

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**VISUALIZAÇÃO 3-D DE CAMPOS
METEOROLÓGICOS ESCALARES**

ADRIANO ALMEIDA SANTOS

**CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL - 1994**



S237v Santos, Adriano Almeida.
Visualização 3-D de campos meteorológicos escalares /
Adriano Almeida Santos. - Campina Grande, 1994.
67 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) -
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 1994.
"Orientação : Profa. Dra. Maria de Fátima Queiroz Vieira
Turnell, Prof. Paulo Roberto Campos de Araújo".
Referências.

1. Computação Gráfica. 2. Meteorologia Escalar -
Visualização Tridimensional. 3. Dissertação - Engenharia
Elétrica. I. Turnell, Maria de Fátima Queiroz Vieira. II.
Araújo, Paulo Roberto Campos de. III. Universidade Federal
da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 004.92(043)

VISUALIZAÇÃO 3-D DE CAMPOS METEOROLÓGICOS ESCALARES

ADRIANO ALMEIDA SANTOS

Dissertação Aprovada em 08/04/94

Maria de Fátima A. V. Turnell
MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA TURNELL, Ph.D., UFPB
Orientador

Paulo Roberto Campos de Araújo
PAULO ROBERTO CAMPOS DE ARAÚJO, Mestre, UFPB
Co-orientador

João Marques de Carvalho
JOÃO MARQUES DE CARVALHO, Ph.D., UFPB
Componente da Banca

Maria Regina da Silva Aragão
MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO, Ph.D., UFPB
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL - 1994

**VISUALIZAÇÃO 3-D DE CAMPOS
METEOROLÓGICOS ESCALARES**

ADRIANO ALMEIDA SANTOS

**VISUALIZAÇÃO 3-D DE CAMPOS
METEOROLÓGICOS ESCALARES**

Dissertação apresentada ao Curso de MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: COMPUTAÇÃO GRÁFICA

MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA TURNELL
Orientador

PAULO ROBERTO CAMPOS DE ARAÚJO
Orientador

CAMPINA GRANDE - PB
ABRIL - 1994

DEDICATÓRIA

À minha esposa **FRANCINETE FRANCIS LACERDA**, e ao meu
filho **ANDRÉ FELIPE LACERDA SANTOS**.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao orientadores, professora doutora **Maria de Fátima Queiroz Vieira Turnell** e o professor **Paulo Roberto Campos de Araújo**, pelo apoio e orientações fornecidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao livre docente **Antonio Carlos de Souza Reis**, ao professor doutor **José Oribe Rocha de Aragão** e a professora doutora **Maria Regina da Silva Aragão** pelas sugestões e discussões, sem as quais este trabalho não poderia ser realizado. Ao professor **Manoel Francisco Gomes Filho** pelo fornecimento e orientações sobre os dados utilizados neste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), ao Laboratório de Meteorologia e Recursos Hídricos de Pernambuco (LAMEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por fornecerem as condições necessárias para a execução deste trabalho.

Os agradecimentos são extensivos a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho chegasse ao seu final.

SUMÁRIO

Dedicatória.....	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de Siglas	ix
1. Introdução	1
2. Visualização na meteorologia.....	4
2.1. Histórico.....	4
2.2. A computação gráfica e a visualização de dados meteorológicos.....	10
2.3. Desenvolvimento de "software" para visualização meteorológica.....	16
2.4. Visualização meteorológica no Brasil	18
3. Metodologia	20
3.1. Motivação.....	20
3.2. Materiais e métodos	22
4. Modelagem.....	25
4.1. Modelagem de superfícies.....	25
4.2. Modelagem de volumes.....	28
4.3. Estrutura de dados "octree"	36
5. Projeção.....	42
5.1. Introdução	42
5.2. Definição de uma vista.....	46
6. Visualização do modelo na tela.....	49
6.1. Introdução	49
6.2. Modelo cromático	50
7. Resultados obtidos	53
8. Conclusões	56
ANEXO.....	58
9. Bibliografia	61

RESUMO

Este trabalho propõe algumas soluções para o problema da visualização tridimensional de campos meteorológicos escalares com base em dados em ponto de grade do National Meteorological Center (NMC). As técnicas propostas se baseiam no uso de métodos clássicos de computação gráfica. Foram utilizados dados de temperatura, altura geopotencial e pressão à superfície, no níveis isobáricos padrões de 1000, 850, 700, 500, 400 e 300 milibares, para a área compreendida entre as latitudes 12.5° N e 30° S e as longitudes 20° W e 80° W. Na visualização desses dados, adotou-se um modelo de superfície para representar o comportamento dos campos em uma superfície isobárica. A solução adotada para a modelagem e visualização de dados foi o algoritmo horizonte flutuante. A visualização lança mão também de pseudo-cores baseadas no modelo cromático HSV para representar de forma eficaz e confortável os diversos valores do campo ao longo da superfície isobárica. Os dados utilizados pertencem a um domínio 3-D (latitude x longitude x nível de pressão), constituindo assim uma base de dados 3-D. Isso permitiu uma apreciação e consequente implementação de técnicas de modelagem volumétrica. Tais técnicas viriam pela sua própria natureza permitir uma análise global desses campos ao longo do domínio de coleta de dados. Assim foram implementadas algumas técnicas baseadas em modelagem por codificação celular, em particular a técnica de modelagem por árvore de octetos ou "octree". Aqui também lançou-se mão de pseudo-coloração visando-se uma visualização mais sofisticada em termos de teor de informação. A implementação foi realizada através do paradigma de orientação para objetos com linguagem de programação C++ em estações de trabalho SUN.

ABSTRACT

This work propose some solutions for the three-dimensional visualization problem of escalar meteorological fields based on grid datas of the National Meteorological Center (NMC). The propose technics are based on classic methods of computer graphics. They process temperature, geopotencial and pressure data at 1000, 850, 700, 500, 400 and 300 milibars standard isobaric levels on 12.5° N to 30° S of latitude to 20° W to 80° W of longitude. The floating horizon algorithm was the technic adopted to modelling visualizing data that displays the behaviour of fields along an isobaric surface. The cromatic model HSV has been used to represent this behaviour. The use of data on a 3-D domain (latitude x longitude x pressure level) suggested also the implementation of methods for volumetric modeling. As a result, the work presents also, a modelling approach based on linear octrees. The object oriented programming and the C++ language programming was adopted to implementation on SUN workstations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Modelo de plotagem para estações meteorológicas de superfície (hemisfério norte).....	5
Figura 2.2	Registro de observações do tempo em um mapa (hemisfério norte) e isóbaras (linhas contínuas) da pressão reduzida ao nível médio do mar (em milibares). A linha com triângulos representa a frente fria. A linha com semicírculos representa a frente quente	6
Figura 2.3	Mapa de superfície com a análise do campo da pressão reduzida ao nível médio do mar. A plotagem das estações foi omitida. As letras maiúsculas A e B identificam centros de alta e baixa pressão, respectivamente	7
Figura 3.1	Diagrama da metodologia adotada.....	21
Figura 3.2	Grade de dados de dimensão 18x25x6	22
Figura 3.3	Grade de dados de dimensão 300x300	23
Figura 3.4	Grade de dados de dimensão 64x64x64	23
Figura 3.5	Interpolação do intervalo (J,K).....	24
Figura 4.1	Planos paralelos definidos pelo eixo Z.....	25
Figura 4.2	Projeção tridimensional das curvas de uma função.....	26
Figura 4.3	Projeção bidimensional das curvas de uma função.....	26
Figura 4.4	Posicionamento dos eixos X, Y e Z da superfície.....	27
Figura 4.5	Objeto bidimensional modelado	29
Figura 4.6	Primeira divisão do objeto bidimensional.....	29
Figura 4.7	Segunda divisão e classificação dos quadrantes do objeto bidimensional.....	29
Figura 4.8	Terceira divisão do objeto bidimensional	30
Figura 4.9	Representação "quadtree" do objeto bidimensional	30
Figura 4.10	Objeto tridimensional modelado	30
Figura 4.11	Disposição espacial dos octantes do universo.....	31
Figura 4.12	Primeira divisão do objeto tridimensional	31

Figura 4.13	Segunda divisão do objeto tridimensional	32
Figura 4.14	Representação "octree" do objeto tridimensional.....	32
Figura 4.15	Equivalência do ponto de grade com um "voxel"	32
Figura 4.16	Equivalência do 8 pontos de grade com um octante	33
Figura 4.17	Divisão do intervalo de valores por 64	33
Figura 4.18	Divisão do intervalo de valores em k subintervalos	34
Figura 4.19	Representação em árvore da "octree"	36
Figura 4.20	Objeto tridimensional modelado por "octree" linear	37
Figura 4.21	Representação "octree" em árvore do objeto tridimensional	38
Figura 4.22	Representação "octree" linear do objeto tridimensional	38
Figura 4.23	Representação da estrutura de dados "octree" linear	39
Figura 4.24	Numeração sequencial dos nós da "octree" linear	39
Figura 4.25	Codificação dos "bytes" da "octree" linear	39
Figura 5.1	Tipos de projeções em duas dimensões	43
Figura 5.2	Projeção em perspectiva	44
Figura 5.3	Projeção paralela.....	44
Figura 5.4	Mapeamento dos sistemas de coordenadas.....	47
Figura 5.5	Definição do sistema de mão direita.....	48
Figura 5.6	Posicionamento espacial do sistema visual.....	48
Figura 6.1	Cubo para modelo cromático RGB	50
Figura 6.2	Hexacôno para modelo cromático HSV	51
ANEXO 1	Superfície para o campo geopotencial no nível de pressão 1000 milibares.....	59
ANEXO 2	Volume discretizado para o campo temperatura em todos os níveis de pressão	59
ANEXO 3	Volume com recorte perpendicular para o campo temperatura em todos os níveis de pressão	60
ANEXO 4	Volume em camadas do campo temperatura	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1.	Espaço de armazenamento da "octree" em árvore	37
Tabela 4.2.	Espaço de armazenamento da "octree" em árvore x "octree" alternativa.....	40

LISTA DE SIGLAS

AFOS.....	Automation of Field Operations and Service
AIOPS.....	Atmospheric and Oceanographic Information Processing System
ANSI.....	American National Standards Institute
CPTEC.....	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF.....	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
FUNCEME.....	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GKS.....	Graphic Kernel System
GUI.....	Graphical User Interface
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO.....	International Standards Organization
MAGICS.....	Meteorological Applications Graphics Integrated Colour System
McIDAS.....	Man-Computer Interactive Data Access System
NASA.....	National Aeronautics and Space Administration
NCAR.....	National Center of Atmospheric Research
NMC.....	National Meteorological Center
NOAA.....	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWS.....	National Weather Service
PROFS.....	Program for Regional Observing and Forecasting Services
RAM.....	Random Access Memory

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Motivados pelo surgimento de vários tipos de equipamentos de coleta de dados (satélites em órbita terrestre, sondas geológicas e espaciais, supercomputadores, instrumentos meteorológicos, etc.) e pelo grande volume de informações geradas pelos mesmos, seja na forma de amostras ou modelos matemáticos, pesquisadores das mais diversas áreas da ciência se deparam com o desafio cada vez mais difícil de interpretar essas informações.

Nas últimas décadas, com o crescente desenvolvimento tecnológico da informática acompanhado da redução vertiginosa do custo dos equipamentos, os cientistas passaram a contar com ferramentas até então inacessíveis e que abriram novos horizontes para a pesquisa científica, possibilitando assim a superação do desafio da interpretação de volumes muito grandes de informações.

Visto que aproximadamente 50% dos neurônios do cérebro humano estão associados à visão, a interpretação dessas informações no formato numérico é praticamente impossível. Portanto, faz-se necessária a utilização de recursos visuais a fim de facilitar aos pesquisadores a análise e interpretação daquelas informações.

A visualização científica, que é a utilização de um conjunto de métodos computacionais para transformar dados simbólicos em informações geométricas, habilita os pesquisadores a observarem seus cálculos e simulações, e verem o que aparentemente não é visível [MaCo87]. Com isso, eventos científicos - sequências de DNA, modelos moleculares, imagens médicas, simulações de vôo

sobre a terra, etc. - podem ser analisados visualmente, enriquecendo assim o processo de desenvolvimento da ciência moderna.

Dentre as várias áreas da ciência que utilizam a visualização científica como ferramenta, pode-se destacar a meteorologia, já que o estudo dos fenômenos meteorológicos através de modelos matemáticos e de uma vasta gama de plataformas de coleta de dados, demanda, de forma bastante acentuada, meios que permitam uma análise mais precisa desses fenômenos.

Essa precisão é determinada não só pelo volume de informações envolvidas, como também pelas consequências econômicas e/ou sociais que possam ocorrer caso sejam analisadas de modo errôneo ou em tempo inadequado. Logo, a construção de uma ferramenta de visualização que permita aos meteorologistas analisarem mais precisamente campos de variáveis meteorológicas e fenômenos atmosféricos é de grande valia.

O objetivo deste trabalho, portanto, é a implementação de uma ferramenta de visualização tridimensional para campos meteorológicos escalares, tendo como metas:

- a) propor algumas soluções para o problema da visualização tridimensional desses campos;
- b) fomentar discussões acerca da visualização científica aplicada a meteorologia; e
- c) fornecer subsídios para a análise visual do comportamento dos campos meteorológicos na atmosfera, por parte dos meteorologistas, através desta ferramenta.

A presente dissertação compreende os seguintes capítulos:

- a) capítulo 2 (Visualização na meteorologia) - aborda o histórico da visualização na meteorologia, desenvolvimento de "software" para visualização de dados meteorológicos, as

aplicações gráficas disponíveis para a visualização meteorológica e a visualização meteorológica no Brasil;

- b) capítulo 3 (Metodologia) - apresenta a motivação deste trabalho, descreve o tipo, localização e fonte dos dados, e o método de interpolação aplicado aos dados;
- c) capítulo 4 (Modelagem) - descreve as técnicas de visualização de superfícies e volumes implementadas;
- d) capítulo 5 (Projeção) - descreve as técnicas de projeção adotadas;
- e) capítulo 6 (Visualização do modelo na tela) - descreve o modelo cromático adotado;
- f) capítulo 7 (Conclusões) - discute os resultados obtidos na implementação das técnicas de visualização e as sugestões para futuras implementações desta ferramenta; e
- g) capítulo 8 (Bibliografia) - lista de referências e consultas.

CAPÍTULO 2

VISUALIZAÇÃO NA METEOROLOGIA

2. VISUALIZAÇÃO NA METEOROLOGIA

2.1. HISTÓRICO

A dificuldade em se realizarem experimentos na atmosfera sempre esteve diretamente relacionada às limitações das técnicas de obtenção de dados meteorológicos. Essas mesmas técnicas felizmente vem evoluindo ao longo do tempo e permitiram uma melhor observação das propriedades físicas da atmosfera. A partir dessa evolução, podem-se caracterizar as diferentes eras da visualização na meteorologia.

