
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA

**Aplicação de Simulação no Modelamento do Sistema
Escavadeira/Caminhão da Mina Cana Brava - S. A.
SAMA**

Dissertação de Mestrado

Arindo José Bazante

**Campina Grande
1997**

Arlindo José Bazante

**Aplicação de Simulação no Modelamento do Sistema
Escavadeira/Caminhão da Mina Cana Brava - S. A. SAMA**

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

Área de Concentração: Lavra de Minas

Orientador: Prof. Dr. Eduardo J. L. Bonates

**Campina Grande
1997**





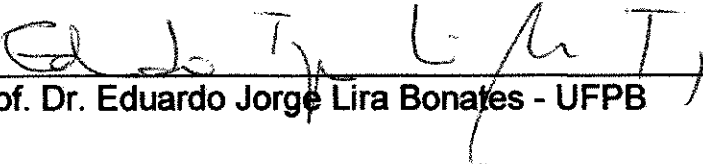
B362a Bazante, Arlindo Jose
Aplicacao de simulacao no modelamento do sistema
escavadeira/caminhao da mina Cana Brava - S. A. SAMA /
Arlindo Jose Bazante. - Campina Grande, 1997.
92 f. : il.

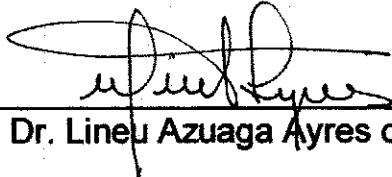
Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) _
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

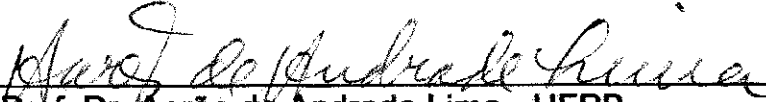
1. Lavra de Mina - Processos e Tecnologia de Mineracao
2. Mina Cana Brava - Sistema Escavadeira/Caminhao 3.
Sistema Escavadeira/Caminhao - Mina Cana Brava 4.
Dissertacao I. Bonates, Eduardo J. L., Dr. II. Universidade
Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 622.06(043)

Dissertação defendida e aprovada em 22 de janeiro de 1997 pela banca examinadora constituída pelos professores:


Prof. Dr. Eduardo Jorge Lira Bonafes - UFPB


Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva - USP


Prof. Dr. Aarão de Andrade Lima - UFPB

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTO

ABSTRACT

RESUMO

CAPÍTULO 1

O SISTEMA ESCAVADEIRA / CAMINHÃO

1.1 - Introdução.....	11
1.2 - Definição do Problema.....	14
1.3 - Desenvolvimento dos Trabalhos.....	14
1.4 - Metodologia Empregada.....	14
1.5 - Pesquisa Operacional Aplicada na Mineração.....	22
1.5.1 - Teoria da Fila.....	23
1.5.1.1 - Estrutura Básica de Uma Fila.....	26
1.5.2 - Programação Dinâmica.....	27

CAPÍTULO 2

USO DA SIMULAÇÃO

2.1 - Introdução.....	29
2.1.1 - Revisão dos Sistemas de Simulação.....	30
2.2 - Simulação Determinística.....	33
2.2.1 - Desenvolvimento do Modelo de Simulação Determinística.....	33
2.2.2 - Estrutura Geral do Programa de Simulação Determinística.....	34
2.2.3 - Procedimento do Programa Determinístico.....	39
2.2.4 - Comentários.....	40
2.3 - Simulação Estocástica.....	41
2.4 - Geração de Números Aleatórios.....	45
2.4.1 - Métodos de Geração de Aleatórios.....	45
2.4.1.1 - Técnica Congruente.....	45
2.4.2 - Geração das Variáveis Aleatórias.....	46
2.4.2.1 - Método Polar.....	46
2.4.2.2 - Soma dos 12 Dígitos.....	47
2.4.3 - Modelos Matemáticos no Planejamento da Produção.....	48

CAPÍTULO 3

O AMIANTO

3.1 - Histórico.....	50
3.2 - Reserva.....	50
3.3 - Usos e Especificações.....	51
3.4 - Consumo.....	53

CAPÍTULO 4	
A MINA	55
4.1 - Caracterização da Área.....	56
4.2 - Aspectos Fisiográficos.....	57
4.2.1 - Clima.....	57
4.2.2 - Solo.....	57
4.3 - Aspectos Sócio-Econômicos.....	57
4.4 - Geologia Local.....	58
4.5 - Aspectos Relativos à Jazida.....	59
4.6 - Aspectos Relativos à Lavra.....	61
4.6.1 - Bancos de Estéril.....	63
CAPÍTULO 5	
O SIMULADOR ESTOCÁSTICO	
5.1 - Introdução.....	65
5.1.1 - Subrotina VERIFICA.....	66
5.1.2 - Subrotina CARREGAR.....	66
5.1.3 - Subrotina DESPEJO.....	67
5.1.4 - Subrotina CHEIO.....	67
5.1.5 - Subrotina VAZIO.....	67
5.2 - Entrada e Saída do Programa.....	67
CAPÍTULO 6	
VALIDAÇÃO DO MODELO	
6.1 Introdução.....	71
6.2 - Distribuição de Weibull.....	77
6.3 - Distribuição Normal.....	83
6.4 - Condições Gerais.....	84
6.5 - Discussão.....	89
CAPÍTULO 7	
CONCLUSÕES	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	
ANEXOS	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1A - Distâncias dos Pontos de Carregamento - Despejo	17
Tabela 1.1B - Distâncias dos Pontos de Carregamento - Despejo	18
Tabela 1.1C - Distâncias dos Pontos de Carregamento - Despejo	19
Tabela 1. 2 - Produção Mensal - Mês de Abril / 94	21
Tabela 1.3 - Relação de Máquinas e Equipamentos	22
Tabela 2.1 - Tempo de Transporte (DETSAMA)	34
Tabela 2.2 - Coeficiente de Rolamento	37
Tabela 2.3 - Dados de Entrada do Programa Determinístico DETSAMA	38
Tabela 2.4 - Dados de Saída do Programa Determinístico DETSAMA	38
Tabela 2.5 - Fator de Velocidade	39
Tabela 2.6 - Distribuição de Probabilidade Discreta	42
Tabela 5.1 - Configuração dos Dados de Entrada (DESTINAR)	69
Tabela 5.2 - Arquivo de Entrada de Dados	69
Tabela 5.3 - Configuração dos Dados de Saída do Programa (DESTINAR)	70
Tabela 6.1 - Características dos Tempos para Validação do Programa - 10 e 11 Caminhões	73
Tabela 6.2 - Estatística de Produção / Validação do Programa - 10 /11 Caminhões	73
Tabela 6.3 - Dados de Entrada para Validação do Modelo - 10 Caminhões	74
Tabela 6.4 - Dados de Saída do Modelo - 10 Caminhões	74
Tabela 6.5 - Resultado da Simulação -10 Caminhões	75
Tabela 6.6 - Dados de Saída / Validação do Modelo - 11 Caminhões	75
Tabela 6.7 - Dados de Saída do Modelo - 11 Caminhões	76
Tabela 6.8 - Resultado da Simulação - 11 Caminhões	76
Tabela 6.9 - Estatística dos Tempos de Transporte Carregado	83
Tabela 6.10 - Produção Simulada do Sistema	84
Tabela 6.11 - Número de Caminhões Alocados	85
Tabela 6.12 - Alocação Ótima de Caminhões	86
Tabela 6.13- Produção da Frota de Transporte	87
Tabela 6.14 - Tempo de Espera dos Caminhões	88
Tabela 6.15 - Tempo de Espera das Carregadeiras	88
Tabela 6.16 - Produtividade por Caminhão - Circuito I	89
Tabela 6.17 - Produtividade por Caminhão - Circuito II	90
Tabela 6.18 - Produtividade por Caminhão - Circuito III	91
Tabela 6.19 -Produtividade por Caminhão - Circuito IV	91
Tabela 6.20 - Produtividade por Caminhão - Circuito V	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Distribuição Percentual dos Custos de Mineração	15
Figura 1.2 - Distribuição dos Custos de Mineração	15
Figura 1.3 - Layout Operacional da Mina Cana Brava	16
Figura 1.4 - Tempos de Carregamentos (Carregadeira P&H 1900L)	19
Figura 1.5 - Tempo de Transporte Carregado(Caminhão Caterpillar 777)	20
Figura 1.6 - Tempo de Despejo (Caminhão Caterpillar 777)	20
Figura 1.7 - Tempo de Transporte Vazio (Caminhão Caterpillar 777)	20
Figura 1.8 - Sistema de Filas	25
Figura 1.9 - Programação Dinâmica	28
Figura 2.1 - Fluxograma do Programa Determinístico DETSAMA	35
Figura 2.2 - Características dos Equipamentos	36
Figura 2.3 - Desempenho dos Freios	37
Figura 2.4 - Distribuição de Probabilidade	42
Figura 2.5 - Distribuição Contínua Experimental	44
Figura 2.6 - Simulador Estocástico - Distribuição Estatística	44
Figura 4.1 - Localização e Situação da Mina Cana Brava	56
Figura 4.2 - Geologia e Localização dos Corpos Mineralizados	60
Figura 4.3 - Perfil Geológico da Seção AA'	60
Figura 4.4 - Planta Geral do Empreendimento (Projeto Atual)	62
Figura 4.5 - Perfil Hipotético das Bancadas	63
Figura 5.1 - Fluxograma do Programa de Simulação Estocástica	65
Figura 6.1 - Distribuição dos Tempos de Carregamento	79
Figura 6.2 - Curva Característica de Weibull (Carregamento)	79
Figura 6.3 - Distribuição de Frequência dos Tempos de Despejo	80
Figura 6.4 - Curva Característica de Weibull (Despejo)	80
Figura 6.5 - Distribuição dos Tempos de Transporte Carregado	84
Figura 6.6 - Curva de Produtividade do Sistema	85
Figura 6.7 - Sumário dos Resultados da Simulação	87
Figura 6.8 - Curva de Produtividade (Circuito I)	90
Figura 6.9 - Curva de Produtividade (Circuito II)	90
Figura 6.10 - Curva de Produtividade (Circuito III)	91
Figura 6.11 - Curva de Produtividade (Circuito IV)	92
Figura 6.12 - Curva de Produtividade (Circuito V)	92

DEDICATÓRIA

A meus pais

Severino J. Bazante

e

Maria do Carmo Bazante

Minha esposa

Zenaide

e ao meu filho

Arthur

Agradecimentos

Como sempre, a realização de um trabalho como este implica na colaboração de várias pessoas. Em especial o autor deseja agradecer a todos colegas da pós-graduação.

Ao Professor Eduardo J. L. Bonates agradeço pela orientação, apoio e compreensão manifestados durante todo o período em que esteve absorvido na realização deste trabalho. Gostaria ainda de estender meus agradecimentos aos outros membros da banca examinadora: Prof. Aarão A. Lima e Prof. Lineu A. Ayres, pelas valiosas contribuições nas alterações sugeridas, responsáveis pelo aprimoramento e elevação do nível desse trabalho.

Finalmente gostaria de agradecer a todas as entidades envolvidas na elaboração da minha dissertação:

Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Concelho Nacional de Pesquisa - CNPq

S.A Mineração de Amianto - SAMA

Abstract

The objective of this work is to assess the effectiveness of the truck/shovel system actually used at Cana Brava mine S.A. Mineração de Amianto.

For this purpose two simulators were adapted based in the experience acquired in the development of the system used at Black Lake mine, Canada. In this case, several changes and assumptions were made in the order to satisfy the objectives of the operation.

For determining the cycle times a statistical analysis was performed in order do establish which type of distribution best fits each event. In order do minimize the variability of these events a time study was made taking into account all shifts of operation. The simulators were developed in FORTRAN 77.

The deterministic simulator called DETSAMA is used to determine the travel times. The program is based on typical equipment performance curves which relates vehicle speeds with available rimpull and haulage profile.

The stochastic simulator called DESTINAR is used to dispatch the trucks in order to satisfy the objectives of the operation. The system is assessed based on comparison between historical data and simulation results.

RESUMO

O objetivo desse trabalho é de avaliar a eficiência do sistema escavadeira /caminhão, utilizado na mina Cana Brava, SAMA, S.A. Mineração de Amianto. Com essa finalidade foram adaptados dois simuladores baseados na experiência adquirida no desenvolvimento do sistema usado na mina Black Lake (Canada). Nesse caso foram feitas as devidas modificações e suposições para satisfazer os objetivos da operação.

Para determinação dos tempos dos eventos que compõe o ciclo da operação, foi realizado um estudo estatístico para estabelecer que tipo de distribuição melhor represente cada evento. Com a finalidade de melhor caracterizar a variabilidade desses eventos, foi executado um estudo de tempo levando em consideração os três turnos da operação. Os simuladores foram desenvolvidos em FORTRAN 77.

O simulador determinístico denominado "DETSAMA", tem a finalidade de determinar os tempos de transporte. O programa é baseado nas curvas típicas de desempenho dos equipamentos os quais relacionam a velocidade com a força disponível e as características das estradas de acessos.

O simulador estocástico denominado "DESTINAR", tem a finalidade de alocar os equipamentos de transporte de acordo com a opção de despacho que satisfaça os objetivos da operação. A avaliação do sistema foi feita através de comparação entre os dados históricos e os resultados da simulação.

CAPÍTULO 1

O SISTEMA ESCAVADEIRA / CAMINHÃO

1.1 - Introdução

O sistema escavadeira / caminhão teve sua implantação nas operações de lavra a céu aberto no final dos anos 30 no Mesabi Iron Range, USA. Até então, a capacidade máxima dos equipamentos de transporte (caminhão) era de 15 toneladas, com uma potência máxima de 150 HP. Já no início da década de 50, era comum encontrar caminhões com capacidade de 50 toneladas. No final da década de 80, foram introduzidos pela primeira vez caminhões elétricos com capacidade de 75 toneladas. Este tipo de equipamento foi inicialmente utilizado na mina Anaconda Company, USA. No início dos anos 60, as escavadeiras mais comuns de serem encontradas eram de 11 jc^3 (8,4 m^3), operando com caminhões de 75 toneladas. Com o crescimento da demanda por bens minerais a capacidade dos equipamentos acompanhavam esse crescimento, chegando no final da década com escavadeiras de 15 jc^3 (11,5 m^3) e caminhões de 100 ton. Isso foi decorrente da economia de escala aplicada na mineração (Bonates,1986). Como consequência do aumento da demanda ao longo dos anos, influenciadas pelo aumento da taxa de produção, as minas requeriam um maior número de máquinas para atender a demanda. Obviamente, que esse crescimento implicava em novas dificuldades relacionadas ao planejamento das operações, no que se refere à complexibilidade do layout operacional da mina em alocar novos equipamentos (Bonates,1986).

Devido a sua inerente flexibilidade operacional e grande versatilidade o sistema escavadeira/caminhão, foi muito bem aceito pela indústria mineral. Para o transporte e manuseio do material, caminhões fora-de-estrada representam o método de transporte mais empregado nas operações a céu aberto, apesar do custo de transporte atingir mais de 50% do custo operacional total (Bonates,1986). Isso é, posteriormente, afetado pelo crescimento dos custos, aumento das distâncias de transporte e a necessidade de maiores produções.

Apesar das vantagens apresentadas, o sistema apresenta uma grande desvantagem, que é referente ao caminhão, já que um percentual elevado de sua potência é empregada para movimentar o peso morto da máquina. Por exemplo, o caminhão Caterpillar 777 que tem uma potência no volante de 649 KW, peso de operação vazio 56.431 kg e peso bruto 133.541 kg, utiliza 42,2 % da potência, para movimentar-se vazio.

Com a evolução tecnológica ocorrida na última década, o desenvolvimento de sistemas alternativos para manuseio de materiais, teve um progresso substancial, principalmente os relacionados com o emprego de correias transportadoras. Entretanto, o sistema escavadeira/caminhão continuará, ainda, a ser a forma mais utilizada de manuseio de materiais em lavra a céu aberto. Com a finalidade de reduzir o alto custo de utilização desse sistema, é que entre os anos 60 e 70 os mineradores fizeram uso da economia de escala, duplicando ou mesmo triplicando a capacidade dos equipamentos. Simultaneamente, com esse aumento de capacidade, progresso tem sido feito para aumentar a segurança e o desempenho desses equipamentos. Um exemplo típico do avanço tecnológico existente nessa década, refere-se ao desenvolvimento de caminhões mecânicos e elétricos. Desde o final dos anos 70, ênfase tem sido dada à utilização dos equipamentos de transporte.

Melhoramentos de pequena escala para a frota de caminhões de uma mina só poderão ser realizados através de um controle preciso do uso desses equipamentos, já que a manutenção, sendo uma função de probabilidade, estabelece qual a disponibilidade do equipamento. Nos últimos anos, relevantes estudos tem sido feito para se determinar o modelo mais eficiente de carregamento, além do aperfeiçoamento contínuo das estradas de acessos. Porém, um aumento significativo na produtividade, só será conseguido pelo monitoramento das atividades de transporte, bem como, pela avaliação contínua da melhor opção de despacho. Recentemente, os mineradores concluíram que o investimento em um sistema computadorizado de despacho será rapidamente recuperado em conseqüência do aumento da produtividade dos equipamentos.

Mesmo os sistemas sofisticados, que requerem grandes investimentos, provaram ser economicamente viáveis.

A estimativa de produção dos equipamentos de transporte e carregamento não é um processo preciso, pois além de depender de diversos parâmetros de difícil determinação, ainda existe outros fatores aleatórios que influenciam de forma decisiva no desempenho dos equipamentos.

A eficiência do trabalho é dos elementos mais complexos na estimativa de produção, pois é influenciado por fatores como habilidade do operador, pequenos reparos, atrasos do pessoal, etc. Observando as equações 1.1, 1.2 e 1.3, 1.4 com diminuição das horas de manutenção haverá ganho de disponibilidade, melhor utilização e conseqüentemente maior rendimento.

	Disponibilidade Mecânica	Disponibilidade Física	Disponibilidade de Uso	Utilização Efetiva
Definição	Tempos perdidos por razões mecânicas	Disponibilidade operacional total incluindo os tempos ociosos	Gerenciamento para estabelecer o uso efetivo do equipamento	% total do uso das horas trabalhadas relativas ao total de horas
W = horas Trabalhadas R = horas de Manutenção S = horas Standby T = total de Horas T = W+R+S	(1) $\frac{W}{W + R} \times 100$	(2) $\frac{W + S}{T} \times 100$	(3) $\frac{W}{W + S} \times 100$	(4) = (2)x(3) $\frac{W}{T} \times 100$

Fonte: Pfeider, E. P. ,1972; Surface Mining

Em um estudo realizado pela Caterpillar Co. em algumas empresas de mineração do mundo, foram abordados alguns aspectos relacionados ao desempenho das empresas mineradoras. Nesse estudo chegou-se a conclusão de que as empresas que não atingirem altos percentuais de rendimento, desempenho em manutenção, baixos custos de operação, etc., não poderão competir com lucratividade no mercado global.

Os fatores operacionais e econômicos de maior influência, na extração e transporte em uma operação de lavra a céu aberto são: utilização de máquinas, disponibilidade mecânica, eficiência na produção e a manutenção de custos em níveis adequados.

A figura 1.1 ilustra a distribuição de custos de uma empresa de lavra a céu aberto, com movimentação de 100 mil toneladas/dia. Dentro dessas mesmas condições, ainda podemos determinar a distribuição percentual dos custos típicos de produção conforme ilustrado na figura 1.2 .

1.2 - Definição do Problema

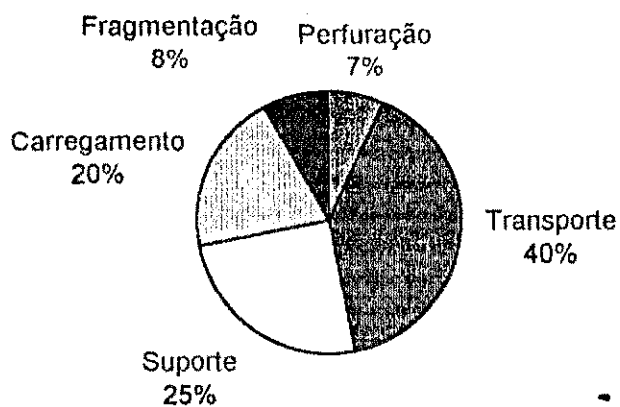
O presente trabalho teve por objetivo adaptar um programa de simulação determinística, denominado DETMET, desenvolvido para a mina Black Lake - LAB Chrysotila Inc., Thetford Mine, Quebec, Canadá. Sua finalidade é estudar a eficiência dos equipamentos de transporte da mina Cana Brava, Minaçu, Goiás.

1.3 - Desenvolvimento dos Trabalhos

O início dos trabalhos se deu através de um estudo dos tempos de transporte, carregamento e despejo, além de obtenção dos dados requeridos para o desenvolvimento do simulador: disponibilidade, utilização dos caminhões e dos equipamentos de carga, produção por equipamento, tempo de ciclo, etc.

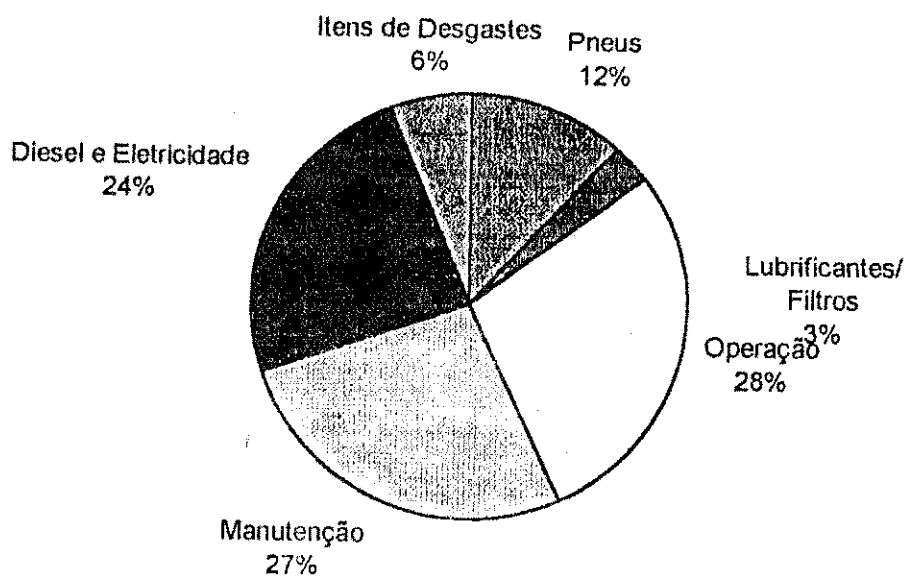
1.4 - Metodologia Empregada

Foram realizadas visitas nas frentes de lavra com o objetivo de obter o layout operacional da mina, conforme figura 1.3. Em função do layout foram feitas as medições dos comprimentos e as inclinações de cada segmento de transporte, conforme mostrado nas tabela 1.1A, B, C .



Fonte: Minérios/Minerales n. 184, 1993

Figura 1.1 - Distribuição Percentual dos Custos de Mineração



Fonte: Mineral/Minerales n. 184, 1993

Figura 1.2 - Distribuição dos Custos de Produção

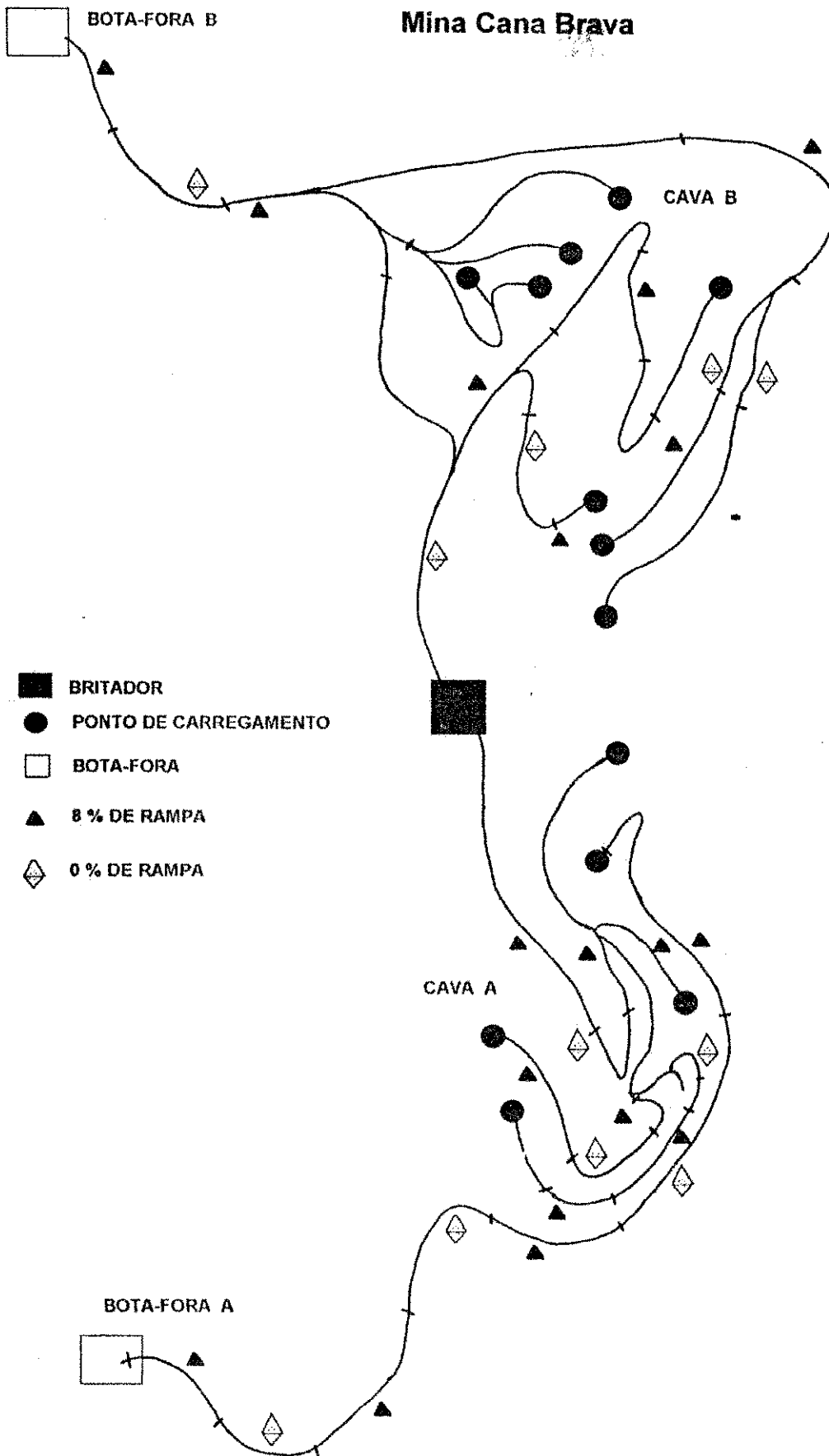


Figura 1.3 - Layout Operacional

Tabela 1.1A - Distâncias dos Pontos de Carregamento / Despejos

BANCO : 368 SA

BFA - 900 0% + 1000 8% + 1100 0%

BFB - 800 0% + 300 -8% + 1100 8% + 600 -8% + 600 8% + 400 -8% + 400 0%

BRI - 800 0% + 300 -8% + 1100 8%

BANCO 348 SA

BFA - 100 0% + 500 0% + 150 8% + 900 0% + 1000 8%

BFB - 200 0% + 300 -8% + 1100 8% + 600 -8% + 600 8% + 400 0% + 400 -8%

BRI - 800 0% + 1000 8% + 100 0%

BANCO 348 WA

BFA - 600 0% + 300 8% + 1000 8% + 1100 0%

BFB - 100 0% + 300 0% + 150 8% + 900 0% + 100 8% + 900 0%

BRI - 150 0% + 1000 8% + 100 0% + 400 0%

BANCO 338 SA

BFA - 200 8% + 800 % + 1000 8% + 1100 0%

BFB - 450 8% + 300 0% + 1100 8% + 600 -8% + 400 0% + 400 -8%

BRI - 200 0% + 150 8% + 1000 8% + 100 0%

BANCO 348 NA

BFA - 600 0% + 1000 8% + 1100 0%

BFB - 500 0% + 300-8% + 1100 8% + 600 8% + 600 8% + 400 -8% + 400 0%

BRI - 100 0% + 1000 8% + 100 0%

BANCO 338 NA

BFA - 400 0% + 500 0% + 1000 8% + 1100 0%

BFB - 100 0% + 100 8% + 200 0% + 150 8% + 900 0% + 1000 8%

BRI - 300 0% + 1000 8% + 100 0%

BANCO 328 WB

BFA - 500 0% + 1800 8% + 300-8% + 2100 8% + 200 0%

BFB - 200 0 % + 300 8% + 100 0% + 600 8% + 1600 0%

BRI - 500 0% + 1300 8% + 100 0%

BANCO 353 NBBFA - 1250 0% + 100 8% + 900 0% +100 8% + 100 0% +100 8% + 550 0% + 50 8% + 800 0% +
100 0% + 200 0% +100 8% + 300 0% +100 8% +950 0%

BFB - 1100 0% + 150 8% + 450 0% + 900 0% + 300 8% + 300 0%

BRI - 1100 0% + 200 8% + 900 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% +150 0% + 700 8%

BFA - Bota-Fora Cava A

BFB - Bota-Fora Cava B

BRI - Britador

900 0% (900 metros e 0% Resistência de Rampa)

Tabela 1.1B - Distâncias dos Pontos de Carregamento - Despejos

BANCO 388 WB

BFA - 150 8% + 400 0% + 150 -8% + 300 0% + 100 -8% + 700 0% + 200 8% + 100 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% + 1100 0%
 BFB - 450 8% + 300 0%
 BRI - 150 8% + 400 0% + 150 -8% + 600 0%

BANCO 318 NB

BFA - 300 0% + 200 8% + 800 0% + 100 -8% + 700 0% + 200 8% + 100 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% + 1100 0%
 BFB - 300 0% + 200 8% + 700 0% + 300 8% + 100 0% + 600 8% + 1600 0%
 BRI - 300 0% + 150 8% + 250 0% + 200 8% + 450 0% + 150 8% + 100 0%

BANCO 368 NA

BFA - 400 0% + 75 8% + 150 0% + 300 8% + 400 0% + 100 8% + 950 0%
 BFB - 600 0% + 100 8% + 100 0% + 250 8% + 750 0%
 BRI - 600 0% + 100 8% + 100 0% + 250 8% + 625 0% + 350 8% + 150 -8% + 300 0% + 100 8% + 300 0% + 200 8% + 400 0%

BANCO 378 WB

BFA - 550 0% + 150 -8% + 300 0% + 100 -8% + 700 0% + 200 8% + 100 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% + 1100 0%
 BFB - 450 0% + 250 8% + 300 0%
 BRI - 450 0% + 150 -8% + 600 0%

BANCO 368 WB

BFA - 150 0% + 100 8% + 600 0% + 200 8% + 400 0%
 BFB - 150 0% + 100 8% + 650 0% + 50 8% + 800 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% + 300 0% + 100 8% + 950 0%
 BRI - 150 0% + 100 8% + 650 0% + 200 -8% + 700 0%

BANCO 358 NA

BFA - 550 0% + 300 8% + 400 0% + 100 8% + 950 0%
 BFB - 500 0% + 250 8% + 100 0% + 250 8% + 750 0%
 BRI - 500 0% + 250 8% + 100 0% + 250 8% + 1000 0% + 150 -8% + 350 0% + 100 8% + 300 0% + 200 8% + 400 0%

BANCO 318 WB

BFA - 100 0% + 200 8% + 800 0% + 100 -8% + 700 0% + 200 8% + 100 0% + 100 8% + 200 0% + 100 8% + 1100 0%
 BFB - 100 0% + 200 8% + 700 0% + 300 8% + 100 0% + 600 8% + 1600 0%
 BRI - 100 0% + 150 8% + 250 0% + 200 8% + 450 0% + 150 8% + 100 0%

BFA - Bota-Fora Cava A
 BFB - Bota-Fora Cava B
 BRI - Britador
 1250 0% (1250 metros e 0% de Resistência de Rampa)

Tabela 1.1C - Distâncias dos Pontos de Carregamento-Despejo

BANCO 308 NB

BFA - 450 0% + 300 8% + 400 0% + 100 8% + 950 0%

BFB - 500 0% + 250 8% + 100 0% + 250 8% + 750 0%

BRI - 500 0% + 250 8% + 100 0% + 250 8% + 1000 0% + 150 -8% + 350 0% + 100 8% + 300 0%
+ 200 8% + 400 0%

BFA - Bota-Fora cava A

BFB - Bota-Fora cava B

BRI - Britador

550 0% (550 metros e 0% de Resistência de Rampa)

O tempo de carregamento é medido a partir do instante em que as máquinas se posicionam no banco até o momento em que são liberadas pelo operador. No caso das escavadeiras, o início do tempo de carregamento foi estabelecido a partir do instante em que a máquina se posicionou no pé do banco, e terminou quando liberada pelo operador. Já para as carregadeiras, o tempo de carregamento foi medido a partir do momento em que a caçamba inicia o despejo até a liberação do caminhão pelo operador da carregadeira. Os tempos de carregamento e despejo, transporte vazio e carregado, estão apresentados nas figuras 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7.

