



## CATALOGAÇÃO NA FONTE

Walter, Marcelo

A obtenção de texturas na síntese de imagens realísticas num ambiente limitado / Marcelo Walter. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1991.

150 p.: il. color.

Diss. (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Porto Alegre, 1991. Orientador: Laschuk, Anatólio

Dissertação: Computação Gráfica, Realismo, Técnicas para Síntese de Texturas, Mapeamento de Texturas, Textura Sólida, Perturbação do Vetor Normal.

A todos àqueles que vibraram,  
comigo, neste trabalho !



## AGRADECIMENTOS

É importante se considerar os agradecimentos numa perspectiva histórica. Lembrar os amigos, professores e aquelas pessoas que participaram neste trabalho será mais fácil daqui a algum tempo lendo esta página.

Meus agradecimentos:

- Ao meu orientador, Prof. Laschuk, cujos apoio e orientação, não apenas técnicos, foram fundamentais;

- À minha família, especialmente minha mãe, à Tina e ao Mário que, apesar de não entenderem muito bem nem o título da dissertação, deram aquela força de retaguarda;

- À Rosana, companheira docente da UNISINOS, pelos papos, amizade, confidências, dúvidas, trabalhos, cafés, almoços e festas, enfim, tudo o que faz o dia-a-dia de um pós-graduando;

- Ao Gladimir, pelos inúmeros "brainstorms" iniciais que renderam e ainda vão render muita coisa boa;

- Ao companheiro de "baia" e amigo Robson pelos papos e amizade, invariavelmente acompanhados por chimarrão;

- À Maria del Rosário, pela amizade;

- À Silvia, por algumas das profissionalíssimas fotos que aparecem neste trabalho, além do grande apoio em geral;

- Ao que já se convencionou chamar de "Turma do Cafezinho", Luis Cláudio, Laerte, Marcos Dossa, Alcides e Ramon, pelos momentos de papos e amizade;

- Ao Osório, pela incansável boa vontade em sempre dar uma mão e digitalizar uma nova imagem;

- Ao Rui pela força em algumas sessões fotográficas;

- Ao pessoal da CG: Yara, Roberto "Foca", João Batista, Manoel e Marcos, pelo que temos em comum, (mas não exclusivamente), esta "paixão" pela CG;

- Ao pessoal da Biblioteca e Secretaria, pelo apoio logístico;

- Ao CNPQ e à CAPES pelo auxílio financeiro.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	011
RESUMO.....	013
ABSTRACT.....	015
1 INTRODUÇÃO.....	017
1.1 Motivação.....	017
1.2 Objetivos.....	018
1.3 Organização Geral do Trabalho.....	020
2 TEXTURAS.....	023
2.1 Introdução.....	023
2.2 Noções Intuitivas de Textura.....	023
2.3 Abordagem Psicológica.....	026
2.4 Abordagem em Processamento de Imagens.....	029
2.5 Abordagem em Computação Gráfica.....	034
2.6 Paradigmas de Formação de Texturas.....	036
2.7 Afinal, o que é Textura ?.....	038
3 MODELOS DE TEXTURA.....	039
3.1 Introdução.....	039
3.2 Aplicações da Modelagem de Texturas.....	042
3.2.1 Classificação de Imagens.....	043
3.2.2 Segmentação de Imagens.....	044
3.2.3 Codificação de Imagens.....	044
3.2.4 Estudos Psicológicos.....	045
3.2.5 Realismo em Computação Gráfica.....	045
3.3 Levantamento dos Modelos de Textura.....	046

3.3.1 Modelos para Descrição de Texturas.....	048
3.3.1.1 O Critério Visual.....	048
3.3.1.2 Abordagem Sintática.....	048
3.3.1.3 Descrição Hierárquica.....	049
3.3.1.4 Textura Real como Distorção de uma Textura Ideal.....	050
3.3.2 Modelos para Síntese de Texturas.....	050
3.3.2.1 Modelos de Simulação de Texturas.....	050
3.3.2.1.1 Cadeias de Markov.....	051
3.3.2.1.2 Estatísticas de Segunda Ordem.....	052
3.3.2.1.3 Abordagem Sintática.....	052
3.3.2.2 Modelos para Síntese de Texturas Propriamente Ditos.....	053
3.3.2.2.1 Linguagem para Síntese de Texturas.....	053
3.3.2.2.2 Mosaicos.....	054
3.3.2.2.3 Modelos de Bombardeamento.....	056
<b>3.4 Conclusões.....</b>	<b>056</b>
<b>4 TÉCNICAS PARA SÍNTESE DE TEXTURAS EM COMPUTAÇÃO GRÁFICA.....</b>	<b>059</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>059</b>
<b>4.2 Fractais.....</b>	<b>060</b>
<b>4.3 Modelo de Iluminação Cook &amp; Torrance.....</b>	<b>063</b>
<b>4.4 Sistemas de Partículas.....</b>	<b>065</b>
<b>4.5 Mapeamento de Textura.....</b>	<b>069</b>
4.5.1 Descrição Geral.....	069
4.5.2 Um Exemplo.....	071
4.5.3 Aplicabilidade.....	073
4.5.4 Modelo de Iluminação.....	074

4.5.5 Restrições e Deficiências.....	075
4.5.6 Implementação.....	080
4.5.7 Relação Ambiente versus Técnica.....	081
<b>4.6 "Bump Mapping".....</b>	<b>081</b>
4.6.1 Descrição Geral.....	081
4.6.2 Aplicabilidade.....	083
4.6.3 Modelo de Iluminação.....	083
4.6.4 Restrições e Deficiências.....	084
4.6.5 Implementação.....	086
4.6.6 Relação Ambiente versus Técnica.....	086
<b>4.7 Textura Sólida.....</b>	<b>087</b>
4.7.1 Descrição Geral.....	087
4.7.2 Aplicabilidade.....	088
4.7.3 Modelo de Iluminação.....	089
4.7.4 Restrições e Deficiências.....	090
4.7.5 Implementação.....	092
4.7.6 Relação Ambiente versus Técnica.....	092
<b>4.8 Outras Técnicas.....</b>	<b>093</b>
4.8.1 Desenho por Computador.....	093
4.8.2 Textura Artificial.....	094
4.8.3 Texturamento de Superfícies Quádricas.....	095
4.8.4 Azulejos de Textura.....	096
<b>4.9 Seleção das Técnicas para Implementação.....</b>	<b>096</b>
<b>5 O AMBIENTE ESPECIFICADO E PADRÕES.....</b>	<b>101</b>
<b>5.1 O Ambiente Especificado.....</b>	<b>101</b>
5.1.1 A Placa VGA.....	102
5.1.1.1 Resolução.....	102

5.1.1.2 Número de Cores.....	103
5.1.1.3 Modos de Trabalho.....	104
5.1.2 Outros Aspectos.....	105
<b>5.2 Padrões.....</b>	<b>105</b>
<b>5.3 Conclusões.....</b>	<b>111</b>
<b>6 SÍNTESE E ANÁLISE DAS IMAGENS OBTIDAS.....</b>	<b>113</b>
<b>6.1 O Sistema Implementado.....</b>	<b>113</b>
6.1.1 Visualização.....	113
6.1.2 Remoção de Elementos Ocultos.....	114
6.1.3 Modelo de Iluminação.....	115
6.1.4 Síntese de Textura.....	117
6.1.4.1 Mapeamento de Textura.....	118
6.1.4.2 "Bump Mapping".....	120
6.1.4.3 Textura Sólida.....	121
6.1.5 "Palette".....	122
6.1.6 Padrões.....	122
<b>6.2 Análise das Imagens.....</b>	<b>125</b>
6.2.1 Mapeamento de Textura.....	126
6.2.2 "Bump Mapping".....	129
6.2.3 Textura Sólida.....	130
6.2.4 Padrões.....	132
<b>6.3 Conclusões.....</b>	<b>133</b>
<b>7 CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>135</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>139</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ráfia.....	024
Figura 2.2	Mármore.....	025
Figura 2.3	Uma Classificação de Texturas.....	031
Figura 2.4	Pedras.....	032
Figura 2.5	Treliça de Algodão.....	032
Figura 2.6	Pele de cobra.....	033
Figura 2.7	Palha.....	033
Figura 3.1	Relação Modelo x Técnica.....	040
Figura 3.2	Aplicações da Modelagem de Texturas.....	043
Figura 3.3	Modelos de Textura.....	047
Figura 4.1	Fractais.....	062
Figura 4.2	Modelo Cook & Torrance.....	065
Figura 4.3	Sistemas de Partículas.....	067
Figura 4.4	Mapeamento de Textura.....	071
Figura 4.5	Definição dos Pontos de Fixação.....	072
Figura 4.6	Amostragem de Áreas.....	076
Figura 4.7	Amostragem de Áreas Ponderada.....	077
Figura 4.8	Descontinuidades no Mapeamento.....	079
Figura 4.9	"Bump Mapping".....	083
Figura 4.10	Textura Sólida.....	088
Figura 4.11	Função de Projeção para Textura Sólida.....	091
Figura 5.1	Padrões de "pixels" 2 x 2.....	106
Figura 5.2	Padrões Inapropriados.....	107
Figura 5.3	Padrões de "pixels" Possíveis, conside- rando-se 2 bits/"pixel".....	109

Figura 6.1	Exemplo de Mapa de Textura Definido pelo Usuário.....	119
Figura 6.2	Exemplo de Arquivo para "Bump Mapping".....	120
Figura 6.3	Imagem de Mapeamento de Textura: Mapa Pré-Definido.....	127
Figura 6.4	Imagem de Mapeamento de Textura: Mapa Definido pelo Usuário.....	128
Figura 6.5	Imagem com Aplicação de "Bump Mapping"...	130
Figura 6.6	Imagem de Textura Sólida.....	131
Figura 6.7	Imagem de Mapeamento de Textura com uso de Padrões.....	132

## RESUMO

As técnicas para síntese de textura em Computação Gráfica constituem um grupo bem específico cujo objetivo principal é a inclusão, na imagem, de alguma informação visual que aumente a percepção de realismo.