No final do século XIX o telégrafo deu origem à era sinótica, possibilitando assim a disseminação de medidas, disponíveis em duas dimensões e baixa resolução, de características do tempo ao nível do solo. Durante essa era, os meteorologistas lidavam com as seguintes técnicas de visualização [Schi90]:

1. modelo de plotagem para registrar, em um mapa do tempo, sob a forma de símbolos e números, observações do tempo realizadas em estações meteorológicas de superfície de diferentes localidades (figuras 2.1 e 2.2);
2. representações gráficas na forma de símbolos para delinear as frentes (quente, fria, etc.) (figura 2.1); e
3. traçado de isolinhas¹ para descrição, em duas dimensões, de

¹ Linhas que unem pontos de mesmo valor de uma variável

campos meteorológicos (figura 2.3).

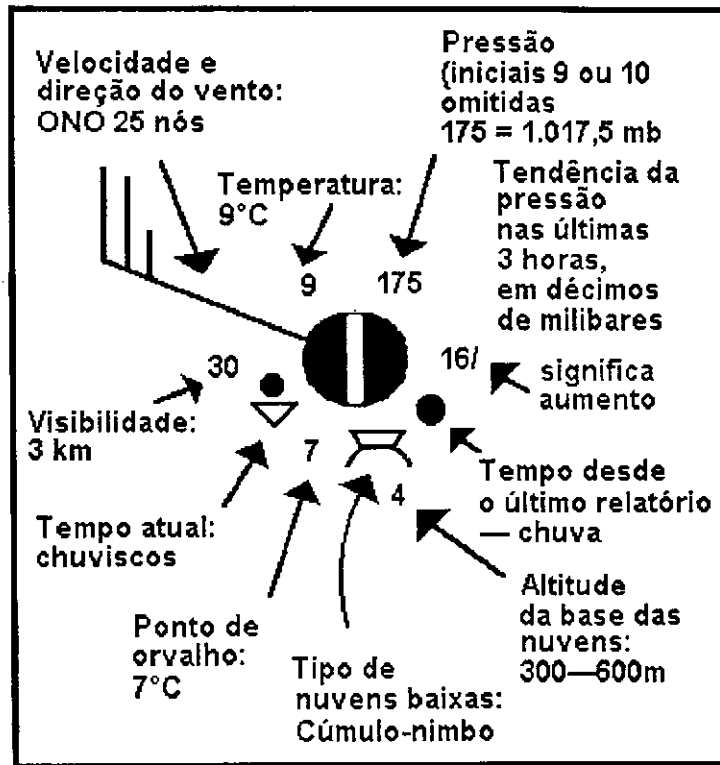


Figura 2.1 - Modelo de plotagem para estações meteorológicas de superfície (hemisfério norte). (Fonte: Forsdyke, 1978)

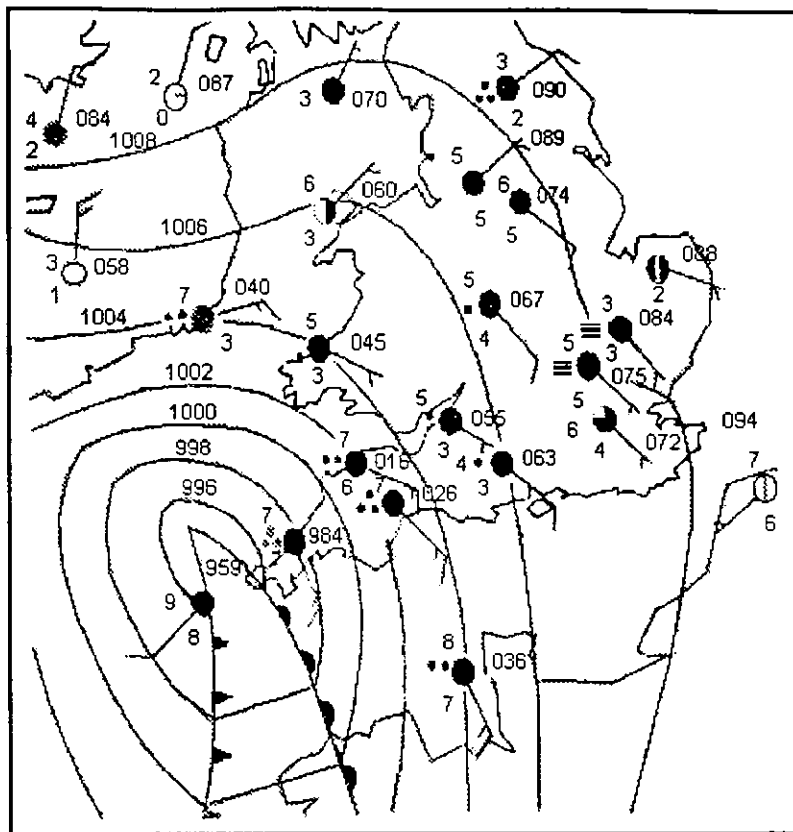


Figura 2.2 - Registro de observações do tempo em um mapa (hemisfério norte) e isóbaras (linhas contínuas) da pressão reduzida ao nível médio do mar (em milibares). A linha com triângulos representa a frente fria. A linha com semicírculos representa a frente quente. (Fonte: Forsdyke, 1978)

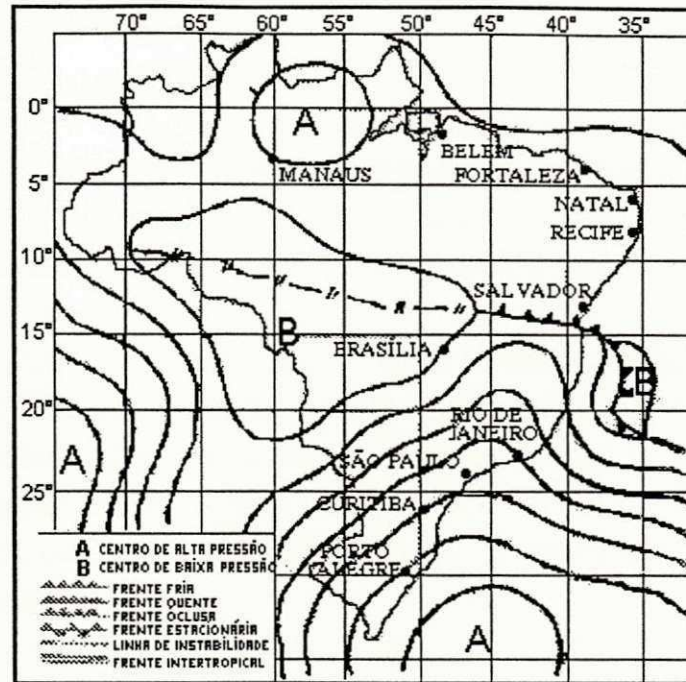


Figura 2.3 - Mapa de superfície com a análise do campo da pressão reduzida ao nível médio do mar. A plotagem das estações foi omitida. As letras maiúsculas A e B identificam centros de alta e baixa pressão, respectivamente.

Essas técnicas de visualização em duas dimensões, ainda em uso, utilizam em geral as seguintes primitivas gráficas:

- curvas que equivalem a isolinhas de campos meteorológicos (pressão, umidade, temperatura, etc.);
- símbolos gráficos (ícones) para representar a trajetória do ar, observações de superfície (tipos de nuvens, fenômenos de tempo, etc.), frentes (quente, fria, etc.), etc.;
- textos na forma de números descrevendo a magnitude das informações visualizadas e as coordenadas terrestres (latitude e longitude); e na forma de letras informando o significado dos símbolos utilizados, nomes das cidades e centros de máximos e mínimos valores; e
- semi-retas para divisão das coordenadas terrestres nos

mapas geográficos.

Em 1930, a tecnologia de comunicação via rádio iniciou a era do radiossonda. Foi então possível, através de sensores transportados por balões de radiossondagem, a realização de medidas ao longo da vertical local em diferentes pontos da superfície terrestre.

Nessa era, a interpretação da estrutura tridimensional da atmosfera era feita empilhando-se um conjunto de mapas de isolinhas de campos meteorológicos sequenciados pela altitude, e movendo-se rapidamente através deles para desenvolver mentalmente uma figura que representasse, tridimensionalmente, a estrutura dos campos analisados [Schi90].

Com o advento das câmeras "space-borne" iniciou-se a era da "riqueza de dados", ou seja, do uso de imagens fotográficas no auxílio à análise meteorológica. Pela primeira vez imagens em duas dimensões chegavam aos meteorologistas a intervalos de até meia hora. Com isso, a animação dessas imagens tornou-se uma ferramenta valiosa na extrapolação mental de características das nuvens e do vapor d'água em um futuro breve, melhorando significativamente a tarefa de previsão do tempo.

Essa era marcou então o desenvolvimento e o uso da tecnologia de sensoriamento remoto, e o grande número de imagens de satélite estimulou a aplicação de técnicas de processamento de imagens.

Ultimamente, com a crescente utilização de supercomputadores na previsão do tempo e com o desenvolvimento de sondas atmosféricas de alta resolução, há a necessidade dos meteorologistas trabalharem com imagens da atmosfera em quatro dimensões, com o tempo como a quarta dimensão.

Portanto, a meteorologia atualmente baseia suas visualizações em dois grupos de dados:

- 1) informações numéricas disponíveis tanto no nível da superfície quanto ao longo da vertical local, em diferentes pontos da superfície terrestre; e
- 2) imagens bidimensionais obtidas por aviões ou mais frequentemente por satélites e radares meteorológicos; nesse caso os estudos pertinentes são feitos a partir da análise direta da imagem usando-se técnicas de processamento de imagens, reconhecimento de padrões, etc.

A representação dos campos meteorológicos escalares é usualmente feita através de mapas de isolinhas. Um dos mapas mais utilizados é o mapa de contornos. Ele é basicamente um conjunto de intersecções entre planos equipotenciais paralelos e a superfície cuja "topografia" se quer representar. O modelo visual "imaginado" pelo meteorologista é uma superfície cujo comportamento espacial é mentalmente montado a partir dessas curvas.

A maior limitação das técnicas cartográficas convencionais parece residir no fato delas serem "amostras" bidimensionais de fenômenos cuja compreensão deve se dar no espaço tridimensional. Precisamente nesse ponto reside o grande potencial da computação gráfica: proporcionar ao meteorologista representações globais desses fenômenos de forma sofisticada e precisa, minimizando até onde for possível os efeitos de prováveis falhas na construção mental desses modelos.

2.2. A COMPUTAÇÃO GRÁFICA E A VISUALIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos disponíveis a partir de instrumentos de coleta de dados e observações podem ser classificados nos seguintes tipos:

- a) variáveis escalares - umidade, temperatura, pressão, etc.;
- b) variáveis vetoriais - vento;
- c) imagens - imagens de satélite e radar; e
- d) fenômenos de tempo - raio, nevoeiro, precipitação, etc.

Por conseguinte, cada tipo de dados meteorológicos demanda a utilização de técnicas de visualização que melhor representem para o observador o comportamento dos campos meteorológicos, bem como de fenômenos atmosféricos de interesse, auxiliando assim o processo de análise e compreensão dos mesmos.

Uma análise das diferentes técnicas de visualização publicadas, das ferramentas de visualização em uso em instituições de pesquisa e das atuais potencialidades da computação gráfica, sugere uma classificação quanto à tendência do uso de técnicas de computação gráfica aos problemas da meteorologia, quais sejam:

- a) uso de técnicas de modelagem e visualização estática e dinâmica (ao longo do tempo) de campos atmosféricos, visando o estudo do comportamento dos campos;
- b) uso de técnicas de modelagem e visualização na síntese de imagens via técnicas sofisticadas (modelagem de objetos amorfos, textura, etc.) de fenômenos atmosféricos como

nuvens, furacões, etc.; nesse caso a qualidade da imagem desempenha um papel crucial, uma vez que o objetivo final é o resultado visual obtido; e

- c) uso de processamento digital de imagens na análise de dados meteorológicos.

A visualização de imagens geradas por computador a partir de dados meteorológicos tem se valido da utilização de uma variedade de estímulos para percepção visual, tais como: profundidade, movimento e valor. O uso inteligente e inovador destes estímulos é a temática central na maioria dos trabalhos técnico-científicos publicados em periódicos da área.

Para cada tipo de estímulo visual existem técnicas que, combinadas entre si, permitem uma visualização realística dos dados meteorológicos no dispositivo de saída do computador (tela de vídeo).

As técnicas utilizadas são as seguintes [Schi90]:

1. Percepção de profundidade:

- a) perspectiva geométrica - mudança no tamanho do objeto de modo que aqueles que estão mais distantes da posição de visualização são exibidos com tamanho menor do que aqueles mais próximos da posição de visualização;
- b) oclusão - remoção de superfícies escondidas, ou seja, remoção parcial ou completa dos objetos que estão atrás dos objetos do primeiro plano;
- c) sombras - objetos que projetam a forma de suas superfícies em outros objetos a partir da sua iluminação através de uma ou mais fontes luminosas;
- d) sombreado - variação da intensidade da luz devido a

orientação da superfície, propriedades do material da superfície, fonte de luz e posição de visualização;

- e) disparidade binocular - visualização de uma imagem através da separação desta em duas imagens distintas, uma para cada olho do observador;
- f) perspectiva de textura - decréscimo progressivo no tamanho das características de textura do primeiro plano para o segundo plano, realçando a percepção de profundidade da cena;
- g) "distance hazing" - simulação da dispersão da cor azul pelos gases atmosféricos; e
- h) efeito de profundidade cinética - percepção da terceira dimensão a partir de uma série animada de projeções obtidas pela rotação de um objeto para trás e para frente através de uma pequena faixa angular.

2. Percepção de movimento:

- a) movimento manchado - simulação da ilusão de movimento em uma imagem estática, por exemplo, a fotografia de um cometa indica o sentido do seu deslocamento através do manchado característico de sua visualização; e
- b) indícios de animação - cor, luminância, forma, orientação, frequência espacial e profundidade;

3. Percepção de valor:

- a) indícios de valor - cor, luminância, forma, orientação, frequência espacial e profundidade.

Além dessas técnicas que utilizam estímulos para percepção visual, existem também técnicas de computação gráfica aplicadas à

modelagem de dados. Essas técnicas classificam-se pela utilização de [Schi90]:

- a) partículas;
- b) superfícies;
- c) elementos de volume; e
- d) animação volumétrica.

O uso de partículas como técnica de modelagem tem como objetivo representar uma entidade tridimensional por um sistema de partículas, ou seja, dar a aparência de um objeto tridimensional a um conjunto de pontos.

Como exemplo, tem-se:

- a) simulação da difusão da luz por partículas; e
- b) simulação do fluxo de partículas, análogo ao modo como a fumaça é utilizada em túneis de vento para determinação do fluxo do ar.

Essa técnica foi utilizada em implementações de visualizações nos seguintes trabalhos [Schi90]:

- a) [Blin82] - simulação dos anéis de Saturno;
- b) [Kaji84] - resultados de um modelo meteorológico de simulação da convecção de "cumulus";
- c) [Max86a], [Max86b] e [Nish87] - aplicaram técnicas similares para a interação de fontes de luz com neblina, fumaça e nevoeiro; e
- d) [Upos86] - produção de imagens da superfície de Jupiter a

partir da simulação de campos de fluxo.