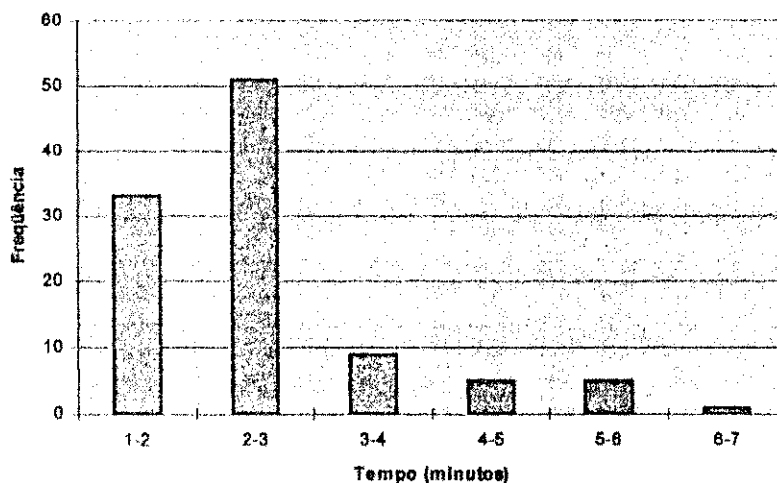


Figura 1.4 - Tempos de Carregamentos (Escavadeira P&H 1900I)

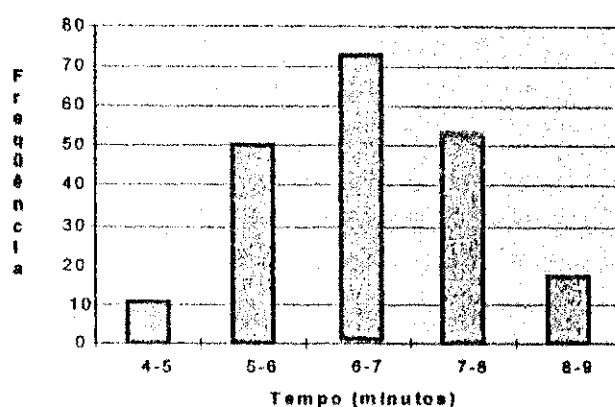


Figura 1.5 - Tempos de Transporte Carregado (Caterpillar 777)

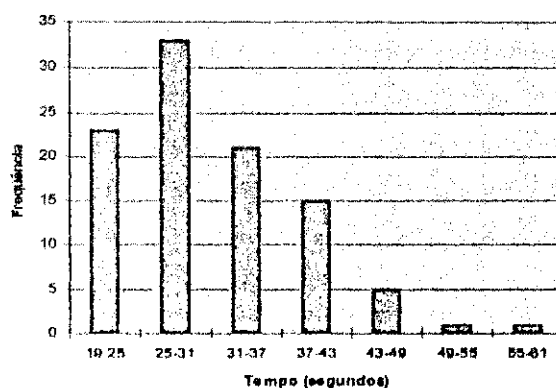


Figura 1.6 - Tempos de Despejo (Caminhão Caterpillar 777)

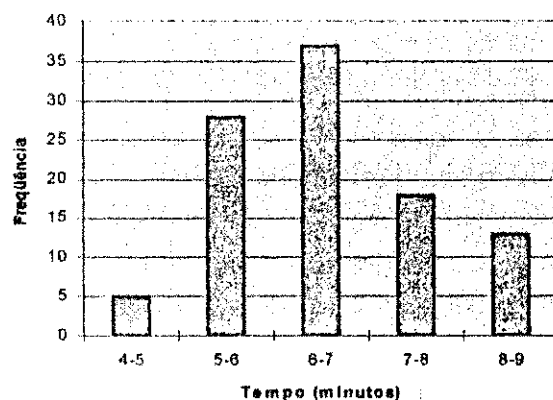


Figura 1.7- Tempos de Transporte Vazio (Caminhão Caterpillar 777)

Os dados de produção, foram coletados através do setor de planejamento e estão apresentados na tabela 1.2. São listados na tabela 1.3, todos os equipamentos, que pertencem a mina.

Tabela 1. 2 - Produção Mensal - Abril / 94

Turno	I			II			III			Total
	Data	Minério	Estéril	Total	Minério	Estéril	Total	Minério	Estéril	Total
04/04	5.725	15.881	21.606	7.098	9.842	16.940	7.152	7.872	15.024	53.570
05/04	0	23.241	23.241	6.424	9.331	15.755	6.237	8.823	15.060	54.056
06/04	6.025	15.102	21.127	4.465	11.323	15.788	3.343	15.540	17.883	55.898
07/04	6.682	17.658	24.340	3.687	11.598	15.285	0	18.147	18.147	57.772
08/04	0	23.721	23.721	7.162	11.414	18.576	7.594	8.274	15.868	58.165
09/04	0	21.123	21.123	3.330	13.144	16.474	4.241	14.298	18.539	56.136
11/04	5.990	9.711	15.701	1.519	17.160	18.679	8.009	19.259	27.268	61.648
12/04	5.940	9.088	15.028	5.836	9.756	15.592	269	21.551	21.820	52.440
13/04	2.040	11.285	13.325	0	10.220	10.220	6.573	18.188	24.761	48.306
14/04	5.832	9.397	14.779	3.209	16.809	20.018	0	26.122	26.122	60.919
15/04	1.235	11.778	13.013	2.312	11.623	13.935	5.329	20.452	25.781	52.729
16/04	5.803	6.360	12.163	910	17.456	18.366	4.878	20.503	25.381	55.910
18/04	0	14.579	14.579	6.923	17.816	24.739	6.593	10.922	17.515	56.833
19/04	2.540	11.028	13.568	0	19.486	19.486	3.003	12.288	15.291	48.345
20/04	3.442	9.599	13.041	0	22.584	22.584	0	13.158	13.158	48.783
21/04	6.721	8.846	15.567	2.545	24.329	26.874	2.614	10.404	13.018	54.459
22/04	7.306	6.655	13.961	8.219	21.094	29.313	0	13.481	13.481	56.755
23/04	3.006	8.845	11.851	3.462	21.042	24.504	3.259	14.218	17.477	53.832
25/04	6.911	19.238	26.149	0	12.144	12.144	0	9.578	9.578	47.871
26/04	0	17.439	17.439	6.441	10.862	17.303	766	12.338	13.104	47.846
27/04	3.499	16.042	19.541	5.754	14.334	20.088	2.484	10.454	12.938	52.567
28/04	4.419	21.065	25.484	8.954	11.018	19.972	4.516	11.989	16.515	61.961
29/04	6.275	16.392	22.667	0	15.815	15.815	1.555	12.431	13.986	52.468
30/04	7.406	16.514	23.920	8.661	9.625	18.286	5.557	11.247	16.804	59.010
TOTAL	96.347	340.587	436.934	96.911	348.825	445.736	85.072	340.537	425.609	1.308.279

Fonte: S.A. Mineração de Amianto

Relação de Máquinas e Equipamentos

S.A. Mineração de Amianto

Quant.	Tipo	Fabricante	Modelo	Função
9	Caminhão	Caterpillar	773B	Transporte
14	Caminhão	Caterpillar	777B	Transporte
3	Trator/Rodas	Caterpillar	824B	Terraplanagem
4	Carregadeira	Caterpillar	966C	Carregamento
4	Carregadeira	Caterpillar	992B	Carregamento
3	Motoniveladeira	Caterpillar	140B	Terraplanagem
2	Trat. Esteira	Caterpillar	D8L	Desmonte
1	Trat. esteira	Caterpillar	D6D	Desmonte
1	Guind./Esteira	Villares P&H	320	Levantamento de Pesos
1	Guind./Pneus	Villares P&H	425TC	Levantamento de Pesos
2	Escavadeira	P&H	1900AL	Escavação
1	Escavadeira Retro	FIAT/ALLIS	FB-80	Aberturas / Valetas
2	Compressor	Atlas/Copco	160DD	Perfuração
1	Compressor	Atlas/Copco	160PD	Perfuração
1	Compressor	Atlas/Copco	80PD	Obra Civil
2	Compressor	Atlas/Copco	315/SD	Obra Civil
3	Compressor	Atlas/Copco	315HSD	Obra Civil
4	Perfuratriz	Atlas/Copco	BUB72	Perfuração
4	Perfuratriz	Bucyrus	35-R	Perfuração

Fonte: S.A. Mineração de Amianto

1.5 - Pesquisa Operacional Aplicada na Mineração

Tradicionalmente, a mineração nunca se sentiu retraída em tomar emprestado novas técnicas e procedimentos de outras ciências, desde que essas técnicas pudessem ser efetivamente adaptadas aos problemas existentes na indústria mineral.

Diversas técnicas podem ser usadas diretamente, requerendo poucas ou nenhuma modificação. Inversamente, outras aplicações são únicas como

modelo de construção direta para uma aplicação específica (teoria dos gráficos baseado no algoritmo de projeto do pit).

Basicamente a finalidade da Pesquisa Operacional é auxiliar o gerenciamento na determinação científica da melhor política ou ação a ser tomada. Quanto aos modelos de PO, seu desenvolvimento fornece um modo sistemático de resoluções de problemas, permitindo uma melhor alocação dos recursos.

As aplicações das técnicas de Pesquisa Operacional utilizadas para soluções de problemas relativos à indústria mineral são: técnicas de planejamento da produção, modelo de lavra, teoria do teor de corte, otimização de mina, etc.

Por definição, a Pesquisa Operacional é aplicada em qualquer estudo rigoroso de operação de sistemas. Na maioria das aplicações industriais é tratada por um engenheiro industrial, um analista de sistemas ou algum especialista em computação. De fato, as pessoas que lidam com esta ciência devem ter algum conhecimento de engenharia industrial (estudo dos tempos, técnicas de contabilidade e custos), gerenciamento (ciência do gerenciamento, implementação de técnicas no meio ambiente humano) e ciência da computação (implementação de algoritmos e procedimentos operacionais em sistemas reais).

1.5.1 - Teoria da Fila

A teoria da fila é uma técnica de Pesquisa Operacional que foi desenvolvida para descrever e solucionar problemas de filas de espera. A formação de fila é um fenômeno comum, que sempre ocorre quando a demanda por um determinado serviço excede à capacidade de fornecer aquele serviço.

O tempo excessivo de espera em uma fila pode causar perda de cliente, decréscimo de produção, etc. Um exemplo de perda de produção na indústria da mineração é facilmente percebido no sistema de carregamento e transporte, devido ao fato da formação da fila de espera. O ideal seria que, em qualquer

sistema, não ocorressem filas, tornando o sistema mais eficiente. Diante desse binômio economia/produção, resta-nos procurar um balanceamento, que permita um atendimento com um custo e um tempo aceitável, de forma a minimizar as perdas provenientes da espera.

Analisando a figura 1.8, é impossível prever precisamente quantos clientes chegarão de encontro ao serviço e/ou quanto tempo será necessário para fornecer aquele serviço. A taxa de chegada dos clientes e o tempo requerido para o serviço, são eventos aleatórios. Só é possível representar esses eventos através de uma função de probabilidade.

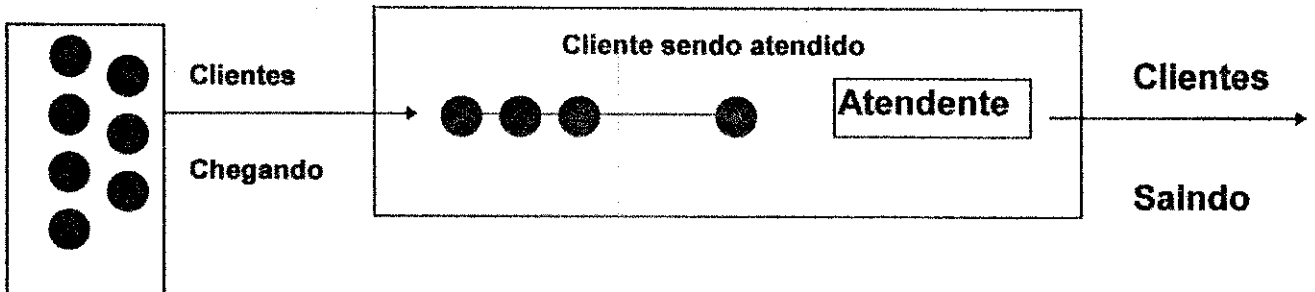
A teoria da fila pode produzir uma solução rápida para os problemas, nos casos em que os eventos podem ser representados através de uma distribuição de probabilidade padrão.

A principal limitação na tentativa de usar a teoria da fila nas operações de lavra a céu aberto, reside no fato de que suas operações são executadas por equipamentos com diferentes capacidade de carga e transporte.

No sistema de produção escavadeira/caminhão, existe um intervalo de tempo entre o carregamento e o despejo. O tempo de chegada do cliente (caminhão) e sua taxa de serviço (carregadeira) pode ser representada pela distribuição de Poisson. Enquanto que o intervalo de chegada dos caminhões e o tempo de execução serviço pode ser representada por a uma distribuição, do tipo exponencial ou constante.

Fila Única, Atendimento Único

Fonte de Clientes



Fila Única, Atendentes múltiplos em paralelo

Fonte de Clientes

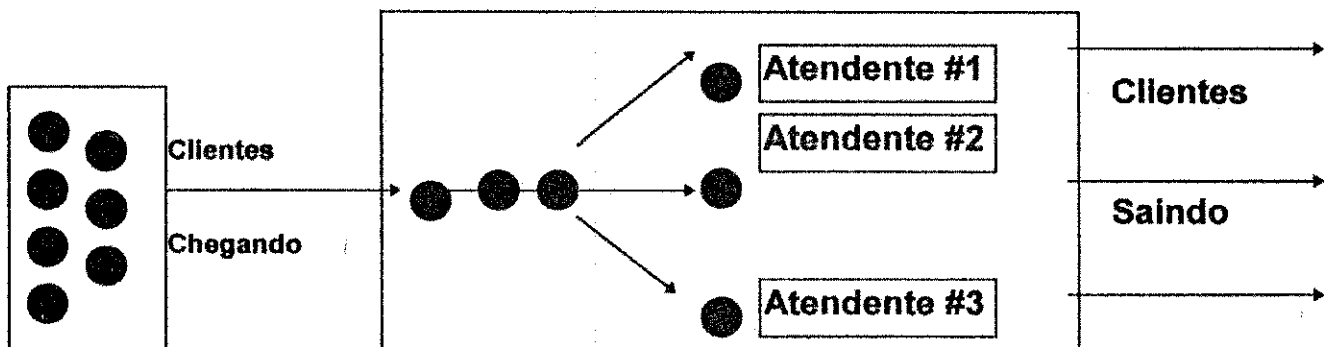


Figura 1.8 - Sistema de Filas

Na realidade, estas distribuições variam de acordo com o sistema. Entretanto, é sempre possível ajustá-las de forma a obedecerem a uma distribuição do tipo exponencial, pelo fato dessa possibilitar uma ordenação para intervalos pequenos de tempo. A maior desvantagem no uso da distribuição exponencial, pelo fato dessa é quanto ao tempo requerido para executar o serviço, principalmente quando este tempo de execução for elevado.

1.5.1.1 - Estrutura Básica de Uma Fila

Uma certa fonte de chegada ou população fornece clientes que formam uma fila e que esperam por algum tipo de serviço. O mecanismo de serviço consiste de uma ou mais instalações de serviços que contém um ou mais servidores.

O tamanho da fila é o número total de clientes que possam requisitar o serviço de tempos em tempos. Este número pode ser infinito ou finito (de modo que a fonte de chegada é dita ilimitada ou limitada). O caso finito é mais difícil de ser analisado, pois o número de clientes no sistema afeta o número de clientes fora do sistema a qualquer momento.

O processo de chegada ocorre aleatoriamente e pode ser quantificado de acordo com a taxa média de chegada e o intervalo entre as chegadas. Como esses valores são médios, utiliza-se distribuições probabilísticas para descrevê-los. O processo de atendimento é quantificado através do ritmo de atendimento e o seu tempo de duração. Os processos de chegada e atendimento seguem uma distribuição exponencial.

O sistema mais simples é aquele em que um único servidor atende um único cliente de cada vez. Conforme aumenta o ritmo de chegada, a qualidade do atendimento é mantida, aumentando convenientemente o número de servidores.

A disciplina da fila, refere-se à ordem que os clientes serão selecionados para serem atendidos. Pode ser por ordem de chegada, aleatoriamente, com alguma prioridade, porém o mais comum é obedecendo a ordem de chegada, onde o primeiro a chegar deve ser o primeiro a ser atendido.

O tamanho da fila oscila em torno de um valor médio, quando os ritmos de chegada e de atendimento são constantes. O tamanho da fila é igual ao número de clientes esperando pelo serviço.

O ideal é que não exista fila mas, nem sempre é a melhor situação do ponto de vista econômico. O tamanho da fila será igual ao tempo de atendimento de cada cliente na frente ou igual ao número de clientes multiplicado pela duração média de atendimento.

Quando se referir a filas deve-se utilizar variáveis aleatórias. Para as variáveis aleatórias existem um valor médio e uma distribuição de probabilidade que mostra as chances de ocorrências dos valores.

1.5.2 - Programação Dinâmica

Os processos de otimização em Engenharia classificam-se em dois grupos. O primeiro, é constituído por formulações e modelos onde a configuração é só constituída por formulações. No segundo grupo, enquadram-se os problemas onde o objetivo é determinar uma ou mais funções ótimas. Os problemas do segundo grupo, normalmente são de mais difícil resolução, seja por processos diretos ou indiretos. As formulações que fazem parte do segundo grupo, geralmente envolvem problemas de controle de sistemas dinâmicos.

A programação dinâmica não se classifica como um tipo de algoritmo ou processo de otimização. Na realidade é um método lógico, que é aplicado a um grande número de problemas de várias naturezas. Ela pode ligar-se ao conceito de tempo e espaço ou pode até mesmo assumir uma forma abstrata, um simples conceito lógico. Um dos grandes problemas de programação dinâmica é desenvolver programas de computador de aplicação mais geral, pois normalmente só se aplica a casos mais específicos, enquanto os demais algoritmos de otimização tem uma aplicação mais geral.

Embora esta técnica de Pesquisa Operacional seja chamada dinâmica, o procedimento para sua resolução é estático por natureza. O procedimento geral pode ser dividido em vários estágios. Cada estágio constitui um subproblema único, o qual pode ser resolvido utilizando as informações apenas de um estágio.

Quando todos os subproblemas tiverem sido resolvidos em ordem de prioridade, o problema geral também será resolvido. O emprego desta técnica é feito através de acumulação de resultados, conforme apresentado na figura 1.9.

	u							
	1	2	3	4	.	.	n	
$m_n(u)$								Último estágio
$d_n(u)$								Penúltimo estágio
$m_{n-1}(u)$								
$d_{n-1}(u)$								Primeiro estágio
.								
.								
$m_1(u)$								
$d_1(u)$								

Fonte : Richard Brosson

u = variável de estado

$m_j(u)$ = retorno ótimo para se completar o processo

$d_j(u)$ = decisão tomada no estágio j

Figura 1.9 - Programação Dinâmica

CAPÍTULO 2

USO DA SIMULAÇÃO

2.1 - Introdução

A simulação é uma experimentação ou ensaio que consiste numa série de cálculos e decisões, realizado segundo um conjunto de regras predeterminadas e apropriado ao emprego de computadores. É uma técnica útil para estudo de processos, onde existem valores de transição, para avaliar os parâmetros do modelo e analisar linhas de ação.

Nos últimos anos, esta técnica de Pesquisa Operacional tem sido amplamente utilizada, principalmente por engenheiros e economistas, na construção de modelos, que têm por finalidade testar diferentes alternativas ou causas de ação.

Sua utilização na indústria mineral é justificada devido a natureza cíclica das operações. De forma geral, as indústrias de mineração utilizam técnicas de simulação para planejamento de mina, substituição de equipamentos, dimensionar frota, avaliar sistema de transporte, alocação de equipamentos, beneficiamento, manutenção, etc. Durante o estágio de planejamento de uma mina diversas alternativas de tipos e marcas de equipamentos estão disponíveis, podendo ser combinados de forma a permitir o estabelecimento da frota mais econômica para o transporte e manuseio de materiais. As soluções apresentadas pelo uso da simulação, além de auxiliar na seleção de um sistema de transporte, permite ainda estimar o custo operacional e de capital. Além disso, durante a vida útil da mina, vários acessos são possíveis e, conseqüentemente, a simulação possibilita a determinação da melhor rota de transporte para os equipamentos.

Uma grande vantagem do uso dessas técnicas é possibilitar que o modelo seja testado ao mesmo tempo em que os dados são coletados.

Normalmente um modelo descreve uma operação em termos dos componentes individuais do sistema, que são aqueles cujo comportamento pode ser estimado através de uma distribuição de probabilidade. A técnica de simulação consiste na manipulação da imagem estatística do modelo, de forma que novas idéias ou procedimentos possam ser testados.

A importância da simulação é evidente, principalmente quando a operação do sistema real não pode ser estudada diretamente, ou mesmo seria bastante dispendioso testar diferentes alternativas antes de colocá-las em funcionamento, seja pelo fato dele ainda não existir ou não estar disponível. Os programas de simulação podem ser divididos em duas categorias: determinísticos e estocásticos.

2.1.1- Revisão dos Sistemas de Simulação

Durante a vida útil da mina, vários tipos de acessos são possíveis, os modelos de simulação podem ser usados para determinar os melhores acessos a cada nível da lavra em vez de usar processos de tentativa.

O emprego de simulação com o objetivo de avaliar os diversos procedimentos de despacho em lavra a céu aberto é um método bastante desenvolvido, Bonates (1986).

Uma das vantagens da simulação é que os modelos desenvolvidos podem ser testados ao mesmo tempo em que os dados estão sendo coletados. Os resultados obtidos aparecem sob a forma de dados operacionais os quais permitem a comparação de diferentes alternativas.

Um dos primeiros modelos de simulação usados para analisar uma frota de transporte em mina a céu aberto foi desenvolvido por Madge (1964). Esse modelo simula a operação considerando diferentes cavas alimentando um mesmo britador. A operação é simulada pela alocação de uma escavadeira em cada cava, garantindo que apenas minério seja extraído. O objetivo desse

estudo foi determinar a necessidade de equipamento de transporte com a finalidade de melhorar as áreas congestionadas da malha de transporte. Os resultados obtidos pelo modelo demonstraram que, para satisfazer a mesma produção era necessário dois caminhões a menos do que previamente utilizados. Esse modelo é semelhante ao utilizado pela SAMA, uma vez que as duas cavas (A e B) alimentam o mesmo britador, situado entre elas.

O modelo de simulação descrito por Kim e Ibarra (1981) foi desenvolvido para estudar o efeito do despacho na produtividade. Nesse modelo os dados de entrada foram obtidos de um sistema real, possuindo um impacto significativo na validação e ajuste com os sistema real. O modelo considera as características da malha de transporte, os limites de velocidade, as curvas características dos equipamentos, disponibilidade, configuração da cava e as regras de ultrapassagem de equipamento, etc. Cada rota de transporte tem um ponto comum de interseção, sendo obrigatório a todos os caminhões passar por este ponto. Esta interseção comum é usada como ponto de despacho, onde todas as decisões são tomadas. Os resultados desse estudo indicam um aumento de produtividade no sistema escavadeira/caminhões em torno de 10%. Além disso, permite a redução do tempo de espera do caminhão e do tempo ocioso da escavadeira em cerca de 30%.

Waring (1985) realizou um estudo para determinar a capacidade da operação na Mina Carol Lake. O objetivo desse modelo foi identificar as iterações entre os eventos que ocorriam durante as operações e seus efeitos na produção. Além disso o modelo permite a avaliação do impacto na produção pelo incremento de mais um equipamento de carregamento. O modelo estuda o efeito da alocação fixa levando em consideração a fragmentação do material, as condições de escavação, o tamanho da frota, a distância de transporte e número de caminhões para satisfazer a escavadeira. No final de 70, um outro estudo permitiu a determinação da capacidade de operação. Nesse trabalho foi aplicada a Teoria da Fila que possibilitou o desenvolvimento de programas menores e mais flexíveis. Os resultados encontrados são semelhantes àqueles obtidos pela técnica da simulação, Elbrond (1972).

O'Neil e Manula (1967), desenvolveram um modelo com o objetivo de analisar vários tipos de malhas de transporte e os riscos envolvidos na seleção de equipamentos de mineração. O modelo foi desenvolvido considerando as características dos acessos, sendo composto de quatro partes. A parte principal do programa é usada para ordenar, comparar, registrar a posição do caminhão e medir o desempenho das funções de entrada e saída. As outras três partes são usadas para calcular respectivamente: os tempos de carregamento, despejo e transporte para cada segmento do acesso. Este modelo possui várias restrições, tais como: velocidade máxima, desaceleração, aceleração máxima, velocidade máxima nas curvas, etc. O modelo foi validado comparando os resultados da simulação com os dados históricos da mina.

O objetivo do modelo desenvolvido por Billete e Seka (1986), foi de avaliar a melhor alocação para os caminhões e determinar o custo adicional na operação de blending. A eficiência da operação da mina é demonstrada em relação à eficiência financeira da empresa. O principal problema do modelo é definir precisamente os parâmetros de eficiência envolvidos. Os dados de produção foram obtidos simulando a operação baseando-se na alocação fixa dos equipamentos. Esses valores foram comparados com aqueles obtidos por métodos analíticos desenvolvidos pela Teoria da Fila, Elbrond (1977).

Vários outros modelos foram desenvolvidos para simular a produção. Alguns desses modelos foram usados no planejamento da mina. Um desses modelos foi usado no planejamento de curto e longo prazo, Marshall e Kim (1982). O sistema foi baseado na técnica de simulação e consiste de dois modelos distintos. O primeiro, chamado de "CICLE", é usado para simular as operações dos caminhões e o segundo denominado "PITSIM", simula dinamicamente as iterações entre os caminhões e escavadeiras com base no tempo real. O modelo determina o melhor layout e a melhor alocação, baseado no custo mínimo e no menor tempo de espera para os caminhões e ociosidade das carregadeiras. Uma análise de sensibilidade mostrou que as diferenças entre a produção simulada e a real era causada pela variabilidade dos parâmetros

da operação, tais como: tempo de ciclo de transporte, troca de turno, parada para lanche, detonação, etc.

2.2 - Simulação Determinística

É utilizada quando os componentes do sistema são representados por valores discretos; é algo de cálculo mais ou menos complexo e usado em situações específicas. Assim, os resultados obtidos pelo modelo também fornecem valores discretos, desde que os componentes do sistema permaneçam os mesmos. Nessa categoria todas as variáveis estão sob controle total da gerência e, portanto, o fator chance desempenha papel irrelevante.

2.2.1 - Desenvolvimento do Modelo de Simulação Determinística

O programa de simulação desenvolvido para a mina Cana Brava, tem como finalidade principal realizar uma estimativa do desempenho dos equipamentos de transporte disponíveis na operação.

Para simplificar o programa diversas aproximações foram feitas. Entre elas temos:

- a) Aplicação de um valor médio estimado para a eficiência do motor ao longo de todo o intervalo de marchas;
- b) Aproximação das características de retardamento para cada tipo de equipamento;
- c) Uso do fator de velocidade em lugar do cálculo direto da aceleração e desaceleração e,
- d) A velocidade calculada no segmento anterior não é considerada.

O programa realiza uma estimativa preliminar dos tempos de transporte, em rampa ascendente, descendente ou em nível, para o veículo carregado ou vazio. Posteriormente, os resultados podem ser calibrados usando fatores de ajuste incluídos no programa e comparando com os resultados obtidos no estudo dos tempos.

2.2.2 - Estrutura Geral do Programa de Simulação Determinística

Um dos principais elementos requerido para a elaboração de um modelo é a informação completa sobre os tempos de transporte em todas os possíveis acessos existentes na mina. Isso porque, durante a realização do estudo dos tempos na mina, não foi possível obter os tempos de transporte em todas as rotas. Com a finalidade de obter esses dados foi desenvolvido um simulador determinístico denominado "DETSAMA". O programa, escrito em FORTRAN 77, é baseado nas curvas típicas de desempenho dos equipamentos, as quais relacionam a velocidade do equipamento com a força disponível e as características das estradas de acesso. A tabela 2.1 apresenta os resultados das simulações para os tempos de transporte, utilizando o programa de simulação determinística.

A estrutura do programa é esquematizada na figura 2.1. Os dados de entrada são lidos diretamente do arquivo de dados e, posteriormente, impressos juntamente com o resultado da simulação.

Os dados de entrada incluem:

Números de acesso;
 Força disponível;
 Peso bruto e líquido do equipamento;
 Potência do motor;
 Características das estradas de acesso.

Tabela 2.1 - Tempo de Transporte (DETSAMA)

BANCO	Bota - Fora A		Bota - Fora B		Britador	
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
358 NA	5.08	3.72	4.73	3.31	8.79	6.20
348 WA	8.75	5.36	5.09	3.98	5.61	3.12
368 WB	14.66	12.39	5.79	4.56	6.15	5.40
318 WB	13.49	11.18	14.20	10.48	5.99	4.43
348 SA	8.28	4.69	11.55	6.25	5.87	3.35
368 SA	7.98	5.10	12.35	7.14	8.52	4.28
318 NB	8.97	6.67	9.85	6.69	4.43	3.11
328 WB	18.09	9.11	6.28	4.82	6.64	3.60
348 WA	9.22	5.43	5.27	4.23	6.50	3.94
328 NWB	17.90	8.50	6.10	4.20	6.40	3.50
308 NWB	10.52	8.30	8.10	6.31	5.25	4.33
308 NB	10.42	8.08	8.00	5.87	4.51	3.40

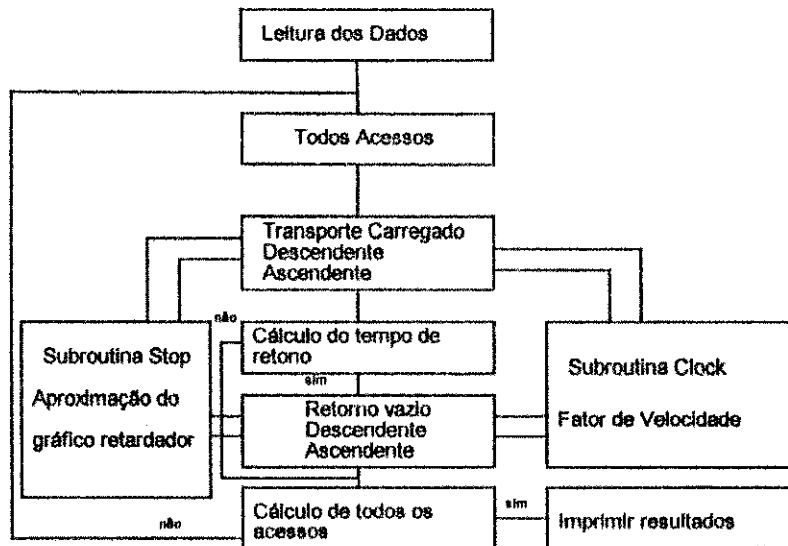


Figura 2.1- Fluxograma do Programa Determinístico DETSAMA

Os tempos de transporte, vazio e carregado, foram utilizados para o preenchimento da matriz de tempos necessários ao sistema de planejamento da produção.

A força disponível pode ser definida como a força que o motor exerce sobre o terreno com a finalidade de movimentar o equipamento. Essa força é produzida pelo torque que o motor pode desenvolver e é função da relação de marchas do equipamento. A fórmula geral para determinação da força disponível é:

$$\text{Força Disponível} = \frac{366.97 \times \text{Potência (KW)} \times \text{Eficiência (\%)}}{\text{Velocidade}} \quad (2.1)$$

A constante 366.97, tem a finalidade de transformar KN em N-m/seg. e m/s em km/h. A eficiência mecânica do equipamento usada no programa é igual a 70%, embora esse valor possa ser modificado em função dos equipamentos que estão em operação. Na realidade esse valor varia entre 65% a 75%, conforme mostrado na figura 2.2. Como a força disponível é afetada pela aceleração e varia com a velocidade, as equações de movimento da Física, geralmente utilizadas não podem ser empregadas.

Tabela 2.2 - Coeficiente de Rolamento

Superfície do Terreno	Afundamento (cm)	Coeficiente de rolamento (Kg/t) (Máquina de Pneu)
Revestimento em asfalto ou concreto	0.0	20
Terra seca e firme	1.6	30
Terra seca, solta	3.2	40
Terra seca, arada	10.0	80
Aterros sem compactação	10.0	80
Areia solta e seca	13.3	100
Terra muito úmida e mole	23.3	160
Terra argilosa muito úmida	26.6	180

Fonte: Ricardo & Catalani

A resistência de rampa é definida como a força devida à gravidade que deve ser vencida pelo equipamento para movimentar o veículo em uma rampa ascendente. Ela também adiciona força caso o veículo esteja se movimentando em uma rampa descendente.

