
51	2D E 63	64 69 68	1 0 0	2 1 1.00	6
52	2D E 64	65 70 69	1 0 0	2 1 1.00	6
53	2D E 66	67 72 71	1 0 0	2 1 1.00	6
54	2D E 67	68 73 72	1 0 0	2 1 1.00	6
55	2D E 68	69 74 73	1 0 0	2 1 1.00	6
56	2D E 69	70 75 74	1 0 0	2 1 1.00	6
57	2D E 71	72 77 76	1 0 0	2 1 1.00	6
58	2D E 72	73 78 77	1 0 0	2 1 1.00	6
59	2D E 73	74 79 78	1 0 0	2 1 1.00	6
60	2D E 74	75 80 79	1 0 0	2 1 1.00	6

61	2D E	76	77	82	81	1	0	0	2	1	1.00	6
62	2D E	77	78	83	82	1	0	0	2	1	1.00	6
63	2D E	78	79	84	83	1	0	0	2	1	1.00	6
64	2D E	79	80	85	84	1	0	0	2	1	1.00	6
1	2D E	1	2	7	6	1	0	0	2	1	1.00	11
2	2D E	2	3	8	7	1	0	0	2	1	1.00	12
3	2D E	3	4	9	8	1	0	0	2	1	1.00	12
4	2D E	4	5	10	9	1	0	0	2	1	1.00	11
5	2D E	6	7	12	11	1	0	0	2	1	1.00	13
6	2D E	7	8	13	12	1	0	0	2	1	1.00	13
7	2D E	8	9	14	13	1	0	0	2	1	1.00	13
8	2D E	9	10	15	14	1	0	0	2	1	1.00	12
9	2D E	11	12	17	16	1	0	0	2	1	1.00	13
10	2D E	12	13	18	17	1	0	0	2	1	1.00	13
11	2D E	13	14	19	18	1	0	0	2	1	1.00	13
12	2D E	14	15	20	19	1	0	0	2	1	1.00	12
13	2D E	16	17	22	21	1	0	0	2	1	1.00	13
14	2D E	17	18	23	22	1	0	0	2	1	1.00	13
15	2D E	18	19	24	23	1	0	0	2	1	1.00	13
16	2D E	19	20	25	24	1	0	0	2	1	1.00	12
17	2D E	21	22	27	26	1	0	0	2	1	1.00	13
18	2D E	22	23	28	27	1	0	0	2	1	1.00	13
19	2D E	23	24	29	28	1	0	0	2	1	1.00	13
20	2D E	24	25	30	29	1	0	0	2	1	1.00	12
21	2D E	26	27	32	31	1	0	0	2	1	1.00	13
22	2D E	27	28	33	32	1	0	0	2	1	1.00	13
23	2D E	28	29	34	33	1	0	0	2	1	1.00	13
24	2D E	29	30	35	34	1	0	0	2	1	1.00	12
25	2D E	31	32	37	36	1	0	0	2	1	1.00	13
26	2D E	32	33	38	37	1	0	0	2	1	1.00	13
27	2D E	33	34	39	38	1	0	0	2	1	1.00	13
28	2D E	34	35	40	39	1	0	0	2	1	1.00	12
29	2D E	36	37	42	41	1	0	0	2	1	1.00	13
30	2D E	37	38	43	42	1	0	0	2	1	1.00	13
31	2D E	38	39	44	43	1	0	0	2	1	1.00	13
32	2D E	39	40	45	44	1	0	0	2	1	1.00	12
33	2D E	41	42	47	46	1	0	0	2	1	1.00	13
34	2D E	42	43	48	47	1	0	0	2	1	1.00	13
35	2D E	43	44	49	48	1	0	0	2	1	1.00	13
36	2D E	44	45	50	49	1	0	0	2	1	1.00	12
37	2D E	46	47	52	51	1	0	0	2	1	1.00	13
38	2D E	47	48	53	52	1	0	0	2	1	1.00	13
39	2D E	48	49	54	53	1	0	0	2	1	1.00	13
40	2D E	49	50	55	54	1	0	0	2	1	1.00	12
41	2D E	51	52	57	56	1	0	0	2	1	1.00	13
42	2D E	52	53	58	57	1	0	0	2	1	1.00	13
43	2D E	53	54	59	58	1	0	0	2	1	1.00	13
44	2D E	54	55	60	59	1	0	0	2	1	1.00	12
45	2D E	56	57	62	61	1	0	0	2	1	1.00	13
46	2D E	57	58	63	62	1	0	0	2	1	1.00	13
47	2D E	58	59	64	63	1	0	0	2	1	1.00	13
48	2D E	59	60	65	64	1	0	0	2	1	1.00	12
49	2D E	61	62	67	66	1	0	0	2	1	1.00	13
50	2D E	62	63	68	67	1	0	0	2	1	1.00	13
51	2D E	63	64	69	68	1	0	0	2	1	1.00	13
52	2D E	64	65	70	69	1	0	0	2	1	1.00	12
53	2D E	66	67	72	71	1	0	0	2	1	1.00	13
54	2D E	67	68	73	72	1	0	0	2	1	1.00	13
55	2D E	68	69	74	73	1	0	0	2	1	1.00	13
56	2D E	69	70	75	74	1	0	0	2	1	1.00	12
57	2D E	71	72	77	76	1	0	0	2	1	1.00	13
58	2D E	72	73	78	77	1	0	0	2	1	1.00	13
59	2D E	73	74	79	78	1	0	0	2	1	1.00	13
60	2D E	74	75	80	79	1	0	0	2	1	1.00	12
61	2D E	76	77	82	81	1	0	0	2	1	1.00	13
62	2D E	77	78	83	82	1	0	0	2	1	1.00	13
63	2D E	78	79	84	83	1	0	0	2	1	1.00	13
64	2D E	79	80	85	84	1	0	0	2	1	1.00	12