São identificadas técnicas para síntese de textura com características favoráveis à implementação num ambiente limitado cujo aspecto central é a placa de vídeo VGA, a saber: mapeamento de textura, "bump mapping" e textura sólida.

Um sistema para visualização de objetos simples com aplicação das técnicas selecionadas é descrito e implementado. Várias imagens são sintetizadas e os resultados analisados considerando-se o nível de realismo atingido.

É explorado o uso de padrões para incremento da resolução visual das imagens em conjunto com a técnica de mapeamento de textura.

Apresenta-se uma série de definições para textura das áreas de Computação Gráfica, Psicologia e Processamento de Imagens. Estas definições se integram e possibilitam a formação de um conceito genérico sobre o assunto.

Os modelos e técnicas para descrição e síntese de texturas são apresentados, identificando-se as tendências nesta área.

**palavras - chave:** Computação Gráfica, Realismo, Técnicas para Síntese de Texturas, Mapeamento de Texturas, Textura Sólida, Perturbação do Vetor Normal.

**ABSTRACT**

The Computer Graphics texture synthesis techniques are a well defined group which main goal is to add visual information to the image. This visual information will increase the realism.

Texture synthesis techniques for implementation in a limited environment are identified, namely texture mapping, bump mapping and solid texture. The main aspect of the environment is the VGA video card.

A system is described and implemented to visualize simple objects where the selected texture synthesis techniques were applied. Some images are synthesized and the results are analysed.

It is explored the use of patterns to increase images visual resolution in connection with texture mapping technique.

It is presented a set of texture definitions from Computer Graphics, Psychology and Image Processing studies. These definitions are integrated and make possible to form a generic concept about the subject.

Models and techniques for texture description and synthesis are presented. This survey identified trends in this area.

**key-words:** Computer Graphics, Realism, Texture Synthesis Techniques, Texture Mapping, Solid Texture, Bump Mapping.

## 1 INTRODUÇÃO

A obtenção de imagens realísticas sintetizadas na tela de um computador tem sido um objetivo permanente de uma grande parte dos pesquisadores na área de Computação Gráfica /AMA 87//KAU 88/.

Persegue-se o realismo ideal, isto é, aquele que irá provocar no observador uma reação igual a que aconteceria se ele estivesse observando a cena (ou objetos) real.

Dentre as diversas técnicas, modelos e procedimentos desenvolvidos com este objetivo em mente, pode-se agrupar um subconjunto que, dentro do objetivo amplo de atingir o realismo, persegue um objetivo mais restrito que é a síntese de texturas.

A inclusão de alguma informação visual - muitas vezes relacionada à estrutura microscópica de formação do objeto que se procura representar - que incrementa a percepção do realismo observado é o resultado imediato da aplicação destas técnicas e procedimentos relacionados a textura /KAU 85/.

### 1.1 Motivação

A síntese de texturas em Computação Gráfica aparece normalmente como uma primeira opção a um custo computacional aceitável cuja aplicação, razoavelmente complexa, resulta num acréscimo de realismo.

Este maior realismo é significativo em muitas aplicações, permitindo uma "visão com outros olhos" dos fenômenos que nos rodeiam. A adição da informação visual relacionada à textura contribui ainda para melhorar globalmente a percepção de uma cena sintetizada /SCH 83/. O

tamanho, formato e a densidade da textura contribuem significativamente neste aspecto.

Em outros casos este realismo procura melhorar a interface usuário-sistema num papel semelhante ao da introdução das cores em sistemas mais antigos. Entretanto, não é somente nos aspectos relacionados ao realismo que o assunto texturas é importante. Ele aparece também como informação central em alguns sistemas como análise de radiografias, mapas geológicos e geográficos ou fotografias de satélites, relacionados a área de Processamento de Imagens.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é a síntese de texturas em imagens realísticas. No entanto a consecução deste objetivo geral é guiada por vários fatores, alguns centrais e outros nem tanto, que estabelecem as condições pelas quais este objetivo será atingido.

Um destes fatores centrais é o ambiente disponível para trabalho e, mais significativamente em Computação Gráfica, a placa gráfica disponível para visualização das imagens. A placa gráfica é o recurso eletrônico responsável pela exibição das informações visuais no monitor de vídeo. Em sintonia com o monitor organiza a tela numa grade de pontos que podem ser acessados individualmente, os "pixels", e estabelece o número de cores que podem ser exibidas.

Considerando a realidade de "hardware" disponível, especificou-se como aspecto central do ambiente a placa VGA ("Video Graphics Array") como placa gráfica para visualização dos resultados de aplicação das técnicas. Em apoio a esta decisão, pode-se sugerir que a realidade de

mercado venha a estabelecer a placa VGA como padrão para instalações de pequeno porte (a especificação detalhada do ambiente aparece adiante neste trabalho).

Especificando o objetivo geral, este trabalho procura estabelecer as técnicas e procedimentos viáveis para síntese de texturas no ambiente acima citado. Este ambiente é considerado mínimo e limitado: mínimo no aspecto de que ele é o mínimo a ser utilizado para que se possa almejar algum nível de realismo e limitado porque não apresenta a versatilidade e disponibilidade de recursos, principalmente no que se refere a resolução e número de cores, presentes em sistemas gráficos complexos como estações de trabalho.

Algumas questões mais genéricas devem ser atacadas considerando-se o objetivo acima apresentado. Por exemplo, uma das questões é o estabelecimento da conveniência de aplicação de determinada técnica a um determinado ambiente disponível para implementação.

Em Computação Gráfica, normalmente a seqüência de técnicas a serem aplicadas para incremento do realismo está razoavelmente bem estabelecida. O que não está estabelecido, na maioria das vezes, é a relação ambiente versus técnica, ou seja, qual o ambiente físico ( ou de "hardware" ) necessário para que possa haver a implementação de determinada técnica.

A limitação do ambiente certamente traz restrições para obtenção do realismo, no entanto, apesar da aparente contradição entre obtenção de realismo e limitações no dispositivo de visualização pode-se pensar o assunto em termos de resultados visuais satisfatórios e níveis de percepção de realismo.

Apesar do objetivo onipresente ser o realismo máximo, muitas das aplicações podem ser satisfeitas com

diferentes graus de realismo proporcionando resultados visuais satisfatórios para a aplicação a que se destinam.

O critério visual para julgamento do realismo atingido numa imagem sintetizada por computador é ainda bastante subjetivo e não se têm parâmetros para medição de níveis de percepção do realismo observado. Além disto, o que realmente vem a ser uma imagem realística, ou sob que aspectos uma imagem pode ser considerada realística, seja ela uma pintura ou uma imagem gerada pelo computador, ainda é motivo de muita divergência e debate /FOL 90/.

Neste contexto o termo "pseudo-realismo" muitas vezes é utilizado para designar uma imagem onde houve a aplicação de alguma técnica com a finalidade de incrementar o realismo da cena. O "pseudo-realismo" refere-se ao fato de que alguma limitação impede a obtenção do realismo máximo, sem no entanto invalidar a aplicação da técnica.

O presente trabalho apoia-se nestas considerações, ressaltando-se que as técnicas e procedimentos estabelecidos e relacionados à síntese de texturas para aplicação no ambiente limitado são aplicáveis igualmente num ambiente não limitado ( isto é, com mais recursos ).

Os resultados obtidos conjugam a aplicação das técnicas de obtenção de textura viáveis para ambiente limitado com técnicas para amenizar as limitações do ambiente.

### **1.3 Organização Geral do Trabalho**

O capítulo dois descreve como o assunto **texturas** vem sendo abordado, não só na área de Computação Gráfica, mas também em áreas onde o mesmo tema tem significância

como **Processamento de Imagens e Psicologia**. Sobressai-se a falta de definição única e precisa para textura.

Os estudos relacionados dentro da área de Psicologia, ainda que aparentemente não vinculados diretamente ao assunto desta dissertação, proporcionaram um ponto de vista de que são indispensáveis a um aprofundamento maior no assunto.

No capítulo três, é apresentado o levantamento sobre os modelos relacionados à descrição e síntese de texturas. O levantamento viabilizou ainda a identificação da maioria das técnicas existentes para síntese de texturas em Computação Gráfica.

A descrição detalhada destas técnicas é apresentada no capítulo quatro bem como a seleção, através de critérios que relacionam a técnica ao ambiente de implementação, daquelas técnicas candidatas à implementação, a saber mapeamento, "bump mapping" e textura sólida.

O capítulo cinco apresenta inicialmente o ambiente especificado, com ênfase na descrição da placa VGA, seguido da descrição da técnica conhecida por padrões que possibilita o incremento de resolução visual do vídeo.

No capítulo seis, descreve-se o sistema implementado para visualização de objetos simples com aplicação de textura que possibilitou a síntese de imagens. Estas imagens são analisadas segundo o realismo atingido na segunda parte deste capítulo.

As conclusões finais e direções para pesquisa futura são apresentadas no capítulo sete.

## 2 TEXTURAS

### 2.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o que se entende por **Texturas** em Psicologia, Processamento de Imagens e Computação Gráfica.

Apesar da ausência de uma definição única e precisa, as diferentes abordagens se integram e fornecem uma visão de conjunto sobre o tema.

Da área de Computação Gráfica, são apresentadas várias definições presentes na literatura que possibilitam a formação de um conceito genérico sobre texturas.

São descritos também os paradigmas existentes sobre a formação de texturas e que orientaram o desenvolvimento de alguns modelos relacionados com o assunto e que serão apresentados no capítulo três.

### 2.2 Noções Intuitivas de Textura

Intuitivamente, textura é uma propriedade visual\* que permite o reconhecimento numa imagem de algum material como, por exemplo, grama ou mármore, e que, na maioria das vezes, ocorre em imagens em preto-e-branco ou apenas com tons de cinza.

Esta propriedade visual permite que se possa distinguir facilmente entre veludo, madeira, plástico ou

---

\*O termo textura referencia também propriedades tácteis de um objeto e em alguns casos até acústicas. Em Computação Gráfica e no presente trabalho, entretanto, somente o aspecto visual da percepção do fenômeno é que será considerado.

pedra somente pela observação de uma imagem destes materiais.

Como exemplo, pode-se facilmente identificar os materiais visualizados nas figuras 2.1 e 2.2. A textura destes materiais é que permite a sua identificação.