A resistência total ou gradeabilidade é obtida como o resultado da soma dessas duas forças, sendo seu significado físico igual a força total requerida para vencer as resistências que se opõem ao movimento do equipamento. O último parâmetro está relacionado com as características das estradas de acesso, uma vez que devem ser divididos em segmentos que possuam a mesma inclinação. A velocidade máxima do equipamento para um determinado trecho em rampa ascendente é dada diretamente pela equação (2.1), enquanto que, se for em rampa descendente é necessário a utilização do gráfico do efeito retardador dado pelos fabricantes, conforme mostrado na figura 2.3. Os dados de entrada e saída são apresentados nas tabelas 2.3 e 2.4, respectivamente.

Tabela 2.3 - Dados de Entrada do Programa Determinístico DETSAMA

Título da Simulação											
Peso Vazio (Kg) 56.431			Peso Carregado (Kg) 133.541						Potência (KW) 649		
Pontos de Despejo			Velocidade Máxima (Km/h)				Fator de Ajuste				
3			Ascendente 30		Descendente 20		Carregado 1		Vazio 1		
Britador (Comprimento, Resistência de Rolamento e Resistência Total)											
600	5	0	300	5	8	1000	5	8	1100	5	0
Bota - Fora A (Comprimento, Resistência de Rolamento e Resistência de Rampa)											
100	5	0	300	5	0	150	5	8	900	5	0
Bota - Fora B (Comprimento, Resistência de Rolamento e Resistência de Rampa)											
150	5	0	1000	5	8	100	5	0	400	5	0

Tabela 2.4 - Dados de Saída do Programa Determinístico DETSAMA

Simulação do Transporte - Banco 348 NWA								
Peso Vazio					56.431 Kg			
Peso Carregado					133.451 Kg			
Potência					649 KW			
Tipo do Caminhão					Caterpillar 777			
Número de Rotas					3			
Velocidade Máxima Subindo					30 Km / h			
Velocidade Máxima Descendo					20 Km / h			
Fator de Ajuste Carregado					1			
Fator de Ajuste Vazio					1			
N.	Comp	Rolamento (%)	Rampa (%)	Resist. (%)	Vm Km/h	F Vel	V. Média	TPI (min)
Tempo de Transporte Carregado na Rota 1 - Britador								
1	600	5.00	0.0	0.05	24.968	0.74	18.378	1.96
2	300	5.00	8.0	0.13	9.603	1.00	9.603	1.87
3	1000	5.00	8.0	0.13	9.603	1.00	9.603	6.25
4	1100	5.00	0.0	0.05	24.968	0.71	17.681	3.73
Tempo de Transporte Carregado Ajustado Rota 1 - Britador = 13.81 minutos								
Tempo de Transporte Carregado Rota 2 - Bota-Fora A								
1	100	5.0	0.0	0.05	24.968	0.45	11.174	0.54
2	300	5.0	0.0	0.05	24.968	0.75	18.694	0.96
3	150	5.0	8.0	0.13	9.603	1.00	9.603	0.94
4	900	5.0	0.0	0.05	24.968	0.88	22.061	2.45
5	100	5.0	8.0	0.13	9.603	1.00	9.603	0.62
6	900	5.0	0.0	0.05	24.968	0.81	20.153	2.68
Tempo de Transporte Ajustado Rota 2 - Bota-Fora A = 8.19 minutos								
Tempo de Transporte Carregado Rota 3 - Bota-Fora B								
1	150	5.00	0.0	0.05	24.968	0.51	12.672	0.71
2	1000	5.00	8.0	0.13	9.603	1.00	9.603	6.25
3	100	5.00	0.0	0.05	24.968	0.65	16.276	0.37
4	400	5.00	0.0	0.05	24.968	0.65	16.316	1.47
Tempo de Transporte Carregado Ajustado Rota 3 - Bota-Fora B = 8.80 minutos								

N - número de segmentos

Comp. - Comprimento do segmento

Rolamento - Resistência de Rolamento

Rampa - Resistência de Rampa

Vm - Velocidade Máxima

Fvel - Fator de Velocidade

V. Média - Velocidade Média

TPI - Tempo de Transporte

2.2.3 - Procedimento do Programa Determinístico

Inicialmente o programa determina a relação peso/potência com as seguintes variáveis: limite superior e inferior do fator de velocidade, comprimento do acesso, e o peso e potência do equipamento. O fator de velocidade é determinado por uma interpolação linear em função do comprimento do segmento. Dessa forma a velocidade máxima é ajustada por esse fator com a finalidade de determinar a velocidade média no referido segmento conforme apresentado na tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Fator de Velocidade

r < 182 Kg/Kw				
Comprimento do Trecho (m)	Trecho em nível (i=0%) V _r =0	Unidade em movimento, entrando no trecho		
		Em nível	Em declive	Em aclave
0.0 - 60	0.00 - 0.40	0.65	0.67	1.00 Velocidade inicial menor que velocidade máxima calculada para o trecho
60 - 120	0.40 - 0.51	0.65 - 0.70	0.67 - 0.72	
120 - 180	0.51 - 0.56	0.70 - 0.75	0.72 - 0.77	
180 - 300	0.56 - 0.67	0.75 - 0.81	0.77 - 0.83	
300 - 450	0.67 - 0.75	0.81 - 0.88	0.83 - 0.90	
450 - 600	0.75 - 0.80	0.88 - 0.91	0.90 - 0.93	
600 - 750	0.80 - 0.84	0.91 - 0.93	0.93 - 0.95	
750 - 1050	0.84 - 0.87	0.93 - 0.95	0.95 - 0.97	
> 1050	0.87 - 0.94	0.95	0.97	
r (182 Kg/Kw - 230 Kg/Kw)				
0.0 - 60	0.00 - 0.39	0.00 - 0.62	0.64	1.00 Velocidade inicial menor que velocidade máxima calculada para o trecho
60 - 120	0.39 - 0.48	0.62 - 0.67	0.64 - 0.68	
120 - 180	0.48 - 0.54	0.67 - 0.70	0.68 - 0.74	
180 - 300	0.54 - 0.61	0.70 - 0.75	0.74 - 0.83	
300 - 450	0.61 - 0.68	0.75 - 0.79	0.83 - 0.88	
450 - 600	0.68 - 0.74	0.79 - 0.84	0.88 - 0.91	
600 - 750	0.74 - 0.78	0.84 - 0.87	0.91 - 0.93	
750 - 1050	0.78 - 0.84	0.87 - 0.90	0.93 - 0.95	
> 1050	0.84 - 0.92	0.90 - 0.93	0.95 - 0.97	
r > 230 Kg/Kw				
0.0 - 60	0.00 - 0.33	0.00 - 0.55	0.56	1.00 Velocidade inicial menor que velocidade máxima calculada para o trecho
60 - 120	0.33 - 0.41	0.55 - 0.58	0.56 - 0.64	
120 - 180	0.41 - 0.46	0.58 - 0.65	0.64 - 0.70	
180 - 300	0.46 - 0.53	0.65 - 0.75	0.70 - 0.78	
300 - 450	0.53 - 0.59	0.75 - 0.77	0.78 - 0.84	
450 - 600	0.59 - 0.62	0.77 - 0.83	0.84 - 0.88	
600 - 750	0.62 - 0.65	0.83 - 0.86	0.88 - 0.90	
750 - 1050	0.65 - 0.70	0.86 - 0.90	0.90 - 0.92	
> 1050	0.70 - 0.75	0.90 - 0.93	0.92 - 0.95	

Fonte: Ricardo & Catalani, 1990 - p. 193

O tempo de transporte carregado é inicialmente calculado para cada acesso. A resistência de rolamento é adicionada à resistência de rampa para determinar se a equação de força ou as características de retardamento é para ser aplicada em cada segmento. Para cada segmento da rota de transporte o fator de velocidade é calculado na "SUBROUTINE CLOCK". Isso se aplica para o

transporte ascendente ou descendente. O fator de velocidade é determinado em função da relação peso/potência da inclinação do segmento e, se o segmento é o primeiro ou o último do acesso. Posteriormente, é multiplicado pela velocidade máxima para se obter a velocidade média no trecho examinado. Caso o segmento seja descendente a "SUBROUTINE STOP" é utilizada. A velocidade no trecho descendente é função da inclinação do segmento, do peso do veículo e do tipo de equipamento. O cálculo do tempo de retorno vazio é feito de maneira similar caso a opção apropriada tenha sido escolhida. Após todos os acessos terem sido examinados o programa imprime os resultados.

2.2.4 - Comentários

Para elaboração do programa em vez de utilizar nos dados de entrada as curvas de força fornecidas pelos fabricantes para cada tipo de caminhão, foi feita a suposição de que os equipamentos estariam operando com uma eficiência média de 70%. Caso seja necessário a aplicação de um outro valor para a eficiência, basta simplesmente modificar esse valor no arquivo de entrada dos dados. Devido a essa aproximação, a velocidade obtida pode ser um pouco diferente daquela que seria estimada diretamente pela aplicação das curvas de força.

A velocidade estimada pela equação 2.1, constitui a velocidade máxima possível de ser atingida em um dado segmento. Esse valor é posteriormente reduzido pela aplicação do fator de velocidade, com a finalidade de se obter a velocidade média. Esse valor corresponde àquele que seria estimado através do emprego do referido gráfico, mostrado na figura 2.3.

Os cálculos relacionados com o retardamento do equipamento estão diretamente associados ao tipo de máquina que está sendo usada. Entretanto, é feita uma aproximação com base na curva fornecida pelos fabricantes.

Como o programa não leva em consideração a aceleração e a desaceleração, é preciso a aplicação do fator de velocidade ao longo dos segmentos que compõem as estradas de acesso. O fator de velocidade, é aplicado na velocidade máxima determinada pela equação de força, no caso do equipamento tiver de vencer uma rampa ascendente ou pela aplicação do gráfico de retardamento, no caso do transporte se der em rampa descendente. Os fatores de velocidade dados na tabela 2.5, foram baseados na experiência dos fabricantes.

2.3 - Simulação Estocástica

Esse tipo de simulação é usado quando as variáveis do sistema estão sujeitos à chance de ocorrência, ou seja, é necessário que o evento ocorra diversas vezes sob as mesmas condições.

A simulação estocástica é aplicável principalmente em problemas dinâmicos, onde as decisões geralmente são baseadas em estimativas de valores futuros cujas distribuições de probabilidade são conhecidas. Normalmente, para simplificar os cálculos é feita a suposição de que as distribuições de probabilidades são discretas. Outra hipótese normalmente feita para reduzir a dimensão do modelo, é que as variáveis estocásticas do modelo são independentes.

O objetivo de um modelo estocástico é otimizar o sistema através de uma série de possíveis resultados em condições aleatórias. Esse tipo de simulação implica em manipular um modelo do sistema real de forma a proporcionar uma visão dinâmica da realidade.

O fundamento essencial desse tipo de simulação é a amostragem aleatória dos valores de uma variável do sistema, a partir de uma distribuição de probabilidade. Para realizar o processo de seleção de amostras para um determinado tipo de distribuição é necessário conhecer os seguintes pontos, conforme Bonates (1986):

- 1.- Um conjunto de números aleatórios;
- 2.- Uma maneira de transformar estes números em variáveis aleatórias, que represente o evento;
- 3.- Um método de estimação de amostragem.

Uma vez que a estrutura geral do programa de simulação foi suficientemente elaborada de forma a mostrar como os elementos ou componentes do sistema interagem entre si, é necessário que se desenvolva um mecanismo para sortear números para cada componente, os quais adequadamente refletem a probabilidade de ocorrência de cada componente. A tabela 2.6 ilustra um exemplo, indicando a probabilidade de ocorrência de vários tempos para se realizar uma determinada tarefa. A figura 2.4 mostra como o simulador é elaborado para este componente do modelo de simulação. Cada vez que o programa requerer um tempo para obtenção do serviço, o simulador de Monte Carlo requisitará um número aleatório que permitirá a determinação da variável aleatória.

Tabela 2.6 - Distribuição de Probabilidade Discreta

Tempo (min.)	Probabilidade (%)
3	10
5	30
7	20
8	40

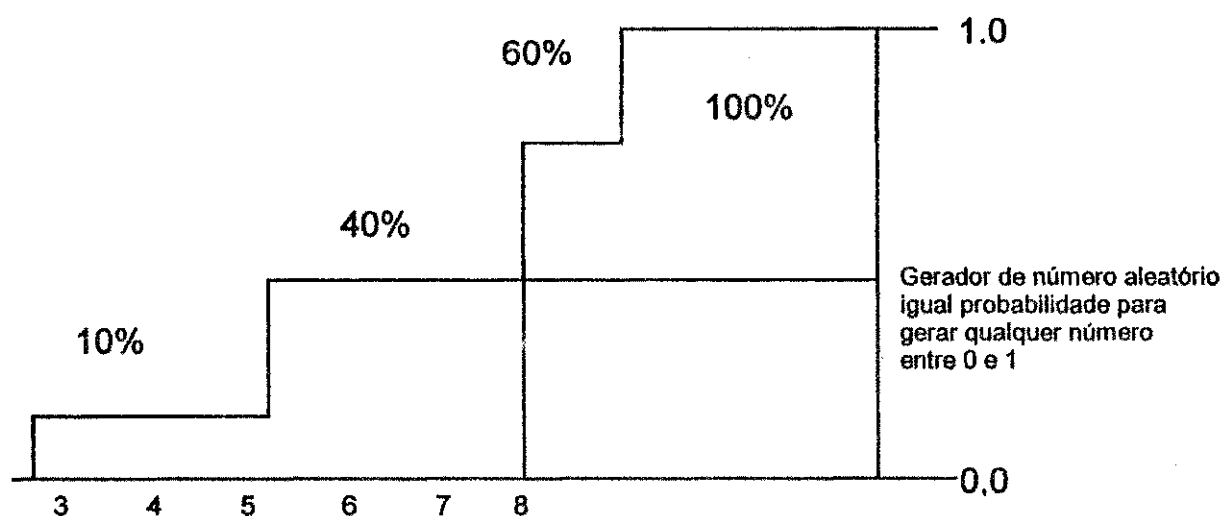


Figura 2.4 - Distribuição de Probabilidade

Neste caso o tempo médio para realização da tarefa é 6,4 minutos. O componente mais importante de um simulador estocástico é o gerador de números aleatórios. Uma vez que um número aleatório tenha sido gerado, o valor do tempo para realizar o serviço pode ser lido diretamente da distribuição acumulada de probabilidade. Embora os números aleatórios sejam uniformemente distribuídos entre 0 e 1, o resultado reproduzido pelo gerador deve possuir o mesmo tipo de distribuição de probabilidade. Isto é, se um número suficiente de valores forem obtidos do gerador a distribuição inicial será teoricamente reproduzida. Por exemplo, se 100 valores forem gerados, 40 deles devem ser obrigatoriamente iguais a 8 minutos.

Ainda que, na maioria das vezes não seja necessário a geração de uma grande quantidade de números para o mesmo componente. É importante garantir que o simulador de "Monte Carlo" está estatisticamente correto. Um programa de simulação deve ser executado diversas vezes para permitir a verificação do possível intervalo de resultados.

A teoria da probabilidade é o estudo das incertezas associadas aos eventos. A ferramenta básica da teoria da probabilidade é a função de distribuição, que quantifica, na forma de um histograma, o intervalo de valores que melhor descreve a variável. Pelo fato de muitos parâmetros serem incógnitas, eles podem ser melhor descritos como uma variável e sua função de distribuição definida entre as disponíveis que melhor se adaptem aos dados obtidos.

Na figura 2.5, é ilustrado um histograma para uma distribuição contínua experimental. Isto poderia ser, por exemplo, o resultado de um estudo dos tempos para estimar o tempo requerido para uma escavadeira carregar um caminhão.

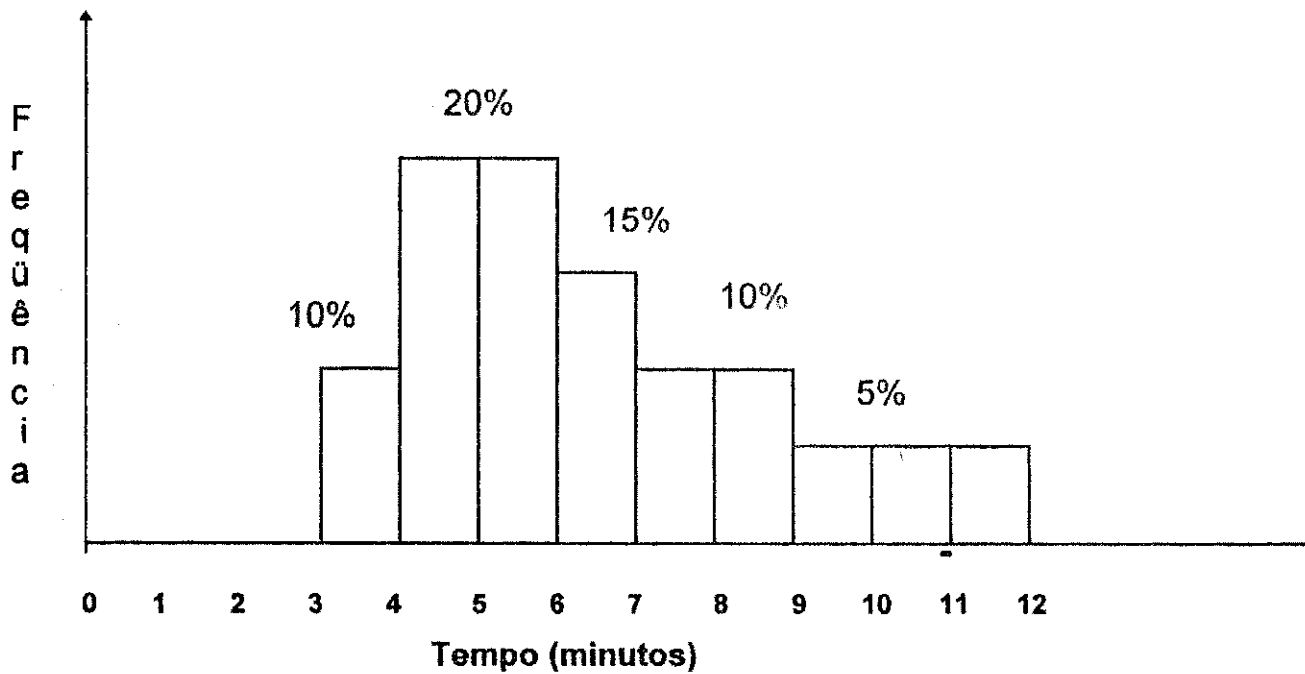


Figura 2.5 - Distribuição Contínua Experimental

A figura 2.6, mostra o simulador que poderia ser usado para a distribuição normal adaptada.

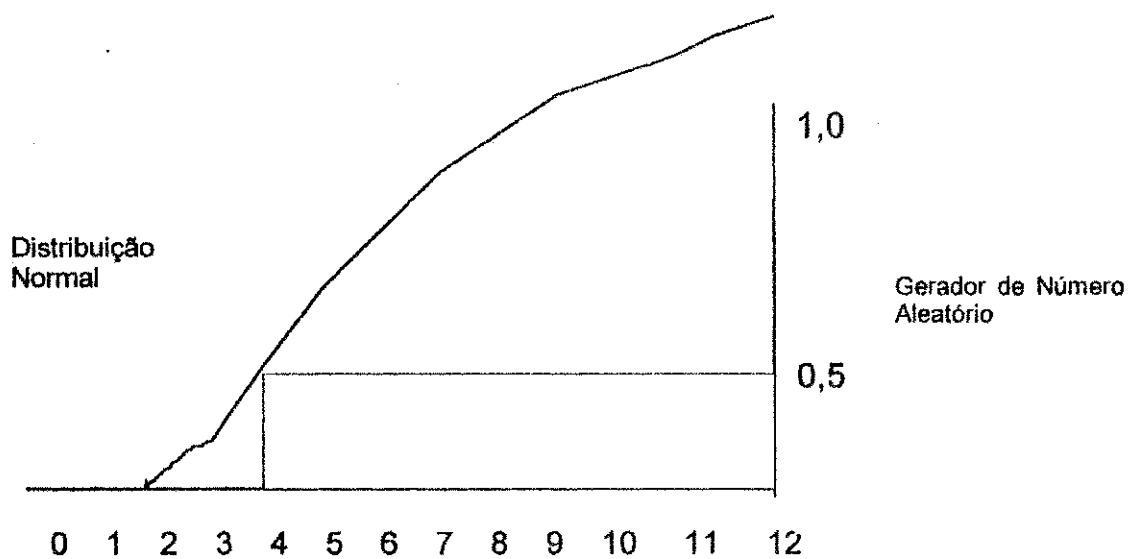


Figura 2.6 - Simulador Estocástico - Distribuição Estatística

2.4 - Geração de Números Aleatórios

Alguns programas foram desenvolvidos com a finalidade de gerar números aleatórios. Geralmente, os programas para gerar números aleatórios são baseados em um procedimento geral. É dado um valor inicial, denominado "semente" e através de operações matemáticas, um número aleatório é produzido. Esse primeiro número é utilizado para gerar o segundo, e assim por diante. Na realidade, o número gerado é pseudo-aleatório pelo fato da seqüência poder ser reproduzida, desde que as condições permaneçam as mesmas e pelo lado do procedimento ser baseado em uma fórmula matemática e, portanto, determinístico.

2.4.1 - Métodos de Geração de Números Aleatórios

Os dois processos mais comuns para geração de números aleatórios são: técnica do quadrado médio e técnica congruencial. A técnica do quadrado médio consiste em tomar um número de quatro algarismos, escolhido aleatoriamente e elevar-se ao quadrado, tomando-se como número aleatório os quatro algarismos centrais. O procedimento é repetido até se obter a quantidade necessária de números aleatórios. A técnica congruencial é a mais empregada para geração de pseudo-números aleatórios. Uma vez que a técnica de geração seja reconhecida como cíclica, então é possível gerar um ciclo de comprimento máximo. A teoria da congruência fornece tais seqüências através da consideração de uma seqüência inteira proposta por um argumento heurístico (números são ditos congruentes quando divididos pela mesma quantidade deixam restos iguais).

2.4.1.1 - Técnica Congruente

A técnica congruente é expressa algebricamente pela seguinte fórmula:

$$X_{n+1} = (k X_n + C) \text{ mod. } M \quad (2.3)$$

K = constante (multiplicador)

C = incremento constante

X_0 ($n=0$) = valor inicial (semente)

mod. M = módulo o qual expressa o produto de K dividido por M , o resto é o número aleatório X_{n+1}

As constantes são selecionadas de forma a produzir um ciclo de comprimento máximo e minimizar o número de operações. As constantes são escolhidas de tal forma que se produza o valor máximo inteiro que o computador seja capaz de manipular (é função do tamanho da palavra ou número de bits por palavra). O resultado excedente das operações é retido como sendo o número aleatório gerado.

2.4.2 - Geração das Variáveis Aleatórias

Uma vez que o programa utilizado para geração dos números aleatórios tenha sido desenvolvido e validado é necessário gerar as variáveis aleatórias que devem representar os eventos que compõem a operação. Esses valores são aleatórios no sentido de que qualquer resultado poderá ocorrer desde que as propriedades estatísticas da distribuição o permita.

2.4.2.1 - Método Polar

O princípio do método baseia-se em tomar dois números aleatórios e gerar duas variáveis aleatórias. O procedimento geral é o seguinte:

1. Gerar dois números aleatórios r_1 e r_2

$$V_1 = 2r_1 - 1, \text{ e } V_2 = 2r_2 - 1 \quad (2.4)$$

$$W = V_1^2 + V_2^2 \quad (2.5)$$

2. Se caso $W > 1$, retorna ao passo 1.

$$Y = \sqrt{\frac{-2 \ln W}{W}} \quad (2.6)$$

$$X_1 = V_1 Y \text{ e } X_2 = V_2 Y; \quad (2.7)$$

X_1 e X_2 , são independentes e normalmente distribuídos.

2.4.2.2 - Soma dos 12 Dígitos

Um número aleatório tem distribuição uniforme de 0 a 1, com média 0,5 e um desvio padrão de $\sqrt{\frac{1}{12}}$. A soma dos "n" números aleatórios aproxima-se de uma distribuição normal com media $\frac{n}{12}$, e um desvio padrão de $\sqrt{\frac{n}{12}}$. Se r_1, r_2, \dots, r_n é uma amostra dos "n" números gerados, então "X", normalmente distribuído, pode ser aproximado por:

$$X = \frac{\sigma}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \sum_{i=1}^n r_i + \left(\mu - \frac{n}{2} \frac{\sigma}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \right) \quad (2.8)$$

Por conveniência, "n" é frequentemente selecionado com sendo 12, o qual produz resultados satisfatórios. Então:

$$X = \frac{\sigma}{2} \sum_{i=1}^{12} r_i + (\mu - 6\sigma) \quad (2.9)$$

Esta técnica é mais comumente usada, apenas com o inconveniente de requerer a geração de 12 números aleatórios para produzir uma variável aleatória que é normalmente distribuída. Isso pode constituir um problema, se o gerador de números aleatórios tiver um ciclo muito curto.

2.4.3 - Modelos Matemáticos no Planejamento da Produção

O planejamento de produção pode ser feito por julgamento subjetivo, por tentativa ou pela aplicação de modelos matemáticos. Eles são objetos físicos usados para representar construções matemáticas (fórmulas, funções, gráficos, etc.).

Os modelos matemáticos não podem ser construídos independentemente do problema real. Uma análise associada ao trabalho experimental deve ser feita com finalidade de validar o modelo. A interface entre o problema real e o modelo requer conhecimento das técnicas matemáticas. O desenvolvimento de modelos matemáticos podem auxiliar na resolução dos problemas, além disso, permitem um melhor entendimento do problema, possibilitando um planejamento mais eficiente dos sistemas. Um modelo nunca será totalmente real, devido principalmente aos fatores aleatórios que são incontrolláveis. Nesse caso, o essencial é que ele deve refletir a realidade o máximo possível, considerando os fatores mais importantes do sistema.

A grande dificuldade na construção do modelo consiste em se determinar o que é importante no sistema. E, assim, o objetivo fundamental na construção é a identificação das variáveis que satisfaçam as restrições impostas pelo

problema de forma a permitir a obtenção da solução que possibilite a otimização do sistema. Uma vantagem óbvia é que os modelos matemáticos descrevem os problemas de modo mais simples. Isto tende a tornar a estrutura geral do problema mais compreensível, ajudando a revelar importantes relações causa-efeito, Hiller (1988).

CAPÍTULO 3

O AMIANTO

3.1 - Histórico

Desde a pré-história, o homem utiliza o amianto na cerâmica ou em tecidos. Contudo, foi com a revolução industrial que o amianto passou a atender novas necessidades tecnológicas.

Amianto ou asbesto é o nome comercial dessas fibras, que diferem entre si tanto do ponto de vista mineralógico e químico quanto de suas propriedades físicas. É um minério natural, classificado basicamente em dois grandes grupos: serpentinitas que engloba o crisotila e os anfibólios, composto pela amosita, tremelica, crocidolita, etc. Atualmente, são conhecidos cerca de trinta minerais fibrosos, mas somente a crisotila, crocidolita e amosita têm expressão econômica. Porém, o principal é a crisotila, conhecida como amianto branco. Sendo, portanto, o mais comum, aparece em ocorrências variadas em toda crosta terrestre e atende cerca de 97% do consumo mundial.

3.2 - Reserva

Há milhões de anos, rochas de origem eruptiva como as piroxenitas foram alteradas por ações hidrotermais em serpentinitas. Parte delas se recristalizaram como material fibroso nas fissuras e rupturas da rocha matriz.

Grandes depósitos foram descobertos no Canadá, especialmente na região de Thetford Mines na província do Quebec e antigas minas foram reabertas na Itália e na África do Sul. Até o ano de 1900 foram empregadas pelo homem cerca de 250 mil toneladas. Porém oitenta anos depois, o consumo chegou a cerca de 100 milhões de toneladas.

Os depósitos mais importantes localizam-se no Canadá e em Bazhinovo na Rússia, sendo responsáveis pela produção de aproximadamente 77% das fibras de amianto consumidas mundialmente.

As reservas de amianto (indicadas e inferidas) foram avaliadas em 65.758.000 toneladas em 1991. O Brasil é o terceiro maior produtor de amianto-crisotila do mundo, precedido pelo Canadá e Rússia. O depósito brasileiro de maior importância é o de Cana Brava pertencente à SAMA. Este depósito abastece o mercado nacional na produção de fibrocimento, lonas de freio, papéis, etc. O excedente é exportado principalmente para: Japão, Índia, Tailândia, Argentina e México.

3.3 - Usos e Especificações

O amianto é utilizado em mais de três mil itens industriais, entre os principais podemos citar: produto de fibrocimento, materiais de fricção, têxteis, papel e feltros, além de servir como parte de processos fabris.

Os produtos de fibrocimento representam cerca de 80% do consumo total de amianto e cobrem uma grande quantidade de produto empregada na construção civil: chapas de coberturas onduladas de vários perfis e comprimentos; peças moldadas como caixas d'água, chapas acústicas e painéis, paredes internas e externas, forros, calhas, tubos para irrigação, adução e esgoto, ductos de ventilação. A versatilidade, economia e alta resistência, são características que explicam a preferência pelos produtos de fibrocimento, sendo um setor que gera milhares de empregos diretos. O amianto é misturado ao cimento comum numa proporção de 10% a 15% da massa total.

O amianto é o material ideal para resistir aos efeitos da fricção, tanto para freios quanto para embreagens. Pelo fato de ter custo menor que qualquer outro possível substituto, responde às exigências de elevados níveis de fricção, estabilidade térmica e propriedade de reforço, permitindo elevado desempenho na indústria automobilística e aeronáutica. Possui excelente resistência ao calor, não sofrendo ação do vapor dos ácidos, como no caso da crocidolita, nem de material orgânico ou demais agentes agressivos presentes na indústria; além disso, tem baixa condutibilidade elétrica, um elevado poder filtrante e alta resistência mecânica à abrasão e à tração de até 350 kg/mm^2 , maior até que o aço comum. No caso da crisotila, outras propriedades determinam a difusão de seu emprego industrial como: comprimento da fibra, flexibilidade, diâmetro reduzido (podendo chegar a medidas inferiores a 0,1 micron) da fibra, resistência à umidade e à tração de até 580 kg/mm^2 .

O comprimento das fibras de crisotila, geralmente perpendiculares às paredes dos veios, varia de 1 milímetro até 5 centímetros. A fórmula da crisotila $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, normalmente contém pequenas quantidades de alumínio, ferro, cálcio e traços de outros metais como o níquel, cromo, cobalto e cobre.

3.4 - Consumo

Do montante de amianto produzido e consumido no mundo, a antiga União Soviética e seus países satélites eram responsável por cerca de 50%. A parte restante, corresponde à demanda do mundo ocidental. Entretanto, verificou-se nos últimos anos, uma redução no consumo nos USA e Norte da Europa. Isso deve-se principalmente a um processo de formação da opinião pública nos últimos anos, através dos meios de comunicação. É preciso observar que o amianto vem sofrendo várias exigências com relação à segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com o bem mineral. Tais exigências provocaram uma redução no consumo, e conseqüentemente, na produção.

Em âmbito mercadológico, um dos principais desafios da SAMA é conscientizar clientes e usuários do amianto sobre seu uso controlado, no que se refere à segurança ocupacional e ambiental de todos os seus funcionários e mesmo da comunidade onde atua. A empresa desenvolve um amplo trabalho de proteção que se inicia na mina, desde a perfuração da rocha para colocar os explosivos, se estendendo até o transporte do produto final.

O asbesto, que propicia o surgimento de doenças relacionadas com sua utilização, como asbestose, câncer do pulmão e outras, é uma das substância mais estudadas e pesquisadas no mundo em relação a riscos ocupacionais. Está

comprovado cientificamente que a crisotila, desde que trabalhada em condições adequadas e corretas de higiene e segurança, não oferece riscos à saúde do ser humano. A tese fundamental sobre o problema social do amianto diz respeito ao fato dele ser perigoso e prejudica a saúde do ser humano. Tanto é que sua exploração foi extinta na Europa e USA. No Brasil, essa discussão tem tomado vulto a partir dos estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde. Entre os tipos disponíveis de amianto, o produzido pela SAMA é o crisotila, que está comprovado não ser prejudicial a saúde.

Apesar dessas restrições ideológicas, foi verificado um aumento no consumo do amianto nos países do Terceiro Mundo e, até mesmo, em países industrializados da Ásia, como o Japão, que vem se destacando como grande consumidor.

No Brasil, do montante produzido pela SAMA, cerca de 60% são destinados à fabricação de produtos de cimento-amianto (fibrocimento); de 15% a 18% para a indústria automobilística e 25% para a exportação.

CAPÍTULO 4

A MINA

A Mina de Cana Brava, pertencente à S.A. Mineração de Amianto - SAMA, foi o primeiro polo mineral implantado de acordo com as modernas técnicas de organização no Estado de Goiás. À margem esquerda do rio Tocantins, a 530 km de Goiânia e a 140 km da rodovia Belém-Brasília, o empreendimento é responsável pela auto-suficiência do País na produção de amianto-crisotila, economizando dezenas de milhões de dólares, proporcionando inúmeros benefícios à região e gerando ao Estado e ao País uma importante arrecadação em forma de impostos e royalties. A SAMA foi fundada em 1939 para produzir amianto na Mina São Félix, município de Poções, Bahia. Durante quase 30 anos, de 1940 a 1967, a mina esteve em lavra, até encerrar sua operação devido a redução da reserva de minério e do seu caráter antieconômico. Desde sua constituição, a SAMA procurou a auto-suficiência brasileira em amianto e investiu na pesquisa de novas jazidas. Enquanto a operação de lavra prosseguia na mina no estado da Bahia, eram realizadas pesquisas em ocorrências de minerais de crisotila no Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Goiás.