Para a utilização de superfícies, tem-se buscado a criação de imagens realísticas de objetos que são similares a entidades atmosféricas. Os trabalhos abaixo foram publicados com a implementação desta técnica:

- a) [Gard84] e [Gard85] - usou a técnica chamada "textured quadric surfaces" para gerar visualizações de objetos de natureza amorfa, tais como nuvens;
- b) [Perl85] - desenvolveu um conceito de texturas sólidas para implementação de uma biblioteca de funções que representam diferentes tipos de textura. Uma dessas funções (turbulência) é utilizada para visualização de imagens de nuvens; e
- c) [Klas89] e [Hasl85] - usaram a simulação do vôo do observador sobre uma superfície tridimensional para o estudo de diferentes visões dos dados e para a formação mental de uma figura que represente a sua geometria.

A utilização de elementos de volume advém da necessidade de visualizar-se entidades contínuas, tal como o fluido atmosférico, com a preservação da informação sobre a distribuição do parâmetro através do domínio tridimensional.

Um diferencial significativo na visualização de elementos de volume em comparação com modelos de superfícies é que as partes internas do objeto também são vistas, em contraste aos objetos visualizados com o interior oculto pelos modelos de superfície.

Os trabalhos publicados com esta técnica foram os seguintes:

- a) [Upso88] - implementou a técnica chamada "visible volume rendering" para visualizar campos de dados amorfos; e

- b) [Sabe88] - usou um método chamado "varying density emitter" para visualizar dados sísmicos;

A técnica de animação volumétrica não se refere especificamente à descrição ao longo do tempo de um parâmetro qualquer, mas a uma ferramenta para explorar todo o volume de um parâmetro contínuo, como por exemplo a atmosfera. Experimentos neste sentido foram realizados por [Farr83] e [Wolf88].

Portanto, a visualização de dados meteorológicos exerce um papel crucial no processo de análise e compreensão dos fenômenos atmosféricos através das seguintes contribuições:

- a) extrapolação tridimensional de modelos bidimensionais;
- b) visualização de campos meteorológicos que de forma empírica seriam impossíveis de serem percebidos, seja pelas características dos campos observados ou pelo volume de dados envolvidos;
- c) acompanhamento e análise de campos meteorológicos através da visualização sucessiva de observações distribuídas no tempo; e
- d) visualização de simulações matemáticas que representam fenômenos atmosféricos.

2.3. DESENVOLVIMENTO DE "SOFTWARE" PARA VISUALIZAÇÃO METEOROLÓGICA

A primeira iniciativa no desenvolvimento de uma ferramenta gráfica específica para os meteorologistas começou no National Center for Atmospheric Research (NCAR) nos EUA, com a implementação do pacote gráfico NCAR, no final da década de 60.

O NCAR é um conjunto de funções Fortran que seguem o padrão Graphic Kernel System (GKS) da American National Standards Institute/International Standards Organization (ANSI/ISO) para gerar: histogramas, campos fluxos de, plotagens X-Y, superfícies em "wire-frame", geração de caracteres, desenhos de contorno, etc. Atualmente encontra-se na versão 3.00 e compatível com X Windows [Clar89].

Além do desenvolvimento desse pacote gráfico, o NCAR através da Scientific Computing Division, tem realizado pesquisas na produção de filmes animados por computador para gerar gráficos de alta qualidade em duas e três dimensões de variáveis representando trajetórias, linhas de contorno, padrões de sombreamento e superfícies tridimensionais em perspectiva [Grot84].

Já no início da década de 70, o Space Science and Engineering Center da Universidade de Wisconsin desenvolveu o Man-Computer Interactive Data Access System (McIDAS) com o objetivo de exibir [Hibb85a]:

1. imagens "stereo" de nuvens geradas pelos satélites GOES;
2. modelos em perspectiva da aerodinâmica da atmosfera; e
3. superfícies de umidade geradas a partir de dados da atmosfera e modelos convencionais de superfície.

Além dessas técnicas de visualização a Universidade de Wisconsin também tem feito pesquisas em "hardware", onde o projeto de um terminal "stereo" específico para exibição de fenômenos de forma a acompanhar sua evolução temporal, poderá permitir diferentes maneiras de acessar dados reais do tempo no formato x,y,z,t, tais como: imagens de satélites, dados convencionais de observações e radares e sistemas dinâmicos de fluidos modelados por computador [Papa88].

No final da década de 70, no Goddard Space Fligh Center da National Aeronautics and Space Administration (NASA), foram realizadas algumas das primeiras aplicações em "artificial stereo" através do Atmospheric and Oceanographic Information Processing System (AIOPS) [Papa88].

A técnica "artificial stereo" consiste na utilização de um par de imagens estereoscópicas ("stereograph") para exibir diretamente as três dimensões geométricas, onde a terceira dimensão, que é percebida como a altura, pode ser qualquer quantidade escalar [Hasl81].

Ainda no final da década de 70, a operacionalização dessas pesquisas começou no National Weather Service (NWS) quando foi então inicializada a incorporação ao Automation of Field Operations and Service (AFOS), provendo capacidades gráficas interativas pela primeira vez no início da década de 80 [Papa88].

Também na década de 80, o National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) estabeleceu o Program for Regional Observing and Forecasting Services (PROFS) para modernizar as operações de previsão de tempo no NWS. Esse programa devotou significantes esforços no desenvolvimento de aplicações gráficas interativas [Papa88].

2.4. VISUALIZAÇÃO METEOROLÓGICA NO BRASIL

Pesquisas na área de visualização de dados meteorológicos no Brasil podem ser atribuídas a duas instituições: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Essas instituições são responsáveis pelo desenvolvimento de ferramentas de visualização de última geração, através de acordos firmados com universidades e órgãos de pesquisa de outros países.

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE mantém um convênio de cooperação com o European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) para o desenvolvimento do METVIEW, que é uma ferramenta para visualização de dados meteorológicos através da manipulação de imagens de satélites das famílias Meteosat, Goes, e Tiros/NOAA.

O METVIEW tem como objetivos [Cama91], prover:

- a) plataforma para o desenvolvimento de software de visualização meteorológica;
- b) ambiente interativo para visualização de campos, imagens e observações em duas e três dimensões;
- c) ambiente interativo para recuperação de dados meteorológicos; e
- d) ferramentas para manipulação de dados meteorológicos, incluindo derivações, comparações e verificações de novos campos.

A versão 0.1 do METVIEW foi implementada em C++, Fortran (MAGICS - Meteorological Applications Graphics Integrated

Colour System - pacote gráfico desenvolvido pelo ECMWF para geração de cartas meteorológicas) e em C (biblioteca GKX).

A FUNCEME, por sua vez, está desenvolvendo também uma ferramenta de visualização meteorológica denominada VISU, que manipula imagens de satélite da família Meteosat. A implementação do VISU é baseada na linguagem C++ e na biblioteca de funções para processamento de imagens orientada para objetos XClasses, também desenvolvida pela FUNCEME.

Ambas as ferramentas descritas (METVIEW e VISU) foram implementadas em plataformas sob o sistema operacional UNIX e ambiente gráfico X Window.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3. METODOLOGIA

3.1. MOTIVAÇÃO

Na meteorologia, estudos concernentes às variáveis atmosféricas tradicionalmente são realizados com respeito a níveis de pressão em que são coletadas tais variáveis, e não a sua altitude. A adoção do nível de pressão como parâmetro de medida é relativa ao nível médio do mar utilizado como nível de referência padrão.

Com o nível de pressão determinado, as análises dessas variáveis podem ser realizadas pelos meteorologistas em uma superfície isobárica, que pode ser considerada uma fatia horizontal (não necessariamente plana) da atmosfera terrestre. A partir dessas análises, os fenômenos atmosféricos podem ser melhor caracterizados.

Por isso, a visualização do comportamento dessas variáveis nessas superfícies isobáricas é muito importante para auxiliar a sua compreensão.

Além de utilizar isoladamente a análise em cada superfície isobárica, os meteorologistas também fazem uso conjunto das análises em várias superfícies de pressão constante, o que implica numa análise de fenômenos atmosféricos em um domínio tridimensional.

Os estudos têm realizados pelos meteorologistas como

objetivo compreender, de forma global, o comportamento das variáveis atmosféricas em uma determinada região terrestre. Logo, a visualização do domínio tridimensional compreendido pelas superfícies isobáricas também é muito importante para os meteorologistas.

Para satisfazer esta demanda de visualização, adotou-se um modelo de superfície para as superfícies isobáricas e um modelo volumétrico para o domínio tridimensional definido pelas superfícies isobáricas.

Ao longo de discussões e da implementação dos algoritmos de visualização, procurou-se sempre validar as técnicas implementadas tomando como critério o preenchimento dos seguintes requisitos:

- a) preservar ao máximo as características do modelo;
- b) dar uma visão espacial do modelo, facilitando a tarefa de evocar mentalmente o objeto real; e
- c) auxiliar a compreensão do comportamento do campo meteorológico sendo visualizado.

A metodologia adotada (figura 3.1) para a implementação foi a seguinte:

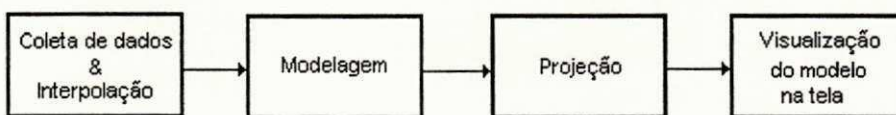


Figura 3.1 - Diagrama da metodologia adotada

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS:

As técnicas de visualização utilizadas neste trabalho foram aplicadas a dados em pontos de grade espaçados 2,5 graus de latitude e longitude, fornecidos pelo National Meteorological Center (NMC) dos Estados Unidos, para a área compreendida entre as latitudes de 12,5° N e 30° S e as longitudes de 20° W 80° W.

Foram utilizados dados de temperatura, pressão à superfície e altura geopotencial no níveis isobáricos padrões de 1000, 850, 700, 500, 400 e 300 milibares.

Com isso, obteve-se uma matriz de dimensão 18x25x6 (figura 3.2) que representa a grade de dados original utilizada neste trabalho.

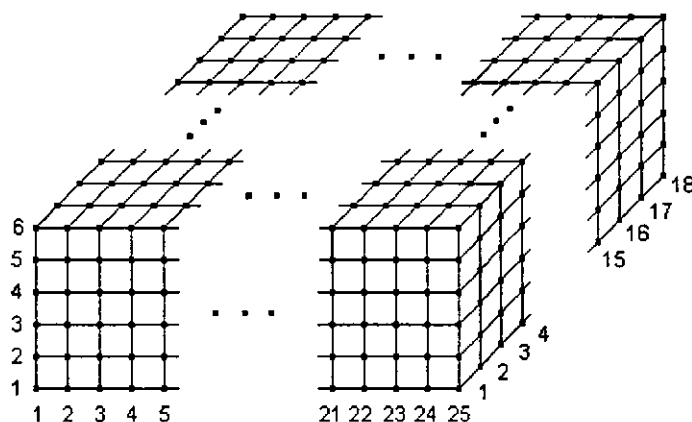


Figura 3.2 - Grade de dados de dimensão 18x25x6

A partir dessa grade já interpolada, foi aplicado outro método de interpolação objetivando o aumento da resolução dos pontos da grade para duas resoluções distintas:

- a) 300x300 para modelagem de superfícies em um nível de pressão constante (figura 3.3); e

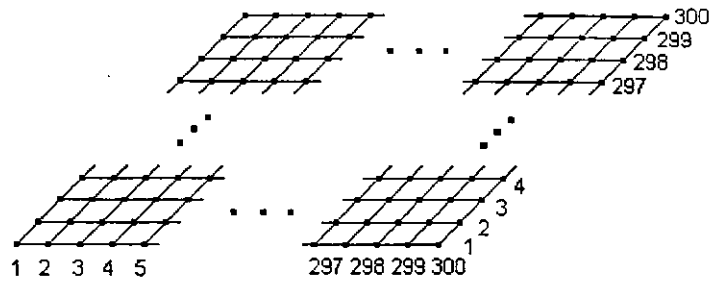


Figura 3.3 - Grade de dados de dimensão 300x300

b) 64x64x64 para modelagem de volumes, já que a técnica de visualização utilizada, como será visto, requer que a resolução do objeto modelado seja uma potência de 2, neste caso $2^6 = 64$ (figura 3.4).

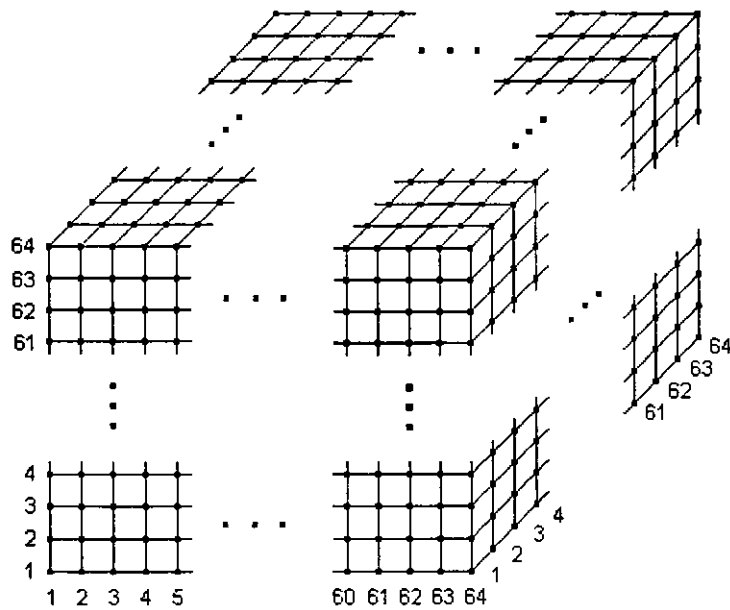


Figura 3.4 - Grade de dados de dimensão 64x64x64

O método de interpolação utilizado foi interpolação linear paramétrica. De acordo com a figura 3.4, tem-se o intervalo (J,K) qualquer da grade de dados e N pontos internos a este intervalo que devem ser interpolados.

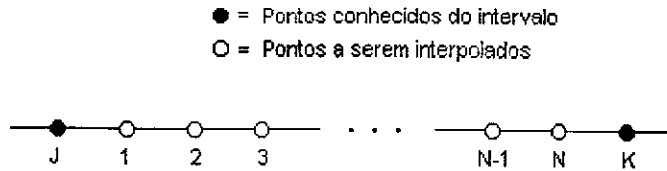


Figura 3.5 - Interpolação do intervalo (J,K)

A fórmula para a interpolação do i -ésimo ($i=1,2,\dots,N$) ponto do intervalo (J,K) dado o fator de peso ($FP = 1/(N+1)$) é a seguinte:

$$\text{Ponto}[i] = (\text{Ponto}[J] * ((N+1) - i) * FP) + (\text{Ponto}[K] * i * FP)$$

O algoritmo da interpolação dos N pontos do intervalo (J,K) é apresentado a seguir:

```

NumeroIntervalos = K - J
FatorPeso = 1 / NumeroIntervalos
Para I=1 até N Incremento 1
    Indice = J + I
    Valor1 = Ponto[J] * ((NumeroIntervalos - I) * FatorPeso)
    Valor2 = Ponto[K] * (I * FatorPeso)
    Ponto[Indice] = Valor1 + Valor2
Fim Para

```

Este algoritmo foi utilizado para interpolação nas três dimensões da grade de dados: latitude, longitude e nível de pressão.