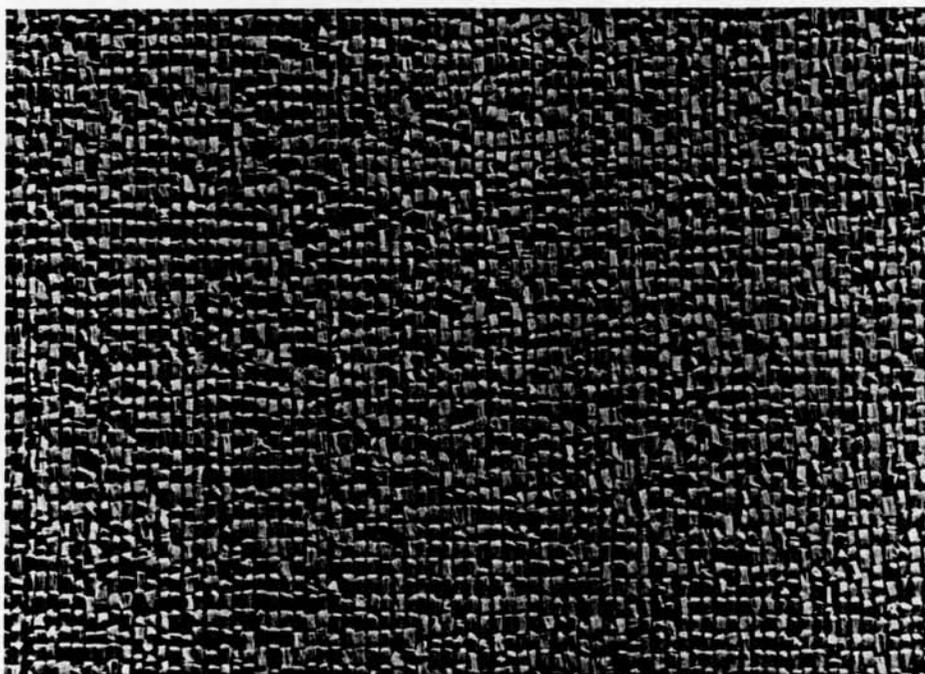


Fig. 2.1 - Ráfia (extraída de /BRO 66/)

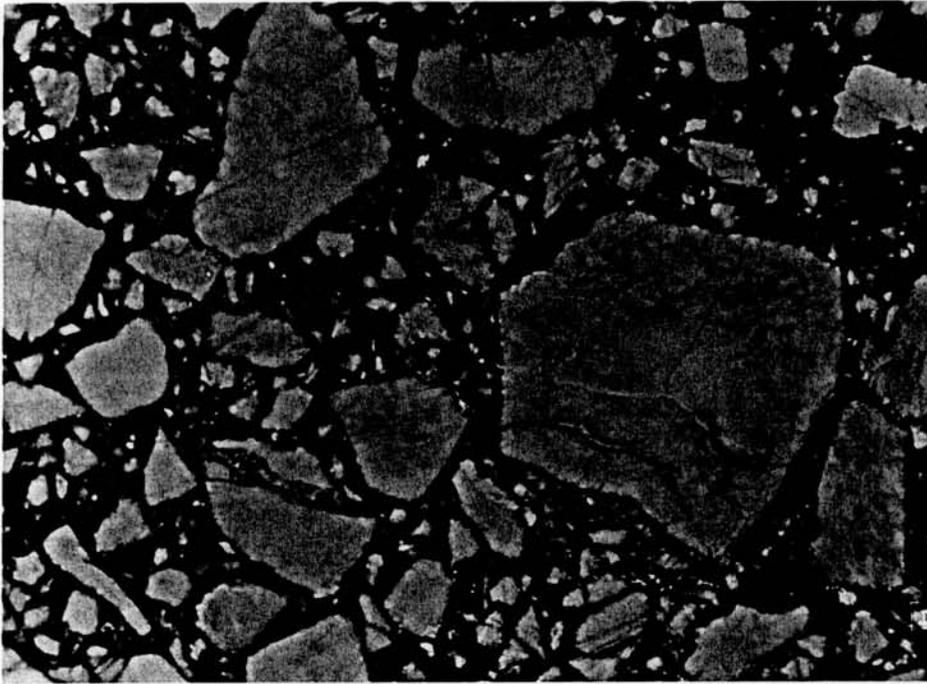


Fig. 2.2 - Mármore (extraída de /BRO 66/)

Apesar da presença constante em praticamente tudo o que se vê e da importância do estudo do assunto em várias áreas, não existe uma definição precisa e universalmente aceita para textura /CRO 80/,/HAR 79/.

Parte da dificuldade em fornecer uma definição para textura é o número extremamente grande de atributos relacionados a este fenômeno que necessitariam ser agrupados sob esta definição /CRO 83/.

Existem, em muitos casos, definições parciais que procuram satisfazer uma determinada aplicação e são, portanto, restritas na sua abrangência /CRO 83/,/ENG 89/,/HAR 79/,/ZUC 76/.

Antes de se apresentar algumas definições mais precisas e como este mesmo assunto é estudado por pesquisadores em outras áreas, seria interessante ressaltar informalmente dois aspectos vinculados a texturas e que

facilitarão a compreensão de alguns tópicos posteriores deste trabalho:

a) usualmente, a percepção de diferentes texturas está associada à estrutura microscópica formadora do material que está sendo observado. As variações locais de cor, transparência e outras variáveis visuais decorrem desta estrutura microscópica. Muitas vezes, o conjunto destas variações é entendido como textura /ENG 89/. Em alguns modelos de geração de texturas, esta constatação orientou o desenvolvimento do modelo /CAR 85/;

b) em outras abordagens, refere-se a textura como uma imagem bidimensional formada por padrões repetidos estocasticamente (randomicamente) ou não /KAU 88//KAU 85//MON 81//SCH 79/.

### 2.3 Abordagem Psicológica

A partir da década de 60, o fenômeno de percepção visual de texturas começou a ser estudado pela Psicologia\*. Este estudo esteve sempre centrado no aspecto puro de percepção associado ao fenômeno, ou seja, os estudos psicológicos não se preocuparam muito em tentar entender a natureza de diferentes texturas, mas concentraram seus esforços em entender como funciona o mecanismo humano de percepção relacionado a texturas.

Os estudos iniciais foram direcionados a responder questões simples como, por exemplo, se podem dois objetos desconhecidos ( não familiares ) conectados no espaço serem discriminados somente pelas diferenças de textura de suas superfícies /JUL 65/. A resposta a questões deste tipo esteve vinculada ao estudo de fotos

---

\*O estudo aqui citado refere-se basicamente ao trabalho de Bela Julesz (/JUL 75/, /JUL 73//JUL 65/ ).

aéreas de satélites, onde informações militares poderiam ser obtidas.

As principais conclusões derivadas destes estudos psicológicos e interessantes para o presente trabalho são as seguintes:

a) a percepção de texturas é um fenômeno "puro" de percepção, isto é, não há esforço deliberado nesta percepção. Este tipo de percepção é efetuado espontaneamente e não necessita de ajuda de processamento cognitivo /JUL 75/. Em termos quantitativos, dispender um tempo maior que 100 milisegundos para decidir se duas texturas são iguais ou não significa que o processo associado a esta percepção não foi de percepção pura;

b) um ponto chave nos estudos psicológicos refere-se à formação de grupos. O sistema visual humano efetua um pré-processamento da imagem observada e extrai os pontos vizinhos que têm valores de brilho semelhantes. Estes pontos vizinhos são entendidos como formando grupos.

Assim, sempre que possível, o sistema visual humano detecta grupos e avalia algumas poucas propriedades simples destes grupos.

Os aspectos relacionados com a detecção de grupos são fundamentais em vários processos de percepção, entre eles, o de percepção de texturas;

c) o último e mais importante aspecto da pesquisa de Julesz foi a conjectura de que o sistema visual humano não consegue discriminar duas texturas que apresentem as mesmas estatísticas de segunda ordem (implicando que elas apresentam também as mesmas estatísticas de primeira ordem) /JUL 75/, /JUL 65/.

Para chegar a esta conclusão, foram feitos estudos psicológicos utilizando-se texturas artificiais sintetizadas como imagens em branco-e-preto formadas por uma coleção de pontos ("pixels"), que oferecessem algum controle no seu processo de formação. Assim, as estatísticas de primeira ordem relacionam-se ao brilho presente na imagem e estabelecem a frequência associada à ocorrência de um ponto com determinado brilho. Por exemplo, uma textura pode ter as estatísticas de primeira ordem indicando que ela é composta por pontos que podem assumir apenas três valores: preto, branco e cinza, cada um ocorrendo com uma probabilidade de um terço. Uma outra textura poderia ser formada pelos mesmos três valores distribuídos diferentemente como, por exemplo, metade dos pontos pretos, um quarto dos pontos brancos e o outro um quarto dos pontos cinza.

Nos exemplos acima, as duas texturas poderão ser facilmente discrimináveis, pois a segunda textura aparecerá mais escura do que a primeira (indicando uma diferença nas estatísticas de primeira ordem).

As estatísticas de segunda ordem utilizam um dipolo como uma agulha, por exemplo, para quantificar e demonstrar a frequência com que este dipolo, jogado aleatoriamente sobre a imagem, cai com uma das pontas num ponto branco e a outra ponta num ponto preto, ou ambas as pontas em pontos pretos ou brancos.

Pode-se imaginar duas texturas com as mesmas estatísticas de primeira ordem, mas com a diferença de que em uma delas não se permite que dois pontos estejam separados por menos do que dez pontos de distância enquanto que na outra os pontos não sofreram nenhuma restrição ao seu posicionamento. Desta forma, jogando o dipolo aleatoriamente sobre as texturas, a probabilidade de que ambas as pontas da agulha toquem em pontos pretos será

diferente para as duas texturas. A diferença nesta probabilidade significa uma diferença nas estatísticas de segunda ordem.

O trabalho de Julesz afirma que se duas texturas tiverem estatísticas de primeira e segunda ordem idênticas então não se poderia distingüir entre estas duas texturas.