No Sul de Goiás, uma ocorrência de crisotila já era conhecida e pesquisada desde os anos 40, no município de Pontalina. O interesse da SAMA pelo Estado de Goiás aumentou a partir de 1954, com a descoberta de uma ocorrência na Fazenda Santo Antônio da Laguna, município de Barro Alto. Mas, foi somente em 1962, vencendo inúmeras dificuldades, que uma expedição da SAMA chegou à região onde se localiza hoje a Mina de Cana Brava. O objetivo era confirmar informações sobre estranhas "pedras cabeludas", recebidas de um modesto comerciante de Trompas, atual Serra Dourada.

4.1 - Caracterização da Área

A mina de Cana Brava, situa-se no extremo norte do Estado de Goiás, na extremidade sudeste da serra homônima, município e distrito de Minaçu, conforme mostrado na figura 4.1.

O acesso, a partir de Brasília, é feito pela BR-20 até a localidade de Alto Paraíso de Goiás, tomando-se daí uma estrada pavimentada que segue para Colinas e Barragem de Serra da Mesa, atingindo Minaçu com um total de 450.Km.

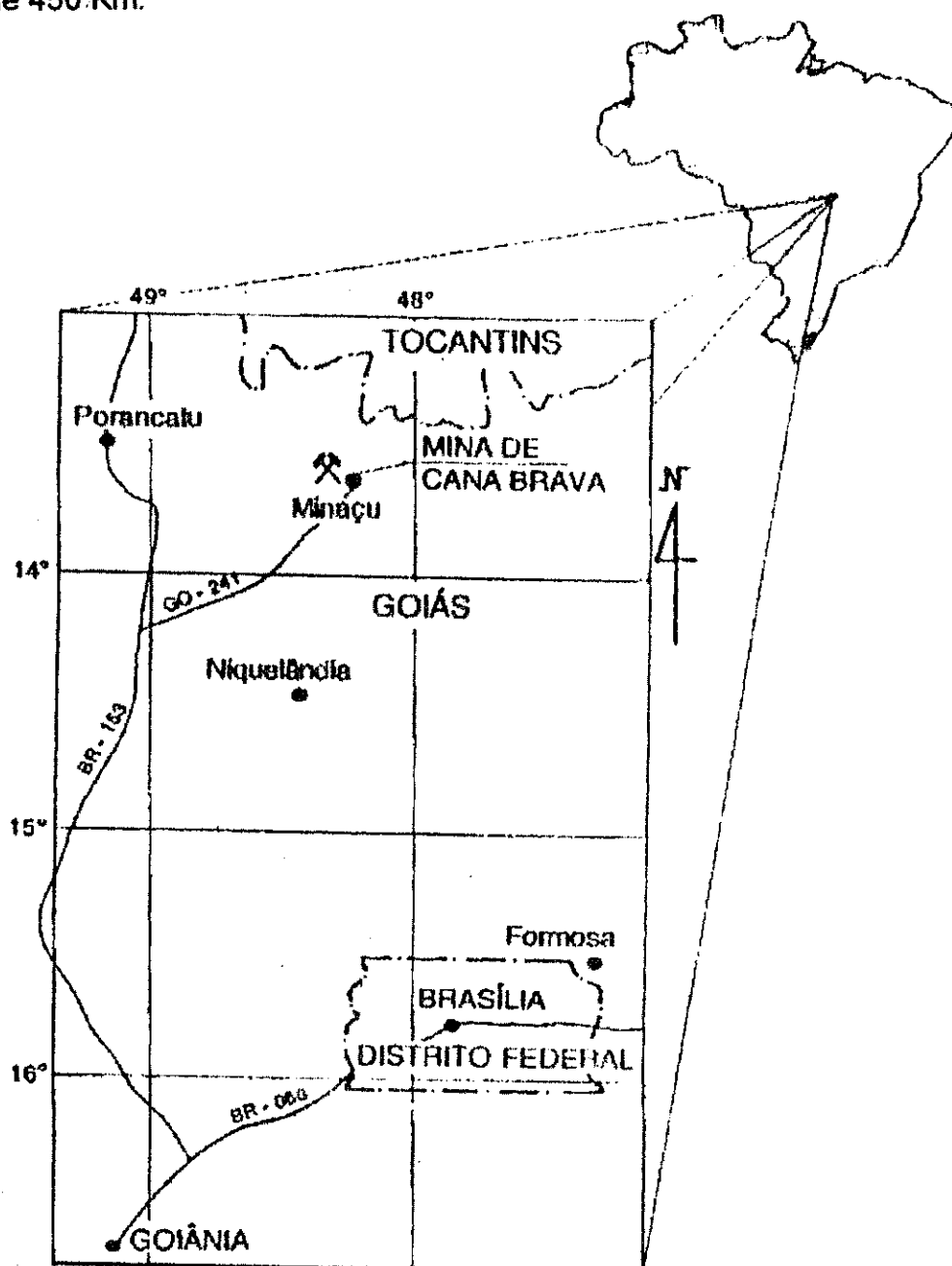


Figura 4.1 - Localização e Situação da Mina Cana Brava

4.2 - Aspectos Fisiográficos

4.2.1 - Clima

O clima pode ser classificado de quente e sub-úmido, com quatro a cinco meses secos; as características onduladas são marcantes, visto que 80% das chuvas ocorrem no período de novembro a março, enquanto no restante do ano a umidade relativa do ar permanece baixa.

4.2.2 - Solo

Os solos da região estão fortemente ligados às expressões de relevo e à variada composição litológica, principalmente de rochas do pré-cambriano. Os solos geralmente são rasos e incipientes nas formas do relevo mais colinoso. Nos vales, mais raramente; nas partes de relevo mais aplainado desenvolvem-se os solos vermelho-amarelados. Uma das variações mais expressivas, ocorre no complexo básico-ultrabásico de Cana Brava, cujo intemperismo das rochas originam solos mais férteis; nas partes mais íngremes, a terra roxa estruturada em menores declividades e nas porções mais suaves, o solo roxo sob vegetação de floresta.

4.3 - Aspectos Sócio-Econômicos

O município de Minaçu, caracteriza-se por uma densidade demográfica média em relação as grandes cidades do País, com acentuada migração nos últimos anos dos habitantes rurais para a zona urbana como consequência da implantação das obras da Hidroelétrica de Serra da Mesa por FURNAS no final de 1986 e à decrescente atividade garimpeira na região.

A ocupação territorial ocorre, geralmente, segundo pequenas e médias propriedades rurais, que têm como atividade principal a pecuária, raramente intensiva, seguida de uma agricultura basicamente de

subsistência, através do plantio de arroz, milho, pequenos pomares e a criação de bovinos e suínos.

A atividade garimpeira, perene na região desde tempos do Brasil Colônia, muito próspera no início da década de 80, viu seu fulgor diminuir com a fiscalização dos órgãos de preservação do meio ambiente. O grande contingente de garimpeiros diluiu-se por garimpos de outras regiões, ou então, emprestou sua mão-de-obra às companhias locais (FURNAS e SAMA) . O bem mineral mais garimpado foi ouro, seguido de cassiterita, mica, tantalita, rutilo, etc.

4.4 - Geologia Local

A mina de Cana Brava engloba três decretos de lavra que foram transformados num grupamento mineiro, tendo área total de 14 km². Situa-se na extremidade sudeste do maciço de Cana Brava, sendo formada por serpentinitos e metapiroxenitos, encaixados entre metabasitos na base e metagabros no topo, descontinuamente aflorantes no flanco leste da serra homônima, com mergulhos variáveis de 10 a 70° para W e NW.

No sudeste do Maciço de Cana Brava tem-se a maior expressão de rochas ultrabásicas aflorantes, onde foram iniciados os trabalhos de pesquisa em 1962, delimitando-se três corpos (A, B e F), descontínuos, onde a mineralização ocorre na base dos pacotes A e B, e no meio do F.

A faixa mineralizada tem uma extensão de 6300 m, com forma grosseiramente tabular e dobrado, com aproximadamente 1500 m na direção E-W. A borda sul do maciço tem 4800 m na direção N-S. A largura da zona mineralizada é variável, podendo atingir até 450 m no corpo B, 250 m no corpo A e cerca de 150 m no corpo F, com espessura média de 100 a 110 m, podendo chegar até 180 m, em alguns locais do corpo A.

A mineralização é do tipo "stockwork", com veios de crisotila erraticamente distribuídos na massa serpentinitica e, mais raramente, na forma paralela (tabular). O principal tipo de fibra é a "cross", transversal à parede do veio e, muito raramente, são encontradas fibras "slip", paralelas às paredes dos veios, mais comuns nas zonas de cisalhamento intenso. A fibra é de brilho sedoso, flexível, com partições devido a esforços tectônicos posteriores à sua formação, em cujos planos se alojam grãos de magnetita.

4.5 - Aspectos Relativos à Jazida

A jazida é constituída por dois corpos principais (A e B), separados por uma distância aproximada de 400 m conforme mostrado na figura 4.2.

O corpo A assemelha-se a um "S" alongado na direção N-S, com mergulho de 40° a 45° para oeste, comprimento aproximado de 1.100m e espessura de 50m a 70m, conforme ilustrado na figura 4.3. O corpo B, possui cerca de 1.200m de comprimento na mesma direção que o corpo A e espessura semelhante; sendo o mergulho de 40° a 45° para oeste, acentuando-se na porção sul, onde atinge até 60°. O capeamento é constituído por uma camada de solo que varia de 1m a 15m de espessura.

A jazida possui teor médio 5,2% em fibra de crisotila. O conhecimento geológico atual das reservas, obtido através de campanha sistemática de sondagem desenvolvida pela empresa, projeta a vida útil da mina para mais 25 anos, de acordo com o nível de produção atual, podendo ser ampliada com o detalhamento das reservas nos corpos A e B e com a pesquisa que se encontra em andamento de um terceiro corpo mineralizado.

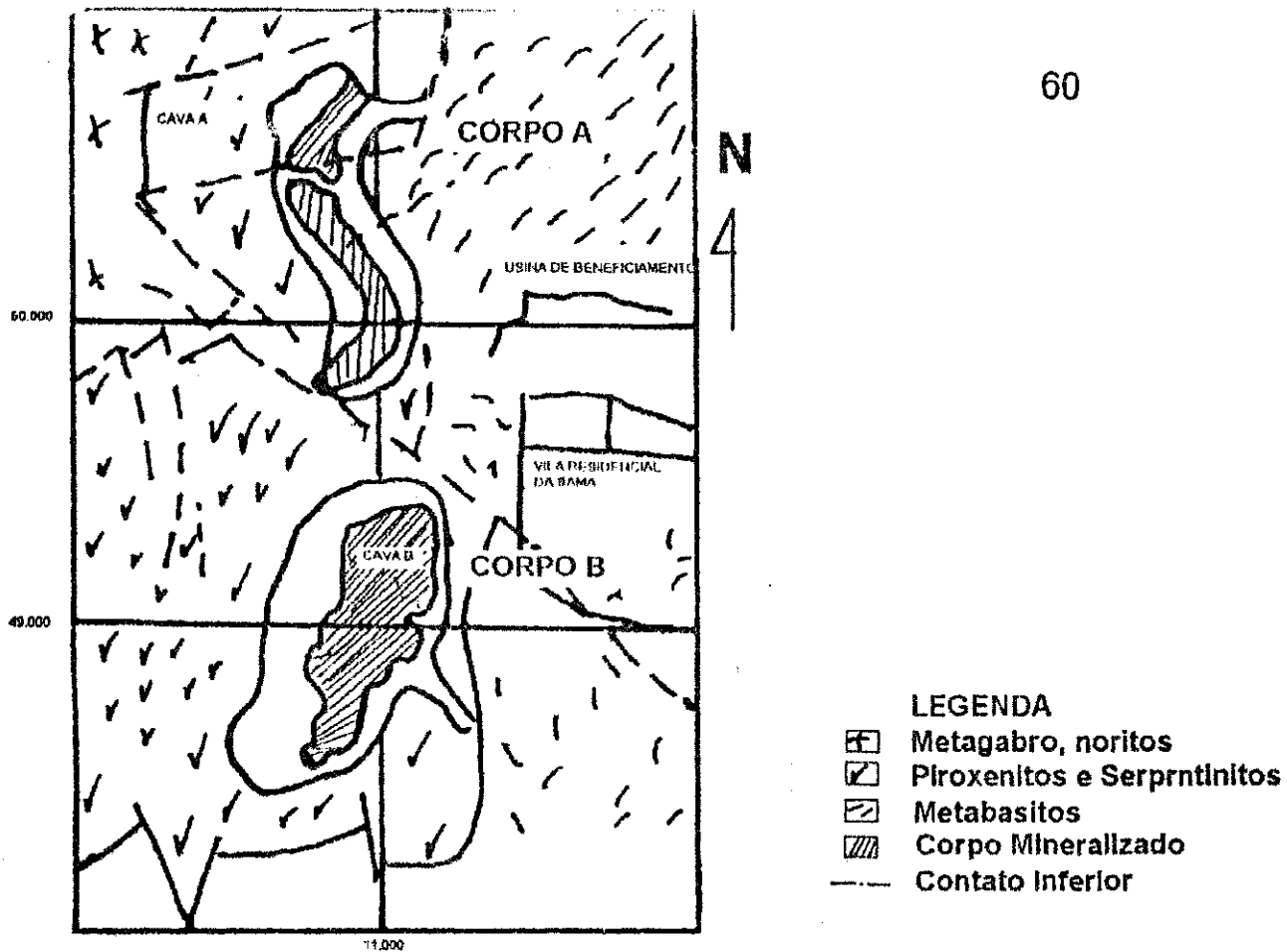


Figura 4.2 - Geologia e Localização dos Corpos Mineralizados

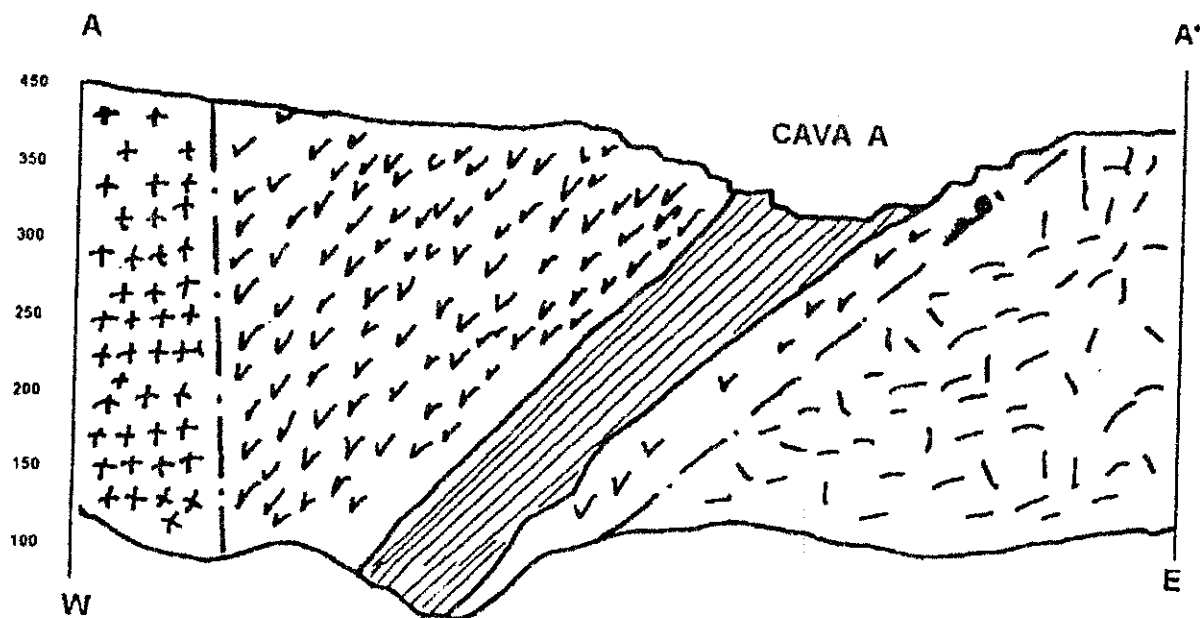


Figura 4.3 -Perfil Geológico da Seção AA'

4.6 - Aspectos Relativos à Lavra

Os métodos convencionais de lavra a céu aberto, seja em flanco ou em cava, caracterizam-se basicamente por serem métodos de operação de larga-escala.

Diversos fatores influenciam na escolha do método de lavra e, em geral, eles podem ser classificados como: naturais, ambientais e econômicos. No entanto, o elemento principal que determina a análise de um projeto de mineração está relacionado com a maximização da taxa de retorno.

Na mina Cana Brava o método de lavra a céu aberto utilizado é por bancos, existindo duas cavas (A e B) que podem ser observadas na figura 4.4. A extração do minério é conduzida simultaneamente nas duas cavas, com a finalidade de obter uma melhor qualidade do produto, os quais devem ser adequados à alimentação da usina de beneficiamento e aos padrões de consumo do mercado consumidor.

A lavra se desenvolve pelo método clássico de extração em bancadas, com utilização de explosivos. As bancadas têm 10m de altura para o minério e 15m para o estéril, com bermas variando de 5m a 7m de largura. A inclinação dos taludes individuais nas bancadas é da ordem de 70° ; e na configuração global da cava, situa-se entre 45° e 50° conforme mostrado na figura 4.5.

A relação estéril/minério média é de 3,3 em peso, considerando um projeto final de extração de até 200m de profundidade. A partir desta profundidade, existe a alternativa de continuidade da extração pelo método de lavra subterrânea, porém, tal decisão ainda depende dos estudos de viabilidade econômica.

No minério são utilizadas carregadeiras e no estéril escavadeiras elétricas. São empregados caminhões fora-de-estrada, para o transporte do material lavrado, tanto para o britador como para o bota-fora.

O posicionamento das escavadeiras nos bancos varia de acordo com a situação em que se encontra o material. A escavadeira normalmente é posicionada de frente para o banco, de forma a permitir o carregamento duplo, levando em consideração à segurança da máquina e da operação.

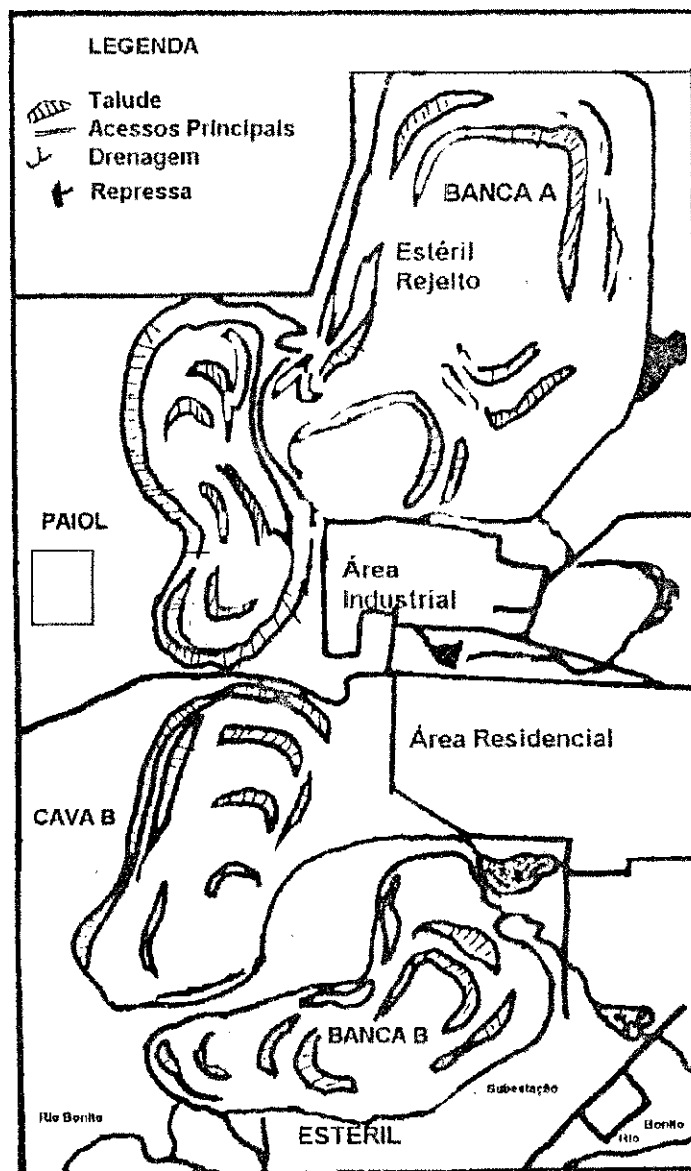


Figura 1.4 - Planta Geral do Empreendimento (Projeto Atual)

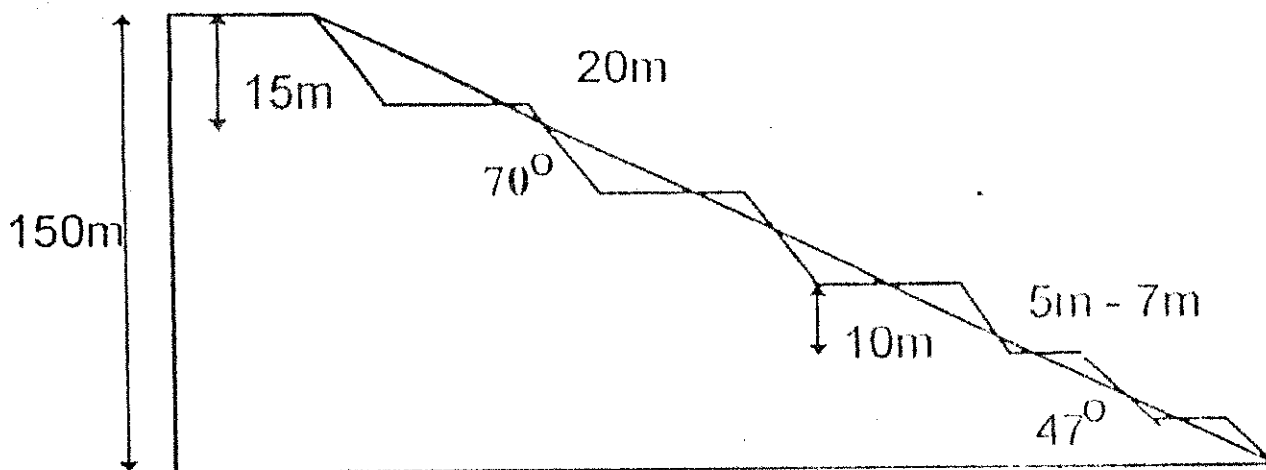


Figura 4.5 - Perfil Hipotético das Bancadas.

4.6.1 - Bancos de Estéril

Quando o material solto é despejado numa pilha, ele naturalmente permanecerá de forma estável. O ângulo que a pilha faz com a horizontal é denominado de ângulo de repouso. Este é o valor máximo do ângulo ao qual a pilha permanece estável. O ângulo de repouso é variável, característica para cada tipo de material, apresentando uma pequena variação, dependendo de fatores, tais como: conteúdo da mistura, tamanho e forma das partículas, etc.

Na mina Cana Brava, os bota-fora são dispostos em bancos, seja para estéril ou rejeito. No caso do rejeito, ainda existem lagoas para espessamento do pó. Tendo em vista a preservação ambiental, são executados projetos de reflorestamento e reposição de solo. A recuperação dos bancos e o controle ambiental é uma preocupação constante, principalmente em relação ao rejeito, pois ainda contém finas partículas de amianto de difícil aproveitamento industrial. Os bancos de rejeito obedecem a uma inclinação de 30° e são cobertos por gramíneas, evitando-se a erosão.

CAPÍTULO 5

O SIMULADOR ESTOCÁSTICO

5.1 - Introdução

O objetivo deste programa é calcular a produção da mina com a regra de despacho fixo. Isto porque o sistema utilizado pela SAMA é de alocação fixa. O programa denominado "DESTINAR" consiste basicamente de um controle principal e cinco subrotinas. Além disso, uma função "YRAND" é utilizada para gerar os números aleatórios.

Inicialmente o programa chama a primeira subrotina "VERIFICA", com a função de conferir as posições dos caminhões em todas as rotas de transporte. As demais subrotinas são usadas para calcular o tempo dos eventos de carregamento, despejo, transporte vazio e carregado. As funções de entrada e saída dos dados são controladas pelo programa principal. O fluxograma do programa é apresentado na figura 5.1

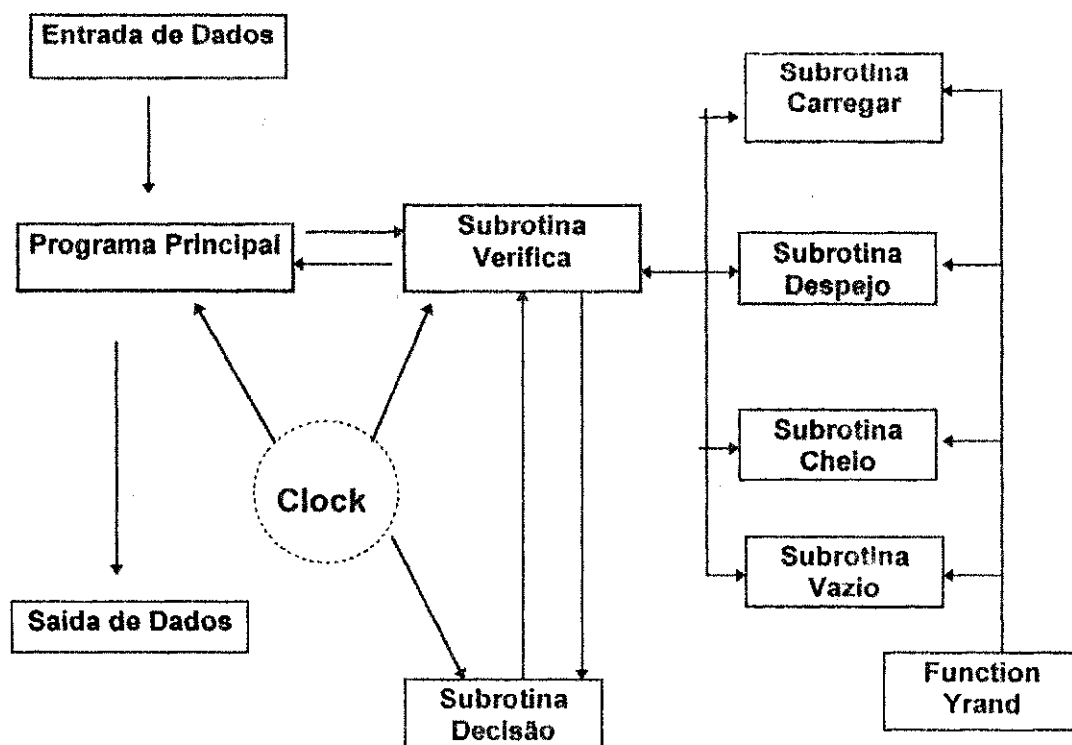


Figura 5.1 - Fluxograma do Programa de Simulação Estocástica

5.1.1 - Subrotina VERIFICA

Esta subrotina é sempre calculada de acordo com a disponibilidade do caminhão. Inicialmente a disponibilidade da escavadeira é determinada. Se a escavadeira estiver disponível, o tempo de transporte vazio é gerado e a subrotina "CARREGAR" é chamada para gerar o tempo de carregamento. Quando a carregadeira não está disponível é iniciado uma contagem de tempo de espera para o caminhão de forma a acumular o tempo de espera. Os caminhões esperando para serem carregados são ordenados de acordo com sua ordem de chegada. Esta condição é imposta para ser executada a regra "primeiro a chegar é o primeiro a ser servido" que é um princípio de grande aplicação, principalmente quando a regra de ordenação é baseada na teoria da fila. Os caminhões esperando no carregamento ficam parados, acumulando tempo independentemente da disponibilidade de outra escavadeira. No momento que o caminhão completa seu carregamento, a subrotina "CHEIO" é chamada para gerar tempo de transporte carregado. Imediatamente, é verificada a disponibilidade do ponto de despejo. Quando o tempo de transporte carregado tornar-se zero, a subrotina "DESPEJO" é solicitada para gerar um tempo de despejo para o caminhão. Obviamente existe a condição do caminhão esperar em fila para despejar, principalmente se estiver no britador. Depois de concluído o despejo, um tempo de transporte vazio é gerado na subrotina "VAZIO". Este processo é repetido até o final do período da simulação.

5.1.2 - Subrotina CARREGAR

Esta subrotina é usada para gerar o tempo de carregamento do caminhão, sendo que a variável de entrada é o número de caminhões. O tempo de carregamento é calculado por um processo de geração de números aleatórios, que determina uma variável aleatória que representa este evento. A distribuição de Weibull foi usada para modelar esse evento. Para representação do tempo de carga poderia ser usada distribuição normal ou log-normal, por tratar-se de um processo essencialmente repetitivo. Entretanto, a distribuição de Weibull foi selecionada devido à possibilidade

de se adaptar dados experimentais. Através do uso desta distribuição é possível garantir que não serão produzidos valores abaixo do mínimo imposto pelos parâmetros da distribuição devido à limitação física dos equipamentos.

5.1.3 - Subrotina DESPEJO

Esta subrotina possui uma estrutura similar a subrotina "CARREGAR", sendo sua função gerar o tempo de despejo. A variável de entrada é o número do caminhão. Um número aleatório é necessário para gerar uma variável que represente esse evento, o que é feito através da função YRAND. Novamente a distribuição de Weibull é utilizada, resguardando o mesmo critério de limitação do equipamento

5.1.4 - Subrotina CHEIO

Os parâmetros de entrada são: número de caminhões, tempo médio de transporte carregado e o desvio padrão dos tempos de transporte carregados. O modelamento dessa variável foi baseada numa distribuição normal que é caracterizada pela média e desvio padrão. Para calcular a variável aleatória que represente o tempo de transporte carregado a técnica da soma dos doze números aleatórios foi usada.

5.1.5 - Subrotina VAZIO

O programa é inicializado supondo que todos os caminhões estejam parados, sendo necessária apenas a geração do tempo de transporte vazio. Isto é feito na subrotina VAZIO, onde a todos os caminhões é dada a condição de estar trafegando vazio. Esta subrotina é usada para calcular o tempo de transporte vazio e é modelada por uma distribuição normal.

5.2 - Entrada e Saída do Programa

A definição dos parâmetros usados no modelo é pré-requerido para sua aplicação. É extremamente difícil a generalização das variáveis de entrada, de forma a tornar o modelo universalmente aplicável. Os parâmetros usados

no modelo foram definidos de acordo com as condições operacionais existentes na mina Cana Brava. Com a finalidade de simplificar o modelo foram feitas suposições apropriadas entretanto, os resultados obtidos pelo modelo podem ser extrapolados para satisfazer outras restrições. Como todas as minas são diferentes, a definição dos parâmetros deve ser apropriada para as necessidades específicas.

Um dos aspectos mais importantes de qualquer modelo de simulação é a confiabilidade dos resultados produzidos. Isso é função da precisão dos dados de entrada provenientes do estudo de tempos. Esse estudo é de fundamental importância na decisão de quanto do sistema real deve ser representado no modelo. Para analisar os resultados produzidos pelo modelo, é necessário levar em consideração as diferenças existente entre o sistema real e o modelo.

A técnica de simulação caracteriza o sistema em termos de seus componentes e de um conjunto um conjunto de regras que relacionam as interações entre esses componentes. Dessa forma, o modelo é definido por esse conjunto de regras e por seus componentes. Esses componentes são os caminhões e os equipamentos de carregamento com suas próprias características.

Após a realização do estudo de tempos, é necessário construir histogramas para cada evento, e assim avaliar o tipo de distribuição que melhor se adapte aos dados coletados. Uma vez que os histogramas e a curva de probabilidade tenham sido estabelecidas é preciso aplicar um teste de confiabilidade para garantir se os dados estão adequadamente modelados pela distribuição. O teste aplicado foi o Kolmogorov-Smirnov. A estrutura dos dados de entrada é apresentada na tabela 5.1.

A configuração dos dados de saída do programa "DESTINAR" é apresentado na tabela 5.3.