A implementação das técnicas de visualização foi realizada em estações de trabalho SUN sob o sistema operacional UNIX e linguagem de programação C++ com o paradigma de orientação para objetos.

A seguir tem-se a descrição das técnicas de visualização implementadas.

CAPÍTULO 4

MODELAGEM

4. MODELAGEM

4.1. MODELAGEM DE SUPERFÍCIES

A técnica utilizada para modelagem de superfícies foi a aplicação do algoritmo horizonte flutuante a uma função de superfície na forma $y = F(x,z)$. A idéia fundamental dessa técnica é converter o problema em três dimensões (3D) para duas dimensões (2D) pela intersecção da superfície com uma série de planos de recorte paralelos com valores constantes de x , y ou z .

Na figura 4.1, valores constantes de z definem os planos paralelos e a função é reduzida a uma curva em cada um desses planos [Roge85a].

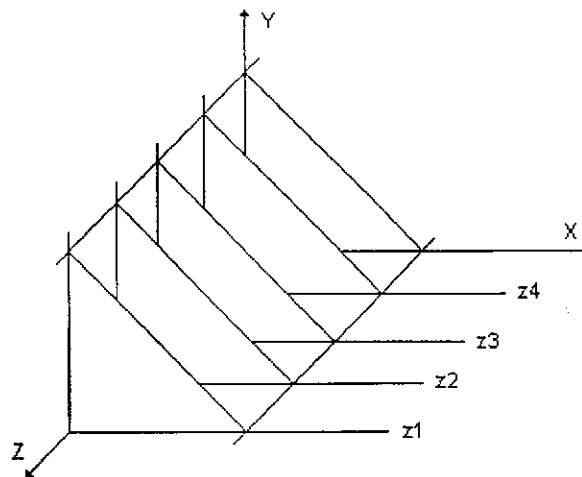


Figura 4.1 - Planos paralelos definidos pelo eixo Z

Com isso, tem-se a construção da superfície através de uma série de curvas em cada um dos planos de recorte (figura 4.2).

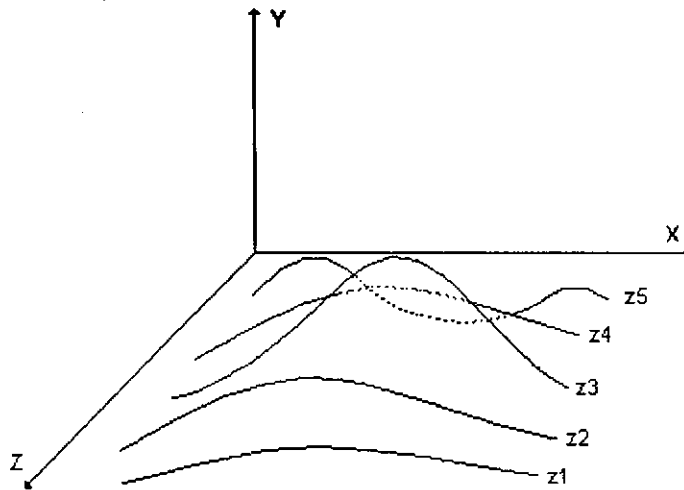


Figura 4.2 - Projeção tridimensional das curvas de uma função

A visualização final é obtida projetando as curvas no plano xy com $z=0$ (figura 4.3). Portanto, como pode ser visto, tem-se um algoritmo de remoção de linhas escondidas da superfície.

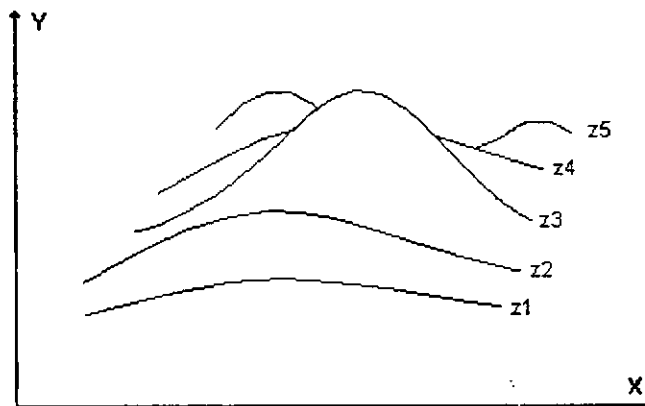


Figura 4.3 - Projeção bidimensional das curvas de uma função

Na implementação desse algoritmo, são utilizados dois arranjos do tamanho da resolução do espaço da imagem na direção de x . Neles são armazenados os menores e maiores valores de y para cada valor de x . Esses valores representam o horizonte atual e "flutuam" à medida em que cada curva é analisada.

O algoritmo básico do horizonte flutuante é o seguinte:

```
Para cada valor de Z faça
  Para cada valor de X faça
    Se (valor de Y > horizonte superior) ou
      (valor de Y < horizonte inferior)
      atualize horizonte flutuante
      linha é considerada visível
    senão
      linha é considerada invisível
  Fim
Fim
Fim
```

Nesta técnica de modelagem seguiu-se a disposição dos eixos X , Y e Z mostrados na figura 4.4. O eixo X representa a longitude, o eixo Z a latitude e o eixo Y a magnitude do campo sendo representado.

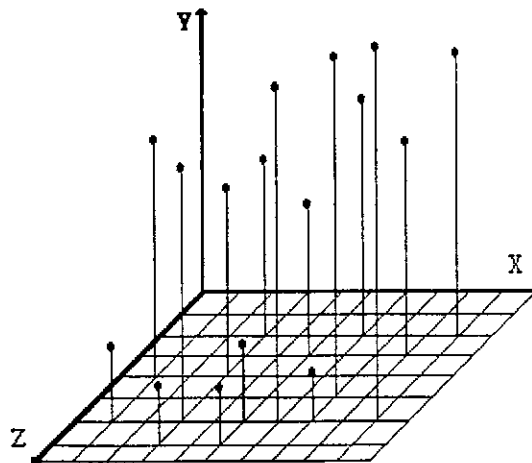


Figura 4.4 - Posicionamento dos eixos X , Y e Z da superfície

4.2. MODELAGEM DE VOLUMES

A técnica utilizada para modelagem de volumes foi a representação "octree", que é um caso especial da técnica de decomposição celular. Na decomposição celular é seguido um esquema de enumeração da ocupação espacial do objeto representado por uma lista dos elementos que compõem o volume (voxels = "volume elements"), no caso cubos de tamanhos iguais. Na representação "octree" é seguido o mesmo esquema de enumeração da ocupação espacial, só que com cubos de tamanho variável.

"Octree" é uma generalização para três dimensões da representação "quadtree" de duas dimensões. Na representação "quadtree" um objeto bidimensional é modelado com a divisão recursiva em quadrantes de tamanhos iguais através de duas semi-retas perpendiculares.

Nesse processo de divisão três condições são possíveis:

1. o objeto não abrange uniformemente o quadrante e é subdividido em quatro novos quadrantes;
2. o quadrante resultante é homogêneo (vazio ou cheio) não sendo necessária novas subdivisões; e
3. o processo de subdivisão atinge um nível máximo de resolução pré-determinado e não são feitas novas subdivisões.

Como pode ser visto, na figura 4.5 tem-se um objeto em duas dimensões a ser modelado, no caso um losango. Este, por sua vez, encontra-se circundado por um quadrado que representa o universo a ser modelado.

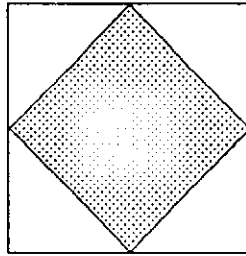


Figura 4.5 - Objeto bidimensional modelado

Em seguida, esse objeto sofre a primeira divisão em quatro quadrantes de tamanhos iguais (figura 4.6). Na figura 4.7 tem-se a segunda subdivisão dos quatro quadrantes da figura 4.6, já que todos são considerados heterogêneos. Como resultado, têm-se quadrantes homogêneos (vazios e cheios) e heterogêneos (parciais), e novamente é feita outra subdivisão nos quadrantes heterogêneos (figura 4.8).

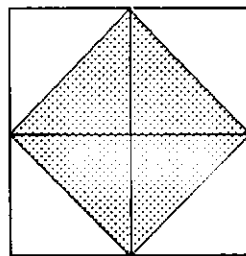


Figura 4.6 - Primeira divisão do objeto bidimensional

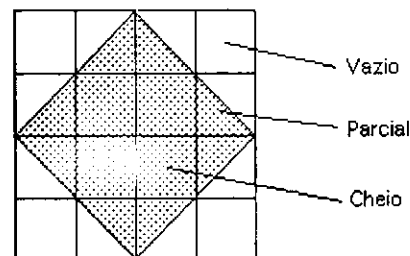
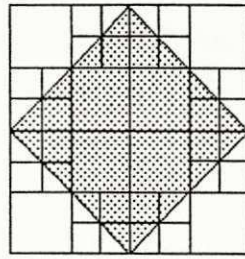


Figura 4.7 - Segunda divisão e classificação dos quadrantes do objeto bidimensional



UFCG

Figura 4.8 - Terceira divisão do objeto bidimensional

Finalmente, tem-se a representação hierárquica do objeto modelado na figura 4.9, denominada "quadtree". O termo "quadtree" refere-se à uma estrutura hierárquica em árvore onde todos os nós, exceto os do último nível, possuem quatro descendentes que correspondem aos respectivos quadrantes.

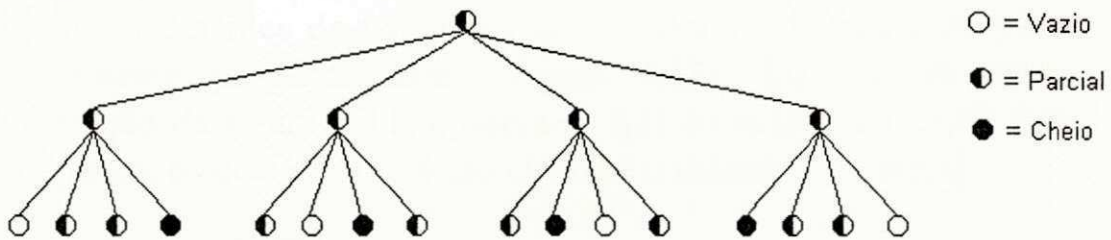


Figura 4.9 - Representação "quadtree" do objeto bidimensional

Na modelagem "octree" o processo é o mesmo, só que o objeto tridimensional é dividido em cubos de tamanhos iguais, denominados octantes. Na figura 4.10 tem-se o objeto a ser modelado e um cubo representando o seu universo.

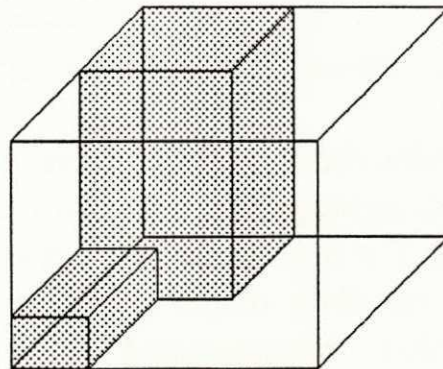


Figura 4.10 - Objeto tridimensional modelado

A ordem de numeração dos octantes adotada neste trabalho foi a ordem proposta por Yama84, como pode ser visto na figura 4.11.

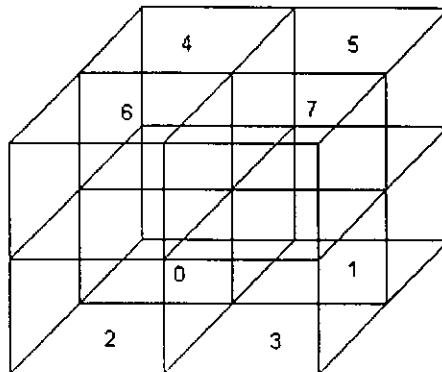


Figura 4.11 - Disposição espacial dos octantes do universo

O processo de modelagem começa com a primeira divisão do objeto em octantes de tamanhos iguais, através de três semi-planos mutuamente perpendiculares (figura 4.12). De acordo com a numeração da figura 4.11, observa-se que os octantes 1, 3, 5, 6 e 7 são vazios, os octantes 0 e 4 são cheios e o octante 2 é parcial.

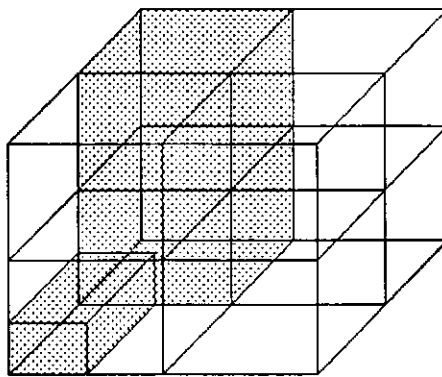


Figura 4.12 - Primeira divisão do objeto tridimensional

Em seguida é aplicada nova subdivisão no octante 2 (figura 4.13) e obtém-se oito octantes homogêneos de menor tamanho. Os octantes 1, 3, 4, 5, 6 e 7 são vazios e 0 e 2 são cheios. Portanto, a representação "octree" desse objeto pode ser vista na figura 4.14, onde conclui-se que a representação "octree" é semelhante a "quadtree", só que cada nó tem oito descendentes.

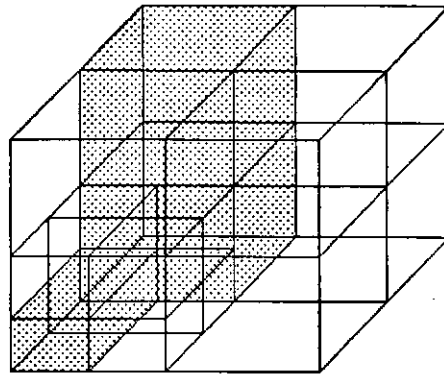


Figura 4.13 - Segunda divisão do objeto tridimensional

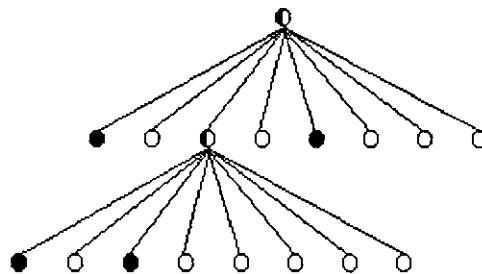


Figura 4.14 - Representação "octree" do objeto tridimensional

Como pode ser visto, na representação "quadtree" ou "octree", há a necessidade do objeto ou o universo modelado ser uma potência de 2, já que o processo de modelagem divide cada dimensão em duas partes de tamanhos iguais.

O processo de modelagem dos volumes utilizando a representação "octree" foi realizado considerando-se a grade de dados como o objeto a ser modelado e cada ponto como um "voxel" (figura 4.15).