Estas conclusões aplicam-se a uma grande quantidade de texturas sintetizadas. Em /JUL 73/, numa revisão da conjectura anteriormente estabelecida (ver seção 2.3, item c) os autores apresentam alguns contra-exemplos, mas conseguem explicar também estes contra-exemplos através de considerações envolvendo a fisiologia do sistema visual humano, além de que os contra-exemplos sugeridos envolviam texturas muito artificiais, sem correspondência nenhuma com texturas que ocorrem naturalmente /GOT 90/.

A estatística de terceira ordem pode ser medida jogando-se um triângulo aleatoriamente sobre a imagem e medindo-se as probabilidades de que os vértices caiam somente em pontos brancos, em pontos pretos ou em pontos pretos e brancos.

As conjecturas derivadas dos estudos psicológicos nortearam o desenvolvimento de alguns modelos para análise e síntese de texturas. Atualmente considera-se que as estatísticas de segunda ordem são suficientes para discriminar texturas num ambiente de reconhecimento de padrões /CRO 80/.

#### **2.4 Abordagem em Processamento de Imagens**

Na pesquisa em Processamento de Imagens, o termo textura também aparece definido algumas vezes como um arranjo repetitivo de um padrão básico /HAL 79/. Em /ENC 89/, textura aparece definida como um plano no qual certas

características, chamadas **características texturais**, permanecem constantes.

Estas características podem ser medidas numa textura-amostra, normalmente uma fotografia digitalizada.

Por exemplo, em /TAM 78/, é apresentado um conjunto de seis características que corresponderiam aos atributos visuais comuns de texturas, isto é, o critério para a seleção destas características foi o fato de elas influenciarem ou não a percepção de diferentes texturas. Assim granularidade, contraste, direcionalidade, "line-likeness", regularidade e aspereza são estudados, procurando-se quantificar numa determinada textura estas características para fins de identificação, diferenciação e classificação de texturas.

**Granularidade** refere-se ao tamanho das células (uma área com aproximadamente o mesmo brilho) presentes na imagem. Uma textura com células maiores é mais "grossa" do que uma textura com células menores. Uma textura de seixos, por exemplo, é mais grossa do que a textura de uma pele de animal como urso.

O **contraste** de uma imagem é medido pelas variações dos tons de cinza presentes na imagem. Uma alta variação destes tons nos limites das células de uma imagem caracteriza uma imagem com alto contraste; uma baixa variação dos tons de cinza nestes mesmos limites caracteriza um baixo contraste.

A **direcionalidade** refere-se ao fato da visualização de uma textura ter uma direção principal de ocorrência dos elementos constituintes que pode ser vertical, horizontal, inclinada ou não-direcional. A textura de um muro de tijolos, por exemplo, é altamente direcional ao passo que uma textura de um monte de palha é não direcional.

A presença ou não de linhas na imagem é medida pelo atributo "**line-likeness**". Pode-se ter imagens onde observa-se uma alta ocorrência de linhas e, no outro extremo, a ausência de linhas.

**Regularidade** refere-se à visualização da imagem como sendo regular ou não. A textura associada à imagem de grama, por exemplo, é altamente irregular enquanto uma textura de uma parede coberta por azulejos é regular.

O atributo **aspereza** foi imaginado inicialmente para texturas tácteis e não visuais. Entretanto uma textura áspera é visivelmente áspera (um muro coberto com argamassa, por exemplo) e as imagens destas texturas apresentam contornos que transmitem a sensação de aspereza mesmo sem a possibilidade de tocá-las.

A aplicação dos conceitos acima é exemplificada na seguinte classificação, sugerida em /TAM 78/ para as imagens de textura apresentadas nas figuras 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7.

	+			-
Granularidade	fig. 2.4	fig. 2.5	fig. 2.6	fig. 2.7
Contraste	fig. 2.5	fig. 2.7	fig. 2.4	fig. 2.6
Direcionalidade	fig. 2.7	fig. 2.5	fig. 2.6	fig. 2.4
"Line-likeness"	fig. 2.7	fig. 2.6	fig. 2.5	fig. 2.4
Regularidade	fig. 2.5	fig. 2.6	fig. 2.7	fig. 2.4
Aspereza	fig. 2.4	fig. 2.7	fig. 2.5	fig. 2.6

Fig. 2.3 - Uma Classificação de Texturas

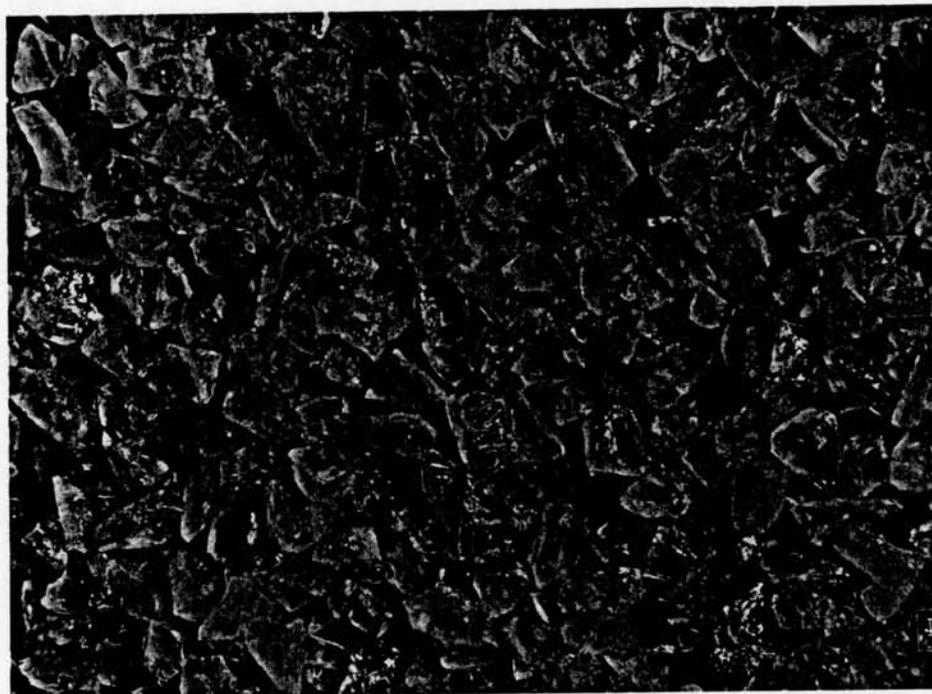


Fig. 2.4 - Pedras (extraída de /BRO 66/)

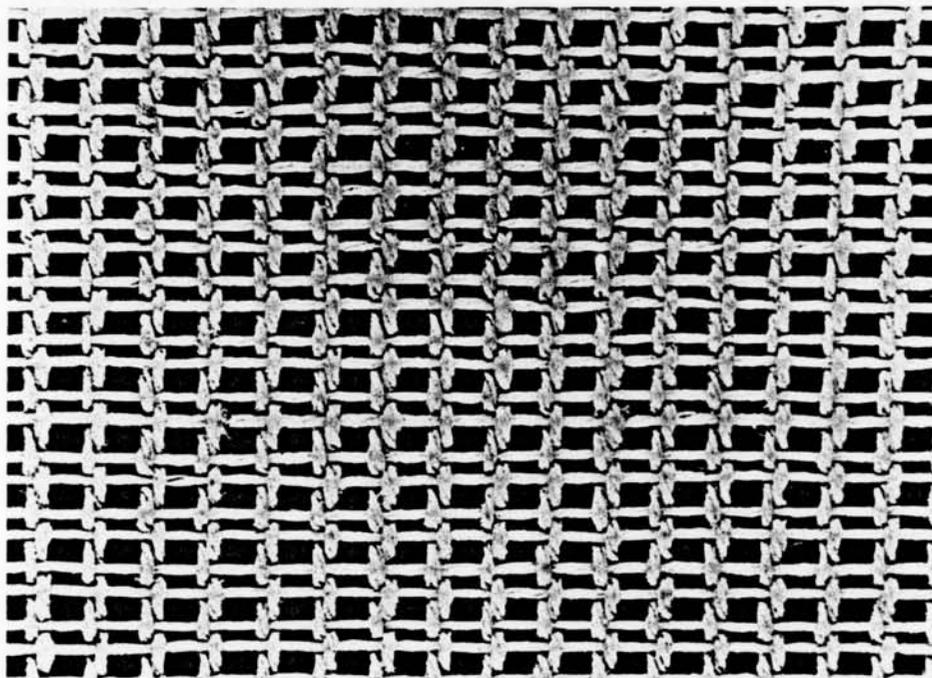


Fig. 2.5 - Treliza de Algodão (extraída de /BRO 66/)

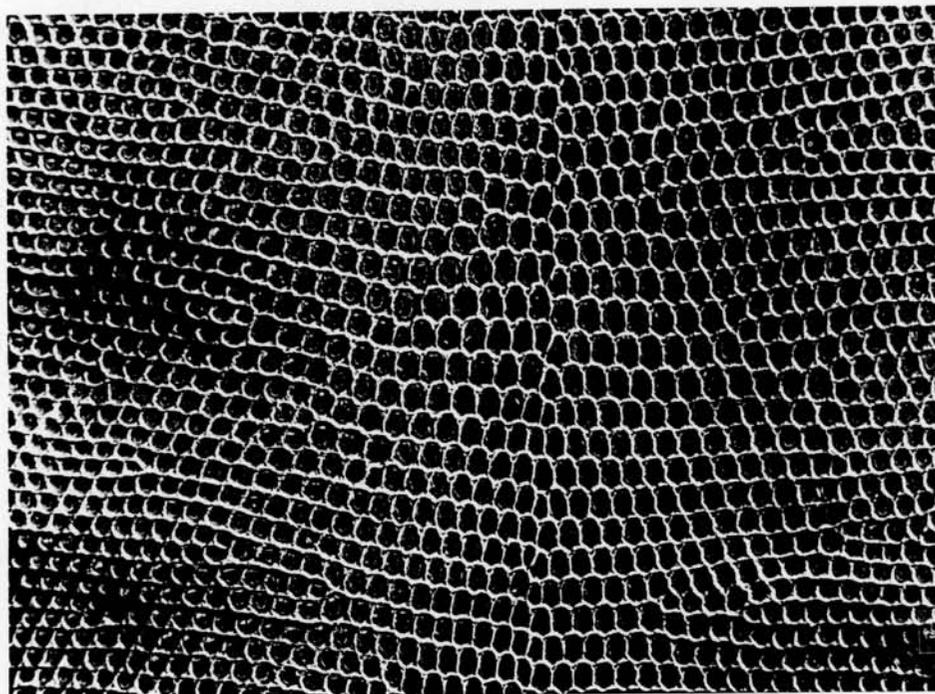


Fig. 2.6 - Pele de Cobra (extraída de /BRO 66/)