Tabela 5.1 - Configuração dos Dados de Entrada (DESTINAR)

MINA CANA BRAVA : 308NB, 358NA, 348NWA, 368SA 328WB															
Número de Caminhões				Número de Carregadeiras				Número de Pontos de Despejo							
11				5				3							
Caminhões do Mesmo Tipo = 11								Carregadeiras do Mesmo Tipo = 4							
Duração da Simulação = 360								Incremento do Relógio = 0.5							
Parâmetros Estatísticos de Weibull															
Despejo								Carregamento							
Alfa	Beta	Gama	Média	Alfa	Beta	Gama	Média	Alfa	Beta	Gama	Média	Alfa	Beta	Gama	Média
1,85672	0,41673	0,3115	0,36	1.17890	0,52221	2.95666	3,77	1.85672	0,41673	0,3115	0,36	0.90033	1.53019	2.41766	3.45
1,85672	0,41673	0,3115	0,36	0.90033	1.53019	2.41766	3.45								
Coeficiente de Variância															
Carregado = 0.11								Vazio = 0.11							
Tempo de Transporte Vazio para Todas as Rotas															
6,2	3,31	3,72	3,12	3,98	5,36	5,40	4,56	12,4	4,43	10,5	11,2	3,35	6,25	4,69	
Tempo de Transporte Carregado para Todas as Rotas															
8,79	4,73	5,08	5,61	5,09	8,75	6,15	5,79	14,7	5,99	14,2	13,5	5,87	11,5	8,28	
Distribuição dos Caminhões nas Escavadeiras/ Carregadeiras															
1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Alocação das Escavadeiras/Carregadeiras nas Frentes															
1			1			2			2					3	
Capacidade dos Caminhões = 85 toneladas															

Tabela 5.2 - Arquivo de Entrada de Dados

```

11 5 3
11 4
360 0.5
1.85672 0.41673 0.3115 0.36
1.85672 0.41673 0.3115 0.36
1.17890 0.52221 2.95666 3.77
0.90033 1.53019 2.41766 3.45
1.17890 0.52221 2.95666 3.77
0.90033 1.53019 2.41766 3.45
0.11 0.11
0.10 0.10
6.20 3.31 3.72 3.12 3.98 5.36 5.40 4.56 12.39 4.43 10.48 11.18 3.35 6.25 4.69
8.79 4.73 5.08 5.61 5.09 8.75 6.15 5.79 14.66 5.99 14.20 13.49 5.87 11.55 8.28
6.20 3.31 3.72 3.12 3.98 5.36 5.40 4.56 12.39 4.43 10.48 11.18 3.35 6.25 4.69
8.79 4.73 5.08 5.61 5.09 8.75 6.15 5.79 14.66 5.99 14.20 13.49 5.87 11.55 8.28
1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5
1 1 2 2 3
85. 85.

```

Tabela 5.3 - Configuração dos Dados de Saída do Programa (DESTINAR)

Título da Simulação		
Regra de Despacho Utilizada		
Número Total de Simulação		
Número de Caminhão	Número de Carregadeira	Número de Pontos de Despejo
Duração da Simulação		Incremento do Relógio
Parâmetros Estatísticos da Distribuição de Weibull		
CARREGAMENTO : ALFA	BETA	GAMA
DESPEJO : ALFA	BETA	GAMA
Tempo Médio de Carregamento		
Capacidade dos Caminhões		
Tempo Médio de Transporte Vazio		
Britador	Bota-Fora A	Bota-Fora B
Tonelagem Produzida	Tempo de Espera no Carregamento	Tempo de Espera no Despejo
Carregadeira	Produção	Tempo Ocioso
Despejo	Produção	Tempo Ocioso
Produção Total		
Tempo de Espera dos Caminhões na Carregadeiras		
Tempo de Espera dos Caminhões no Despejo		

CAPÍTULO 6

VALIDAÇÃO DO MODELO

6.1 Introdução

Uma vez que o modelo esteja construído, ele pode ser usado para obter a solução exata ou aproximada do problema, dependendo do tipo de modelo desenvolvido.

O objetivo principal de um modelo de otimização, é fornecer a melhor solução para o problema. Entretanto, como o modelo nunca é a fiel representação da realidade a solução ótima do modelo, raramente constitui-se a melhor solução do sistema real. No desenvolvimento de um modelo, espera-se que ele seja a melhor representação do problema real, dessa forma, a solução ótima obtida pelo modelo, deve ser considerada a melhor solução do problema real.

A validação de um modelo pode ser realizada de duas formas distintas. A primeira, consiste em executar o modelo em paralelo com o sistema real. A segunda, seria utilizar os dados históricos obtidos na operação do sistema e, posteriormente, introduzir no modelo desenvolvido. Fornecendo uma base concreta para comparação. O programa de simulação foi validado dessa forma, pois não seria viável tanto do ponto de vista econômico executar o modelo paralelamente com a operação. A tabela 3.2, apresenta a estatística da produção por turno, referente ao mês de abril de 1994. O principal problema encontrado na validação do modelo, foi obter um número suficiente de turnos que tivessem o mesmo número de caminhões operando com os equipamentos de carregamento nas mesmas posições. Entre os 72 (setenta e dois) turnos analisados, apenas 2 (dois) conjuntos foram selecionados. Posteriormente, foi aplicado um estudo estatístico para avaliar os dados obtidos com a finalidade de produzir informações precisas.

O número de caminhões usados nestes testes foram 10 e 11, enquanto que o número de equipamentos de carga foi mantido em 5, variando apenas o banco onde cada um operava. O número de observações feitas para cada conjunto de dados, foram 7 e 8 respectivamente, tabela 6.3. Então, para cada conjunto de dados, apenas um turno foi escolhido para ser simulado. Os turnos escolhidos foram aqueles que apresentavam a menor variabilidade. Isto é, o primeiro turno do dia 14/04, para 10 caminhões, e o terceiro turno do dia 08/04 para 11 caminhões. Isto só foi possível devido ao fato de que nesses turnos as condições operacionais foram mantidas aproximadamente constantes.

O modelo foi inicialmente testado para um turno completo de 480 minutos. Porém, devido as diferenças entre os resultados obtidos pelo simulador e a estatística atual de produção, foi posteriormente decidido, que o período de simulação que mais aproximava dos dados de produção, era 360 minutos. O que faz sentido, já que o simulador não leva em conta as paradas para almoço e/ou lanche, quebra dos equipamentos, atrasos na operação, abastecimento, início e final do turno.

Obviamente que os relatórios de produção apresentavam um pequeno número de observações para estatisticamente comparar os resultados da simulação com os dados reais de produção da mina. Em termos gerais o programa produz resultados os quais são suficientemente próximos da produção real, para garantir sua aplicabilidade em um estudo de produtividade. Entretanto, qualquer conclusão tirada dos resultados do simulador deve referenciar o fato de que, o modelo foi simplificado em comparação ao sistema real. Em particular, o fato de que o turno de produção, teria apenas 360 minutos de trabalho efetivo, sem qualquer interrupção, o qual cria um período prolongado de condições de regime. Isso, sem dúvida produz maiores benefícios relativos para qualquer outro tipo de alocação se comparado com a alocação fixa dos equipamentos de transporte.

A tabela 6.1, apresenta os tempos dos eventos de transporte, carregamento e despejo, bem como o tipo de material com que cada carregadeira estava operando. Na tabela 6.2, são apresentados as produções dos turnos onde foi

mantida as mesmas condições de operação, por esse motivo foram tomados como base para validar o modelo. As tabelas 6.3 e 6.4, mostram respectivamente os dados de entrada e saída, para 10 caminhões. A tabela 6.5, apresenta os resultados das simulações para 10 caminhões. Nas tabelas 6.6, 6.7 e 6.9, são apresentados respectivamente os dados de entrada, os dados de saída e os resultados das simulações para 11 caminhões. Os parâmetros estatísticos usados para comparação foram a média e o desvio padrão.

Tabela 6.1 - Características dos Tempos / Validação do Programa 10 e 11 Caminhões

Número de Caminhões - 10						
Carregadeira	Minério	Estéril	Tempo de Transporte (min)		Carregamento (min)	Despejo (min)
			Vazio	Carregado		
1	X		4,81	5,81	2,95	0,50
2	X		5,77	9,38	2,95	0,50
3	X		5,07	8,80	2,95	0,50
4		X	8,13	12,68	2,42	0,50
5		X	7,53	10,11	2,42	0,50

Número de Caminhões - 11						
Carregadeira	Minério	Estéril	Tempo de Transporte (min)		Carregamento (min)	Despejo (min)
			Vazio	Carregado		
1	X		4,28	8,52	2,95	0,50
2	X		3,94	6,50	2,95	0,50
3	X		4,33	5,25	2,95	0,50
4		X	8,13	12,68	2,42	0,50
5		X	7,53	10,11	2,42	0,50

Tabela 6.2 - Estatística de Produção para Validação do Programa 10 e 11 Caminhões

10 Caminhões			
Dia / Turno	Minério (ton.)	Estéril (ton.)	Total (ton.)
13/1	2.040	11.285	13.325
14/1	5.832	9.397	14.779
15/1	1.235	11.778	13.013
15/2	2.312	11.623	13.935
20/1	3.442	9.599	13.041
21/3	2.614	10.404	13.018
29/3	1.555	12.431	13.986

11 Caminhões			
Dia / Turno	Minério (ton.)	Estéril (ton.)	Total (ton.)
7 / 2	3.687	11.598	15.285
8 / 3	7.594	8.274	15.868
11 / 1	5.990	9.711	15.701
12 / 1	5.940	9.088	15.028
19 / 3	3.003	12.288	15.291
21 / 1	6.721	8.846	15.567
28 / 3	4.516	11.989	16.515
30 / 3	5.557	11.247	16.804

Tabela 6.3 - Dados de Entrada para Validação do Modelo - 10 Caminhões

Regra de Despacho : Despacho Fixo; Número Total de Simulações = 20; Número de Caminhões 10; Número de Carregadeiras 5; Número de Pontos de Despejo 2; Duração da Simulação = 360 (minutos); Incremento do Relógio 0.50 (minutos) ; Parâmetros Estatísticos de WEIBULL; Carregamento : Alfa = 1.1789 Beta = 0.5222 Gama = 2.9566; Carregamento : Alfa = 0.9003 Beta = 1.5301 Gama = 2.4176; Despejo : Alfa = 1.8567 Beta = 0.4167 Gama = 0.3115; Capacidade dos caminhões : 85 toneladas; Coeficiente de Variância Carregado : 0.11 Vazio : 0.10

Nº Caminhão	Carregadeira	Despejo	Transporte	
			Vazio	Carregado
1	1	1	4.61	5.81
2	2	1	5.77	9.38
3	3	1	5.07	8.80
4	3	1	5.07	8.80
5	4	2	8.13	12.66
6	4	2	8.13	12.66
7	4	2	8.13	12.66
8	5	2	7.53	10.11
9	5	2	7.53	10.11
10	5	2	7.53	10.11

Despejo 1 - Britador
2 - Bota-Fora

Carregadeira Minério - 1 2 3
Estéril - 4 5

Tabela 6.4 - Dados de Saída do Modelo - 10 Caminhões

Carregadeira	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (minutos)
1	2.010	279.60
2	1.534	297.64
3	3.238	228.76
4	3.582	215.30
5	3.854	175.81

Despejo	Produção ton.	Tempo de Espera min.
1	6.782	1.70
2	7.436	1.42

Produção Total = 14.218 (toneladas)
Tempo total de espera nas carregadeiras 64.28 (minutos)
Tempo total de espera nos despejos 3.13 (minutos)

Tabela 6.5 - Resultado da Simulação - 10 Caminhões

		Produção ton.		
		Minério	Estéril	Total
		6.715	7.650	14.365
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.310	14.110
		6.715	7.480	14.195
		6.800	7.480	14.280
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.480	14.280
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.395	14.195
		6.885	7565	14.450
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.480	14.280
		6.715	7.395	14.110
		6.715	7.395	14.110
		6.715	7.565	14.280
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.480	14.280
		6.800	7.395	14.195
		6.800	7.310	14.110
Média		6.757	7.480	14.237
Desvio Padrão		43	83	85

Tabela 6.6 - Dados de Saída /Validação do Modelo - 11 Caminhões

Número Total de Simulação = 20; Número de Caminhões 11; Número de Carregadeiras 5; Número de Pontos de Despejo 2 ; Duração da Simulação = 360 (minutos); Incremento do Relógio = 0.5 (minutos); Parâmetros Estatísticos (Distribuição Weibull); Carregamento Alfa = 1.1789 Beta = 0.5222 Gama = 2.9566; Carregamento Alfa = 0.9003 Beta = 1.5301 Gama = 2.4176; Despejo Alfa = 1.8567 Beta = 0.4167 Gama = 0.3115; Capacidade dos Caminhões = 85.0 (toneladas); Os tempos de transporte são assumidos normalmente distribuídos

Coefficiente de Variância: Carregado = 0.11 Vazio = 0.10

Caminhão	Carregadeira	Despejo	Transporte Vazio	Transporte Carregado
1	1	1	4.61	5.81
2	2	1	5.77	9.38
3	2	1	5.77	9.38
4	3	1	5.07	8.80
5	3	1	5.07	8.80
6	4	2	8.13	12.66
7	4	2	8.13	12.66
8	4	2	8.13	12.66
9	5	2	7.53	10.11
10	5	2	7.53	10.11
11	5	2	7.53	10.11

Despejo 1 - Britador
2 - Bota-Fora

Carregadeira Minério - 1 2 3
Estéril - 4 5

Tabela 6.7 - Dados de Saída do Modelo - 11 Caminhões

Carregadeira	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)
1	2.018	279.79
2	3.072	236.58
3	3.255	228.57
4	3.570	215.47
5	3.910	180.20

Despejo	Produção (ton.)	Tempo de Espera (min.)
1	8.345	2.72
2	7.840	1.15

Produção Total = 16.185 (toneladas)

Tempo total de espera nas carregadeiras 62.72 (minutos)

Tempo total de espera nos despejos 3.88 (minutos)

Tabela 6.8 - Resultado da Simulação - 11 Caminhões

	Produção ton.		
	Minério	Estéril	Total
	8.330	8.650	16.980
	8.415	7.395	15.810
	8.415	7.395	15.810
	8.245	7.395	15.640
	8.330	7.395	15.725
	8.245	7.395	15.640
	9.330	7.565	15.895
	8.500	7.650	16.150
	8.415	7.310	15.725
	8.415	7.310	15.725
	8.245	7.480	15.725
	8.330	7.565	15.895
	8.415	7.480	15.895
	8.245	7.565	15.810
	8.330	7.395	15.725
	8.245	7.565	15.810
	8.330	7.480	15.810
	8.415	7.565	15.980
	8.330	7.480	15.810
	8.415	7.565	15.980
Média	8.373	8.108	16.480
Desvio Padrão	226	273	357

6.2 - Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull foi utilizada inicialmente em 1939, com o objetivo de estudar um modelo de fadiga em resistência dos materiais. Através de sua aplicação é possível gerar uma grande quantidade de funções de densidade, freqüentemente empregada para descrever a taxa de quebra em estudo de confiabilidade. Sua aplicação fundamental está na geração de uma família de curvas as quais permitem aproximar qualquer distribuição de probabilidade. Entretanto é necessário estimar os parâmetros que a caracterizam: alfa, beta e gama.

A distribuição de Weibull, foi descrita por Mutmansky (1971) e aplicada por Gignac (1979) na simulação de um sistema de transporte subterrâneo. Sua função de probabilidade é caracterizada por:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \varepsilon^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)} \quad (6.1)$$

para $x > \gamma$

onde:

α = parâmetro de forma, para $\alpha > 0$;

β = parâmetro de escala, para $\beta > 0$;

γ = parâmetro de locação.

A função da densidade acumulada para a distribuição de Weibull pode ser expressa por:



(6.2)

O parâmetro α é o mais importante, pois mostra a distribuição em sua várias formas. Por exemplo, para $\alpha = 1.5$ a distribuição é aproximadamente log-normal; $\alpha = 3.6$ a distribuição é aproximadamente normal e para $\alpha = 1.0$ a

distribuição é normal. O parâmetro β é usado para alongar ou comprimir a distribuição ao longo do eixo das abcissas. Finalmente, o parâmetro γ , que neste estudo é o mais importante, controla a posição da distribuição ao longo do eixo das abcissas, além de representar o valor mínimo que a distribuição pode ter. Esse tipo de distribuição foi escolhida para representar os eventos de carregamento e despejo por três razões básicas:

1. O valor mínimo é diretamente expresso pela distribuição, o que significa que nenhum valor menor que ele pode ser gerado;
2. ela pode representar uma distribuição de tempo truncada, o que ocorre na prática, particularmente para os tempos de carregamento, e
3. a variável aleatória pode ser facilmente gerada a partir dos números aleatórios, desde que os parâmetros da distribuição sejam determinados.

Bonates (1984) desenvolveu um programa denominado DISTFIT com a finalidade de gerar os parâmetros da distribuição de Weibull.

Para gerar uma variável aleatória da distribuição de Weibull, é necessário inicialmente a geração de números aleatórios (r), no intervalo (0,1). Então a variável aleatória (X) pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$X = \gamma + \beta \left\{ -\ln(1 - r) \right\}^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6.3)$$

Entretanto, como "r" é proveniente de uma distribuição uniforme no intervalo (0,1) a expressão:

$$X = \gamma + \beta (-\ln r)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6.4)$$

As figuras 6.1, e 6.3 apresentam os histogramas das distribuições dos tempos de carregamento e despejo, respectivamente enquanto que as figuras 6.2 e 6.4 ilustra a curva de distribuição acumulada para ambos os eventos. Os parâmetros da distribuição foram determinados através de um procedimento iterativo, descrito a seguir:

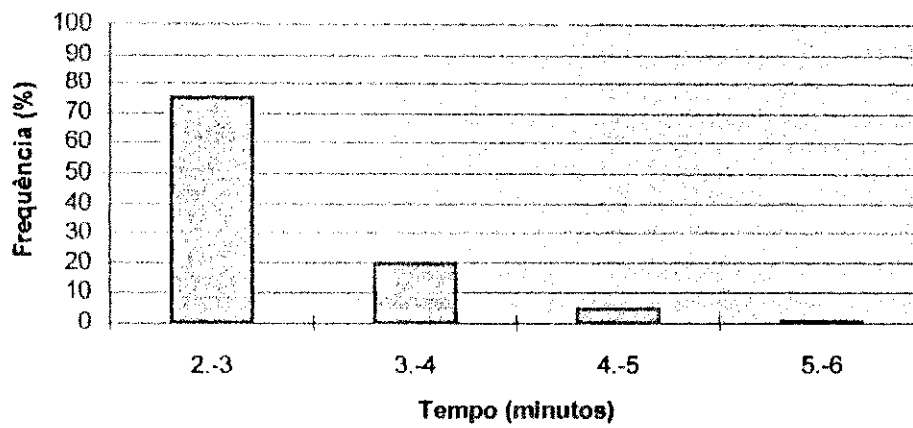


Figura 6.1 - Distribuição dos Tempos de Carregamento

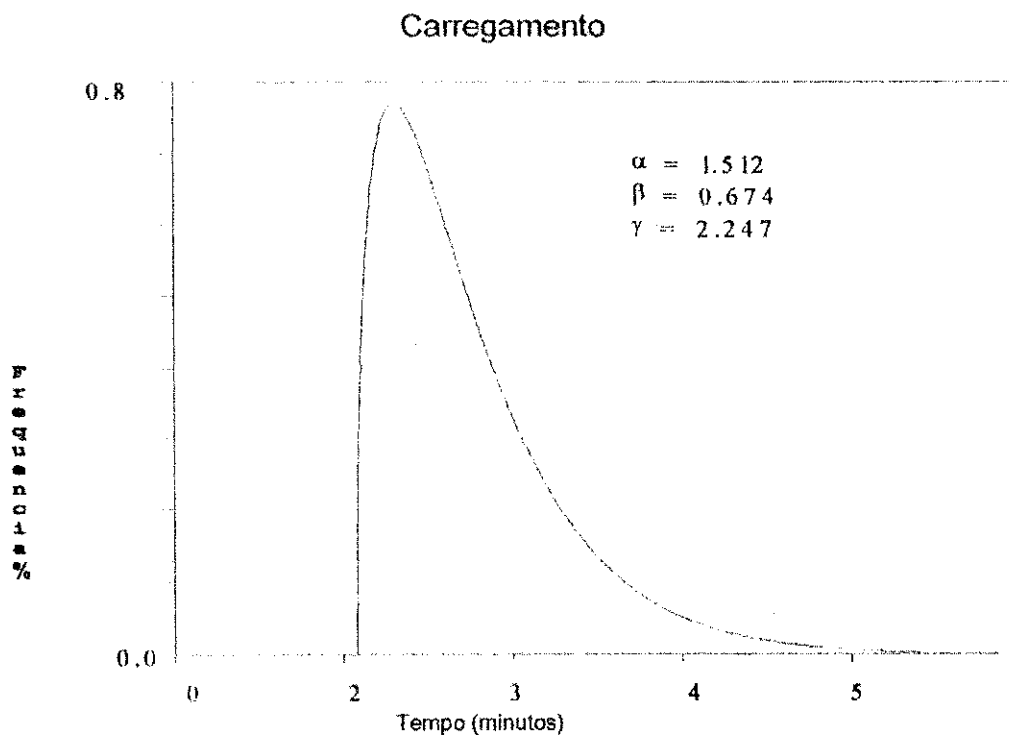


Figura 6.2 - Curva Característica de Weibull (Carregamento)

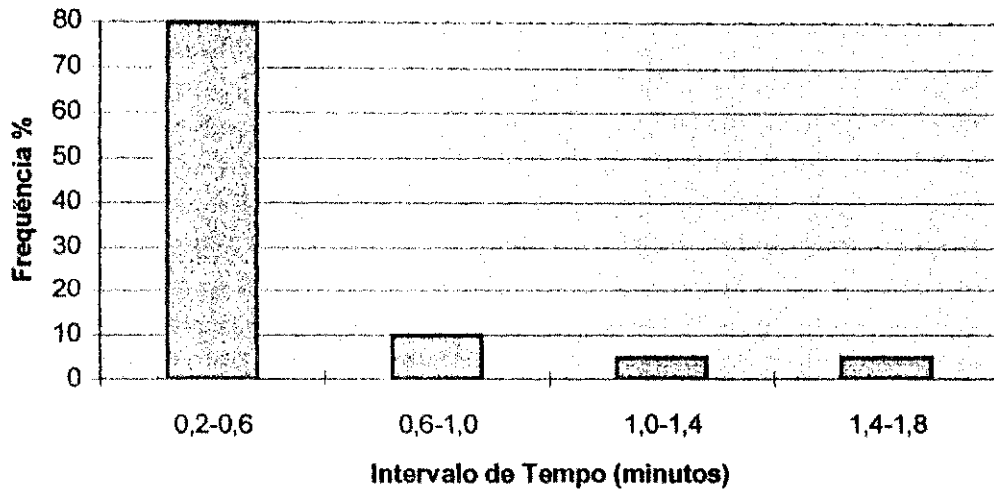


Figura 6.3- Distribuição de Frequência dos Tempos de Despejo

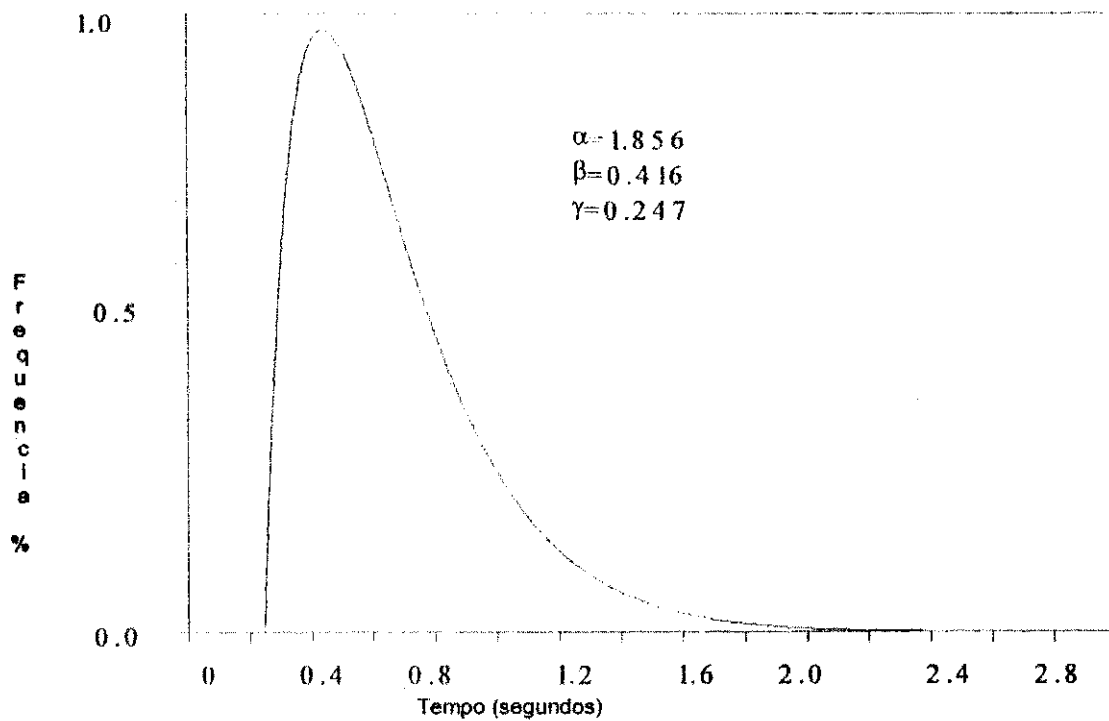


Figura 6.4 - Curva Característica de Weibull (Despejo)

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^\alpha} \quad (6.5)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^\alpha} \quad (6.6)$$

$$\text{ou, } 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^\alpha} \quad (6.7)$$

$$\ln \frac{1}{1 - F(t)} = \left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^\alpha \quad (6.8)$$

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = \alpha \ln(t - \gamma) - \alpha \ln \beta \quad (6.9)$$

Se,

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = Y \quad (6.10)$$

$$\ln(t - \gamma) = X \quad (6.11)$$

$$-\alpha \ln \beta = A \quad (6.12)$$

A equação pode ser expressa de forma linear da seguinte maneira:

$$Y = X - A \quad (6.13)$$

Então, se os dados observados de t' e quando a distribuição acumulada for usada, a equação toma a seguinte forma:

$$Y' = X' - A' \quad (6.14)$$

onde,

$$Y' = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t')} \quad (6.15)$$

$$X' = \ln(t' - \gamma) \quad (6.16)$$

$$A' = -\alpha \ln \beta \quad (6.17)$$

Usando o método dos mínimos quadrados para os dados transformados, é feita inicialmente a suposição para um valor de γ com a finalidade de calcular α e β . Como γ varia entre zero e o valor mínimo do tempo observado no estudo dos tempos, o valor dos parâmetros deve ser tal, que o coeficiente de correlação dos dados transformados X' e Y' seja maximizado. O coeficiente de correlação (CC), é definido pela fórmula abaixo:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n ((X'i - Xn)(Y'i - Yn))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X'i - Xn)^2 \sum_{i=1}^n (Y'i - Yn)^2}} \quad (6.18)$$

onde,

$$Xn = \frac{\sum_{i=1}^n X'i}{n} \quad (6.19)$$

e

$$Yn = \frac{\sum_{i=1}^n Y'i}{n} \quad (6.20)$$

Para estimativa do valor de γ o procedimento utilizado é descrito abaixo:

1. inicializar γ com valor igual a zero;
2. incrementar γ por $0.1x'$ mínimo até que o coeficiente de correlação produza o valor máximo,
3. para aumentar a precisão de γ , basta fazer outro intervalo de $0.01x'$ mínimo.

Assim, quando o coeficiente de correlação apresentar o valor máximo e os valores dos parâmetros devem ser ótimos.

6.3 - Distribuição Normal

A distribuição normal foi escolhida para representar os tempos de transporte vazio ou carregado, uma vez que ela é comumente usada. De fato, a distribuição normal é usada no modelamento dos fenômenos físicos, bem como as distribuições geradas por medições físicas. Ela pode ser usada para aproximar outros tipos de distribuições, especialmente as discretas, quando os problemas computacionais tornam-se bastante complexos.

A distribuição normal é simétrica e apresenta a seguinte função de probabilidade:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} ; -\infty < x < +\infty \quad (6.21)$$

onde:

μ = Média

σ = desvio padrão

Fazendo $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ sua função densidade será

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} ; -\infty < x < +\infty \quad (6.22)$$

A tabela 6.9, apresenta os dados dos tempos de transporte carregado e na figura 6.5, é ilustrado o histograma do evento de transporte carregado

Tabela 6.9 - Estatística dos Tempos de Transporte Carregado

Classe		Freqüência %
7.00	7.20	7
7.20	7.40	7
7.40	7.60	13
7.60	7.80	26
7.80	8.00	22
8.00	8.20	11
8.20	8.40	7
8.40	8.60	7

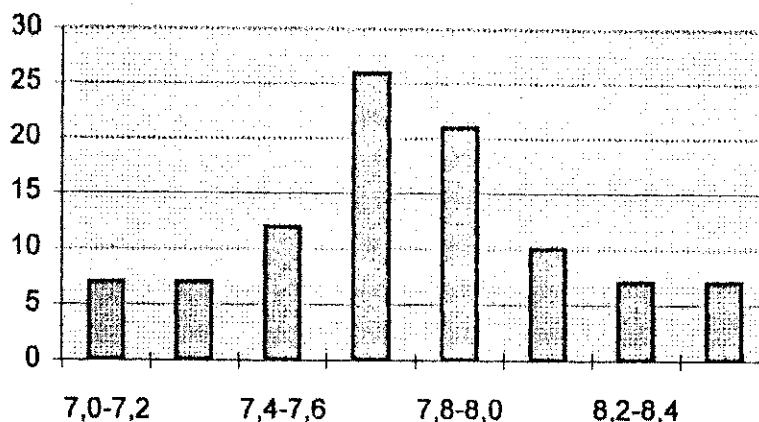


Figura 6.5 - Distribuição dos Tempos de Transporte Carregado

6.4 - Condições Gerais

Após os modelos terem sido desenvolvidos foi necessário executá-lo sob as mesmas condições de forma a permitir sua comparação com os dados históricos da mina.

A capacidade dos caminhões e dos equipamentos de carregamento foram mantido constante em 85 ton. e 8,5 m³ (11cy) respectivamente. Durante o estudo dos tempos observou-se que a mina geralmente operava com 4 ou 5 carregadeira e/ou escavadeira. Para simular a produção o número de equipamento de carga foi mantido constante, enquanto o número de caminhões variava de 10 a 18, que é o intervalo aproximado de operação na mina. A tabela 6.10, apresenta a produção simulada e a figura 6.6 apresenta as curvas de produção para 5 escavadeiras. A tabela 6.11, mostra como foi feita a alocação dos caminhões nas carregadeiras e/ou escavadeiras.

Tabela 6.10 - Produção Simulada do Sistema

N. Caminhões	CARREGADEIRAS					Total
	1	2	3	4	5	
10	2010	1547	3281	3570	3893	14.301
11	3978	1534	3247	3582	3867	16.209
12	3986	3064	3255	3570	3893	17.769
13	3990	3064	4862	3570	3888	19.375
14	3982	3072	4874	4726	3918	20.574
15	3986	3060	4866	4717	5070	21.700
16	5890	3064	4862	4742	5083	23.642
17	5894	4551	4849	4717	5100	25.113
18	5877	4543	6417	4743	5091	26.673

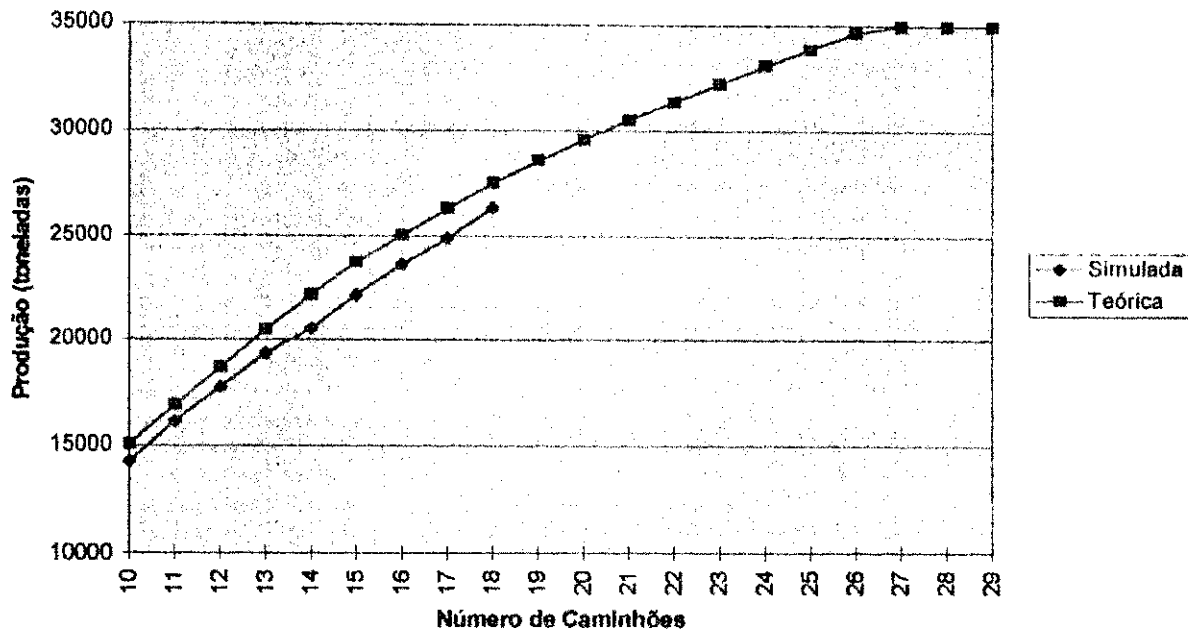


Figura 6.6 - Curva de Produtividade do Sistema

Tabela 6.11 - Números de Caminhões Alocados / Carregadeiras

N. Caminhões	Carregadeiras				
	1	2	3	4	5
10	1	1	2	3	3
11	2	1	2	3	3
12	2	2	2	3	3
13	2	2	3	3	3
14	2	2	3	4	3
15	2	2	3	4	4
16	3	2	3	4	4
17	3	3	3	4	4
18	3	3	4	4	4

O período de tempo de simulação foi de 360 minutos, baseado numa aproximação do tempo real de operação em cada turno. Este valor foi mantido constante para todas as simulações.