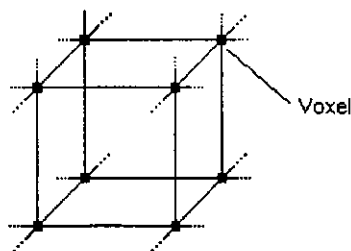


Figura 4.15 - Equivalência do ponto de grade com um voxel

Como foi mostrado, o objeto sofre divisões sucessivas até que as condições 2 e 3, vistas anteriormente, sejam satisfeitas. No caso da grade de dados, foram feitas divisões sucessivas até que fosse atingido o nível de um voxel. A partir desse nível, seguiu-se o processo de agrupamento de oito voxels vizinhos para compor um octante do objeto (figura 4.16).

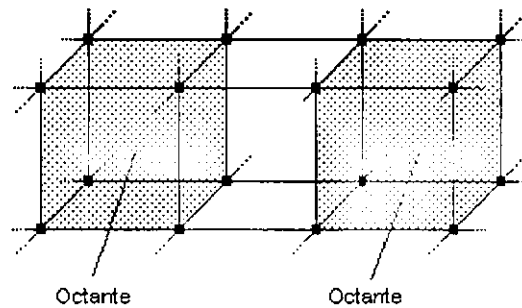


Figura 4.16 - Equivalência de 8 pontos de grade com um octante

Em seguida, foi feita a classificação dos tipos dos octantes, de acordo com a divisão do intervalo de valores do campo meteorológico que está sendo modelado. O intervalo de variação dos valores $[V_{\min}, V_{\max}]$ foi dividido por 64^2 , definindo assim, o espectro de variação das cores utilizadas na visualização (figura 4.17).

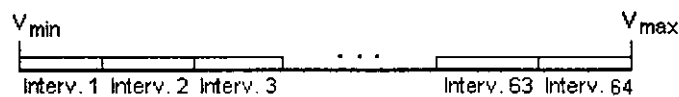


Figura 4.17 - Divisão do intervalo de valores por 64

Em seguida a esta divisão dos valores, foi feita a discretização do intervalo $[V_{\min}, V_{\max}]$ em K ($K \in [1,5]$) subintervalos de visualização definidos pelo usuário, $[V_{11}, V_{12}]$, $[V_{21}, V_{22}]$, ..., $[V_{K1}, V_{K2}]$ (figura 4.18).

² adiante será explicado o porque deste valor

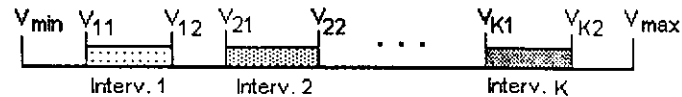


Figura 4.18 - Discretização do intervalo de valores em k subintervalos

Esta discretização teve como objetivos:

- a) melhorar a visualização do volume, já que a discretização do intervalo de valores do campo modelado permite uma visualização mais precisa da ocorrência de faixa de valores dentro deste intervalo; e
- b) criar uma correspondência direta entre a variação do campo meteorológico e as cores utilizadas na visualização.

Se o valor do ponto da grade pertence a um desses K intervalos, o "voxel" é considerado parte constituinte do objeto, caso contrário é descartado.

O tipo do octante é determinado como:

- a) vazio - todos os oito pontos da grade do octante não pertencem a nenhum dos K intervalos;
- b) parcial - pelo menos um dos oito pontos da grade do octante pertence a um dos K intervalos; e
- c) cheio - todos os oito pontos da grade do octante pertencem ao mesmo intervalo e possuem a mesma cor de visualização.

A partir da classificação desses octantes obtiveram-se os nós do nível mais baixo (folhas) da "octree". Em seguida, realizou-se o processo de agrupamento dos octantes já classificados em octantes de tamanho maior, que correspondem a um nível superior na hierarquia da "octree". Esse processo repetiu-se até atingir o primeiro nível da "octree", que corresponde ao objeto modelado.

Esse agrupamento seguiu o mesmo critério de classificação dos octantes inferiores, só que o tipo do octante foi considerado como:

- a) vazio - todos os octantes do nível inferior são vazios;
- b) parcial - nem todos os octantes do nível inferior são vazios ou cheios, ou todos os octantes do nível inferior são parciais; e
- c) cheio - todos os octantes do nível inferior são cheios.

4.3. ESTRUTURA DE DADOS "OCTREE"

Algumas considerações devem ser feitas com relação a estrutura de dados "octree". A representação "octree" no formato em árvore (figura 4.19) tem o inconveniente de requerer uma grande quantidade de memória para ser armazenada, já que são necessários nove campos para caracterizar um nó da árvore, quais sejam:

- a) tipo do octante para determinar se o octante é vazio, parcial ou cheio (1 "byte"); e
- b) oito apontadores para os descendentes inferiores do octante ($8 \times 4 = 32$ "bytes")³.

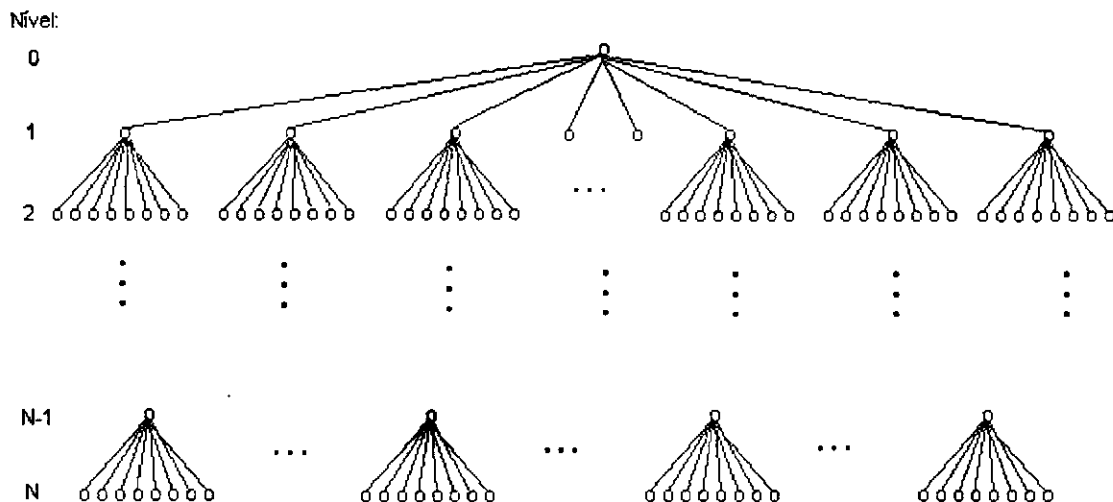


Figura 4.19 - Representação em árvore da "octree"

Na tabela 4.1 tem-se uma análise do espaço total necessário ("bytes") para armazenar uma "octree" em função da dimensão do objeto modelado.

³ O valor 4 refere-se ao tamanho em bytes ocupado pelo tipo apontador na plataforma utilizada na implementação (SUN), valores para outras plataformas devem ser checados nos manuais de referências do fabricante.

Dimensão(k)	Resolução(2^k)	Número Nós	Espaço Total
1	2	9	297
2	4	73	2.409
3	8	585	19.305
4	16	4.681	154.473
5	32	37.449	1.235.817
6	64	299.593	9.886.569
7	128	2.396.745	79.092.585
8	256	19.173.961	632.740.713

Tabela 4.1 - Espaço de armazenamento da "octree" em árvore

Essa limitação tem sido um grande obstáculo na implementação dessa técnica em plataformas onde não se dispõe de muita memória para armazená-la. Por isso, têm surgido na literatura técnicas para representação de "octrees" onde o espaço de armazenamento é significativamente reduzido.

Uma dessas técnicas é a proposta por [Garg81], denominada "octree" linear, onde é utilizado um código octal (três "bits" para cada dígito) para armazenar somente os octantes que constituem o objeto. Esse código representa a posição espacial do octante dentro do cubo que corresponde ao universo que está sendo modelado (figura 4.20).

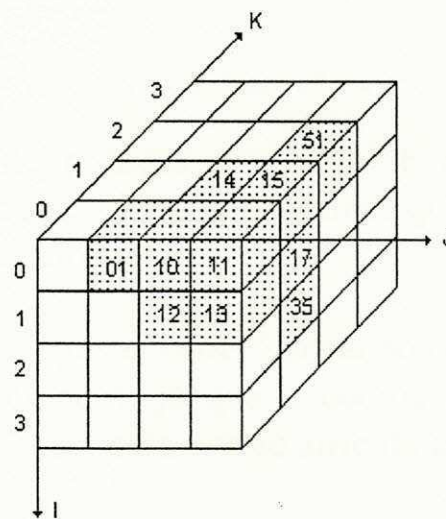


Figura 4.20 - Objeto tridimensional modelado por "octree" linear

A representação do objeto modelado no formato da "octree"

em árvore pode ser vista na figura 4.21.

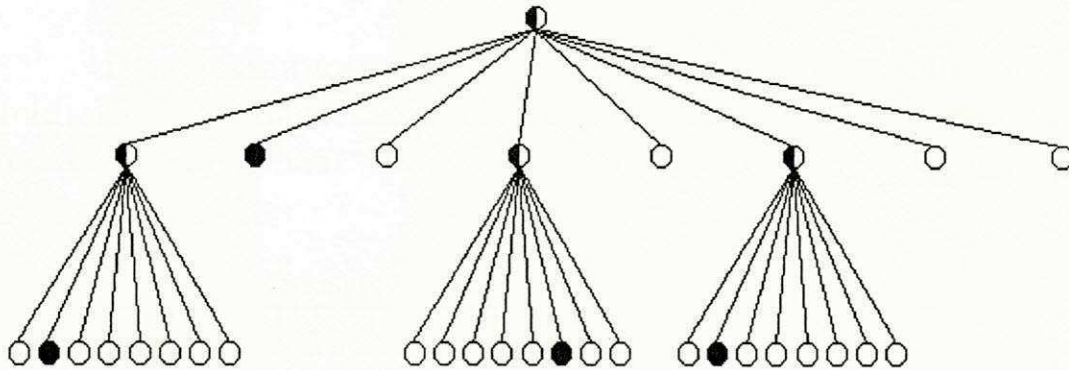


Figura 4.21 - Representação "octree" em árvore do objeto modelado

Como pode ser vista na figura 4.22, essa codificação dos octantes tem um fator de redução do espaço de armazenamento na ordem de 99% porque na "octree" convencional são necessários 2409 "bytes" ("octree" com dimensão 2) e na "octree" linear 4 "bytes", que correspondem à quatro palavras octais.

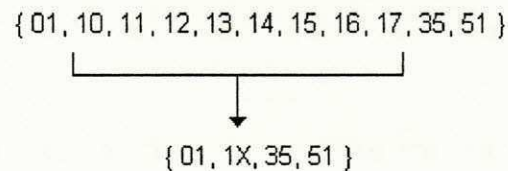


Figura 4.22 - Representação "octree" linear do objeto modelado

Esse fator de redução é variável e função do número de octantes considerados cheios e dos octantes que podem ser agrupados em octantes de tamanho maior.

Vale salientar que a "octree" linear somente representa objetos binários (preto e branco), já que a codificação octal não contém nenhuma informação concernente ao atributo do octante, por exemplo sua cor.

Por isso, neste trabalho utilizou-se uma estrutura de dados alternativa na representação da "octree" linear que possibilitou a identificação do atributo cor do octante, porque, como dito

anteriormente, foram atribuídas tonalidades distintas de cores para cada intervalo de valores do campo meteorológico modelado.

Essa estrutura de dados (figura 4.23) é um arranjo unidimensional onde são armazenados linearmente todos os nós da "octree" convencional. Cada nó ocupa 1 "byte" de armazenamento.

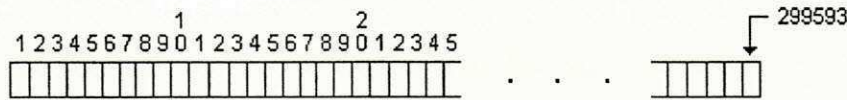


Figura 4.23 - Representação da estrutura de dados "octree" linear

Cada nó na árvore recebe um número que representa seu índice na "octree" linear. O esquema de numeração foi feito dos níveis superiores para os inferiores e da esquerda para direita (figura 4.24).

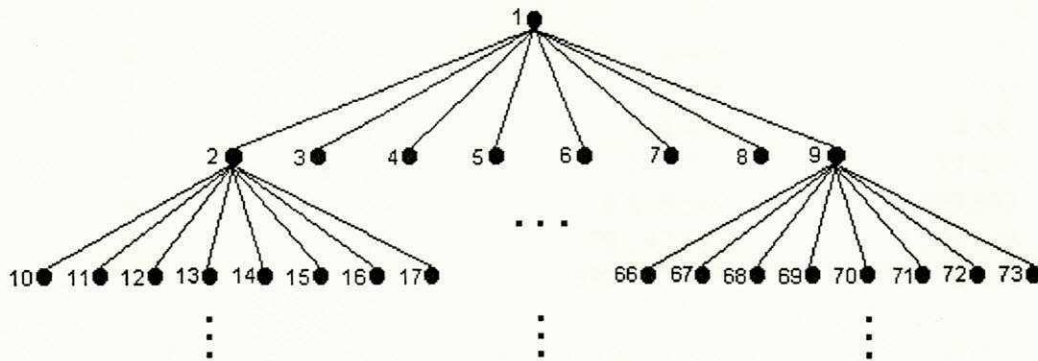


Figura 4.24 - Numeração sequencial dos nós da "octree" linear

Na figura 4.25 pode ser visto o esquema de codificação para cada "byte" da "octree" linear, onde 2 "bits" são utilizados para o tipo do octante e 6 "bits" para a sua cor.

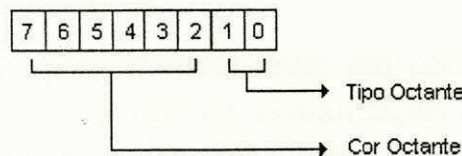


Figura 4.25 - Codificação dos "bytes" da "octree" linear

Os "bits" do tipo do octante seguem a seguinte codificação:

- a) 00 = vazio;
- b) 01 = parcial; e
- c) 10 = cheio.

Os "bits" da cor representam a tonalidade da cor do octante, ou seja, variam de 000000 a 111111 (binário), totalizando 64 valores possíveis. Esses valores correspondem a divisão do intervalo de valores do campo meteorológico em 64 subintervalos de tamanhos iguais, cada um com sua cor de visualização respectiva.

A partir desse esquema de codificação tem-se, na tabela 4.2, uma análise comparativa do espaço de armazenamento ("bytes") da estrutura de dados em árvore e a estrutura alternativa adotada neste trabalho.

Dimensão(k)	Resolução(2 ^k)	"Octree" Árvore	"Octree" Alternativa
1	2	297	9
2	4	2.409	73
3	8	19.305	585
4	16	154.473	4.681
5	32	1.235.817	37.449
6	64	9.886.569	299.593
7	128	79.092.585	2.396.745
8	256	632.740.713	19.173.961

Tabela 4.2 - Espaço de armazenamento da "octree" em árvore x "octree" alternativa

Como pode ser visto, o fator de redução do espaço de armazenamento da "octree" alternativa é fixo para qualquer resolução e é igual a 97%. Por isso, a implementação da técnica de modelagem "octree" com a estrutura de dados alternativa em plataformas onde não dispõe-se de muita memória é viável.