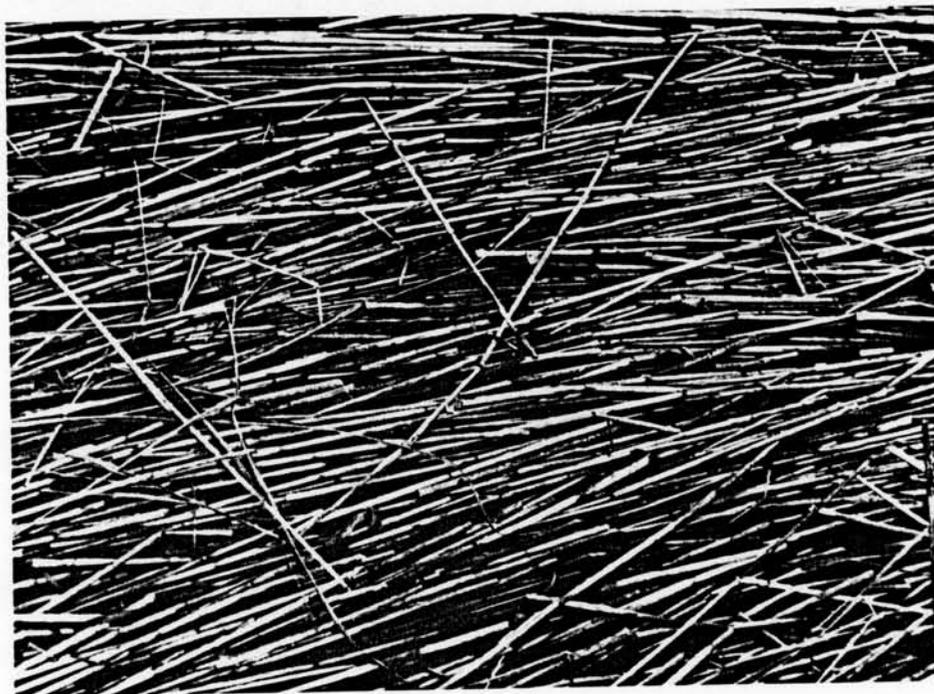


Fig. 2.7 - Palha (extraída de /BRO 66/)

## 2.5 Abordagem em Computação Gráfica

Na área de Computação Gráfica existe uma grande quantidade de definições para texturas que, se por um lado dificultam a existência de uma única definição, por outro lado não impedem que as definições propostas sejam suficientes para os propósitos do trabalho em que aparecem.

A fim de possibilitar uma visão geral sobre como textura é definida em algumas pesquisas de Computação Gráfica, apresenta-se algumas das definições encontradas na literatura e um pequeno contexto onde elas se inserem.

Antes, porém, cumpre ressaltar que o escopo do presente trabalho não envolve a questão da definição de textura. A apresentação das definições a seguir visa proporcionar uma visão geral sobre como o assunto vem sendo abordado e proporcionar um mínimo de informação sobre o tema.

Em 1974, Edwin Catmull (/CAT 75//, /CAT 74/) apresentou uma maneira alternativa para cálculo do valor de exibição de um "pixel" onde este valor era encontrado num arquivo que continha uma imagem digitalizada. Este mapeamento da informação visual de uma imagem qualquer para a tela foi descrito como sendo capaz de mapear texturas sobre uma superfície qualquer. Esta foi a primeira abordagem ao termo textura em Computação Gráfica.

Em 1978 James Blinn (/BLI 78/) afirmava que as imagens em Computação Gráfica estavam atingindo níveis cada vez mais altos de realismo, mas que, no entanto, eram necessários meios para simular as irregularidades da superfície que existem em superfícies reais, entendendo-se como textura estas irregularidades.

Num artigo sobre problemas relacionados ao mapeamento de textura (/CRO 84/), há referência à textura como sendo "as variações locais da superfície de um objeto,

incrivelmente complexas, que proporcionam muito da atração que existe em superfícies reais".

Em /THA 88/, um texto tutorial sobre Computação Gráfica, textura é apresentada como o detalhamento da estrutura do objeto sendo visualizado, visível ao olho humano, que fornece uma grande quantidade de informações sobre a natureza da superfície deste objeto. Esta definição relaciona a informação visual reconhecida como textura com a estrutura microscópica de formação do objeto. De uma forma ou outra, o que se vê é resultado da variação desta estrutura microscópica.

Em /CRO 80/ e /CRO 83/, textura é definida como uma imagem bidimensional, estocástica e possivelmente periódica. Nestes trabalhos, o autor desenvolve um modelo para analisar e sintetizar texturas.

Nas definições iniciais de um artigo /HEC 86/ a respeito de mapeamento de texturas, o autor define textura de forma ampla e não rigorosa. O termo tanto pode se relacionar a textura, no sentido usual, como um padrão repetido de maneira a preencher um plano (madeira, tecido, cascalho, etc.) ou, num aspecto mais geral, pode ser uma "imagem multidimensional mapeada num espaço multidimensional".

Num glossário de termos técnicos de uma empresa de Computação Gráfica /PIX sd/, textura aparece definida como sendo as propriedades de uma superfície que afetam a cor local ou a aparência nos diferentes pontos na superfície. Por exemplo, uma textura de madeira faz com que a cor de uma superfície seja mais escura ou mais clara de um ponto a outro de acordo com os veios da madeira que a superfície representa.

Numa abordagem mais ousada, pela tentativa de ser definitiva e para ser utilizada num modelo de descrição e

síntese de texturas, a seguinte definição aparece em /ENG 89/:

"Em Computação Gráfica, textura é entendida como um conjunto de funções dependentes de localização, cujos valores estão "amarrados" aos diferentes parâmetros do modelo de iluminação."

A definição acima é utilizada ao longo de todo o desenvolvimento do modelo apresentado em /ENC 89/ e /ENG 89/ e direcionada para os propósitos específicos relacionados ao desenvolvimento, como já citado, de um modelo para descrição e síntese de texturas.

Como última contribuição para o entendimento do conceito de textura, em /GAG 89/, os autores citam:

"Textura geralmente representa a informação espacial contida na superfície de objetos e regiões de imagens. Pode ser um padrão detalhado repetido regular ou randomicamente sobre um plano ou sobre a superfície de um objeto tridimensional, ou (pode ser) alguma informação homogênea presente em superfícies como montanhas, mares e florestas".

## **2.6 Paradigmas de Formação de Texturas**

Encerrando esta parte que procura apresentar conceitos e definições de texturas, é importante apresentar os paradigmas existentes para descrever a formação de diferentes texturas e que norteiam muitos dos modelos para descrição, análise e síntese de texturas que serão apresentados mais adiante neste trabalho.

Há duas linhas principais de definição de como as texturas são formadas, conforme /GAG 89/ e /GAG 85/. Na

primeira, diz-se que uma textura é composta por pequenas primitivas distribuídas segundo determinadas regras para posicionamento.

Estas primitivas podem ter variados formatos (círculos, hexágonos, quadrados, pontos, etc.). Esta abordagem acentua um aspecto estruturado existente em muitas texturas /CRO 80/, /GAG 85/, /LU 78/, /ZUC 76/.

Pode-se pensar na textura de um muro de tijolos ou num conjunto de pedras (cascalho) como formadas segundo este paradigma. As regras de posicionamento das primitivas especificam como as primitivas serão orientadas e distribuídas para formação da textura. As primitivas bem como as regras de posicionamento podem apresentar aspectos randômicos definidos estatisticamente.

Procurando descrever a formação de uma ampla classe de texturas onde não se consegue estabelecer quais primitivas compõem a textura e nem a que regras de posicionamento estas primitivas estariam sujeitas, aparece a segunda linha de definição, a abordagem estatística. Esta linha procura descrever a formação da textura através de medidas estatísticas da sua imagem que apresenta um aspecto homogêneo e ao mesmo tempo anárquico.

Pode-se imaginar a textura de grama ou areia observadas a uma razoável distância como exemplos desta classe de texturas. Não se consegue, nestas texturas, a identificação de um padrão dominante.

As texturas desta classe podem ser imaginadas como uma amostra de uma grade de pontos muito próximos uns dos outros. Cada ponto da grade apresenta uma tonalidade de cinza dentro do intervalo  $(0, 1, \dots, G-1)$ , onde  $G$  é o número máximo de tons de cinza presentes na imagem. Uma função definida estatisticamente pode ser responsável pela

associação de uma determinada intensidade a um ponto específico da grade.

## **2.7 Afinal, o que é Textura ?**

O termo textura permite uma grande quantidade de definições derivadas dos inúmeros aspectos com que o mesmo fenômeno de percepção pode ser entendido.

Em Computação Gráfica, as definições estendem-se e possibilitam a interpretação de que, ao nome textura, está associada qualquer informação visual relacionada à natureza do objeto sendo visualizado.

A obtenção e aplicação desta informação visual incrementarão o realismo percebido em imagens sintetizadas no computador. Tal informação pode ser desde uma repetição regular de algum padrão sobre a superfície do objeto até a obtida de modelos mais sofisticados que simulam as características microscópicas de formação do objeto.

### 3 MODELOS DE TEXTURA

#### 3.1 Introdução

Antes da apresentação do levantamento sobre modelos relacionados à textura, algumas considerações devem ser feitas sobre a abordagem utilizada neste trabalho.

Inicialmente, faz-se necessária uma delimitação da abrangência dos termos **modelo** e **técnica** no tocante a seus objetivos.