As simulações foram executadas utilizando-se diferentes sementes para o gerador de números aleatórios, de forma a refletir a natureza estocástica do processo. Foram feitas cerca de 3000 simulações para estabelecer dados que permitissem a comparação com o sistema real.

Na maioria das minas a alocação inicial dos caminhões é baseada no número ótimo de caminhões que satisfaça as escavadeiras. O número de caminhões alocados à uma escavadeira sobre condições ideais, pode ser calculada em função do tempo de ciclo e o tempo de carregamento. Uma primeira aproximação é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Número Ótimo de Caminhões} = \frac{\text{Tempo de Ciclo}}{\text{Tempo de Carregamento}} \quad (6.23)$$

A tabela 6.12, apresenta o número de caminhões a serem alocados em cada escavadeira utilizando este procedimento.

Tabela 6.12 - Alocação Ótima de Caminhão/Escavadeira

Carregadeira	Tempo de Transporte		Tempo Médio de Carregamento	Tempo Médio de Despejo	Tempo de Ciclo	Número Ótimo de Caminhões
	Vazio	Carregado	(minutos)	(minutos)	(minutos)	
1	4,61	5,81	3,77	0,36	14,55	3,86
2	5,77	9,38	3,77	0,36	19,28	5,11
3	5,07	8,80	3,77	0,36	18,00	4,77
4	8,13	12,66	3,77	0,36	24,92	6,61
5	7,53	10,11	3,45	0,36	21,45	6,21

O tempo de ciclo pode ser definido como uma viagem completa para um caminhão, iniciando em um ponto qualquer da malha de transporte, realizando um carregamento, despejando e retornando ao ponto inicial. Neste caso é feita a suposição que isso ocorre sob condições ideais, e que os tempos de carregamento, despejo e transporte, permanecem constantes durante toda a operação, supondo que a escavadeira nunca quebra. Essas condições raramente ocorrem, muito embora a regra seja utilizada em várias minas para a alocação inicial dos caminhões. No caso da mina Cana Brava essa alocação é mantida até o final do turno. A fórmula usada para calcular o número de caminhões que deverão ser alocados a cada escavadeira, geralmente produz um número fracionário. Este valor obrigatoriamente deverá ser arredondado.

Isto levará a uma condição em que a escavadeira sempre estará com um número maior ou menor de caminhões em relação às condições ideais. Se tiver um número de caminhões inferior ao requerido, a máquina de carregamento comanda a produção. Caso contrário, os caminhões é que comandam a produção.

A tabela 6.13, mostra a produção simulada em função do número de caminhões utilizando cinco escavadeiras. A figura 6.7, mostra que a produtividade simulada é sempre inferior a produtividade teórica. Isto, em parte demonstra que o modelo pode ser considerado válido.

Tabela 6.13- Produção da Frota de Transporte

	Teórica	Média	Superior	Inferior
10	15054	14263	14402	14124
11	16900	16209	16323	16095
12	18744	17769	17871	17667
13	20444	19395	19582	19208
14	21870	20574	20699	20449
15	23098	21700	21866	21534
16	24684	23642	23813	23471
17	26786	25113	25259	24967
18	28486	26673	26842	26504

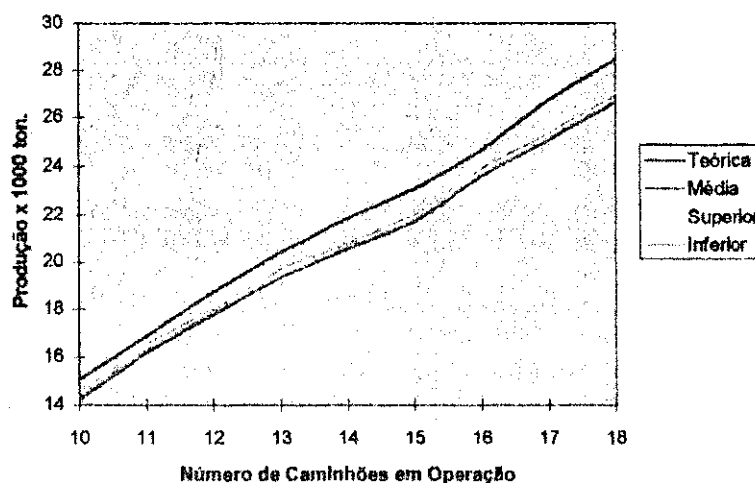


Figura 6.7 - Sumário dos Resultados da Simulação

Os resultados simulados também mostram que a curva de produtividade simulada tem as mesmas características da curva teórica. Inicialmente ela cresce com a introdução de mais um caminhão na operação. Entretanto, o ganho de produtividade é reduzido, uma vez que o sistema vai tornando-se saturado. O ponto de saturamento indica o número ótimo de caminhões no sistema. Esse ponto só será atingido quando a escavadeira estiver operando em sua capacidade máxima. A partir desse ponto não haverá ganho de produção, mesmo que sejam alocados mais caminhões ao circuito.

Com relação ao tempo ocioso dos caminhões e carregadeiras, os resultados foram os esperados. Por exemplo, o tempo ocioso dos caminhões é diretamente proporcional ao número de caminhões usados, ou seja, à medida que se introduz caminhões no circuito o tempo ocioso aumenta conforme mostrado na tabela 6.14. O contrário ocorre com o tempo ocioso das carregadeiras, conforme apresentado na tabela 6.15.

Tabela 6.14 - Tempo de Espera dos Caminhões

Número de Caminhões	Tempo de Espera dos Caminhões (minutos)	
	Carregadeiras	Despejos
10	57,65	2,85
11	67,18	4,40
12	67,80	5,18
13	82,38	6,78
14	98,25	7,25
15	147,73	7,97
16	153,38	8,27
17	167,02	12,27
18	180,25	14,52

Tabela 6.15 - Tempo de Espera das Carregadeiras

N. Caminhões	Carregadeiras				
	1	2	3	4	5
10	280	297	228	215	179
11	201	298	229	215	175
12	200	236	228	216	178
13	200	236	164	215	177
14	200	236	164	172	182
15	200	236	165	172	124
16	122	237	164	171	124
17	123	177	165	171	124
18	123	177	103	171	122

6.5 - Discussão

No planejamento da operação deve-se ter conhecimento a respeito do tipo de alocação que deve ser empregado na mina. Isso é feito em função dos objetivos da operação. Para ilustrar os efeitos da simulação na produtividade e no tempo ocioso dos equipamentos, foi inicialmente determinado o número ótimo de caminhões em cada circuito conforme ilustrado na tabela 6.12. Obviamente que a precisão nos resultados de simulação seria maior caso esse cálculo fosse feito para todo o sistema. Entretanto, de acordo com a fórmula teórica dada pela equação 6.23, o número ótimo de caminhões para o sistema em questão seria igual a 27. Porém, como a fórmula não leva em consideração os tempos de paradas, seja no carregamento ou despejo, esse número é inferior. De fato, o correto seria calcular o número ótimo de caminhões simulando a operação. Como para a mina Cana Brava esse número é bastante elevado, não havendo inclusive caminhões disponíveis para atender essa necessidade, foi decidido fazê-lo para cada ciclo dos equipamentos. A tabela 6.10 apresenta a produção individual de cada carregadeira.

As tabelas 6.16, 6.17, 6.18, 6.19 e 6.20, apresentam os resultados das simulações, mostrando a produção em função do número de caminhões, o tempo ocioso dos caminhões e das carregadeiras e/ou escavadeiras. As figuras 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12, ilustram o ponto onde a curva inicia a estabilização que constitui o número ótimo de caminhões.

Tabela 6.16 - Produtividade por Caminhão - Circuito I

N. de Caminhões	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)	
		Escavadeira	Caminhão
1	2010	280	5,76
2	3979	215	6,72
3	5890	122	15,34
4	5900	50	19,08
5	5950	18	39,79
6	6050	17	74,90

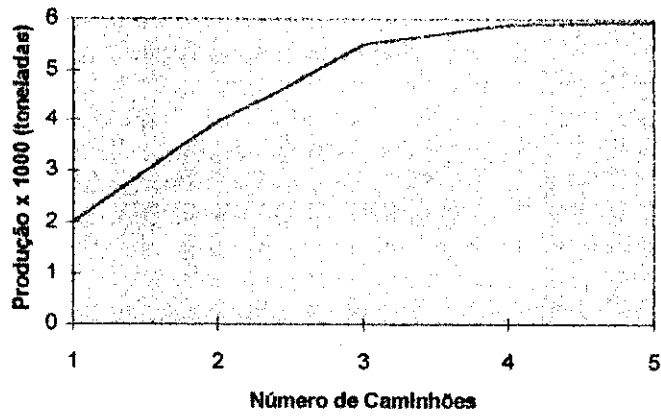


Figura 6.8 - Curva de Produtividade (Circuito I)

Tabela 6.17 - Produtividade por Caminhão - Circuito II

N. de Caminhões	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)	
		Escavadeira	Caminhão
1	1547	298	1.0
2	3064	237	4.0
3	4551	175	10.5
4	5850	119	39.0
5	6520	64	64.5
6	6730	22	192.5

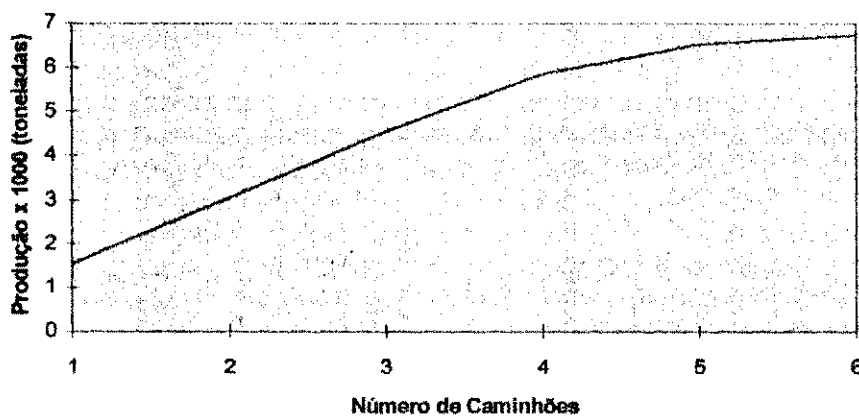
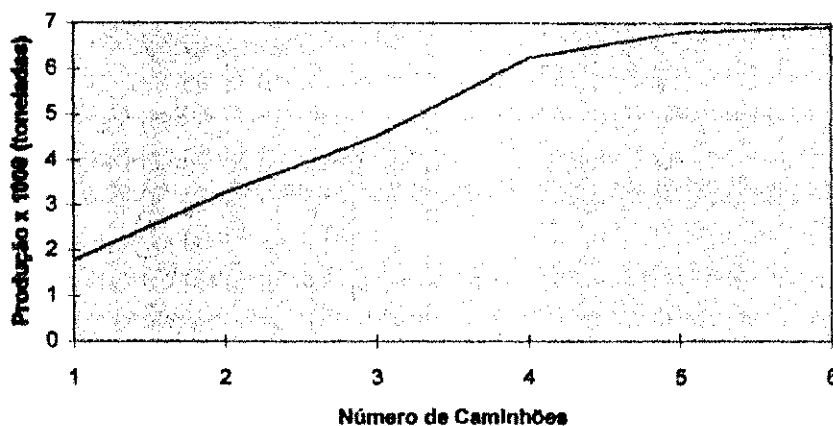


Figura 6.9 - Curva de Produtividade (Circuito II)

Tabela 6.18 - Produtividade por Caminhão - Circuito III

N. de Caminhões	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)	
		Escavadeira	Caminhão
1	1790	295	0.5
2	3290	228	9.5
3	4500	164	14.0
4	6250	103	58.5
5	6800	47	79.0
6	6920	17	202.0

**Figura 6.10 - Curva de Produtividade (Circuito III)****Tabela 6.19 - Produtividade por Caminhão - Circuito IV**

N. de Caminhões	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)	
		Escavadeira	Caminhão
1	1690	312	0.0
2	3150	284	3.0
3	4220	216	22.0
4	5670	171	25.0
5	6420	128	67.5
6	6950	83	90.0
7	7010	43	122

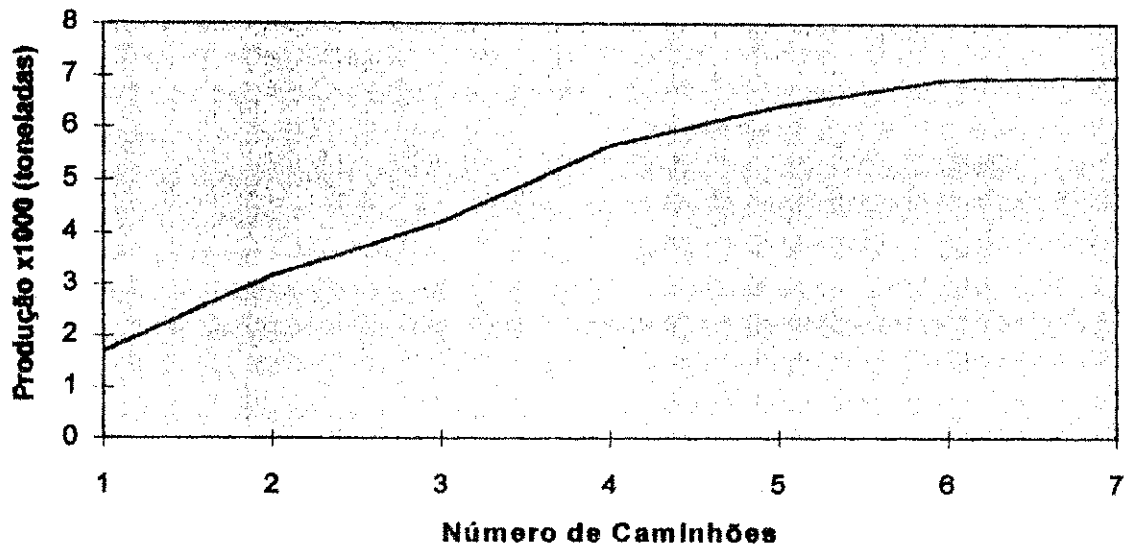


Figura 6.11 - Curva de Produtividade (Circuito IV)

Tabela 6.20 - Produtividade por Caminhão - Circuito V

N. de Caminhões	Produção (ton.)	Tempo Ocioso (min)	
		Escavadeira	Caminhão
1	1700	300	0.0
2	2950	239	7.5
3	3850	178	19.0
4	5320	120	60
5	6290	74	101.5
6	6740	40	180.0
7	6790	21	212.0

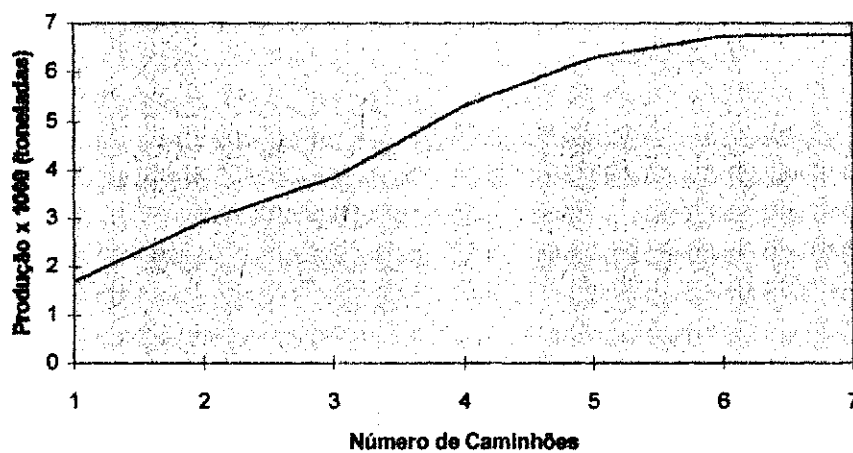


Figura 6.12 - Curva de Produtividade (Circuito V)

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

O sistema de despacho utilizado na SAMA é o de alocação fixa. Nesse tipo de despacho os caminhões são alocados a uma determinada escavadeira e um ponto de despejo, permanecendo nessa mesma rota de transporte durante todo o turno. A alocação inicial só será modificada se ocorrerem mudanças bruscas nas condições operacionais (quebra de equipamentos, problemas no britador, condições climáticas, etc.), não tendo qualquer interferência o aumento ou diminuição dos tempos de eventos. Este tipo de despacho utilizado para alocação é bastante ineficiente, devido ao fato dos equipamentos não operarem em taxas constantes. Conseqüentemente, as variações ocorridas nos tempos tem influência significativa na produtividade dos equipamentos. Dessa forma, é muito comum ocorrerem filas nos pontos de carregamento, mesmo que exista carregadeira disponível, ou no britador em virtude da fragmentação, nem sempre compatível devido à existência de matacões.

Apesar das diferenças que existem entre as minas Black Lake e Cana Brava, principalmente quanto ao volume de material produzido, observou-se que uma série de modificações poderiam ser introduzidas na operação da Mina Cana Brava, com a finalidade de otimizar o processo produtivo. Muito embora, a disponibilidade de seus equipamentos sejam superior a da Mina Black Lake, sua utilização efetiva é inferior, indicando que a mesma produção poderia ser obtida utilizando-se um número menor de equipamentos. Um outro problema verificado durante esta fase é quanto ao *blending* do material enviado ao britador, já que poderiam existir pilhas de minério localizadas próximas ao referido equipamento de britagem. Além dessas observações foi verificado que o tempo de espera dos caminhões no britador é extremamente elevado. Possivelmente, as razões são devidas às constantes paradas na operação do referido equipamento, decorrentes de algumas das seguintes causas: má fragmentação, falta de grelha no britador, capacidade do silo inferior à do britador ou capacidade da esteira inferior à do silo.

Referências Bibliográficas

- Billette, N.R., Seka, B.P., Haulage System Capacity: Analytical and Simulation Models Revisited, 19 th APCOM, AIME, New York, 1986, pp. 355-364.
- Bonates, E.J.L., Analysis of Truck/Shovel Dispatching Polices Using Computer Simulation. McGill University, Department of Mining and Metallurgical Engineering - Montreal - Canada, April, 1986.
- Bonates, E.J.L., The Development of Assignment Procedures for Semi-Automated Truck/Shovel Systems McGill University Department of Mining and Metallurgical Engineering - Montreal - Canada, March -1992
- Brosson, Richard., Pesquisa Operacional, São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985
- Elbrond, J., Calculations of an Open-Pit Operations Capacity, SME-AIME, Fall Meeting, 1977.
- Elbrond, J., Piche, A., Cannes, R.E.G., A New Procédure for Calculating of an Open-Pit Operation's Capacity of Iron Ore Company of Canada, 16 th APCOM, AIME, New York, pp. 471-492.
- Gignac, L.P., Simulation of Rock Handling Systems for Sublevel Stoping, Design and Operation of Caving and Sublevel Stoping Mines. AIME, New York, 1979, pp. 693-702
- Kim, Y.C., Ibarra, M.A., Truck Dispatching by Computer Simulation, Bulk Solids Handling, vol. 1, No. 1, February 1981.
- Madge, D.N., Simulation of Truck Movements in an Open-Pit Mining Operation, Canadian Operations Research Society Journal, Vol. 2, No. 1, 1964, pp 32-41
- Marshall, R.H., Kim, Y.C., Practical Application of Simulation to Production Planning A Case Study, 17 th APCOM-AIME, New York, 1982, pp. 627-641.
- Mineral/Minerales n° 184, 1993
- Mutmansky, J.M. A Distribution-Fitting Method for General Use, 9th APCOM, CIM, 1971, pp. 486-491.
- O'Neil, T.J., Manula, C.B., Computer Simulation of Materials Handling in Open-Pit Mining, Transactions, AIME, June 1967, pp. 137-146.
- Pfleider, E. P., Surface Mining, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York - 1972 pp. 659-721.
- Ricardo, H.S. e Catallani, G., Manual Prático de Escavação de Rochas, Pini Editora, 2a. edição, São Paulo, Setembro 1990, pp 120-132
- Waring, R.H., Calder, P.N., The Carol Mining Simulator, 5 th APCOM, AIME, Tucson, 1985, pp. KK1-KK42

Bibliografia Consultada

- Arnold, M.J., White, J.Wm., Computer-based truck dispatching, World Mining, April 1983, pp. 53-57.
- Barnes, R.J., King, M.S., Johnson, T.B., Probability Techniques for Analyzing Open-Pit Production Systems, 16th APCOM, AIME, New York, pp. 462-476.
- Beaudoin, R., Automatic Truck Dispatching - Mount Wright Operations, CIM First Open-pit Operators Conference, May 1977, Paper N. 2, 12 pp.
- Brake, D.J., Chatterjee, P.K., Evaluation of Truck Dispatching and Simulation Methods in Large-Scale Open-Pit Operations, 16th APCOM, AIME, New York, 1979, pp. 375-383.
- Byles, R.D., The Installation of Fully Automatic Truck Dispatch System at Bougainville Copper Limited, Joint Meeting of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Bougainville, Papua New Guinea, October 1984.
- Chatterjee, P.K., Brake, D.J., Truck Dispatching and Simulation Methods in Large-Scale Open-Pit Operations, CIM Bulletin, November, 1981, pp.102-107.
- Clevenger, J.G., DISPATCH Reduces Mining Equipment Requirements, Mining Engineering, September 1983, pp. 1277-1280.
- Controle e Recuperação Ambiental na Mina de Cana Brava - Goiás, publicação do IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica, Boletim n. 66
- Cross, B.K., Williamson, G.B., Digital Simulation of an Open-pit Truck Haulage System, 8th APCOM, AIME, New York, 1969, pp. 385-400.
- Crosson, C.C., Tonking, M.J., Moffat, W.G., Palabora System of Truck Control, Mining Magazine, February 1977, pp. 74-82.
- Desmukh, S.S., Sizing of Fleets in Open Pits, Mining Engineering, AIME, December 1970, pp. 41-45. Dispatch System, CIM-Agm, April 1985, Paper n° 6
- Filho, Nilton Fornasari, et al, Controle de Recuperação Ambiental na Mina de Cana Brava. São Paulo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992 - (Publicação IPT 2006) Boletim 66.
- Hauck, R.F., Computer-Controlled Truck Dispatching in Open-Pit Mines, Computer Methods for the 80's in the Mineral Industry, AIME, New York, 1979, pp. 739-742.
- Himenbaugh, A.E., Computer-Based Truck Dispatching in the Tyrone Mine, Mining Congress Journal, November 1980, pp. 16-21.
- Hodson, D.I. Barker, K.S., The Design and Development of a Computerized Truck Dispatching System, Mining Conference 85, Birmingham, United Kingdom, June 1985, pp. 83-90.
- Law, A.M., Kelton, W.D., Simulation Modelling and Analysis, McGraw-Hill Book Company, New York, 1982, pp. 1-57, 137-277, 333-348.
- Lizotte, Y., Computerized Open-Pit Mine Planning, Professional Development Seminar, McGill University, Montreal, November 1984.

Lizzote, Y., Scoble, M., Bonates, E., Application of Simulation to Assess Truck Shovel Dispatching Policies, Mining Equipment Selection Symposium, University of Calgary & CANMET, Calgary, November 1985, pp. 307-319.

Manual de Produção Caterpillar, 11ª edição

Meyer, H.I., Truck Allocations to Shovels in an Open-Pit Mine - A Case Study on the Initial Attempt, Computer Methods for the 80's in the Mineral Industry, AIME, New York 1979, pp. 637-641.

Michaelson, S.D. "Wanted: System for Surface Mining", Engineering and Mining Journal, vol. 175, n 10, October, pp. 63-69.

Mining Engineering, August 1977, pp. 40-43.

Morgan, W.C., Peterson, L.L., Determining Shovel-Truck Productivity, Mining Engineering, December 1968, pp. 76-80.

Mueller, E.R., Simplified Dispatching Board Boosts Truck Productivity at Cyprus Pima,

Naplatonov, N.D., Sgurev, V.S., Petrov, P.A., Truck Control at Medet, Mining Magazine, July 1977, pp. 12-18.

Nenonen, L.K., Graefe, P.W., Chan, A.W., Computer-aided study of truck dispatching in an open-pit mine, NRC Canada, Mechanical Engineering Newsletter, Computers, Vol. 12. N. 1 January, 1981.

Phillips, D.T., Ravidran, A., Solberg, J.J., Operations Research Principles and Practice, John Wiley & Sons, New York, 1976, pp. 199-225, 359-402.

Sassos, M.P., Automatic dispatch system improves production, optimizes equipment utilization, E&MJ, October 1984, pp.71.

Sassus, M.P., Reserve's Mine Management System, E&MJ, September 1984, pp. 42-49.

Singhal, R.K., Mining Planning and Equipment Selection in Surface Coal Mining, Mining Conference 85, Birmingham, United Kingdom, June 1985, pp. 307-319.

Srajer, V., The Development and Validation of a Truck and Shovel Computer Model, 19th APCOM, AIME, New York 1986, pp.377-393.

Swain, H.D. Bougainville's EDP Techniques Up Mine Productivity Simplify Planning, Mining Engineering, March 1979, pp. 265-268.

Tu, H.J., Hucka, V.J., Analysis of Open-Pit Truck Haulage System by use of computer model, CIM Bulletin, July 1985, pp. 53-59.

White, J. Wm., Arnold, J.A., Clevenger, J.C., Automated Open-Pit Truck Dispatching at Tyrone, E&MJ, June 1982, pp. 76-84.

Wilke, F.L., Heck, K., Simulation Studies on Truck Dispatching, 17 th APCOM, AIME, New York, 1982, pp. 620-626.

ANEXO

SIMULADOR DETERMINÍSTICO

```

C *****
C UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
C CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
C DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA
C ARLINDO JOSE BAZANTE
C PROGRAMA DE SIMULAÇÃO DETERMINÍSTICA
C *****
C DIMENSION XLL(50),RR(50),RAMP(50),TR(50),TITLE(15)
C REAL A1(9,3),B1(9,3),A2(9,3),B2(9,3),A3(9,3),B3(9,3),XL(9),YU(9)
C Fator de Velocidade 182.49 KG/KW.
  DATA A1/.0,.40,.51,.56,.67,.75,.80,.84,.87,
+.0,.65,.70,.75,.81,.88,.91,.93,.95,
+.0,.67,.72,.77,.83,.90,.93,.95,.97/
  DATA B1/.40,.51,.56,.67,.75,.80,.84,.87,.94,
+.65,.70,.75,.81,.88,.91,.93,.95,.97,
+.67,.72,.77,.83,.90,.93,.95,.97,.99/
  DATA A2/.0,.39,.48,.54,.61,.68,.74,.78,.84,
+.0,.62,.67,.70,.75,.79,.84,.87,.90,
+.0,.64,.68,.74,.83,.88,.91,.93,.95/
  DATA B2/.39,.48,.54,.61,.68,.74,.78,.84,.92,
+.62,.67,.70,.75,.79,.84,.87,.90,.93,
+.64,.68,.74,.83,.88,.91,.93,.95,.97/
  DATA A3/.0,.33,.41,.46,.53,.59,.62,.65,.70,
+.0,.55,.58,.65,.75,.77,.83,.86,.90,
+.0,.56,.64,.70,.78,.84,.88,.90,.92/
  DATA B3/.33,.41,.46,.53,.59,.62,.65,.70,.75,
+.55,.58,.65,.75,.77,.83,.86,.90,.93,
+.56,.64,.70,.78,.84,.88,.90,.92,.95/
  DATA XL/0.,61.,122.,183.,305.,458.,610.,762.,4115./
  DATA YU/61.,122.,183.,305.,458.,610.,762.,1067.,5944./
  READ (5,777) (TITLE(J),J=1,15)
777 FORMAT(15A4)
  READ(5,*) WEITE,WEITF,HORSEP,ISPEC
  READ(5,*) NOROUT,UPMAX,DONMAX,AJUSTE,AJUSTE
  WRITE(6,771) (TITLE(J),J=1,15)
771 FORMAT(3X,15A4)
  WRITE(6,772) WEITE,WEITF,HORSEP,ISPEC
772 FORMAT(/,3X,'Simulação p/ Caminhão',//,3X,'Vazio:'
1,3X,F12.0,2X,'(KG)',/,3X,'CarregadoT:',
22X,F12.0,2X,'(KG)',/,3X,'HP:',10X,F12.0,2X,'(KW)',/,
33X,'TRUCK TYPE:',11X,I2)
  IF (AJUSTF.LE.0.) ADJUSTF =1.0
  IF (AJUSTE.LE.0.) ADJUSTE=1.0
  WRITE(6,773) NOROUT,UPMAX,DONMAX,AJUSTF,AJUSTE
773 FORMAT(/,3X,'ROTAS:',2X,I2,/,3X,'VELOCIDADE MÁXIMA
10N PROPERTY:',2X,F6.2,2X,'(KPH)',/,3X,'VELOCIDADE MÁXIMA
2',2X,F6.2,2X,'(KPH)',/,3X,'FATOR DE AJUSTE,CARREGADO',7X,
3F4.2,/,3X,'FATOR DE AJUSTE, VAZIO',6X,F4.2)
  WRITE(6,5)
5 FORMAT(/,2X,'NO',2X,'LEN(M)',2X,'RRES(%)',1X,'RAMP(%)',1X,
1'TRES(%)',1X,'MS(KPH)',1X,'SP FACT',1X,'AS(KPH)',1X,
2'TI(MIN)'/2X,'--',1X,8(1X,7('-')))
  WPRE=WEITE/HORSEP
  WPRE=WEITF/HORSEP
  DO 774 N=1,NOROUT
  WRITE (6,775)N
775 FORMAT(/,3X,'TRAVEL FULL ALONG ROUTE',3X,I2)
  READ (5,*) NSEG
  DO 776 M=1,NSEG
  READ (5,*) XLL(M),RR(M),RAMP(M)
  TR(M)=(RR(M)+RAMP(M))/100.
776 CONTINUE
  SUM = 0.
  DO 778 M=1,NSEG
  SF=1.
  XXL=XLL(M)
  IF (TR(M).LE.0.) GO TO 779

```

```

AMAXSP=(366.97* HORSEP*0.70)/(TR(M)*WEITF)
IF (AMAXSP.GT.UPMAX) AMAXSP=UPMAX
IF (M.EQ.1.OR.M.EQ.NSEG) J=1
IF (M.EQ.1.OR.M.EQ.NSEG) GO TO 601
IF (RAMP(M).EQ.0.) J=2
IF (RAMP(M).LT.0.) J=3
IF (RAMP(M).GT.0.) GO TO 780
601 IF (WPRF.GE.182.49) GO TO 781
CALL TIMER (J,A1,B1,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 780
781 IF (WPRF.GE.231.15) GO TO 782
CALL TIMER (J,A2,B2,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 780
782 CALL TIMER (J,A3,B3,XL,YU,XXL,SF)
780 AVESP=AMAXSP*SF
TIME=XLL(M)*0.06/AVESP
GO TO 783
779 RIM=WEITF*(-TR(M))/1000.
CALL BRAKE (ISPEC,RIM,DONMAX,AMAXSP)
IF (M.EQ.1.OR.M.EQ.NSEG) J=1
IF (M.EQ.1.OR.M.EQ.NSEG) GO TO 600
IF (RAMP(M).EQ.0.) J=2
IF (RAMP(M).LT.0.) J=3
IF (RAMP(M).GT.0.) GO TO 790
600 IF (WPRF.GE.182.49) GO TO 791
CALL TIMER (J,A1,B1,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 790
791 IF (WPRF.GE.231.15) GO TO 792
CALL TIMER (J,A2,B2,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 790
792 CALL TIMER (J,A3,B3,XL,YU,XXL,SF)
790 AVESP=AMAXSP*SF
TIME=XLL(M)*0.06/AVESP
783 WRITE (6,140) M,XXL,RR(M),RAMP(M),TR(M),AMAXSP,SF,AVESP,TIME
140 FORMAT (1X,I3,2X,F7.0,1X,2(F7.2,1X),F7.4,1X,F7.3,1X,F7.2,1X,F7.3,
+1X,F7.2)
SUM=SUM+TIME
778 CONTINUE
SUM=SUM*AJUSTF
WRITE (6,141) N,SUM
141 FORMAT (/ ,3X, 'ADJUSTED TRAVEL TIME FULL ON ROUTE:',I2,8X,F6.2,/)
READ (5,*) ISIT
IF (ISIT.NE.1) GO TO 774
SUM=0.
DO 800 M=NSEG,1,-1
SF=1.
XXL=XLL(M)
RAMP(M)=-RAMP(M)
TR(M)=(RR(M)+RAMP(M))/100.
IF (M.EQ.NSEG.OR.M.EQ.1) J=1
IF (M.EQ.NSEG.OR.M.EQ.1) GO TO 610
IF (RAMP(M).EQ.0.) J=2
IF (RAMP(M).LT.0.) J=3
610 IF (TR(M).GE.0.) GO TO 850
RIM=WEITF*(-TR(M))/1000.
CALL BRAKE (ISPEC,RIM,DONMAX,AMAXSP)
IF (RAMP(M).GT.0.) GO TO 820
IF (WPRE.GE.182.49) GO TO 830
CALL TIMER (J,A1,B1,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 820
830 IF (WPRE.GE.231.15) GO TO 840
CALL TIMER (J,A2,B2,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 820
840 CALL TIMER (J,A3,B3,XL,YU,XXL,SF)
820 AVESP=AMAXSP*SF
TIME=XLL(M)*0.06/AVESP
WRITE (6,140) M,XXL,RR(M),RAMP(M),TR(M),AMAXSP,SF,AVESP,TIME