Vale salientar que, deve-se levar em conta também o espaço ocupado pelos dados utilizados na visualização e o tamanho final do programa executável para se ter com precisão o espaço total necessário para a sua implementação.

Para uma visualização realista da modelagem de superfícies e

volumes, faz-se necessária uma análise do método de projeção para objetos tridimensionais e do modelo cromático empregados neste trabalho.

CAPÍTULO 5

PROJEÇÃO

5. PROJEÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Visto que a visualização dos objetos modelados é realizada na tela de vídeo, faz-se necessário um mapeamento do espaço 3D para o espaço 2D.

Esse mapeamento é realizado através de técnicas de projeção que transformam objetos 3D em projeções 2D. Essas técnicas devem seguir os seguintes objetivos [Leve86]:

- a) preservar ao máximo, na projeção, as características do objeto 3D, ou seja, manter a proporção entre arestas e ângulos;
- b) dar uma visão espacial do modelo, facilitando a tarefa de evocar mentalmente o objeto real; e
- c) criar um efeito visual próximo ao de uma fotografia, introduzindo um grau de realismo na representação 2D.

Na figura 5.1 têm-se os tipos de projeções em duas dimensões [Roge85b].

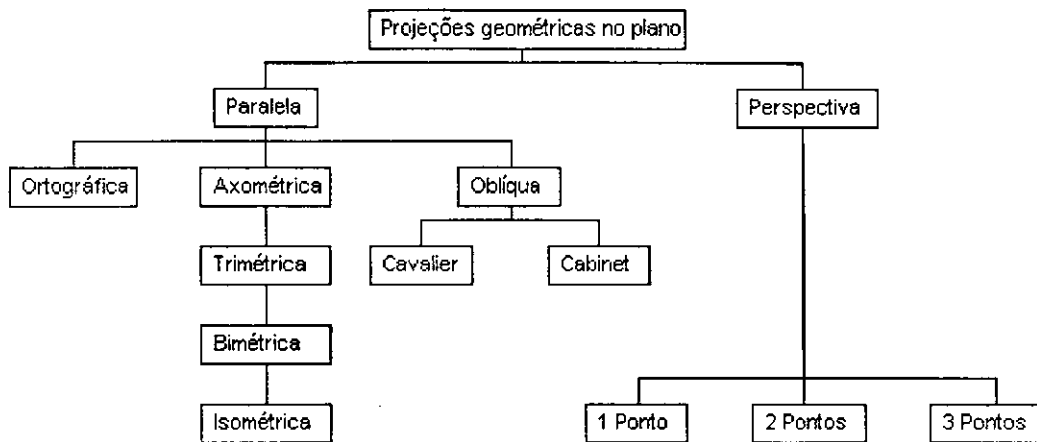


Figura 5.1 - Tipos de projeções em duas dimensões

De acordo com a figura 5.1, as projeções em duas dimensões podem ser divididas em duas classes: projeções perspectivas e projeções paralelas. A diferença entre as duas classes de projeções é a posição do centro de projeção em relação ao plano de projeção.

Na figura 5.2, "C" é o centro de projeção para onde convergem as linhas que ligam pontos do objeto ao centro de projeção (projetores). Se a distância "D", que separa o centro de projeção do plano de projeção, é finita, então esta projeção é chamada de perspectiva. Caso "D" seja infinita, onde é especificada apenas a direção de projeção, a projeção é chamada de paralela (figura 5.3).

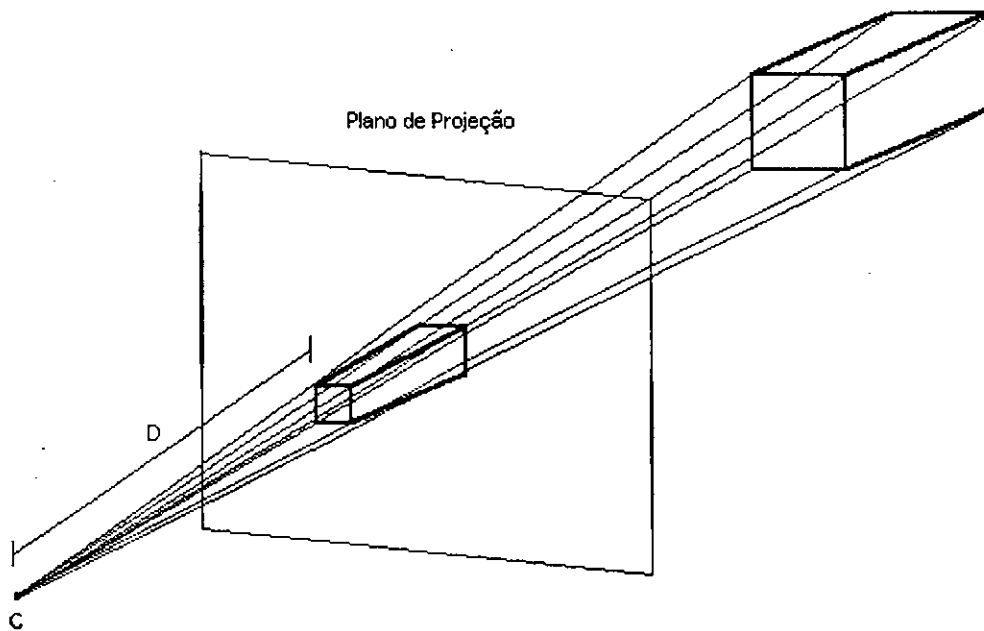


Figura 5.2 - Projeção em perspectiva

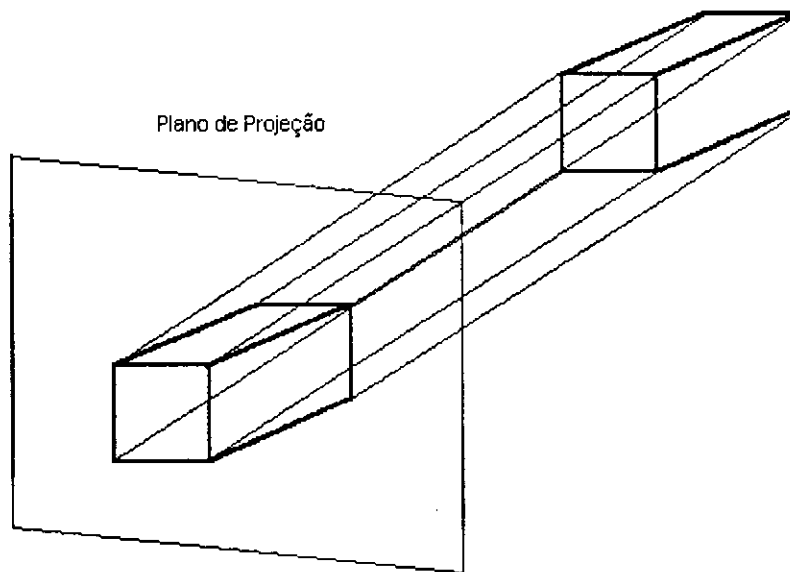


Figura 5.3 - Projeção paralela

Como resultado, a projeção perspectiva produz uma deformação na visualização do objeto e provoca mudanças nos ângulos e tamanhos das arestas, tendo assim um valor mais estético do que prático. Portanto, não se optou pela projeção em perspectiva neste trabalho, sendo adotada a projeção paralela trimétrica para ambas as técnicas de modelagem (superfícies e volumes).

A projeção paralela trimétrica é definida pelas equações abaixo [Roge85b]:

$$\text{a) } X_p = X \cdot \cos(\phi) + Y \cdot \sin(\theta)$$

$$\text{b) } Y_p = X \cdot (\sin(\phi) \cdot \sin(\theta)) + Y \cdot \cos(\theta) + Z \cdot (-\cos(\phi) \cdot \sin(\theta))$$

θ e ϕ equivalem ao azimute e a elevação, respectivamente. O azimute e a elevação serão definidos a seguir.

5.2. DEFINIÇÃO DE UMA VISTA

Além do tipo de projeção é necessária também a definição de uma vista para a visualização do objeto. Essa definição é constituída de três elementos [Fole82], quais sejam:

- a) volume de visualização, que delimita qual a porção dentro do universo que será projetada;
- b) plano de projeção, que especifica onde a porção do universo, delimitada pelo volume de visualização, será projetada; e
- c) janela de visualização, que faz um mapeamento das coordenadas do plano de projeção para as coordenadas da tela (dispositivo de saída).

O volume de visualização é constituído pela grade de dados do modelo, que por sua vez é delimitada pelo octante do universo (octante de mais alto nível que abrange todos os objetos), ou seja, a grade de dados equivale ao universo.

Para definição do plano de projeção e da janela de visualização é necessária também a definição do sistema de coordenadas real (X_R, Y_R, Z_R) ou universal (figura 5.4), onde foi gerado o modelo. Esse sistema de coordenadas é fixo e é usado como referência para o posicionamento dos outros elementos que constituem a vista.

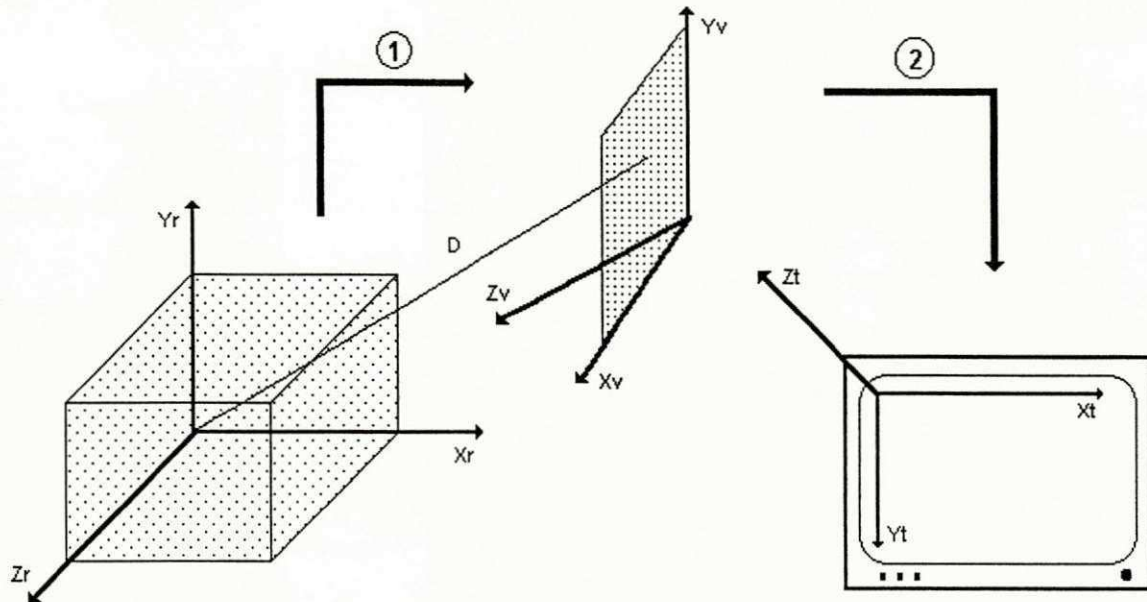


Figura 5.4 - Mapeamento dos sistemas de coordenadas

O sistema visual (X_v, Y_v, Z_v) é utilizado para a projeção do objeto (1) e tem sempre seu eixo Z_v apontado para a origem do sistema de coordenadas reais, porque o objeto projetado se encontra na origem (figura 5.4). O plano onde o objeto é projetado (2) constitui-se dos eixos X_v e Y_v .

A figura 5.4 também mostra que, a convenção adotada neste trabalho para o sistema de coordenadas real é o sistema da mão direita. Neste sistema, o polegar da mão direita aponta na direção positiva do eixo Z quando agarra-se o eixo Z com os dedos girando-se na direção do eixo positivo de X para o eixo positivo de Y (figura 5.5).

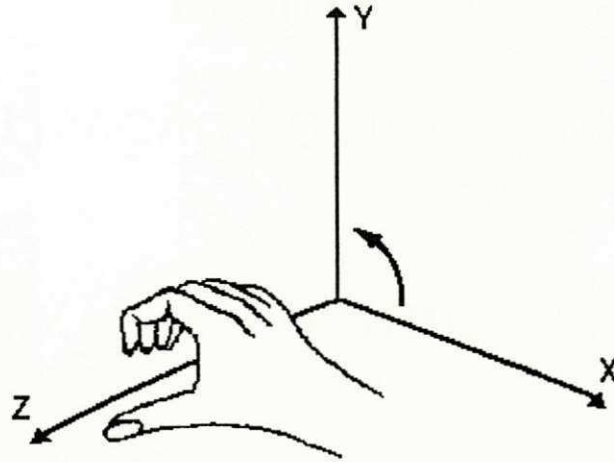


Figura 5.5 - Definição do sistema de mão direita

A posição do sistema visual em relação ao sistema de coordenadas real é definida através dos ângulos azimute e elevação (figura 5.6). O azimute especifica a rotação do sistema visual em torno do eixo y_r do sistema de coordenadas real e a elevação uma rotação do sistema visual em torno do eixo x_r do sistema de coordenadas real.

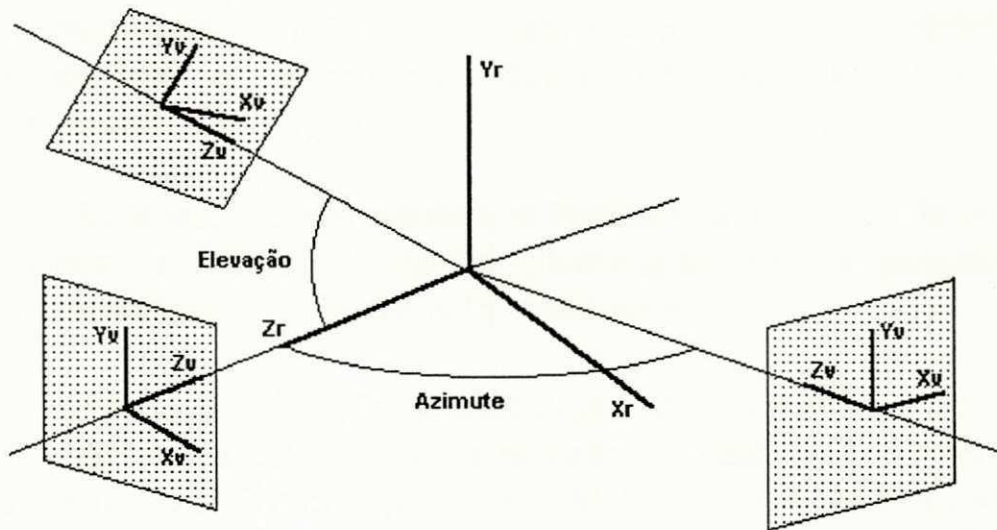


Figura 5.6 - Posicionamento espacial do sistema visual

CAPÍTULO 6

VISUALIZAÇÃO DO MODELO NA TELA

6. VISUALIZAÇÃO DO MODELO NA TELA

6.1. INTRODUÇÃO

Após a geração da projeção dos modelos tridimensionais, entram em cena as técnicas de computação gráfica geradoras dos estímulos visuais que vão permitir ao observador "interagir" visualmente com o objeto (campo meteorológico) "sintetizado" na tela.