Considera-se a definição apresentada em /CRO 80/ como adequada para os propósitos deste trabalho, onde **modelo** é "um processo matemático que cria e/ou descreve uma imagem de uma textura (imagem texturizada)".

Algumas observações sobre esta definição:

a) é elástica o suficiente para incluir diversas abordagens;

b) acentua o aspecto matemático que deve estar presente em modelos e que fornece o rigorismo necessário para que se estabeleçam conclusões sobre o que se está modelando;

c) extingüe o objetivo da modelagem na descrição e/ou síntese de uma imagem de textura.

A técnica, conforme aparece nos dicionários, é a "maneira, jeito ou habilidade especial de executar ou fazer algo" /FER 86/. Muitas vezes, resolve um conjunto limitado de problemas ou um único problema e não apresenta o rigorismo matemático do modelo.

Qual é o objetivo da técnica ? Respondendo informalmente é o de basicamente gerar a imagem de algum objeto com textura.

A diferença de objetivos entre modelos e técnicas conforme acima estabelecido é sutil e pode levar a diversas interpretações. No entanto estabelece-se o seguinte:

a) o modelo sintetiza uma **imagem de textura**. Esta imagem de textura é entendida como uma imagem bidimensional vinculada de alguma forma à textura;

b) a técnica objetiva a síntese de uma imagem de um (ou vários) objetos onde em algum momento do processo de visualização deste objeto adicionou-se informação visual que incrementará o realismo percebido e está relacionada à textura do mesmo.

A figura 3.1 ilustra estas relações.



Fig. 3.1 - Relação Modelo x Técnica

Esta relação pode ser assim resumida: a imagem de textura sintetizada no modelo pode ser utilizada por alguma técnica de Computação Gráfica para aplicação em algum objeto. A imagem de textura pode ser entendida como uma **informação de entrada** para a técnica.

O estabelecimento das relações anteriores procura identificar limites exclusivamente para um estudo sistemático de modelos e técnicas relacionadas à textura. Estes limites tornaram-se necessários para uma classificação adequada das diversas abordagens estudadas.

O estudo dos modelos poderia ser questionado uma vez que, efetivamente, a técnica é que proporcionará o resultado final para análise. No entanto, a inclusão dos modelos no levantamento justificou-se pela tentativa de identificação de características favoráveis à implementação no ambiente limitado já desde a etapa de síntese da imagem da textura, para posterior utilização pela técnica.

Estas características não foram identificadas em nenhum modelo. Não se pode estabelecer a priori se um modelo é implementável num ambiente determinado, pois o modelo deve ser utilizável mesmo num contexto de rápida evolução em termos de "hardware" como o que se vê atualmente.

A não identificação destas características resultou na não adoção de nenhum modelo em específico para a etapa de síntese da imagem de textura.

Esta decisão provoca basicamente duas questões:

a) como obter as imagens de textura, necessárias como informação de entrada para a técnica ?

b) em que situações utilizar um modelo para síntese da imagem de textura ?

Respondendo a primeira questão, pode-se dizer que quando da apresentação de determinada técnica normalmente há referências a como podem ser geradas as informações necessárias e suficientes para aplicação da técnica. Há uma independência entre modelo e técnica que permite este "desligamento".

Quanto à segunda questão indica-se aquelas situações onde há necessidade de controle total da imagem de textura a ser obtida via parâmetros do modelo.

Neste capítulo, apresenta-se inicialmente as áreas onde a modelagem de texturas encontra aplicações, entre elas, o realismo em Computação Gráfica nos moldes citados, isto é, como informação de entrada para alguma técnica. A seguir, o levantamento dos modelos é apresentado, dando-se ênfase à descrição dos modelos para síntese de texturas, mais relacionados aos objetivos deste trabalho.

As técnicas com aplicação em Computação Gráfica relacionadas à textura, identificadas e estudadas são apresentadas no capítulo quatro.

### 3.2 Aplicações da Modelagem de Texturas

A modelagem de texturas visa basicamente atender a dois objetivos: sintetizar e descrever texturas, conforme a definição de modelo apresentada anteriormente.

Estes objetivos têm razão de ser nas áreas onde as texturas são estudadas e aplicadas como **Psicologia**, **Processamento de Imagens** e **Computação Gráfica**. Assim as aplicações apresentadas a seguir e sumarizadas na figura 3.2 apenas particularizam os dois objetivos maiores de sintetizar e descrever texturas.

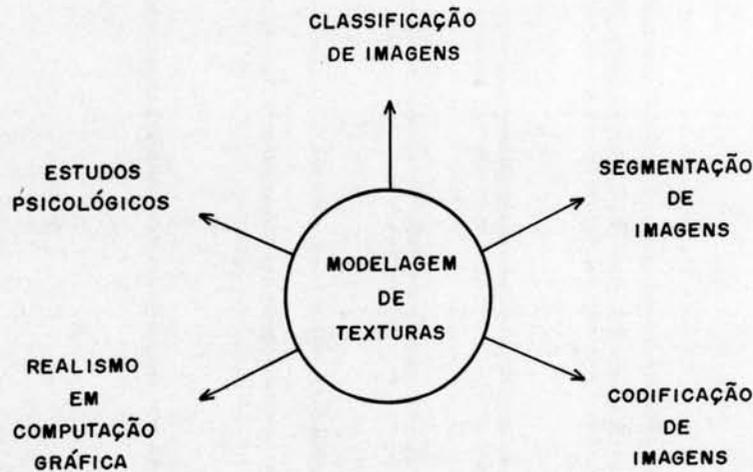


Fig. 3.2 - Aplicações da Modelagem de Texturas

### 3.2.1 Classificação de Imagens

Dentro da área de Processamento de Imagens, a classificação de imagens é uma tarefa que pode ser automatizada e a informação central para esta automatização é a textura característica associada a uma determinada imagem.

Por exemplo, num sistema para classificação de minérios pode-se ter uma série de amostras onde certas características de textura como granularidade, direcionalidade e outras foram extraídas de imagens destes minérios e classificam inequivocamente um determinado grupo de minérios. Assim, quando da necessidade de inclusão de um novo minério nos grupos já estabelecidos, basta

avaliar as características texturais de uma imagem deste novo minério.

Em outra área de aplicação como Medicina, a classificação de diferentes texturas serve a um propósito de identificação de doenças do pulmão /SUT 72/. Algumas características texturais medidas estatisticamente numa série de radiografias-amostras servem de parâmetro para a identificação de doenças numa radiografia qualquer, através da comparação das medidas estatísticas entre alguma radiografia padrão e a radiografia qualquer.

### **3.2.2 Segmentação de Imagens**

Segmentar uma imagem significa dividir esta imagem em regiões homogêneas de maneira que cada região apresente algum significado /ZUC 75/.

Num contexto de análise de fotografias de satélite, por exemplo, o interesse está em conseguir segmentar a imagem e associar a cada segmento um significado físico como floresta, deserto, água, vegetação rasteira, etc. As características texturais que identificam um segmento podem ser utilizadas para identificação de segmentos quaisquer.

### **3.2.3 Codificação de Imagens**

Se um modelo para síntese de texturas conseguir sintetizar uma imagem de uma textura de uma maneira indistingüível de sua similar real então para se armazenar a imagem desta textura basta armazenar apenas os parâmetros do modelo que a geraram ao invés da enorme quantidade de dados necessária para armazenar a imagem da textura original (real).

Calculando-se aproximadamente o espaço necessário para armazenar uma imagem com resolução de 256x256 pontos onde cada ponto desta imagem pode assumir um entre 256 tons de cinza, necessitar-se-ia de um espaço de 65536 "bytes".

O espaço necessário para armazenamento de um vetor de parâmetros de um modelo que conseguisse sintetizar a mesma imagem seria muitas vezes menor, trazendo vantagens significativas na utilização do modelo.

#### **3.2.4 Estudos Psicológicos**

Os estudos psicológicos mencionados anteriormente (ver item 2.3) basearam suas conclusões em texturas sintetizadas a partir de modelos onde havia um bom controle das estatísticas de primeira e segunda ordem via parâmetros do modelo.

Estes estudos psicológicos motivaram o desenvolvimento de modelos que oferecessem este controle, normalmente utilizando, como ferramental teórico-estatístico, as cadeias de Markov.

#### **3.2.5 Realismo em Computação Gráfica**

A área de aplicação dos modelos relacionados a textura que interessa mais de perto ao presente trabalho está vinculada à obtenção do realismo em Computação Gráfica.

A textura de um objeto fornece ao observador "pistas visuais" a respeito da profundidade e orientação do objeto /NEW 79/, além de incrementar o realismo observado.

Desta forma, as texturas sintetizadas por algum modelo podem ser utilizadas de alguma forma para incremento

do realismo em imagens sintetizadas por computador. Este é um dos aspectos centrais deste trabalho e é abordado no próximo capítulo onde as técnicas selecionadas para implementação são detalhadas.

### 3.3 Levantamento dos Modelos de Textura

Para um levantamento deste tipo é necessário estabelecer-se um critério para seleção e classificação dos modelos e técnicas estudados.

Em /ENC 89/, é sugerida uma classificação para os modelos de textura, de acordo com a sua finalidade, em duas grandes categorias: modelos para descrição de texturas e modelos para síntese de texturas.

Esta classificação mostrou-se bastante adequada e por isto será mantida no presente trabalho e derivou dos estudos relacionados a um "Editor de Texturas", projeto em desenvolvimento na "Technische Hochschule Darmstadt", Alemanha.

Esta classificação constitui uma contribuição significativa para um levantamento deste tipo tendo incluído grande parte das abordagens da literatura, desde os primeiros estudos psicológicos de Julesz (1965) até abordagens mais recentes. No entanto, conforme as definições apresentadas anteriormente para modelos e técnicas, algumas abordagens consideradas e apresentadas como modelos em /ENC 89/ foram consideradas como técnicas segundo os critérios deste trabalho. Especificamente, é o caso da abordagem de obtenção de texturas por fractais (/FOU 82/) e textura sólida (/PEA 85/, /PER 85/) que deixam de ser apresentados neste levantamento de modelos e serão apresentados no próximo capítulo.

Há casos também de alguns modelos que satisfazem ambos critérios, pois objetivam tanto a descrição como a síntese de texturas. Para fins de estudo, serão apresentados como dois modelos distintos.