```

```
GO TO 860
850 AMAXSP=(366.97* HORSEP*0.70)/(TR(M)*WEITE)
IF(AMAXSP.GT.UPMAX) AMAXSP=UPMAX
IF(RAMP(M).GT.0.) GO TO 890
IF(WPRE.GE.182.49) GO TO 880
CALL TIMER(J,A1,B1,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 890
880 IF(WPRE.GE.231.15) GO TO 895
CALL TIMER(J,A2,B2,XL,YU,XXL,SF)
GO TO 890
895 CALL TIMER(J,A3,B3,XL,YU,XXL,SF)
890 AVESP=AMAXSP*SF
TIME=XLL(M)*0.06/AVESP
WRITE(6,140) M,XXL,RR(M),RAMP(M),TR(M),AMAXSP,SF,AVESP,TIME
860 SUM=SUM+TIME
800 CONTINUE
SUM=SUM*AJUSTE
WRITE(6,142) N,SUM
142 FORMAT(/,3X, 'ADJUSTED TIME EMPTY ON ROUTE:',I2,14X,F6.2,/)
774 CONTINUE
STOP
END
```

SIMULADOR ESTOCÁSTICO

```

C *****
C UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB
C CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
C DEPARTAMENTO DE MINERACAO E GEOLOGIA
C PROGRAMA DE SIMULACAO ESTOCASTICA
C ARLINDO JOSE BAZANTE
C *****
COMMON NCAM, NCARR, NDESP, TEMPO, IOPCAO, ITIPO, JTIPO, OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30), TREMPT(30), DPTEMPO(30), TRFULL(30), NCIRC(30), NSTAT(30),
+NCRUSH(30), NCR(30), PAYLOAD(2), ORE(30), TOTAL(30,2), WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10), AVGTRF(2,30,10), STDEVE(2,30,10), STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2), BL(2,2), GL(2,2), AD(2), BD(2), GD(2), ALT(2,2), ADT(2),
+CLOCK(10), TONLOAD(30), TONDUMP(30), NSORT(30), LCOUNTER(30),
+EXFILT(30), EXARTI(30), DECIS(30), ITRU(30), JSHO(30), CUR(30),
+EMPTTOT, FULLTOT, CMAFAC(30), NOSEEDS, FAMAT(10), PENAL(30),
+DUMPTOT, TOTLOAD, AVGLD(2,30), AVGDP(2,10), AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10), DMEDIA(10), BUM(10), SUMDEV, AVWAIT(30),
+SACRIF(30), PERCENT(30), TESPRO(30), RATIO(30), NSAVE(30), MSAVE(30),
+SAINTP(30), VUM(30), PUM(10), DUM(30), CUM(30), SUMTOT, SUMWD, SUMWS,
+DESHPR(30), SAVE(30), EFT, EXPLT, NARRAY1(30,200), ARRAY2(30,200)
C *****
COMMON /SRFULL/ BULL(2,30,10,5)
COMMON /SREMPT/ EMPT(2,30,10,5)
COMMON /SRLOAD/ ALOA(2,30,5), DURSIM
COMMON /SRDUMP/ DUMP(2,30,5)
COMMON /SRDECI/ VARIA(10), PRIORI(2,10), STARTN(10)
DIMENSION CVE(2), CVF(2), PROUT(10), ASSIGN(10), ROYAL(10)
DIMENSION ISAVE(30)
CHARACTER*70 TITLE
CHARACTER*20 FILEIN, FILE2, FILEOU
C ++++++
C INICIALIZACAO DAS MATRIZES
C ++++++
SUMTOT=0.
SUMWD=0.
SUMWS=0.
SUMDEV=0.
TOTDEV=0.
HMEDIA=0.
TOTPROD=0.
TOTWS=0.
TOTWD=0.
TEMPO=0.
DO 21 K=1,30
DO 73 MK=1,200
NARRAY1(K,MK)=0
ARRAY2(K,MK)=0.
73 CONTINUE
LCOUNTER(K)=1
SAVE(K)=0.
VUM(K)=0.
DUM(K)=0.
CUM(K)=0.
ITRU(K)=0
JSHO(K)=0
DECIS(K)=0.
TEMPOLD(K)=0.
DPTEMPO(K)=0.
NSORT(K)=0
EXFILT(K)=0.
EXARTI(K)=0.
TREMPT(K)=0.
TRFULL(K)=0.
ORE(K)=0.
WAIT(K,1)=0.
TOTAL(K,1)=0.
WAIT(K,2)=0.
TOTAL(K,2)=0.
NSAVE(K)=0
MSAVE(K)=0
C NSTAT(I)=0
TONLOAD(K)=0

```



```

TONDUMP(K)=0
DESHPR(K)=0.
SACRIF(K)=0.
AVWAIT(K)=0.
PENAL(K)=0.
TESPRO(K)=0.
RATIO(K)=0.
SAINTP(K)=0.
PERCENT(K)=0.
21 CONTINUE
DO 22 K=1,10
PUM(K)=0.
CLOCK(K)=0.
STARTN(K)=0.
DMEDIA(K)=0.
FAMAT(K)=0.
22 CONTINUE
C ++++++
C LEITURA DOS DADOS DE ENTRADA
C ++++++
WRITE(*,23)
23 FORMAT(24(/))
WRITE(*,24)
WRITE(*,33333)
33333 FORMAT(15x,'*****',/)
24 FORMAT(10X,' ENTRE COM SUA OPCAO PARA DESPACHO DE CAMINHÕES :',/)
WRITE(*,33331)
33331 FORMAT(15x,'          DESPACHO FIXO          = 1')
WRITE(*,33332)
33332 FORMAT(15x,'          MAXIMIZAR O CAMINHÃO          = 2')
WRITE(*,33334)
33334 FORMAT(15x,'          MINIMIZAR O TEMPO DE CICLO    = 3')
WRITE(*,33335)
33335 FORMAT(15x,'          FATOR DE BALANCEAMENTO        = 4')
WRITE(*,33336)
33336 FORMAT(15x,'          NUMERO DE PRIORIDADE          = 5')
WRITE(*,33337)
33337 FORMAT(15x,'          AJUSTE DO CAMINHÃO            = 6')
WRITE(*,33338)
33338 FORMAT(15x,'          AJUSTE DO TEMPO DE CICLO      = 7')
WRITE(*,33339)
33339 FORMAT(15x,'          AJUSTAR O TEMPO DE ESPERA     = 8')
WRITE(*,44441)
44441 FORMAT(15x,'          MAXIMIZAR A CARREGADEIRA      = 9')
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,33333)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)
READ(*,*) IOPCAO
WRITE(*,'(/A\)' )' ENTRE COM O NUMERO DE SIMULACAO : '
READ(*,*) NOSEEDS
WRITE(*,'(/A\)' )' ENTRE COM O ARQUIVO DE DADOS : '
READ(*,'(A)') FILEIN
WRITE(*,'(/A\)' )' ENTRE O ARQUIVO DAS SEMENTES : '
READ(*,'(A)') FILE2
OPEN(5,FILE=FILE2,STATUS='OLD')
888 WRITE(*,'(/A)')' SELECIONE A SAIDA DOS DADOS : '
WRITE(*,'(/A)')'          1 - TELA / Screen'
WRITE(*,'(/A)')'          2 - IMPRESSORA / Printer'
WRITE(*,'(/A)')'          3 - ARQUIVO / File'
READ(*,*) NRR
IF(NRR.GE.1.AND.NRR.LE.3) THEN
IF(NRR.EQ.1) OPEN(6,FILE='CON')
IF(NRR.EQ.2) OPEN(6,FILE='PRN')
IF(NRR.EQ.3) THEN
WRITE(*,'(/A\)' )' DIGITE NOME DO ARQUIVO DE SAIDA '
READ(*,'(A)') FILEOU
OPEN(6,FILE=FILEOU,STATUS='NEW')
END IF
ELSE

```

```

GO TO 888
END IF
DO 8000 LMN=1,NOSEEDS
OPEN(4,FILE=FILEIN,STATUS='OLD')
READ(4,'(A70)')TITLE
READ(4,*) NCAM,NCARR,NDESP
READ(4,*) ITIPO,JTIPO
READ(4,*) DURSIM,ADCLI
DO 1 IT=1,2
1  READ(4,*) AD(IT),BD(IT),GD(IT),ADT(IT)
CONTINUE
DO 2 IT=1,2
DO 2 JT=1,2
2  READ(4,*) AL(IT,JT),BL(IT,JT),GL(IT,JT),ALT(IT,JT)
CONTINUE
READ(4,*) (CVF(IT),IT=1,2)
READ(4,*) (CVE(IT),IT=1,2)
DO 3 IT=1,2
3  READ(4,*) ((AVGTRE(IT,KI,KJ),KJ=1,NDESP),KI=1,NCARR)
READ(4,*) ((AVGTRF(IT,KI,KJ),KJ=1,NDESP),KI=1,NCARR)
CONTINUE
READ(4,*) (NCIRC(K),K=1,NCAM)
READ(4,*) (NCR(J),J=1,NCARR)
READ(4,*) (PAYLOAD(IT),IT=1,2)
DO 531 JS=1,NCARR
c  READ(4,*) STARTN(JS)
531 CONTINUE
DO 541 JC=1,NCARR
c  READ(4,*) DESHPR(JC)
541 CONTINUE
DO 461 JL=1,NCARR
c  READ(4,*) SACRIF(JL)
461 CONTINUE
DO 741 JF=1,NCARR
c  READ(4,*) PERCENT(JF)
741 CONTINUE
DO 742 JG=1,NCARR
c  READ(4,*) FAMAT(JG)
742 CONTINUE
DO 743 JH=1,NCARR
c  READ(4,*) PENAL(JH)
743 CONTINUE
DO 744 JI=1,NCARR
c  READ(4,*) AVWAIT(JI)
744 CONTINUE
CLOSE(4)
IF(IOPCAO.EQ.5) THEN
DO 901 KE=1,NCARR
VARIA(KE)=0.
901 CONTINUE
DO 31 JN=1,NCARR
DO 31 IT=1,2
PRIORI(IT,JN)=0.
31 CONTINUE
DO 902 JY=1,NCARR
VARIA(JY)=STARTN(JY)
902 CONTINUE
DO 551 JK=1,NCARR
DO 551 IT=1,2
PRIORI(IT,JK)=(3600*PAYLOAD(IT))/(DESHPR(JK)/8)
551 CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.EQ.6) THEN
DO 931 KF=1,NCARR
ASSIGN(KF)=0.
931 CONTINUE
DO 932 KG=1,NCARR
ASSIGN(KG)=SACRIF(KG)
932 CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.GE.7) THEN
DO 933 KF=1,NCARR

```

```

ASSIGN(KF)=0.
933 CONTINUE
DO 934 KG=1,NCARR
ASSIGN(KG)=PENAL(KG)
934 CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.EQ.8) THEN
DO 983 KH=1,NCARR
ROYAL(KH)=0.
983 CONTINUE
DO 985 KI=1,NCARR
ROYAL(KI)=AVWAIT(KI)
985 CONTINUE
END IF
TEMPO=0.
TOTPROD=0.
TOTDEV=0.
HMEDIA=0
TOTWS=0.
TOTWD=0.
DO 10 K=1,30
DO 11 MK=1,200
NARRAY1(K,MK)=0
ARRAY2(K,MK)=0.
11 CONTINUE
LCOUNTER(K)=1
SAVE(K)=0.
ITRU(K)=0
JSHO(K)=0
DECIS(K)=0.
TEMPOLD(K)=0.
DPTEMPO(K)=0.
NSORT(K)=0
EXFILT(K)=0.
EXARTI(K)=0.
TREMPT(K)=0.
TREFULL(K)=0.
ORE(K)=0.
WAIT(K,1)=0.
TOTAL(K,1)=0.
WAIT(K,2)=0.
TOTAL(K,2)=0.
NSAVE(K)=0
MSAVE(K)=0
C NSTAT(I)=0
10 CONTINUE
DO 30 K=1,10
DMEDIA(K)=0.
30 CONTINUE
DO 32 KM=1,10
CLOCK(KM)=0.
32 CONTINUE
DO 33 KM=1,30
TESPRO(KM)=0.
RATIO(KM)=0.
SAINTP(KM)=0.
TONDUMP(KM)=0.
WAIT(KM,1)=0.
TOTAL(KM,1)=0.
WAIT(KM,2)=0.
TOTAL(KM,2)=0.
TONLOAD(KM)=0.
33 CONTINUE
READ(5,*) SOURCE
A=RAND(SOURCE)
DO 40 K=1,NCAM
NCRUSH(K)=NCR(NCIRC(K))
40 CONTINUE
DO 41 KP=1,NCAM
IT=1
IF(KP.GT.ITIPO) IT=2
ITRU(KP)=IT

```

```

41  CONTINUE
    DO 42 JP=1, NCARR
    JT=1
    IF (JP.GT.JTIPO) JT=2
    JSHO(JP)=JT
42  CONTINUE
    IF (IOPCAO.EQ.4) THEN
    DO 43 IT=1,2
    DO 43 J=1, NCARR
    DO 43 L=1,5
    DO 45 K=1, NDESP
    BULL(IT, J, K, L)=AVGTRF(IT, J, K)
    EMPT(IT, J, K, L)=AVGTRE(IT, J, K)
    ALOA(IT, J, L)=ALT(IT, JSHO(J))
    DUMP(IT, K, L)=ADT(IT)
45  CONTINUE
43  CONTINUE
    DO 44 IT=1,2
    DO 44 J=1, NCARR
    DO 46 K=1, NDESP
    AVGDP(IT, K)=ADT(IT)
    AVGEMPT(IT, J, K)=AVGTRE(IT, J, K)
    AVGFULL(IT, J, K)=AVGTRF(IT, J, K)
46  CONTINUE
    AVGLD(IT, J)=ALT(IT, JSHO(J))
44  CONTINUE
    END IF
    DO 50 KI=1, NCARR
    DO 50 KJ=1, NDESP
    DO 50 IT=1,2
    STDEVE(IT, KI, KJ)=AVGTRE(IT, KI, KJ)*CVE(IT)
    STDEVF(IT, KI, KJ)=AVGTRF(IT, KI, KJ)*CVF(IT)
50  CONTINUE
    IF (IOPCAO.GE.1) THEN
    DO 60 KA=1, NCAM
    OLDTEMPO(KA)=0
60  CONTINUE
    END IF
    IF (IOPCAO.GT.1) THEN
    DO 61 KB=1, NCAM
    L=NCIRC(KB)
    LL=NCRUSH(KB)
    EXARTI(KB)=TEMPO+AVGTRE(ITRU(KB), L, LL)
61  CONTINUE
    END IF
    DO 275 KK=1, NCAM
    L=NCIRC(KK)
    LL=NCRUSH(KK)
    X=AVGTRE(ITRU(KK), L, LL)
    Y=STDEVE(ITRU(KK), L, LL)
    IF (IOPCAO.EQ.5) THEN
    IT=ITRU(KK)
    VARIA(L)=VARIA(L)-PRIORI(IT, L)
    END IF
    CALL EMPTY(KK, X, Y)
275 CONTINUE
    XII=DURSIM/ADCLI
    LENGTH=IFIX(XII)
    DO 280 II=1, LENGTH
    TEMPO=II*ADCLI
    DO 290 I=1, NCAM
    GO TO(300,310,320,330,340,350) NSTAT(I)
300 TREMPT(I)=TREMPT(I)-ADCLI
    IF (TREMPT(I).LE.0.) CALL CHECK(I)
    GO TO 290
310 WAIT(I,1)=WAIT(I,1)+ADCLI
    GO TO 290
320 TEMPOLD(I)=TEMPOLD(I)-ADCLI
    IF (TEMPOLD(I).LE.0.) CALL CHECK(I)
    GO TO 290
330 TRFULL(I)=TRFULL(I)-ADCLI
    IF (TRFULL(I).LE.0.) CALL CHECK(I)

```

```

GO TO 290
340 WAIT(I,2)=WAIT(I,2)+ADCLI
GO TO 290
350 DPTEMPO(I)=DPTEMPO(I)-ADCLI
IF(DPTEMPO(I).LE.0.) CALL CHECK(I)
290 CONTINUE
280 CONTINUE
DO 354 LT=1,NCAM
IF(NSTAT(LT).GE.2) CALL DUMPE(LT)
354 CONTINUE
IF(IOPCAO.EQ.1) THEN
DO 355 K=1,NCAM
TONLOAD(NCIRC(K))=TONLOAD(NCIRC(K))+ORE(K)
TONDUMP(NCRUSH(K))=TONDUMP(NCRUSH(K))+ORE(K)
355 CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.GT.1) THEN
DO 360 K=1,NCARR
TONDUMP(NCR(K))=TONDUMP(NCR(K))+TONLOAD(K)
360 CONTINUE
END IF
C ++++++
C RESULTADO DA SIMULACAO
C ++++++
DO 400 K=1,NDESP
TOTPROD=TOTPROD+TONDUMP(K)
400 CONTINUE
DO 410 K=1,NDESP
WAIT(K,1)=0
410 CONTINUE
DO 430 MJ=1,NCAM
L=NCIRC(MJ)
LL=NCRUSH(MJ)
WAIT(LL,1)=WAIT(LL,1)+TOTAL(MJ,2)
TOTWS=TOTWS+TOTAL(MJ,1)
TOTWD=TOTWD+TOTAL(MJ,2)
430 CONTINUE
DO 559 JR=1,NCARR
DMEDIA(JR)=ABS(DESHPR(JR)-TONLOAD(JR))
559 CONTINUE
DO 401 KX=1,NCARR
TOTDEV=TOTDEV+DMEDIA(KX)
401 CONTINUE
DO 561 LV=1,NCARR
VUM(LV)=VUM(LV)+TONLOAD(LV)
PUM(LV)=PUM(LV)+CLOCK(LV)
BUM(LV)=BUM(LV)+DMEDIA(LV)
561 CONTINUE
DO 562 LR=1,NDESP
CUM(LR)=CUM(LR)+TONDUMP(LR)
DUM(LR)=DUM(LR)+WAIT(LR,1)
562 CONTINUE
SUMTOT=TOTPROD+SUMTOT
SUMDEV=TOTDEV+SUMDEV
SUMWS=TOTWS+SUMWS
SUMWD=TOTWD+SUMWD
WRITE(6,776) SOURCE
776 FORMAT(/,1X,' NUMERO DE SEMENTE =',F5.4,/)
WRITE(6,777)
777 FORMAT(/,' NUMERO DA CARREGADEIRA',5X,' TONELAGEM PRODUZIDA'
+ ,5X,' DESVIO DE PRODUCAO',/)
DO 778 LS=1,NCARR
WRITE(6,779) LS,TONLOAD(LS),DMEDIA(LS)
779 FORMAT(7X,I3,T24,F9.2,T45,f8.2)
778 CONTINUE
DO 863 LX=1,NCARR
HMEDIA=HMEDIA+DMEDIA(LX)
863 CONTINUE
WRITE(6,864) HMEDIA
864 FORMAT(/,T45,F8.2)
8000 CONTINUE
TOTPROD=SUMTOT/NOSEEDS

```

```

TOTDEV=SUMDEV/NOSEEDS
TOTWS=SUMWS/NOSEEDS
TOTWD=SUMWD/NOSEEDS
DO 563 LS=1,NCARR
TONLOAD(LS)=VUM(LS)/NOSEEDS
CLOCK(LS)=PUM(LS)/NOSEEDS
DMEDIA(LS)=BUM(LS)/NOSEEDS
563 CONTINUE
DO 564 LW=1,NDESP
TONDUMP(LW)=CUM(LW)/NOSEEDS
WAIT(LW,1)=DUM(LW)/NOSEEDS
564 CONTINUE
WRITE(6,70) TITLE
70 FORMAT(1H1,2X,A70,/)
WRITE(6,*) '                DADOS DE ENTRADA'
IF(IOPCAO.EQ.1) THEN
WRITE(6,80)
80 FORMAT(/,1X,'                REGRA 1 : DESPACHO FIXO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.2) THEN
WRITE(6,90)
90 FORMAT(/,1X,'                REGRA 2 : MAXIMIZAR O CAMINHAO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.3) THEN
WRITE(6,91)
91 FORMAT(/,1X,'                REGRA 3 : MINIMIZAR O TEMPO DE CICLO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
WRITE(6,92)
92 FORMAT(/,1X,'                REGRA 4 : FATOR DE BALANCEAMENTO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.5) THEN
WRITE(6,93)
93 FORMAT(/,1X,'                REGRA 5 : NUMERO DE PRIORIDADE ')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.6) THEN
WRITE(6,94)
94 FORMAT(/,1X,'                REGRA 6 : AJUSTE DO CAMINHAO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.7) THEN
WRITE(6,95)
95 FORMAT(/,1X,'                REGRA 7 : AJUSTO DO TEMPO DE CICLO')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.8) THEN
WRITE(6,96)
96 FORMAT(/,1X,'                REGRA 8 : AJUSTE DO TEMPO ESPERA ')
END IF
IF(IOPCAO.EQ.9) THEN
WRITE(6,97)
97 FORMAT(/,1X,'                REGRA 9 : MAXIMIZAR A CARREGADEIRA')
END IF
WRITE(6,71) NOSEEDS
71 FORMAT(/,' NUMERO TOTAL DE SIMULACOES =',I4)
WRITE(6,100) NCAM,NCARR,NDESP
100 FORMAT(/,' NUMERO DO CAMINHAO',T20,' NUMERO DA CARREGADEIRA',T40,
+' NUMERO DO PONTO DE DESPEJO',/,T7,I2,T26,I2,T45,I2,/)
WRITE(6,110) DURSIM
110 FORMAT(/,' DURACAO DA SIMULACAO =',2X,F6.1,' (MINUTOS)')
WRITE(6,120) ADCLI
120 FORMAT(/,' INCREMENTO DO RELOGIO =',2X,F4.2,' (MINUTOS)',/)
WRITE(6,*) ' PARAMETROS ESTATISTICOS WEIBULL'
DO 131 IT=1,2
DO 131 JT=1,2
WRITE(6,140) AL(IT,JT),BL(IT,JT),GL(IT,JT)
131 CONTINUE
140 FORMAT(/,' CARREGAMENTO :',5X,'ALPHA =',F10.6,5X,'BETA =',F10.6,5X,
+'GAMMA =',F10.6)
IF(IOPCAO.GT.1) THEN
DO 132 IT=1,2
DO 132 JT=1,2
WRITE(6,150) ALT(IT,JT)
132 CONTINUE

```

```

150  FORMAT(/, ' TEMPO MEDIO DE CARREGAMENTO =', 2X, F5.2, ' (MINUTOS)')
      END IF
      DO 133 IT=1,2
      WRITE(6,160) AD(IT),BD(IT),GD(IT)
133  CONTINUE
160  FORMAT(/, ' DESPEJO :', 5X, 'ALPHA =', F10.6, 5X, 'BETA =', F10.6, 5X,
      + 'GAMMA =', F10.6)
      IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
      DO 161 IT=1,2
      WRITE(6,162) ADT(IT)
161  CONTINUE
162  FORMAT(/, ' TEMPO MEDIO DE DESPEJO =', 2X, F5.2, ' (MINUTES)')
      END IF
      DO 134 IT=1,2
      WRITE(6,170) PAYLOAD(IT),IT
134  CONTINUE
170  FORMAT(/, ' PAYLOAD =', F8.2, ' (TONNES)', ' FOR TRUCK TIPO =', I2)
      WRITE(6,*)
      WRITE(6,*) ' TEMPOS DE TRANSPORTE SAO NORMALMENTE DISTRIBUIDOS'
      DO 171 IT=1,2
      WRITE(6,180) CVF(IT),CVE(IT)
171  CONTINUE
180  FORMAT(/, ' CV(CARREGADO) =', 1X, F4.2, 8X, ' CV(VAZIO) =', 1X, F4.2)
      IF(IOPCAO.EQ.1) THEN
      WRITE(6,190)
190  FORMAT(/, ' CAMINHAO ', 3X, ' CARREGADEIRA', 3X, ' DESPEJO', 3X,
      + 'TRANSPORTE VAZIO', 3X, ' TRANSPORTE CARREGADO', ' TIPO DO CAMINHAO')
      DO 200 K=1,NCAM
      L=NCIRC(K)
      LL=NCRUSH(K)
      IK=ITRU(K)
      WRITE(6,210) K,L,LL,AVGTRE(IK,L,LL),AVGTRF(IK,L,LL),IK
210  FORMAT(4X,I3,T15,I3,T26,I3,T38,F6.2,T54,F6.2,T70,I2)
200  CONTINUE
      ELSE
      WRITE(6,220)
220  FORMAT(/, 10X, 'TEMPO MEDIO DE TRANSPORTE VAZIO (MINUTOS)',/,/,
      + ' CARREGADEIRA', 3X, ' BRITADOR (1)', 3X, ' DESPEJO (2)', 3X,
      + ' DESPEJO (3)',/,/)
      DO 230 MI=1,NCARR
      DO 230 IT=1,2
      WRITE(6,240) MI, (AVGTRE(IT,MI,MJ),MJ=1,NDESP)
240  FORMAT(2X,I3,T15,F5.2,T33,F5.2,T51,F5.2)
230  CONTINUE
      WRITE(6,250)
250  FORMAT(/, 11X, ' TEMPO MEDIO DE TRANSPORTE CARREGADO (MINUTOS)',/,/,
      + ' LOAD NO', 3X, ' BRITADOR (1)', 3X, ' DESPEJO (2)', 3X,
      + ' DESPEJO (3)',/,/)
      DO 260 LI=1,NCARR
      DO 260 IT=1,2
      WRITE(6,240) LI, (AVGTRF(IT,LI,LJ),LJ=1,NDESP)
260  CONTINUE
      END IF
      IF(IOPCAO.EQ.5) THEN
      WRITE(6,*)
      WRITE(6,261)
261  FORMAT(/, ' INICIO DA PRIORIDADE DAS CARREGADEIRAS',/,/,
      + ' CARREGADEIRA ', 11X, ' NUMERO INICIAL',/,/)
      DO 262 LA=1,NCARR
      WRITE(6,263) LA,STARTN(LA)
263  FORMAT(5X,I3,T31,F9.2)
262  CONTINUE
      WRITE(6,264)
264  FORMAT(/, ' OBJETIVO DE PRODUCAO ',/,/, ' CARREGADEIRA', 4X
      +, ' TAXA DE PRODUCAO', ' (TON./TURNO)',/,/)
      DO 265 LB=1,NCARR
      WRITE(6,266) LB,DESHPR(LB)
266  FORMAT(5X,I3,T24,F8.2)
265  CONTINUE
      END IF
      IF(IOPCAO.GE.6) THEN
      WRITE(6,*)

```

```

WRITE(6,267)
267  FORMAT(/,' PREMIO DA CARREGADEIRA NO CICLO',//,' CARREGADEIRA',4X,
+ '(MINUTOS)',/)
DO 268 LC=1,NCARR
WRITE(6,269) LC,ASSIGN(LC)
269  FORMAT(5X,I3,T23,F6.2)
268  CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.EQ.8) THEN
WRITE(6,*)
WRITE(6,367)
367  FORMAT(/,' BONUS GIVEN TO THE CARREGADEIRA ON CYCLE AND WAITING
+TEMPO',//,' CARREGADEIRA NUMERO',4X,' BONUS (MINUTES)',/)
DO 368 LW=1,NCARR
WRITE(6,369) LW,ROYAL(LW)
369  FORMAT(5X,I3,T23,F6.2)
368  CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.GE.6) THEN
WRITE(6,270)
270  FORMAT(/,' PERCENTAGE CARREGADEIRA PRODUCTION TO START DECREASE
+BONUS',//,' CARREGADEIRA NUMERO',4X,' PERCENTAGE (%)',/)
DO 271 LD=1,NCARR
PROUT(LD)=PERCENT(LD)*100
WRITE(6,272) LD,PROUT(LD)
272  FORMAT(5X,I3,T23,F6.2)
271  CONTINUE
END IF
IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
DO 554 MH=1,NCARR
WRITE(6,555) FAMAT(MH),MH
555  FORMAT(/,1X,' MATCH NUMERO IS ',2X,F7.3,2X,' FOR CARREGADEIRA ',
+2X,I2)
554  CONTINUE
END IF
WRITE(6,477)
477  FORMAT(/,33X,'OUTPUT DATA')
WRITE(6,478)
478  FORMAT(/,12X,' VALORES MEDIOS DO NUMERO TOTAL DE SIMULACAO')
WRITE(6,479) NOSEEDS
479  FORMAT(/,' NUMERO DE SEMENTE =',I4)
WRITE(6,480)
480  FORMAT(/,' CARREGADEIRA NUMERO',5X,' TONELAGEM CARREGADA',7X,' TEMPO
OCIOSO
+',7X,' CARREGADEIRA DEVIATION',/)
DO 9670 MJ=1,NCAM
L=NCIRC(MJ)
LL=NCRUSH(MJ)
IF(IOPCAO.EQ.1) THEN
WRITE(6,9680) MJ,L,LL,MINERIO(MJ),TOTAL(MJ,1),TOTAL(MJ,2)
9680  FORMAT(4X,I3,T15,I3,T26,I3,T38,F6.1,T53,F6.2,T69,F6.2)
ELSE
ID=1
IDD=ID+4
DAT=LCOUNTER(MJ)
NNK=LCOUNTER(MJ)
JCARD=(DAT/5.)+0.9
DO 9690 J=1,JCARD
IF(J.EQ.JCARD) IDD=IDD-1
IF(IDD.GE.ID) WRITE(6,9700) MJ,(NARRAY1(MJ,MMK),ARRAY2(MJ,MMK),
+MMK=ID,IDD)
9700  FORMAT(4X,I2,9X,5(I2,2X,F6.2,3X))
ID=IDD+1
IDD=ID+4
IF(IDD.GT.NNK) IDD=NNK
9690  CONTINUE
WRITE(6,9710) MINERIO(MJ),TOTAL(MJ,1),TOTAL(MJ,2)
9710  FORMAT(/,6X,' TONELAGEM TRANSPORTADA =',F6.1,3X,' ESPERA NAS
+CARREGADEIRAS =',F6.2,3X,' ESPERA NOS DESPEJOS =',F6.2,/)
END IF
9670  CONTINUE
DO 490 K=1,NCARR

```



```

        TMIDDLE=DURSIM-CLOCK(K)
        WRITE(6,500) K,TONLOAD(K),TMIDDLE,DMEDIA(K)
500    FORMAT(//,7X,I3,T24,F7.2,T43,F6.2,T62,F7.2)
490    CONTINUE
        WRITE(6,510)
510    FORMAT(/,' NUMERO DO DESPEJO',5X,' TONELAGEM PRODUZIDA',5X,
+ 'TEMPO TOTAL DE ESPERA',/)
        DO 520 K=1,NDESP
        WRITE(6,530) K,TONDUMP(K),WAIT(K,1)
530    FORMAT(/,7X,I3,T23,F8.2,T42,F6.2)
520    CONTINUE
        WRITE(6,540) TOTPROD
540    FORMAT(/,' PRODUAO TOTAL=',2X,F10.2,' (TONELADAS)',/)
        WRITE(6,549) TOTDEV
549    FORMAT(/,' DESVIO DE PRODUCAO = ',2X,F10.2,/)
        WRITE(6,550) TOTWS
550    FORMAT(/,' TEMPO DE ESPERA DOS CAMINHOS NAS CARREGADEIRAS = ',2X,F10
+ .2,' (MINUTOS)',/)
        WRITE(6,560) TOTWD
560    FORMAT(/,' TEMPO TOTAL DE ESPERA NO DESPEJO = ',2X,F10.2,'
+ (MINUTES)',/)
        CLOSE(5)
        CLOSE(6)
        STOP
        END

```

```

C *****
SUBROUTINE VERIFICA(I)
COMMON NCAM,NCARR,NDESP,TEMPO,IOPCAO,ITIPO,JTIPO,OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30),TREMPT(30),DPTEMPO(30),TRFULL(30),NCIRC(30),NSTAT(30),
+NCRUSH(30),NCR(30),PAYLOAD(2),ORE(30),TOTAL(30,2),WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10),AVGTRF(2,30,10),STDEVE(2,30,10),STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2),BL(2,2),GL(2,2),AD(2),BD(2),GD(2),ALT(2,2),ADT(2),
+CLOCK(10),TONLOAD(30),TONDUMP(30),NSORT(30),LCOUNTER(30),
+EXFILT(30),EXARTI(30),DECIS(30),ITRU(30),JSHO(30),CUR(30),
+EMPTTOT,FULLTOT,CMAFAC(30),NOSEEDS,FAMAT(10),PENAL(30),
+DUMPTOT,TOTLOAD,AVGLD(2,30),AVGDP(2,10),AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10),DMEDIA(10),BUM(10),SUMDEV,AVWAIT(30),
+SACRIF(30),PERCENT(30),TESPRO(30),RATIO(30),NSAVE(30),MSAVE(30),
+SAINTP(30),VUM(30),PUM(10),DUM(30),CUM(30),SUMTOT,SUMWD,SUMWS,
+DESHPR(30),SAVE(30),EFT,EXPLT,NARRAY1(30,200),ARRAY2(30,200)