Essas técnicas, comumente chamadas de "render techniques" na terminologia inglesa e traduzidas como técnicas de síntese de imagens, são as responsáveis diretas pela qualidade visual da representação dos modelos.

As técnicas convencionais se baseiam na utilização de cores e variações na intensidade da luz (iluminação) para a geração dos estímulos visuais percebidos pelo observador.

Para a visualização da modelagem de superfícies e volumes, foi gerada uma escala cromática baseada no modelo HSV a partir da qual se fez uma "colorização" dos modelos, onde a cor utilizada foi função do valor do campo sendo visualizado, ou seja, $Cor = F(\text{valor do campo})$.

6.2. MODELO CROMÁTICO

O propósito de um modelo cromático é permitir a especificação conveniente das cores dentro de alguma gama de cores. Um modelo cromático é uma especificação de um sistema de coordenadas de cor em 3D e um subespaço 3D do sistema de coordenadas no qual cada cor exibível é representada por um ponto [Fole82].

Dentre os modelos cromáticos orientados a "hardware" tem-se [Fole82]:

- a) RGB (Red, Green, Blue) - usados em monitores coloridos de TV e computadores (figura 6.1);
- b) YIQ - sistema de transmissão para TV colorida; e
- c) CMY (Cyan, Magenta, Yellow) - usado pelos dispositivos de impressão colorida.

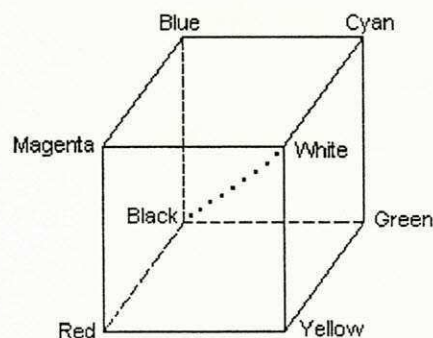


Figura 6.1 - Cubo para modelo cromático RGB

Como estes modelos não são diretamente relacionados com a intuição de cor, saturação e brilho, eles não são triviais para o programador ou usuário controlá-los. Por isso, outros modelos cromáticos tem sido desenvolvidos para que a facilidade de utilização seja significativa.

Dentre esta outra classe de modelos, adotou-se neste trabalho o modelo de Smith denominado HSV (Hue, Saturation, Value) [Smit78] para a visualização da modelagem de superfícies e volumes, já que ele é baseado nos recursos intuitivos dos artistas gráficos (matiz, intensidade e tonalidade) [Fole82].

O subespaço no qual o modelo HSV é definido é um hexacone de altura igual a 1 (eixo V), com o vértice na origem (figura 6.2). O topo do hexacone contém os valores máximos (intensidade) das cores. O valor de S varia de 0 na linha central (eixo V) até 1 nos lados triangulares do hexacone.

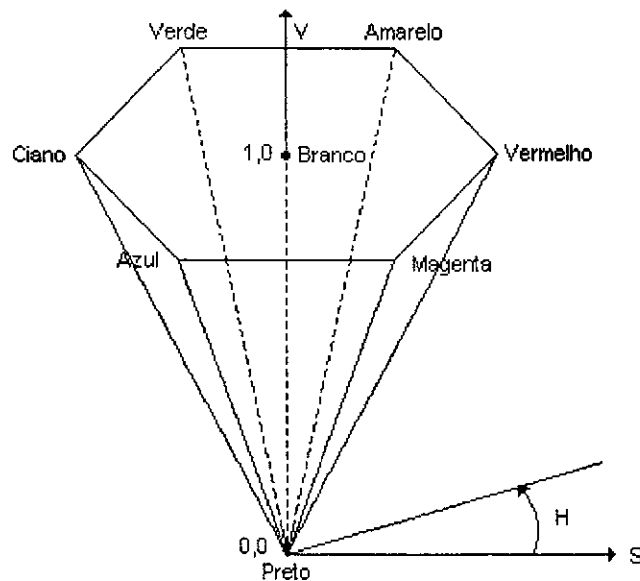


Figura 6.2 - Hexacone para modelo cromático HSV

O ponto $S=0$ e $V=1$ equivale a cor branca, o ponto $S=0$ e $V=0$ a cor preta. A variação de V entre 0 e 1 para $S=0$ produz níveis de cinza. A escolha de um pigmento puro é feita através da mudança no parâmetro H , variando de 0° a 360° .

A adição de pigmento branco corresponde ao decréscimo de S com V constante, e a adição de pigmento preto ao decréscimo de V com S constante. Assim, há uma correspondência direta entre os

parâmetros H, S e V com o sistema cromático utilizado pelos artistas gráficos.

Neste trabalho adotou-se $S=1$, $V=1$ e H variando de 0° a 360° , obtendo assim uma palheta de 64 cores puras que foi do vermelho até o magenta.

Como a visualização da modelagem se deu no dispositivo de saída do computador (tela de vídeo), que segue o modelo RGB, houve a conversão do modelo HSV para RGB através do algoritmo abaixo:

```
S = 1
V = 1
Para X = 1 até 64 faça
    H = X * (360 / 64)
    H = H / 60
    I = ConverteInteiro(H)
    F = H - I
    P = V * (1 - S)
    Q = V * (1 - (S * F))
    T = V * (1 - (S * (1-F)))
    Caso I igual a
        0: (R,G,B) = (V,T,P)
        1: (R,G,B) = (Q,V,P)
        2: (R,G,B) = (P,V,T)
        3: (R,G,B) = (P,Q,V)
        4: (R,G,B) = (T,P,V)
        5: (R,G,B) = (V,P,Q)
    FimCaso
FimPara
```

CAPÍTULO 7

RESULTADOS OBTIDOS

7. RESULTADOS OBTIDOS

Visando uma avaliação dos métodos implementados foi realizada uma série de execuções do "software" com o objetivo de testar e validar as técnicas implementadas, quais sejam, horizonte flutuante e representação "octree".

No estágio atual de desenvolvimento do "software" o usuário dispõe de uma interface mínima através da qual lhe é permitida a escolha de parâmetros seletivos para a configuração da visualização desejada, tais parâmetros são:

- a) tipo do campo meteorológico que foi visualizado (temperatura, altura geopotencial ou pressão à superfície);
- b) ângulos de visualização para posicionamento do observador, ou seja, azimute e elevação;
- c) tipo de visualização (volume ou camadas) para a representação "octree";
- d) intervalos de visualização para a discretização dos valores que foram visualizados na representação "octree"; e
- e) recursos de recorte (horizontal, vertical ou perpendicular) para a oclusão de partes do objeto visualizado na representação "octree".

A interface utilizada no processo de seleção desses parâmetros é composta de menus de múltiplas escolhas e perguntas e

respostas, constituindo assim, a única forma de interação com o usuário. Não foi nosso objetivo no escopo original do trabalho, avançar na direção da implementação de uma interface mais complexa.

Além desses parâmetros seletivos a interface final obtida para ambas as técnicas de visualização foi constituída dos seguintes elementos:

- a) escala de valores correspondente às cores do modelo cromático utilizado na visualização;
- b) legenda das coordenadas geográficas da grade de dados;
- c) tipo do campo visualizado;
- d) projeção da grade de dados; e
- e) visualização do modelo (superfície ou volume).

A seguir são apresentados quatro exemplos dos resultados obtidos na visualização. Tais resultados representam pela ordem:

Figura 1 - superfície para o campo geopotencial no nível de pressão 1000 milibares. Esse tipo de visualização permite uma análise do comportamento desse campo em um nível de pressão específico;

Figura 2 - volume discretizado, ou seja, escolhido dois intervalos de valores representados pelas cores azul e amarelo, para o campo temperatura em todos os níveis de pressão, possibilitando a visualização da ocorrência de faixas de valores dentro do volume visualizado;

Figura 3 - volume com recorte perpendicular para o campo temperatura em todos os níveis de pressão permitiu a filtragem (occlusão) de regiões do volume permitindo a

visualização de regiões internas do volume; e

Figura 4 - volume em camadas do campo temperatura possibilitou a análise do comportamento do campo ao longo dos níveis padrões de pressão.

O tempo de execução (leitura dos dados, interpolação e visualização), para esses resultados foram os seguintes:

Figura 1 - 16 segundos;

Figura 2 - 44 segundos;

Figura 3 - 1 minuto e 1 segundo; e

Figura 4 - 1 minuto e 16 segundos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

8. CONCLUSÕES

Esse trabalho foi na sua essência uma ponte entre duas disciplinas de estudos diferentes, a meteorologia e a computação. O potencial da computação gráfica na visualização científica e especificamente nas ciências atmosféricas é enorme. A cada dia surgem propostas elegantes e originais para a solução de problemas variados. Nosso objetivo foi basicamente desenvolver um trabalho de análise e experimentação.

O objetivo dessa análise recaiu sobre campos meteorológicos escalares. Tais campos desempenham um papel importante na análise rotineira do tempo. Acreditamos que devido a essa popularidade, um estudo como o desenvolvido no âmbito desta dissertação poderia trazer resultados interessantes do ponto de vista da sua aplicabilidade.

Dois tipos de resultados foram alcançados: visualização via modelos de superfície e via modelos volumétricos. O uso de modelos volumétricos através da codificação por "octree" representa uma proposta original para visualização meteorológica. Tais modelos, embora mais complexos, permitem a obtenção de uma gama mais vasta de possibilidades de visualizações para estudo dos campos escolhidos.

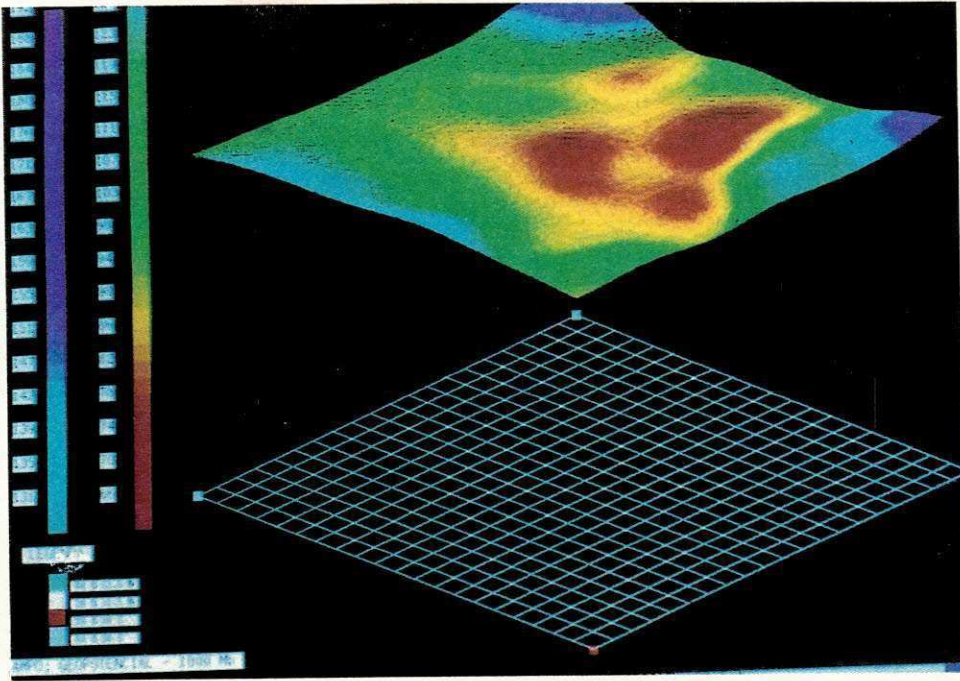
O trabalho foi internamente implementado em estações de trabalho SUN, porém a possibilidade de instalação dessa ferramenta de visualização em plataformas de baixo custo compatíveis com o IBM-PC não está descartada, desde que para isso seja considerado:

- a) requisitos de memória (RAM) demandado pelo modelo a ser visualizado; e
- b) disponibilidade de primitivas gráficas no novo ambiente, equivalentes as que foram implementadas, para visualização do modelo.

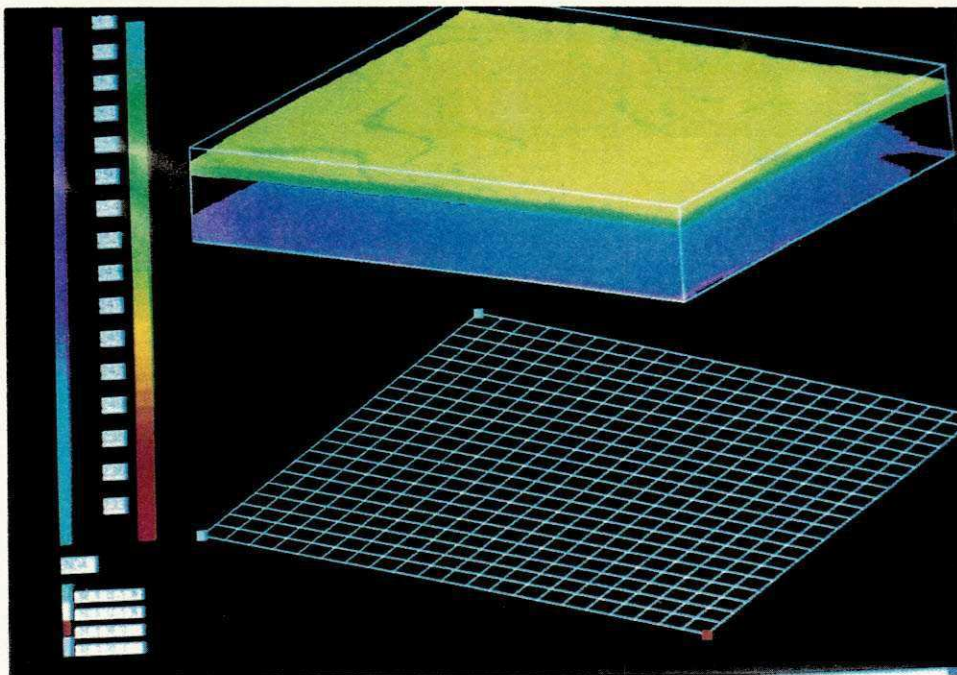
O "software" desenvolvido pode e deve ser ampliado através das seguintes sugestões:

- a) recursos de animação visando análises dinâmicas no tempo;
- b) acréscimo de elementos gráficos de apoio para enriquecer a visualização, por exemplo, mapas geo-políticos e/ou coordenadas geográficas podem facilitar sobremaneira o processo de análise dos resultados;
- c) acréscimo de uma "Graphical User Interface" (GUI) para gerenciar a operação da ferramenta de visualização meteorológica, tais como: Open Look ou Motif.