Uma vez que os modelos que objetivam apenas a descrição de textura não apresentam uma relação forte com o tema desta dissertação, eles serão apresentados com menos detalhes.

A figura 3.3 sintetiza a classificação adotada para os modelos e as respectivas referências bibliográficas expressivas de uma determinada abordagem e que serão detalhadas em seguida.

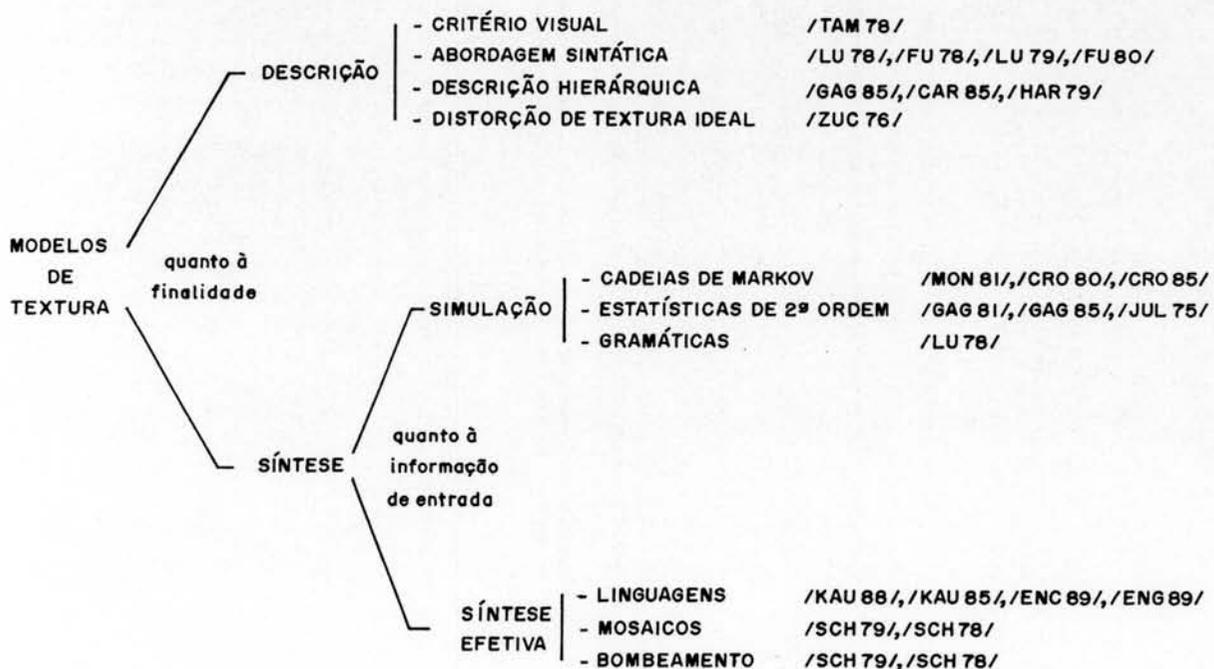


Fig. 3.3 - Modelos de Textura

### 3.3.1 Modelos para Descrição de Texturas

Os modelos para descrição de texturas podem ser estudados considerando-se quatro abordagens diferentes. Esta divisão visa facilitar o estudo e foi também estabelecida em /ENC 89/, descrita a seguir. Em alguns casos, a abordagem é exemplificada por um artigo; em outros por dois ou mais.

#### 3.3.1.1 O Critério Visual

Em /TAM 78/ os autores estabelecem seis características visuais presentes em imagens de texturas que são utilizadas com o propósito de descrever uma textura através da medição destas características.

O modelo proposto tem como paradigma de formação de textura a repetição de padrões de acordo com regras para posicionamento.

As características texturais visuais são granularidade, contraste, direcionalidade, "line-likeness", regularidade e aspereza (ver item 2.4).

#### 3.3.1.2 Abordagem Sintática

A idéia desta abordagem apresentada em /FU 80/, /FU 78/, /LU 79/ e /LU 78/ é a de descrever uma textura através de uma gramática em forma de árvore. Esta gramática descreve a formação de texturas presentes em janelas definidas sobre a imagem inteira da textura a ser descrita.

Uma determinada gramática caracteriza a textura de uma janela específica definida na imagem. Regras sintáticas de mais alto nível especificam o arranjo dos padrões definidos pelas janelas. Este arranjo dos padrões formará a textura global final.

### 3.3.1.3 Descrição Hierárquica

Nesta abordagem (/CAR 85/,/GAG 85/,/HAR 79/) uma textura é entendida como uma estrutura hierárquica em dois níveis. O primeiro nível considera apenas a informação bidimensional extraída pelo sistema visual humano. Normalmente, esta informação visual aparece homogênea. Ao observar-se a textura mais de perto, percebe-se que esta informação é criada pela organização no espaço de primitivas (ou padrões básicos) que apresentam um aspecto randômico. Este vem a ser o segundo nível da hierarquia.

Numa visão macroscópica observa-se o arranjo estruturado (determinístico ou randômico) de primitivas; numa visão microscópica o que interessa é uma primitiva em particular.

Semelhantemente, em /CAR 85/, o aspecto hierárquico é evidenciado ao se descrever textura em função de propriedades geométricas macroscópicas e microscópicas.

As propriedades geométricas macroscópicas referem-se às características do objeto tais como curvatura, saliências, dobras (características significativamente maiores do que o comprimento de onda da luz visível).

As microscópicas definem propriedades relativas a **micro-faces** - entende-se que a superfície do objeto é formada por facetas macroscópicas - que podem apresentar diferentes orientações e alturas modeladas estatisticamente. Por exemplo, uma superfície muito polida terá um desvio padrão muito pequeno para o item altura das micro-faces (quase todas as micro-faces teriam a mesma altura).

#### **3.3.1.4 Textura Real como Distorção de uma Textura Ideal**

Em 1976, é apresentado um modelo para descrição e síntese de texturas numa tese de doutorado por Zucker /ZUC 76/, onde imagens de texturas podem ser projetadas, comparadas e diferenciadas.

A partir de uma textura ideal, "inobservável", a abordagem do modelo consiste em se obter uma textura real, "observável", como uma distorção da textura ideal.

A textura real é obtida através de transformações que definem a distorção sobre a textura ideal caracterizada como um grafo.

O autor cita nas conclusões que o modelo é útil para "projetar estruturas de controle para programas de análise de texturas", direcionando a aplicação do modelo para a área de Processamento de Imagens.

#### **3.3.2 Modelos para Síntese de Texturas**

Os modelos agrupados nesta classificação objetivam a síntese de texturas. Uma classificação possível para estes modelos, apresentada em /ENC 89/ e /ENG 89/ leva em consideração o tipo de informação que é fornecida como entrada para o modelo ser capaz de sintetizar a textura.

Assim, pode-se distinguir entre dois grandes grupos: Modelos de Simulação de Texturas e Modelos de Síntese de Texturas propriamente ditos.

##### **3.3.2.1 Modelos de Simulação de Texturas**

Os modelos enquadrados nesta classificação objetivam a síntese de texturas utilizando como informação de entrada para a geração da textura alguma amostra de uma

textura real, usualmente na forma de fotografias digitalizadas.

A partir desta amostra um número de características texturais é medida e esta informação é utilizada para criar uma nova textura com as mesmas características que a amostra.

As abordagens que se enquadram nesta classificação usualmente envolvem o uso de Cadeias de Markov (/CRO 83/, /CRO 80/, /MON 81/), estatísticas de segunda ordem (/GAG 85/, /GAG 81/, /JUL 75/) ou gramáticas em forma de árvore (/LU 78/).

#### **3.3.2.1.1 Cadeias de Markov**

Em /MON 81/, os autores apresentam um esquema para síntese de texturas baseado no entrelaçamento de duas cadeias de Markov, a primeira sendo horizontal e a segunda vertical.

As cadeias de Markov definem estatisticamente a distribuição de células ( um conjunto de pontos ) que irão formar a imagem da textura. As propriedades estatísticas relacionadas às células podem ser definidas externamente ou estimadas a partir de uma amostra da textura real a ser simulada.

Estas propriedades definem qual a configuração de célula (tamanho, tons de cinza, etc.) e o posicionamento para formação da textura.

Já em /CRO 83/ e /CRO 80/, o autor explora o uso de Campos Randômicos de Markov como modelos de textura. Nestes modelos, texturas naturais são digitalizadas e seus parâmetros estimados dentro da abordagem do modelo. Os

parâmetros estimados são utilizados como informação de entrada para o procedimento de geração de texturas.

Algumas texturas sintetizadas aproximam-se mais das texturas reais das quais derivaram enquanto que outras, normalmente texturas regulares e não-homogêneas, não são satisfatoriamente sintetizadas pelo modelo.

#### **3.3.2.1.2 Estatísticas de Segunda Ordem**

Os modelos que levam em consideração as estatísticas de segunda ordem utilizam a conjectura estabelecida por Julesz (/JUL 75/,/JUL 65/) de que, salvo em alguns casos, o ser humano é incapaz de distinguir entre duas texturas que apresentem as mesmas estatísticas de segunda ordem.

Assim, em /GAG 85/ e /GAG 81/, um método para geração de texturas é apresentado onde são estimados alguns parâmetros estatísticos de texturas naturais que se deseja sintetizar. Uma textura é sintetizada de maneira que suas estatísticas de segunda ordem sejam iguais às da textura natural utilizada para estimar os parâmetros.

As texturas sintetizadas são muito similares visualmente às texturas naturais originais utilizadas para computar as estatísticas de segunda ordem. O ferramental estatístico apresentado nestes trabalhos é extenso e deixa de ser aqui apresentado por fugir ao escopo do presente trabalho.

#### **3.3.2.1.3 Abordagem Sintática**

A síntese de texturas apresentada inicialmente em /LU 78/ envolve uma etapa de pré-processamento, como define

o autor, que inclui a digitalização da textura a ser sintetizada.

A partir deste pré-processamento, são definidos os parâmetros para a etapa de processamento, como o tamanho da janela que define o padrão básico, que será caracterizado como uma gramática em forma de árvore ("tree-grammar").