```

```

C *****
IJKLM=I
GO TO(1,2,3,4,5,6) NSTAT(I)
1    DO 10 KA=1,NCAM
    IF(NSTAT(KA).NE.3) GO TO 10
    IF(NCIRC(KA).NE.NCIRC(I)) GO TO 10
    NSTAT(I)=2
10   CONTINUE
    IF(NSTAT(I).EQ.1) CALL LOAD(I)
    GO TO 20
2    STOP
3    NCOUNT=0
    DO 30 KD=1,NCAM
    IF(NSTAT(KD).NE.2) GO TO 30
    IF(NCIRC(KD).NE.NCIRC(I)) GO TO 30
    NCOUNT=NCOUNT+1
    NSAVE(NCOUNT)=KD
30   CONTINUE
    L=NCIRC(I)
    LL=NCRUSH(I)
    X=AVGTRF(ITRU(I),L,LL)
    Y=STDEVF(ITRU(I),L,LL)
    CALL FULL(I,X,Y)
    IF(NCOUNT.EQ.0) GO TO 20
    KEEP=0
    BIG=0.
    DO 40 KB=1,NCOUNT
    J=NSAVE(KB)
    TEST=WAIT(J,1)
    IF(TEST.LT.BIG) GO TO 40
    BIG=TEST
    KEEP=J

```

```

40  CONTINUE
    CALL LOAD(KEEP)
    TOTAL(KEEP,1)=TOTAL(KEEP,1)+BIG
    WAIT(KEEP,1)=0.
    GO TO 20
4   DO 50 KE=1,NCAM
    IF(NSTAT(KE).NE.6) GO TO 50
    IF(NCRUSH(KE).NE.NCRUSH(I)) GO TO 50
    NSTAT(I)=5
50  CONTINUE
    IF(NSTAT(I).EQ.4) CALL DUMPE(I)
    GO TO 20
5   STOP
6   NCOUNTI=0
    DO 60 KF=1,NCAM
    IF(NSTAT(KF).NE.5) GO TO 60
    IF(NCRUSH(KF).NE.NCRUSH(I)) GO TO 60
    NCOUNTI=NCOUNTI+1
    MSAVE(NCOUNTI)=KF
60  CONTINUE
    IF(IOPCAO.GT.1) THEN
    CALL DECISAO(I)
    END IF
    L=NCIRC(I)
    LL=NCRUSH(I)
    X=AVGTRE(ITRU(I),L,LL)
    Y=STDEVE(ITRU(I),L,LL)
    CALL EMPTY(I,X,Y)
    IF(NCOUNTI.EQ.0) GO TO 20
    BIG=0.
    DO 70 KC=1,NCOUNTI
    J=MSAVE(KC)
    TEST=WAIT(J,2)
    IF(TEST.LT.BIG) GO TO 70
    BIG=TEST
    KEEP=J
70  CONTINUE
    CALL DUMPE(KEEP)
    TOTAL(KEEP,2)=TOTAL(KEEP,2)+BIG
    WAIT(KEEP,2)=0.
    I=IJKLM
20  RETURN
    END
C *****
  SUBROUTINE CARREFAR(I)
    COMMON NCAM,NCARR,NDESP,TEMPO,IOPCAO,ITIPO,JTIPO,OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30),TREMPT(30),DPTEMPO(30),TRFULL(30),NCIRC(30),NSTAT(30),
+NCRUSH(30),NCR(30),PAYLOAD(2),ORE(30),TOTAL(30,2),WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10),AVGTRF(2,30,10),STDEVE(2,30,10),STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2),BL(2,2),GL(2,2),AD(2),BD(2),GD(2),ALT(2,2),ADT(2),
+CLOCK(10),TONLOAD(30),TONDUMP(30),NSORT(30),LCOUNTER(30),
+EXFILT(30),EXARTI(30),DECIS(30),ITRU(30),JSHO(30),CUR(30),
+EMPTTOT,FULLTOT,CMAFAC(30),NOSEEDS,FAMAT(10),PENAL(30),
+DUMPTOT,TOTLOAD,AVGLD(2,30),AVGDP(2,10),AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10),DMEDIA(10),BUM(10),SUMDEV,AVWAIT(30),
+SACRIF(30),PERCENT(30),TESPRO(30),RATIO(30),NSAVE(30),MSAVE(30),
+SAINTP(30),VUM(30),PUM(10),DUM(30),CUM(30),SUMTOT,SUMWD,SUMWS,
+DESHPR(30),SAVE(30),EFT,EXPLT,NARRAY1(30,200),ARRAY2(30,200)
C *****
  COMMON /SRLOAD/ ALOA(2,30,5),DURSIM
  NSTAT(I)=3
  IT=ITRU(I)
  JT=JSHO(NCIRC(I))
  X=RAND(0.0)
  Y=(ALOG(1.-X))
  Y=-Y
  Z=(Y**(1./AL(IT,JT)))*BL(IT,JT)
  TEMPOLD(I)=GL(IT,JT)+Z
  IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
  TOTLOAD=0.
  DO 5 J=1,4
  ALOA(IT,NCIRC(I),J)=ALOA(IT,NCIRC(I),J+1)

```

```

5 CONTINUE
  ALOA(IT, NCIRC(I), 5)=TEMPOLD(I)
  DO 6 L=1, 5
    TOTLOAD=TOTLOAD+ALOA(IT, NCIRC(I), L)
6 CONTINUE
  AVGLD(IT, NCIRC(I))=TOTLOAD/5.
  END IF
  IF(IOPCAO.GE.2) THEN
    NARRAY1(I, LCOUNTER(I))=NCIRC(I)
    ARRAY2(I, LCOUNTER(I))=OLDTEMPO(I)
    LCOUNTER(I)=LCOUNTER(I)+1
  END IF
  IF(EXPLT.GE.DURSIM) GO TO 7
  TLEFT=DURSIM-TEMPO
  IF(TLEFT.GE.TEMPOLD(I)) CLOCK(NCIRC(I))=CLOCK(NCIRC(I))+TEMPOLD(I)
  EXFILT(I)=TEMPO+ALT(IT, JT)
7 RETURN
  END

```

C *****

```

SUBROUTINE DESPEJO(I)
COMMON NCAM, NCARR, NDESP, TEMPO, IOPCAO, ITIPO, JTIPO, OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30), TREMPT(30), DPTEMPO(30), TRFULL(30), NCIRC(30), NSTAT(30),
+NCRUSH(30), NCR(30), PAYLOAD(2), ORE(30), TOTAL(30,2), WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10), AVGTRF(2,30,10), STDEVE(2,30,10), STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2), BL(2,2), GL(2,2), AD(2), BD(2), GD(2), ALT(2,2), ADT(2),
+CLOCK(10), TONLOAD(30), TONDUMP(30), NSORT(30), LCOUNTER(30),
+EXFILT(30), EXARTI(30), DECIS(30), ITRU(30), JSHO(30), CUR(30),
+EMPTTOT, FULLTOT, CMAFAC(30), NOSEEDS, FAMAT(10), PENAL(30),
+DUMPTOT, TOTLOAD, AVGLD(2,30), AVGDP(2,10), AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10), DMEDIA(10), BUM(10), SUMDEV, AVWAIT(30),
+SACRIF(30), PERCENT(30), TESPRO(30), RATIO(30), NSAVE(30), MSAVE(30),
+SAINTP(30), VUM(30), PUM(10), DUM(30), CUM(30), SUMTOT, SUMWD, SUMWS,
+DESHPR(30), SAVE(30), EFT, EXPLT, NARRAY1(30,200), ARRAY2(30,200)

```

C *****

```

COMMON /SRDUMP/ DUMP(2,30,5)
  NSTAT(I)=6
  IT=ITRU(I)
  X=Rand(0.0)
  Y=(ALOG(1.-X))
  Y=-Y
  Z=(Y*1./AD(IT))*BD(IT)
  DPTEMPO(I)=GD(IT)+Z
  IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
    DUMPTOT=0.
    DO 5 J=1, 4
      DUMP(IT, NCRUSH(I), J)=DUMP(IT, NCRUSH(I), J+1)
5 CONTINUE
    DUMP(IT, NCRUSH(I), 5)=DPTEMPO(I)
    DO 6 L=1, 5
      DUMPTOT=DUMPTOT+DUMP(IT, NCRUSH(I), L)
6 CONTINUE
    AVGDP(IT, NCRUSH(I))=DUMPTOT/5.
  END IF
  ORE(I)=ORE(I)+PAYLOAD(IT)
  IF(IOPCAO.GT.1) THEN
    TONLOAD(NCIRC(I))=TONLOAD(NCIRC(I))+PAYLOAD(IT)
  END IF
  RETURN
  END

```

C *****

```

SUBROUTINE CHEIO(I, X, Y)
COMMON NCAM, NCARR, NDESP, TEMPO, IOPCAO, ITIPO, JTIPO, OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30), TREMPT(30), DPTEMPO(30), TRFULL(30), NCIRC(30), NSTAT(30),
+NCRUSH(30), NCR(30), PAYLOAD(2), ORE(30), TOTAL(30,2), WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10), AVGTRF(2,30,10), STDEVE(2,30,10), STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2), BL(2,2), GL(2,2), AD(2), BD(2), GD(2), ALT(2,2), ADT(2),
+CLOCK(10), TONLOAD(30), TONDUMP(30), NSORT(30), LCOUNTER(30),
+EXFILT(30), EXARTI(30), DECIS(30), ITRU(30), JSHO(30), CUR(30),
+EMPTTOT, FULLTOT, CMAFAC(30), NOSEEDS, FAMAT(10), PENAL(30),
+DUMPTOT, TOTLOAD, AVGLD(2,30), AVGDP(2,10), AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10), DMEDIA(10), BUM(10), SUMDEV, AVWAIT(30),
+SACRIF(30), PERCENT(30), TESPRO(30), RATIO(30), NSAVE(30), MSAVE(30),

```

```

+SAINTP(30), VUM(30), PUM(10), DUM(30), CUM(30), SUMTOT, SUMWD, SUMWS,
+DESHPR(30), SAVE(30), EFT, EXPLT, NARRAY1(30,200), ARRAY2(30,200)
C *****
COMMON /SRFULL/ BULL(2,30,10,5)
SUM=0.
IT=ITRU(I)
DO 10 K=1,12
R=RAND(0.0)
SUM=SUM+R
10 CONTINUE
TRFULL(I)=SUM*(Y/2.)+X-3.*Y
IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
KBB=NCIRC(I)
KCC=NCRUSH(I)
FULLTOT=0.
DO 5 J=1,4
BULL(IT,KBB,KCC,J)=BULL(IT,KBB,KCC,J+1)
5 CONTINUE
BULL(IT,KBB,KCC,5)=TRFULL(I)
DO 6 L=1,5
FULLTOT=FULLTOT+BULL(IT,KBB,KCC,L)
6 CONTINUE
AVGFULL(IT,KBB,KCC)=FULLTOT/5.
END IF
NSTAT(I)=4
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE VAZIO (I,X,Y)
COMMON NCAM,NCARR,NDESP,TEMPO,IOPCAO,ITIPO,JTIPO,OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30),TREMPT(30),DPTEMPO(30),TRFULL(30),NCIRC(30),NSTAT(30),
+NCRUSH(30),NCR(30),PAYLOAD(2),ORE(30),TOTAL(30,2),WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10),AVGTRF(2,30,10),STDEVE(2,30,10),STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2),BL(2,2),GL(2,2),AD(2),BD(2),GD(2),ALT(2,2),ADT(2),
+CLOCK(10),TONLOAD(30),TONDUMP(30),NSORT(30),LCOUNTER(30),
+EXFILT(30),EXARTI(30),DECIS(30),ITRU(30),JSHO(30),CUR(30),
+EMPTTOT,FULLTOT,CMAFAC(30),NOSEEDS,FAMAT(10),PENAL(30),
+DUMPTOT,TOTLOAD,AVGLD(2,30),AVGDP(2,10),AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10),DMEDIA(10),BUM(10),SUMDEV,AVWAIT(30),
+SACRIF(30),PERCENT(30),TESPRO(30),RATIO(30),NSAVE(30),MSAVE(30),
+SAINTP(30),VUM(30),PUM(10),DUM(30),CUM(30),SUMTOT,SUMWD,SUMWS,
+DESHPR(30),SAVE(30),EFT,EXPLT,NARRAY1(30,200),ARRAY2(30,200)
C *****
COMMON /SREMPT/ EMPT(2,30,10,5)
SUM=0.
IT=ITRU(I)
DO 10 K=1,12
R=RAND(0.0)
SUM=SUM+R
10 CONTINUE
TREMPT(I)=SUM*(Y/2.)+X-3.*Y
IF(IOPCAO.EQ.4) THEN
KBB=NCIRC(I)
KCC=NCRUSH(I)
EMPTTOT=0.
DO 5 J=1,4
EMPT(IT,KBB,KCC,J)=EMPT(IT,KBB,KCC,J+1)
5 CONTINUE
EMPT(IT,KBB,KCC,5)=TREMPT(I)
DO 6 L=1,5
EMPTTOT=EMPTTOT+EMPT(IT,KBB,KCC,L)
6 CONTINUE
AVGEMPT(IT,KBB,KCC)=EMPTTOT/5.
END IF
NSTAT(I)=1
NCRUSH(I)=NCR(NCIRC(I))
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE DECISAO(I)
COMMON NCAM,NCARR,NDESP,TEMPO,IOPCAO,ITIPO,JTIPO,OLDTEMPO(30),
+TEMPOLD(30),TREMPT(30),DPTEMPO(30),TRFULL(30),NCIRC(30),NSTAT(30),

```

```

+NCRUSH(30),NCR(30),PAYLOAD(2),ORE(30),TOTAL(30,2),WAIT(30,2),
+AVGTRE(2,30,10),AVGTRF(2,30,10),STDEVE(2,30,10),STDEVF(2,30,10),
+AL(2,2),BL(2,2),GL(2,2),AD(2),BD(2),GD(2),ALT(2,2),ADT(2),
+CLOCK(10),TONLOAD(30),TONDUMP(30),NSORT(30),LCOUNTER(30),
+EXFILT(30),EXARTI(30),DECIS(30),ITRU(30),JSHO(30),CUR(30),
+EMPTTOT,FULLTOT,CMAFAC(30),NOSEEDS,FAMAT(10),PENAL(30),
+DUMPTOT,TOTLOAD,AVGLD(2,30),AVGDP(2,10),AVGFULL(2,30,10),
+AVGEMPT(2,30,10),DMEDIA(10),BUM(10),SUMDEV,AVWAIT(30),
+SACRIF(30),PERCENT(30),TESPRO(30),RATIO(30),NSAVE(30),MSAVE(30),
+SAINTP(30),VUM(30),PUM(10),DUM(30),CUM(30),SUMTOT,SUMWD,SUMWS,
+DESHPR(30),SAVE(30),EFT,EXPLT,NARRAY1(30,200),ARRAY2(30,200)

```

```

C *****
COMMON /SRDECI/ VARIA(10),PRIORI(2,10),STARTN(10)
DIMENSION IWATCH(30),ISAVE(30),WATCH(30)
BEST=10000.
GO TO (14,24,34,44,54,64,74,84,94,104) IOPCAO
14 GO TO 999
24 DO 10 J=1,NCARR
DO 22 JKL=1,NCAM
ISAVE(JKL)=0
22 CONTINUE
TOTLT=0.
IT=ITRU(I)
JT=JSHO(J)
IT=ITRU(I)
KTBLD=0
EXPLT=0.
KEEP=1
DO 20 K=1,NCAM
IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 20
IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K
IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 30
IT=ITRU(K)
TOTLT=TOTLT+ALT(IT,JT)
30 IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 20
ISAVE(KEEP)=K
KEEP=KEEP+1
20 CONTINUE
IF(KTBLD.EQ.0) THEN
EFT=TEMPO
ELSE
EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
END IF
IF(KEEP.GE.2) GO TO 41
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)
GO TO 666
41 NSWAP=1
55 IF(NSWAP.LT.1) GO TO 52
NSWAP=0
DO 53 LX=2,KEEP-1
IF(EXARTI(ISAVE(LX)).GE.EXARTI(ISAVE(LX-1))) GO TO 53
TEMP=ISAVE(LX)
ISAVE(LX)=ISAVE(LX-1)
ISAVE(LX-1)=TEMP
NSWAP=1
53 CONTINUE
GO TO 55
52 DO 96 LW=1,KEEP-1
NSORT(LW)=ISAVE(LW)
96 CONTINUE
NTRURO=KEEP-1
DO 90 JW=1,NTRURO
IT=ITRU(NSORT(JW))
EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT,JT)
IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 909
EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT,JT)
909 EFT=EXFILT(NSORT(JW))
90 CONTINUE
IT=ITRU(I)

```

```

EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)
666 IF(EXPLT.GT.BEST) GO TO 10
NCIRC(I)=J
BEST=EXPLT
EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
10 CONTINUE
GO TO 999
34 DO 110 J=1,NCARR
DO 122 JKL=1,NCAM
ISAVE(JKL)=0
122 CONTINUE
TOTLT=0.
IT=ITRU(I)
JT=JSHO(J)
IT=ITRU(I)
KTBLD=0
EXPLT=0.
KEEP=1
DO 120 K=1,NCAM
IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 120
IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K
IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 130
IT=ITRU(K)
TOTLT=TOTLT+ALT(IT,JT)
130 IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 120
ISAVE(KEEP)=K
KEEP=KEEP+1
120 CONTINUE
IF(KTBLD.EQ.0) THEN
EFT=TEMPO
ELSE
EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
END IF
IF(KEEP.GE.2) GO TO 141
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT,J,NCR(J))
GO TO 1666
141 NSWAP=1
155 IF(NSWAP.LT.1) GO TO 152
NSWAP=0
DO 153 LX=2,KEEP-1
IF(EXARTI(ISAVE(LX)).GE.EXARTI(ISAVE(LX-1))) GO TO 153
TEMP=ISAVE(LX)
ISAVE(LX)=ISAVE(LX-1)
ISAVE(LX-1)=TEMP
NSWAP=1
153 CONTINUE
GO TO 155
152 DO 196 LW=1,KEEP-1
NSORT(LW)=ISAVE(LW)
196 CONTINUE
NTRURO=KEEP-1
DO 190 JW=1,NTRURO
IT=ITRU(NSORT(JW))
EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT,JT)
IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 1909
EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT,JT)
1909 EFT=EXFILT(NSORT(JW))
190 CONTINUE
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT,J,NCR(J))
1666 IF(EXPLT.GT.BEST) GO TO 110
NCIRC(I)=J
BEST=EXPLT
EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
110 CONTINUE

```

```

GO TO 999
44  SMALL=0.
    KSMALL=1
    DO 810 J=1, NCARR
    KCOUNT=0
    KNCOUNT=0
    TOTLT=0.
    JT=JSHO(J)
    IT=ITRU(I)
    DO 821 K=1, NCAM
    IF(NCIRC(K).EQ.J.AND.K.NE.I) KNCOUNT=KNCOUNT+1
821  CONTINUE
    DO 822 K=1, NCAM
    IF(NCIRC(K).NE.J.AND.NSTAT(K).GT.2) GO TO 822
    IF(I.EQ.K) GO TO 822
    KCOUNT=KCOUNT+1
    IT=ITRU(K)
    TOTLT=TOTLT+ALT(IT, JT)
822  CONTINUE
    IF(KCOUNT.LE.0) THEN
    IT=ITRU(I)
    KCOUNT=1
    TOTLT=ALT(IT, JT)
    END IF
    TOTLT=TOTLT/KCOUNT
    IT=ITRU(I)
    CUR(J)=AVGLD(IT, J)+AVGDP(IT, NCR(J))+AVGFULL(IT, J, NCR(J))+AVGEMPT(
+IT, J, NCR(J))
    CMAFAC(J)=KNCOUNT/(CUR(J)/TOTLT)
    CMAFAC(J)=KNCOUNT/FAMAT(J)
810  CONTINUE
    SMALL=CMAFAC(1)
    DO 808 KS=2, NCARR
    IF(CMAFAC(KS).LT.SMALL) THEN
    SMALL=CMAFAC(KS)
    KSMALL=KS
    END IF
808  CONTINUE
    NCIRC(I)=KSMALL
    GO TO 999
54  BIGGER=0.
    KBIGGER=1
    BIGGER=VARIA(1)
    DO 1031 KK=2, NCARR
    IF(VARIA(KK).GT.BIGGER) THEN
    BIGGER=VARIA(KK)
    KBIGGER=KK
    END IF
1031 CONTINUE
    NCIRC(I)=KBIGGER
    IT=ITRU(I)
    VARIA(KBIGGER)=VARIA(KBIGGER)-PRIORI(IT, KBIGGER)
    GO TO 999
64  DO 610 J=1, NCARR
    IF(TONLOAD(J).GE.DESHPR(J)) SACRIF(J)=0.
    DO 622 JKL=1, NCAM
    ISAVE(JKL)=0
622  CONTINUE
    TOTLT=0.
    IT=ITRU(I)
    JT=JSHO(J)
    IT=ITRU(I)
    KTBLD=0
    EXPLT=0.
    KEEP=1
    DO 620 K=1, NCAM
    IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 620
    IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K
    IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 630
    IT=ITRU(K)
    TOTLT=TOTLT+ALT(IT, JT)
630  IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 620

```

```

        ISAVE(KEEP)=K
        KEEP=KEEP+1
620    CONTINUE
        IF(KTBLD.EQ.0) THEN
            EFT=TEMPO
        ELSE
            EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
        END IF
        IF(KEEP.GE.2) GO TO 641
        IT=ITRU(I)
        EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
        IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
        EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)
        GO TO 6666
641    NSWAP=1
655    IF(NSWAP.LT.1) GO TO 652
        NSWAP=0
        DO 653 LX=2,KEEP-1
            IF(EXARTI(ISAVE(LX)).GE.EXARTI(ISAVE(LX-1))) GO TO 653
            TEMP=ISAVE(LX)
            ISAVE(LX)=ISAVE(LX-1)
            ISAVE(LX-1)=TEMP
        NSWAP=1
653    CONTINUE
        GO TO 655
652    DO 696 LW=1,KEEP-1
            NSORT(LW)=ISAVE(LW)
696    CONTINUE
            NTRURO=KEEP-1
            DO 690 JW=1,NTRURO
                IT=ITRU(NSORT(JW))
                EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT,JT)
                IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 6909
                EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT,JT)
6909    EFT=EXFILT(NSORT(JW))
690    CONTINUE
            IT=ITRU(I)
            EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
            IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
            EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)
6666    IF(EXPLT.GT.BEST) GO TO 610
            NCIRC(I)=J
            BEST=EXPLT
            EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
610    CONTINUE
            IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.DESHPR(NCIRC(I))) GO TO 63998
            TESPRO(NCIRC(I))=PERCENT(NCIRC(I))*DESHPR(NCIRC(I))
            IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.TESPRO(NCIRC(I))) THEN
                RATIO(NCIRC(I))=TONLOAD(NCIRC(I))/DESHPR(NCIRC(I))
                IF(RATIO(NCIRC(I)).GE.1.) RATIO(NCIRC(I))=1.
                IF(PERCENT(NCIRC(I)).GE.1.) PERCENT(NCIRC(I))=.99999
                ENUMERA=SACRIF(NCIRC(I))*(1.-RATIO(NCIRC(I)))
                DENOMIN=1.-PERCENT(NCIRC(I))
                SAINTP(NCIRC(I))=ENUMERA/DENOMIN
                SACRIF(NCIRC(I))=SAINTP(NCIRC(I))
            END IF
63998    GO TO 999
74    DO 7110 J=1,NCARR
            IF(TONLOAD(J).GE.DESHPR(J)) PENAL(J)=0.
            DO 7122 JKL=1,NCAM
                ISAVE(JKL)=0
7122    CONTINUE
                TOTLT=0.
                IT=ITRU(I)
                JT=JSHO(J)
                IT=ITRU(I)
                KTBLD=0
                EXPLT=0.
                KEEP=1
                DO 7120 K=1,NCAM
                    IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 7120
                    IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K

```



```

IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 7130
IT=ITRU(K)
TOTLT=TOTLT+ALT(IT, JT)
7130 IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 7120
ISAVE(KEEP)=K
KEEP=KEEP+1
7120 CONTINUE
IF(KTBLD.EQ.0) THEN
EFT=TEMPO
ELSE
EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
END IF
IF(KEEP.GE.2) GO TO 7141
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT, J, NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT, JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT, J, NCR(J))
GO TO 71666
7141 NSWAP=1
7155 IF(NSWAP.LT.1) GO TO 7152
NSWAP=0
DO 7153 LX=2, KEEP-1
IF(EXARTI(ISAVE(LX)).GE.EXARTI(ISAVE(LX-1))) GO TO 7153
TEMP=ISAVE(LX)
ISAVE(LX)=ISAVE(LX-1)
ISAVE(LX-1)=TEMP
NSWAP=1
7153 CONTINUE
GO TO 7155
7152 DO 7196 LW=1, KEEP-1
NSORT(LW)=ISAVE(LW)
7196 CONTINUE
NTRURO=KEEP-1
DO 7190 JW=1, NTRURO
IT=ITRU(NSORT(JW))
EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT, JT)
IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 71909
EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT, JT)
71909 EFT=EXFILT(NSORT(JW))
7190 CONTINUE
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT, J, NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT, JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT, J, NCR(J))
71666 IF(EXPLT.GT.BEST) GO TO 7110
NCIRC(I)=J
BEST=EXPLT
EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(IT, J, NCRUSH(I))
7110 CONTINUE
IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.DESHPR(NCIRC(I))) GO TO 74998
TESPRO(NCIRC(I))=PERCENT(NCIRC(I))*DESHPR(NCIRC(I))
IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.TESPRO(NCIRC(I))) THEN
RATIO(NCIRC(I))=TONLOAD(NCIRC(I))/DESHPR(NCIRC(I))
IF(RATIO(NCIRC(I)).GE.1.) RATIO(NCIRC(I))=1.
IF(PERCENT(NCIRC(I)).GE.1.) PERCENT(NCIRC(I))=.99999
ENUMERA=PENAL(NCIRC(I))*(1.-RATIO(NCIRC(I)))
DENOMIN=1.-PERCENT(NCIRC(I))
SAINTP(NCIRC(I))=ENUMERA/DENOMIN
PENAL(NCIRC(I))=SAINTP(NCIRC(I))
END IF
74998 GO TO 999
84 DO 8110 J=1, NCARR
IF(TONLOAD(J).GT.DESHPR(J)) THEN
AVWAIT(J)=0.
PENAL(J)=0.
END IF
SOMA=0.
SOMA=PENAL(J)+AVWAIT(J)
DO 8122 JKL=1, NCAM
ISAVE(JKL)=0
8122 CONTINUE
TOTLT=0.

```

```

IT=ITRU(I)
JT=JSHO(J)
IT=ITRU(I)
KTBLD=0
EXPLT=0.
KEEP=1
DO 8120 K=1,NCAM
IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 8120
IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K
IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 8130
IT=ITRU(K)
TOTLT=TOTLT+ALT(IT,JT)
8130 IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 8120
ISAVE(KEEP)=K
KEEP=KEEP+1
8120 CONTINUE
IF(KTBLD.EQ.0) THEN
EFT=TEMPO
ELSE
EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
END IF
IF(KEEP.GE.2) GO TO 8141
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT,J,NCR(J))-SOMA
GO TO 81666
8141 NSWAP=1
8155 IF(NSWAP.LT.1) GO TO 8152
NSWAP=0
DO 8153 LX=2,KEEP-1
IF(EXARTI(ISAVE(LX)).GE.EXARTI(ISAVE(LX-1))) GO TO 8153
TEMP=ISAVE(LX)
ISAVE(LX)=ISAVE(LX-1)
ISAVE(LX-1)=TEMP
NSWAP=1
8153 CONTINUE
GO TO 8155
8152 DO 8196 LW=1,KEEP-1
NSORT(LW)=ISAVE(LW)
8196 CONTINUE
NTRURO=KEEP-1
DO 8190 JW=1,NTRURO
IT=ITRU(NSORT(JW))
EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT,JT)
IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 81909
EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT,JT)
81909 EFT=EXFILT(NSORT(JW))
8190 CONTINUE
IT=ITRU(I)
EXPLT=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
IF(EXPLT.LT.EFT) EXPLT=EFT
EXPLT=EXPLT+ALT(IT,JT)+ADT(IT)+AVGTRF(IT,J,NCR(J))-SOMA
81666 IF(EXPLT.GT.BEST) GO TO 8110
NCIRC(I)=J
BEST=EXPLT
EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(IT,J,NCRUSH(I))
8110 CONTINUE
IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.DESHPR(NCIRC(I))) GO TO 84998
TESPRO(NCIRC(I))=PERCENT(NCIRC(I))*DESHPR(NCIRC(I))
IF(TONLOAD(NCIRC(I)).GE.TESPRO(NCIRC(I))) THEN
RATIO(NCIRC(I))=TONLOAD(NCIRC(I))/DESHPR(NCIRC(I))
IF(RATIO(NCIRC(I)).GE.1.) RATIO(NCIRC(I))=1.
IF(PERCENT(NCIRC(I)).GE.1.) PERCENT(NCIRC(I))=.99999
ENUMERA=PENAL(NCIRC(I))*(1.-RATIO(NCIRC(I)))
DENOMIN=1.-PERCENT(NCIRC(I))
SAINTP(NCIRC(I))=ENUMERA/DENOMIN
PENAL(NCIRC(I))=SAINTP(NCIRC(I))
END IF
84998 GO TO 999
94 IFLAG=0
DO 910 J=1,NCARR

```

```

IF(IFLAG.NE.0) GO TO 910
TOTLT=0.
JT=JSHO(J)
IT=ITRU(I)
KTBLD=0
EXPLT=0.
KEEP=1
KCOUNT=0
DO 920 K=1,NCAM
IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 920
IF(NSTAT(K).EQ.3) KTBLD=K
IF(NSTAT(K).NE.2) GO TO 930
IFLAG=1
IT=ITRU(K)
TOTLT=TOTLT+ALT(IT,JT)
IF(NCIRC(K).EQ.J) KCOUNT=KCOUNT+1
930 IF(NSTAT(K).NE.1) GO TO 920
IF(NCIRC(K).NE.J) GO TO 920
SAVE(KEEP)=K
KEEP=KEEP+1
920 CONTINUE
IF(KEEP.NE.1) GO TO 929
IF(KCOUNT.NE.0) GO TO 929
IF(KTBLD.NE.0) GO TO 929
NCIRC(I)=J
KEEP=J
IFLAG=1
GO TO 910
929 NN=1
WATCH(1)=0
DO 940 NNN=1,KEEP-1
BIG=10000
DO 950 K=1,KEEP-1
LSTOP=0
INSAVE=IFIX(SAVE(K))
X=EXARTI(INSAVE)
DO 960 LK=1,NN
IF(SAVE(K).EQ.WATCH(K)) LSTOP=1
960 CONTINUE
IF(LSTOP.EQ.1) GO TO 950
IF(X.LE.BIG) BIG=X
950 CONTINUE
DO 970 KP=1,KEEP-1
JNSAVE=IFIX(SAVE(KP))
IF(EXARTI(JNSAVE).NE.BIG) GO TO 970
NSORT(NN)=SAVE(KP)
WATCH(NN)=SAVE(KP)
WATCH(NN+1)=0.
970 CONTINUE
NN=NN+1
940 CONTINUE
EFT=TEMPO
IF(KTBLD.EQ.0) GO TO 980
EFT=EXFILT(KTBLD)+TOTLT
980 NTRURO=NN-1
DO 990 JW=1,NTRURO
IT=ITRU(NSORT(JW))
EXFILT(NSORT(JW))=EXARTI(NSORT(JW))+ALT(IT,JT)
IF(EXARTI(NSORT(JW)).GT.EFT) GO TO 900
EXFILT(NSORT(JW))=EFT+ALT(IT,JT)
900 EFT=EXFILT(NSORT(JW))
990 CONTINUE
DECIS(J)=EFT
910 CONTINUE
IF(IFLAG.NE.0) GO TO 921
YY=10000.
DO 922 KT=1,NCARR
IF(DECIS(KT).GE.YY) GO TO 922
YY=DECIS(KT)
NCIRC(I)=KT
KEEP=KT
922 CONTINUE

```

```
921  EXARTI(I)=TEMPO+AVGTRE(ITRU(I),KEEP,NCRUSH(I))
      GO TO 999
104  GO TO 999
999  CONTINUE
      OLDTEMPO(I)=TEMPO
      RETURN
      END
      FUNCTION RAND(SOURCE)
      REAL*8 ASEED,X,PI
      DATA PI/3.14159265358980d0/
      IF(SOURCE.EQ.0.0) GO TO 1
      ASEED=SOURCE
1     X=(ASEED+PI)**5
      ASEED=X-DINT(X)
      RAND=SNGL(ASEED)
      RETURN
      END
```