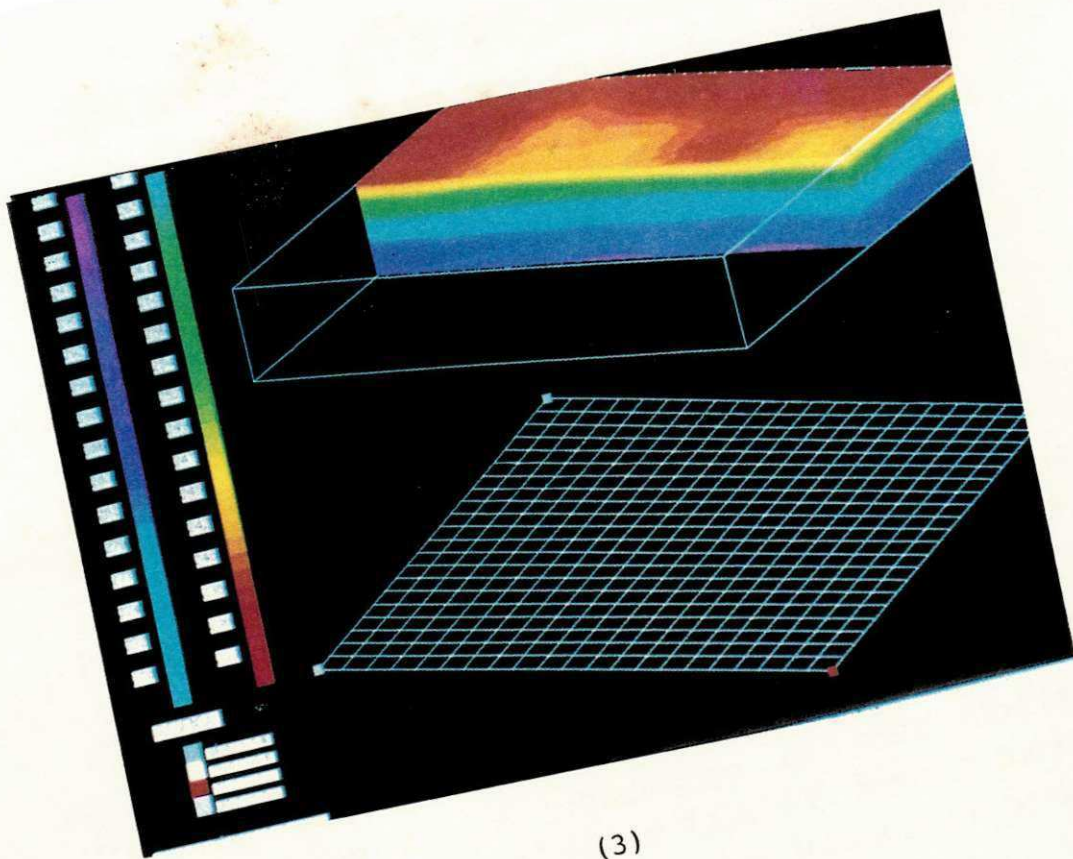
A N E X O



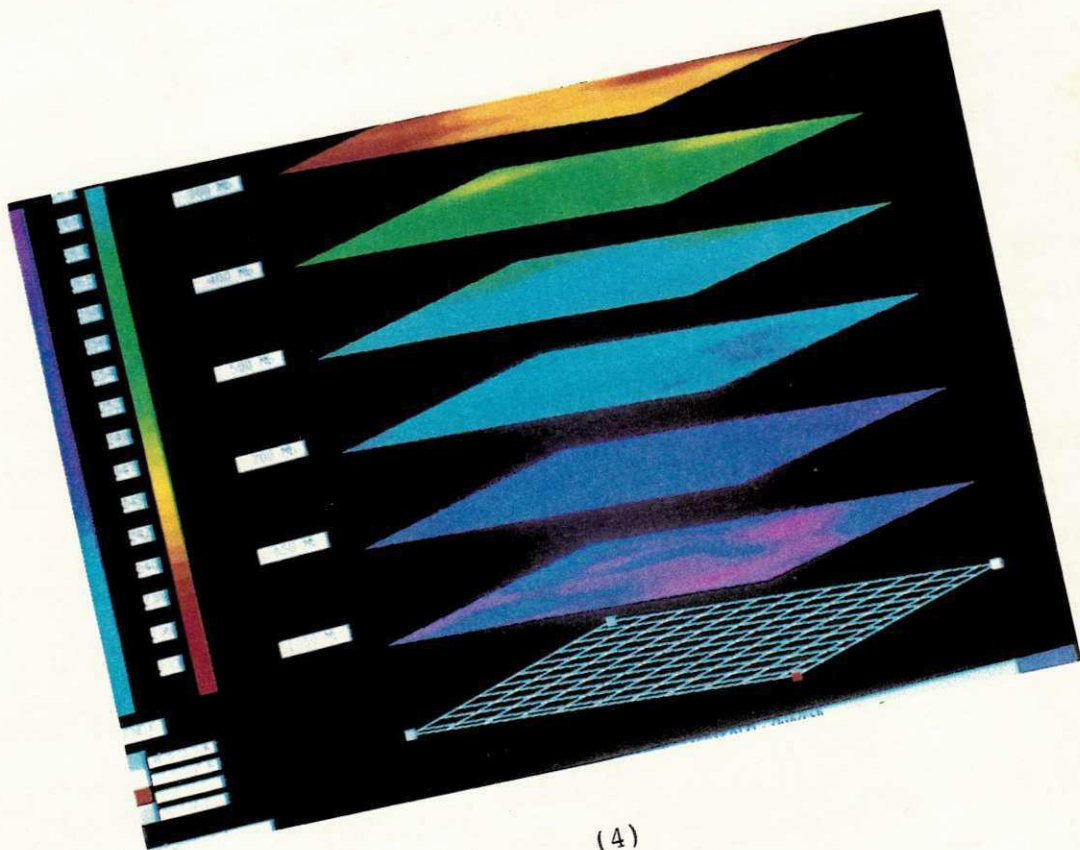
(1)



(2)



(3)



(4)

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFIA

9. BIBLIOGRAFIA

- [Blin82] BLINN, J.F., Ligth reflection functions for simulation of cloud e dusty surfaces, **Computer Graphics** ,16, 1982, pag. 21-29.
- [Cama91] CAMARA, G. e Daabeck J., The conception of a new system for visualisation of meteorological and climatological data at ECMWF, Seventh International Conference on Interactive Information Systems for Meteorology, Oceanography e Hydrology, **American Meteorological Society**, 1991.
- [Carl85] CARLBOM, I. e I. Chakravarty, A hierarchical data structure for representing the spatial decomposition of 3D-Objects, **IEEE Computer Graphics e Applications**, april 1985, pag. 24-31.
- [Clar89] CLARE, Fred e Dave Kennison, NCAR graphics guide to new utilities - version 3.00, **NCAR Technical Notes**, october 1989.
- [desJ80] DESJARDINS, M., e A.F. Hasler, Stereographic displays of atmospheric model data. **Preprints, Seventh Annual Conference on Computer Graphics e Interactive Techniques (SIGGRAPH 80)**, Seattle, Association for Computing Machines, Inc. New York, 1980, pag. 134-139.

-
- [Dreb88] DREBIN, R.A., L. Crapenter e P. Hanrahan: Volume rendering, **Computer Graphics**, Vol. 22, Nº 4, august 1988, pag. 65-74.
- [Elvi92] ELVINS, T. Todd, A survey of algorithms for volume visualization, **Computer Graphics**, Vol. 26, Nº 3, 1992, pag. 194-201.
- [Farr83] FARRELL, E. J., Color display and interactive interpretation of three-dimensional data, **IBM Journal of Research e Development**, 27, 1983, pag. 356-366.
- [Fole82] FOLEY, J., e A. Van Dam, Fundamentals of interactive computer graphics. **Addison-Wesley Publishing Company**, 1982, 664 pags.
- [Fors78] FORSDYKE, A. G., Previsão do tempo e clima. **Edição Melhoramentos- Editora da Universidade de São Paulo**, 1978.
- [Frie85] FRIEDER, G.D. Gordon e R.A. Reynolds. 1985. Back-to-front display for voxel-based objects. **IEEE Computer Graphics e Applications**, 5, pag. 52-60.
- [Gard84] GARDNER, G. Y., Simulation of natural scenes using textured quadric surfaces, **Computer Graphics**, Vol.18, 1985, pag. 11-20.
- [Gard85] GARDNER, G. Y., Visual simulation of clouds, **Computer Graphics**, Vol.19, Nº 3, 1985, pag. 297-303.
- [Garg81] GARGANTINI, Irene: Linear octrees for processing of three-dimensional objects, **IEEE Computer Graphics e Image Processing**, 20, september 1981, pag. 365-374.

-
- [Gord85] GORDON, Dan e R. A. Reynolds: Image space shading of 3-Dimensional objects, **Computer Vision, Graphics e Image Processing**, 29, 1985, pag. 361-376.
- [Grot85] GROTCH, L., The use of interactive three-dimensional graphics in a climate research program, **Preprints, Conf. International Information e Processing Systems for Meteorology, Oceanography, e Hydrology**, Los Angeles, American Meteorological Society, 1985, 213-215.
- [Grot84] GROTJAHN, R. e R. Chervin R., Animated graphics in meteorological research and presentations, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 65, 1984, pag. 1201-1208.
- [Hasl81] HASLER, A.F., M. DesJardins e A.J. Negri, Artificial stereo presentation of meteorological data fields, **Bulletin of American Meteorological Society**, 66, 1981, pag. 970-973.
- [Hasl85] HASLER, A., H. Pierce, K. Morris, e J. Dodge, Meteorological data fields "in perspective". **Bulletin of the American Meteorological Society**, 66, 1985, 795-801.
- [Hear86] HEARN, D. e M. Pauline Baker, **Computer Graphics**, Prentice-Hall - New Jersey, 1986.
- [Hibb85] HIBBARD, W. L., R.J. Krauss, e J.T. Young, 3-D weather displays using McIDAS, **Preprints Conf. International Information e Processing Systems for Meteorology, Oceanography, e Hydrology**, Los Angeles, American Meteorological Society, 1985, pag. 153-156.

-
- [Hibb86] HIBBARD, W.L., Computer-generated imagery for 4-D meteorological data, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 67, November 1986, pag. 1362-1369.
- [Jack80] JACKINS, C.L. e S.L. Tanimoto, Octr-trees and their use in represent three-dimensional objects, **Computer Graphics e Imagen Processing**, July 1980, pag. 249-270.
- [Kaji84] KAJIYA, J. T., e B. P. Von Herzen, Ray tracing volume densities, **Computer Graphics**, 18, 1988, pag. 165-174.
- [Klas89] KLASKY, R. S., Computer animation for visualizing terrain data, **IEEE Computer Graphics e Applications**, Vol.9, 1989, pag. 12-13.
- [Leve68] LEVENS, A. S., e John Wiley, **Graphics: analysis and conceptual design**, Inc. Sons, 1968.
- [Max86a] MAX, N. L., Atmospheric illumination and shadows, **Computer Graphics**, 20, 1986, pag. 117-124.
- [Max86b] MAX, N. L., Light diffusion through clouds and haze, **Computer Vision, Graphics e Image Processing**, 33, 1986, pag. 280-292.
- [McCo87] McCORMICK B. H. , T. A. DeFanti, e M. D. Brown, eds., Visualization in scientific computing, **Computer Graphics (Siggraph 87 Panel Proc.)**, Vol. 21, N° 6, 1987.
- [Meag82] MEAGHER, D., Geometric modeling using octree encoding, **Computer Graphics e Image Processing**, 19, june 1982, pag. 129-147.

-
- [Nish87] NISHITA, T., Y. Miyawaki e E. Nakamae, A shading model for atmospheric acattering considering luminous intensity distribution of lighth sources, **Computer Graphics**, 21, 1987, pag. 303-310.
- [Papa88] PAPATHOMAS, T. V., Schiavone, J. A. e Julesz B., Applications of computer graphics to the visualization of meterological data, ACM Press, **Computer Graphics**, Vol.22, N^o 4, August 1988.
- [Gard85] GARDNER, G. Y., Visual simulation of clouds, **Computer Graphics**, Vol.19, N^o 3, 1985, pag. 297-303.
- [Perl85] PERLIN, K., An image sintetizer, **Computer Graphics**, 23, 1985, pag. 287-296.
- [Roge85a] ROGERS, D., Procedural elements for computer graphics. **Mc-Graw-Hill Book Company**, 1985, 433 pp.
- [Roge85b] ROGERS, D., Mathematical elements for computer graphics. **Mc-Graw-Hill Book Company**, 1985, 611 pp.
- [Sabe88] SABELLA, P., A rendering algorithm for visualization 3D scalar fields. **Computer Graphics**, 22, 1988, pag. 51-58.
- [Schi86] SCHIAVONE, J. A., Papathomas, T. V., B. Julesz, C. Kreitzberg, e D. Perkey, Anaglyphic stereo animation of meteorological fields, **Preprints, Conf. International Information e Processing Systems for Meteorology, Oceanography, e Hydrology**. Miami, American Meteorological Society, 1986, pag. 64-71.

- [Schi90] SCHIAVONE, J. A. e Papathomas, T. V., Visualizing meteorological data, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 71, July 1990, pag. 1012-1020.
- [Smit78] SMITH, A. R., Color gamut transform pairs, **SIGGRAPH '78 Proceedings**, published as *Computer Graphics*, 12(3), August 1978, pag. 12-19.
- [Tani74] TANIMOTO, S., T. Pavlidis, A hierarchical data structure for picture processing, **Computer Graphics e Image Processing**, Vol. 4, 1975, pag. 104-119.
- [Toen90] TOENNIES, K. D. e U. Tronnier, 3D modeling using an extended cell enumeration representation, **Computer Graphics**, 24(5), november 1981, pag. 13-20.
- [Torb81] TORBORG, John G. e Louis J., Display techniques for octree-encoded objects, **IEEE Computer Graphics e Applications**, july 1981, pag. 29-38.
- [Upso86] UPSON, C., The visual simulation of amorphous phenomena, **The Visual Computer**, 2, 1986, pag. 321-326.
- [Upso88] UPSON, C. e M. Keeler, V-Buffer: Visible volume rendering, **Computer Graphics**, 22, 1988, pag. 59-64.
- [Vond88] VONDER HAAR, T.H., A.C. Meade, R.J. Craig e D.L. Reinke, Four-dimensional imaging for meteorological applications, **Journal of Atmospheric e Oceanic Technology**, 5, 1988, pag. 136-143.
- [Weng85] WENG, J. e N. Ahuja, Octree representation of object in arbitrary motion, **Proc. CVPR**, San Francisco, CA, 1985, pag. 524-529.

- [Wilh89] WILHELMSON, R.B., L. Wicker, C. Shaw, The display of modeled storms, **preprints of the fifth IIPS**, Anaheim, California, 1989, pag. 166-171.
- [Wilh89] WHILHELMS, J. e A. V. Gelder, Octrees for fast isosurface generation extended abstract, **Computer Graphics**, 24(4), november 1990, pag. 57-62.
- [Wolf88] WOLFE, R. H. e C. N. Liu, Interactive visualization of 3D seismic data: a volumetric method, **IEEE Computer Graphics e Applications**, 8, 1988, pag. 24-30.
- [Yama84] YAMAGUCHI, K. e K. Fujimura, Octree-related data structures and algorithms, **IEEE Computer Graphics e Applications**, jan. 1984, pag. 53-59.