## APÊNDICE I

## SAÍDAS GRÁFICAS DOS RESULTADOS DOS PROBLEMAS-EXEMPLOS

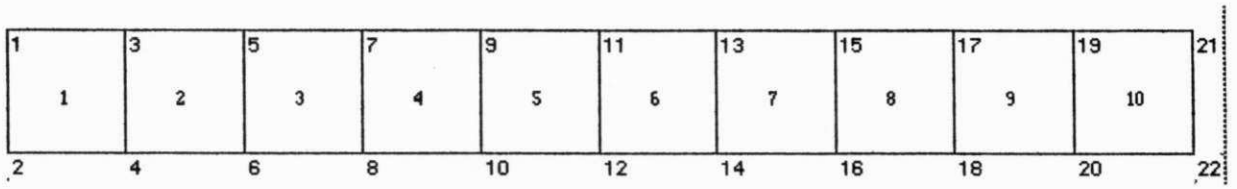
## PROCESSADOS PELO PROGRAMA MALHA\_2.EXE

## I.1 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 1 - Teste Brasileiro

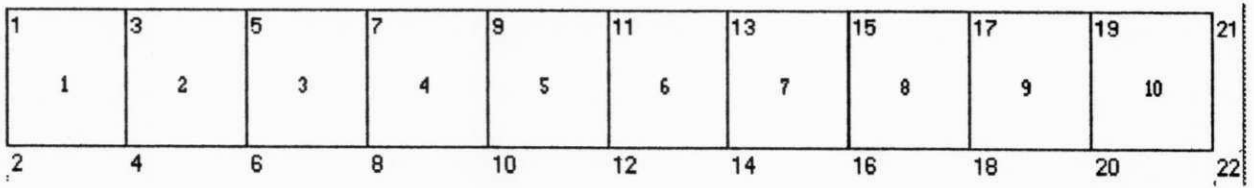
1	12	23	34	45	56	67	78	89	90	101	102	103	104
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	100			
2	13	24	35	46	56	66	77	86	96	101			
2	12	22	32	41	50	60	70	80	90	100			
3	14	25	36	47	57	67	77	87	97	102			
3	13	23	33	42	51	61	71	81	91	101			
4	15	26	37	48	58	68	78	88	98	103			
4	14	24	34	43	52	62	72	82	92	102			
5	16	27	38	49	59	69	79	89	99	104			
5	15	25	35	44	53	63	73	83	93	103			
6	17	28	39	50	60	70	80	90	100				
6	16	26	36	45	54	64	74	84	94	104			
7	18	29	40	51	61	71	81	91	101				
7	17	27	37	46	55	65	75	85	95	105			
8	19	30	41	52	62	72	82	92	102				
8	18	28	38	47	56	66	76	86	96	106			
9	20	31	42	53	63	73	83	93	103				
9	19	29	39	48	57	67	77	87	97	107			
10	21	32	43	54	64	74	84	94	104				
10	20	30	40	49	58	68	78	88	98	108			
11	22	33	44	55	65	75	84	92	99	104			



**I.2 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 2a - Elastic Thick-walled Cylinder**

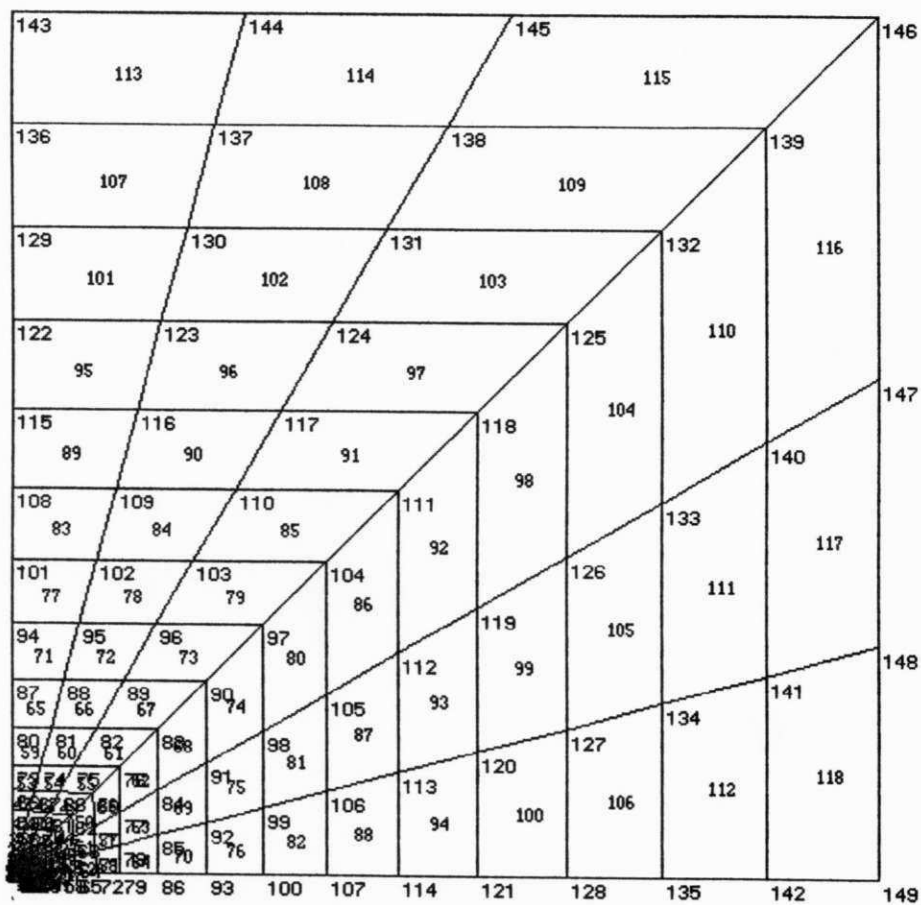


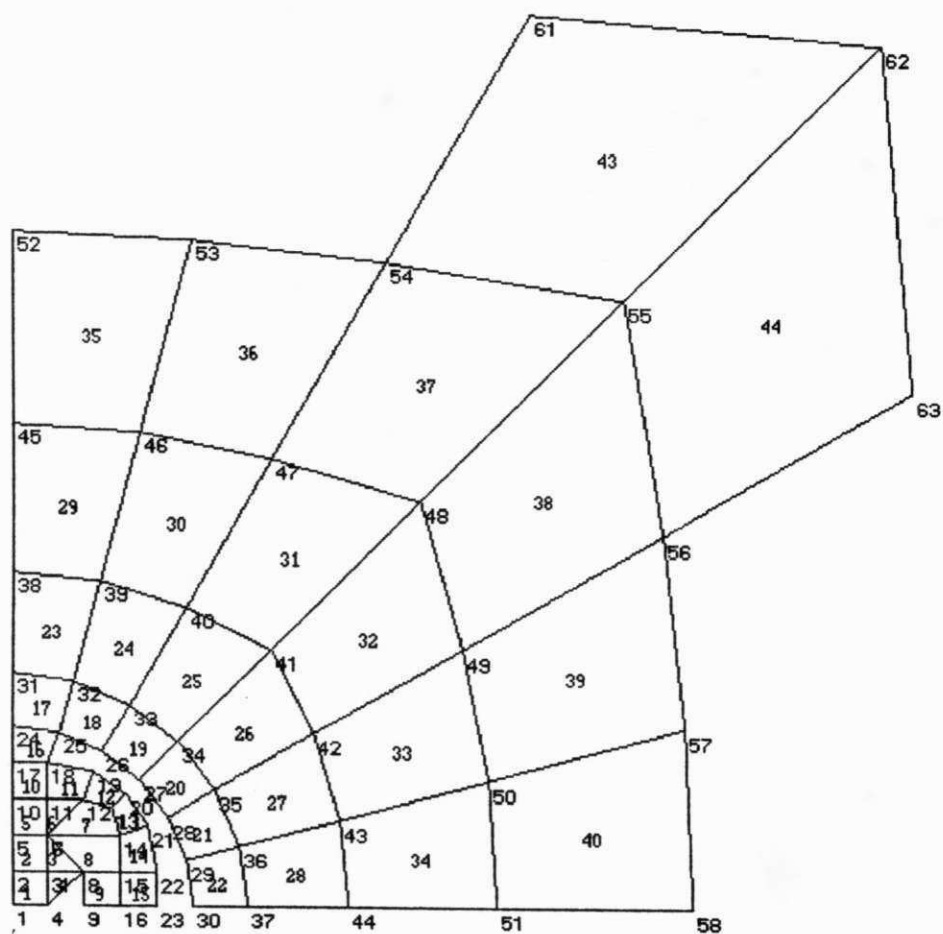
**I.3 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 2b - Elasto Plastic Thick-walled Cylinder**





I.4 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 3 - Cylindrical Shaft in a Biaxial Stress Field





**I.5 - Saída Gráfica do Problema-Exemplo 4 - Cantilever Beam - 4 x 16  
Element Mesh**

1	1	6	5	11	9	16	13	21	17	26	21	31	25	36	29	41	33	46	37	51	41	56	45	61	49	66	53	71	57	76	61	81
2	2	7	6	12	10	17	14	22	18	27	22	32	26	37	30	42	34	47	38	52	42	57	46	62	50	67	54	72	58	77	62	82
3	3	8	7	13	11	18	15	23	19	28	23	33	27	38	31	43	35	48	39	53	43	58	47	63	51	68	55	73	59	78	63	83
4	4	9	8	14	12	19	16	24	20	29	24	34	28	39	32	44	36	49	40	54	44	59	48	64	52	69	56	74	60	79	64	84
5		10		15		20		25		30		35		40		45		50		55		60		65		70		75		80		85