Após a obtenção das gramáticas correspondentes a todos padrões básicos, regras sintáticas de alto nível são construídas para definir o arranjo global dos padrões básicos que formarão a imagem da textura.

### **3.3.2.2 Modelos para Síntese de Textura propriamente ditos**

Nesta classe de modelos, uma amostra de uma textura real não aparece como informação de entrada para a síntese da textura. A forma para descrição das texturas a serem sintetizadas por estes modelos varia de acordo com o modelo e tanto pode ser uma linguagem especificamente projetada para isto como uma função ou procedimento.

#### **3.3.2.2.1 Linguagem para Síntese de Texturas**

Alguns modelos utilizam uma linguagem como meio para obter a descrição da textura a ser sintetizada. Em /KAU 88/ e /KAU 85/ é definida e apresentada uma "Linguagem para Síntese de Texturas" (TSL - "Texture Synthesis Language") que é uma linguagem de alto nível que fornece ferramentas para definir e gerar imagens de texturas regulares e irregulares.

Basicamente, esta linguagem manipula um elemento básico denominado "texel" (elemento de textura) e define como estes "texels" serão combinados para formar um

"azulejo" ("tile"). Assim, o programador da linguagem constrói uma textura formando arranjos de azulejos pré-definidos ou definidos por ele próprio, em conjunto com operações para transformação e combinação destes elementos.

Em /ENC 89/ e /ENG 89/, a idéia de utilização de uma linguagem é explorada para possibilitar a interface entre um usuário e um editor de texturas. A linguagem possibilita a descrição adequada de uma textura dentro dos parâmetros do modelo. Um interpretador converte as instruções da linguagem numa seqüência de chamadas de algoritmos com os devidos parâmetros que irão gerar a textura desejada.

O modelo proposto nestes artigos é bastante robusto e procura suprir deficiências e restrições não atacadas em outras abordagens como, por exemplo, a possibilidade de se criar níveis de hierarquia para formação das texturas bem como levar em consideração os diferentes fenômenos físicos que causam a impressão visual entendida como textura e, mais além, procuram estabelecer parâmetros no modelo de iluminação que correspondam a estes fenômenos físicos.

### 3.3.2.2.2 Mosaicos

Em /SCH 79/ e /SCH 78/ é apresentada uma nova classe de modelos para síntese de imagens denominada **Modelos Mosaico**, que entendem que uma imagem é formada por padrões randômicos e que a concatenação destes padrões é similar a construção de um mosaico artístico.

Os modelos desta classe podem ser divididos em dois grupos: processos que manipulam pontos e modelos com estrutura celular.

Os processos que manipulam pontos formam uma imagem pela distribuição de pontos num plano, que podem seguir uma distribuição randômica ou podem seguir determinadas restrições estatísticas como o Processo Neyman-Scott onde alguns pontos são considerados "pontos-pai" ( ou núcleos ) em torno do qual agrupam-se "famílias de filhos", isto é, uma outra coleção de pontos.

Num outro tipo de processo, pode-se imaginar que determinadas partículas "repelem" suas vizinhas, como se fossem animais defendendo seu território. Para obter este efeito, efetua-se uma distribuição randômica de pontos num plano onde se elimina qualquer ponto que estiver a uma distância definida ( por exemplo, de dez pontos ) de qualquer outro ponto.

Já os modelos com estrutura celular consideram que um mosaico randômico é construído em dois passos. Primeiro divide-se o plano da imagem em células e num segundo momento atribui-se a cada célula uma cor diferente.

Nos modelos de estrutura celular chamados "degenerados", cada ponto da imagem já constitui uma célula (não é mais subdivisível). Nos modelos "não-degenerados" (em que as células não são degeneradas a ponto de se tornarem um ponto), existem basicamente duas maneiras para formação das células: através da distribuição de linhas em posições e orientações randômicas, que se interceptam no plano da imagem ( formando as células ) ou através do que se denomina Processos de Crescimento de Células, onde as células são formadas pelo "espalhamento" de pontos no plano - os núcleos das células - que crescem e formam a célula.

Estes processos de crescimento de células são também denominados **Modelos de Ocupação**, pela analogia de ocupação dos espaços pelas células.

As imagens formadas por todos estes processos em alguns casos se assemelham a imagens de texturas naturais e em outros propiciam a formação de texturas as mais variadas possíveis.

### **3.3.2.2.3 Modelos de Bombardeamento**

Os Modelos de Bombardeamento ("Bombing Models") constituem uma subclasse dos Modelos Mosaico, isto é, que entendem a imagem de textura como uma concatenação de padrões randômicos. São muito bem caracterizados e por isto merecem ser estudados separadamente.

A idéia é formar a imagem de textura através do "bombardeamento" de figuras geométricas no plano (as "bombas"). O formato e tamanho das figuras é fixo, mas suas posições e orientações são randômicas.

A localização de uma "bomba" é determinada pelo seu centro geométrico e por um ângulo para orientação do seu eixo principal. As figuras geométricas podem ser segmentos de linhas retas, círculos, elipses, retângulos ou outras.

Estes processos não estabelecem uma relação entre as texturas obtidas e texturas reais. Visualmente pode-se sugerir que uma determinada textura sintetizada se assemelha a uma determinada textura real. Por exemplo, um bombardeamento de círculos sobre o plano pode sugerir uma textura de seixos sobre o terreno e assim também em outros casos.

## **3.4 Conclusões**

Do estudo dos modelos derivam as seguintes observações:

a) os modelos estudados resolvem normalmente problemas limitados na abrangência, isto é, sintetizam apenas uma classe de texturas;

b) poucos modelos apresentaram preocupação específica de que as imagens de textura sintetizadas fossem utilizadas em Computação Gráfica. Na maioria das vezes, esta imagem de textura sintetizada destinava-se a outros propósitos;

c) os modelos mais recentes (/ENC 89/,/ENG 89/,/GAG 89/) procuram resolver a complexidade visual associada a texturas através de modelos hierárquicos, onde uma textura completa é obtida através de combinações e transformações de texturas mais elementares e mais simples de serem sintetizadas;

d) não existe ainda uma maneira eficaz de, dada a imagem de textura desejada, estabelecer qual o caminho a ser percorrido para obtenção desta textura;

e) na Computação Gráfica, a utilidade dos modelos termina onde começa a técnica, pois o modelo conclui o seu trabalho sintetizando uma imagem de textura que pode ser utilizada por alguma técnica de Computação Gráfica para incremento do realismo em cenas sintetizadas pelo computador.

## 4 TÉCNICAS PARA SÍNTESE DE TEXTURAS EM COMPUTAÇÃO GRÁFICA

### 4.1 Introdução

A partir do levantamento efetuado, foram identificadas seis técnicas, a saber, fractais, sistemas de partículas, modelo Cook & Torrance, mapeamento de texturas, "bump mapping" e textura sólida, que possibilitam a síntese de texturas em Computação Gráfica e representam as abordagens mais significativas ao assunto. Outras técnicas menos gerais, mas também relacionadas à síntese de texturas são apresentadas no final deste capítulo de uma maneira resumida para referência rápida e citação de bibliografia específica.

Algumas destas técnicas têm como consequência direta a obtenção de texturas na síntese de imagens. Outras possibilitam esta obtenção de uma maneira um pouco menos direta, ou seja, dependendo da maneira com que a técnica é aplicada, pode-se obter ou não algum efeito relacionado com a textura.

A partir do estudo destas técnicas, pôde-se estabelecer mais concretamente a relação ambiente especificado versus técnica, isto é, estabeleceu-se a priori se uma determinada técnica era mais ou menos favorável à implementação no ambiente especificado. Surgiram assim "técnicas candidatas" à implementação por apresentarem características diferenciadas que as favoreceram.

Assim, neste capítulo, apresenta-se inicialmente as três técnicas "não-candidatas" à implementação: fractais, modelo Cook & Torrance e sistemas de partículas, através de uma descrição genérica e bibliografia selecionada.

A seguir, são apresentadas mais detalhadamente as três técnicas candidatas, a saber: mapeamento, "bump mapping" e textura sólida, enfatizando-se a sua aplicabilidade, modelos de iluminação associados, restrições e/ou deficiências e a relação ambiente versus técnica. São também apresentados os fatores para decisão entre técnicas candidatas e não-candidatas.

#### 4.2 Fractais

Em 1982, Fournier et alii /FOU 82/ apresentaram algoritmos para implementar aproximações computacionais de modelos estocásticos baseados no movimento browniano fracionário ("fractional Brownian motion") inicialmente estudado por Mandelbrot /MAN 83/.

Estes algoritmos vinham ao encontro da necessidade de técnicas para modelagem e representação de objetos naturais como pedras, nuvens, árvores e terrenos, ausentes nos métodos tradicionais de Computação Gráfica, que apresentam resultados satisfatórios apenas para modelagem e representação de objetos regulares, com características macroscópicas simples e características de superfície periódicas e regulares.

Os modelos estocásticos baseados no movimento browniano fracionário podem ser utilizados para representar uma variedade de fenômenos naturais (estendendo temporalmente o conceito de objeto). Resumidamente, um **modelo estocástico** de um objeto é um modelo onde este objeto é representado por uma amostra do processo estocástico que lhe é vinculado.

Os objetos naturais a serem modelados são usualmente contínuos e exigirão processos estocásticos

contínuos para sua representação. Como o objetivo final é exibir este objeto num monitor de vídeo, é necessária uma forma de computar uma amostra discreta do processo contínuo.

O movimento browniano fracionário é um termo introduzido por Mandelbrot para denotar uma família de processos estocásticos Gaussianos uni-dimensionais que pode ser utilizada para modelar vários fenômenos naturais, como terrenos e isosuperfícies (superfícies com temperatura constante, por exemplo) de fluidos turbulentos /MAN 75/.

A aplicação direta do modelo de Mandelbrot revela-se onerosa computacionalmente e de difícil compreensão. Assim a aproximação proposta em /FOU 82/ prioriza a velocidade de execução para estabelecimento de algoritmos de aproximação do movimento browniano fracionário em detrimento do rigor matemático intrínseco ao modelo.

Os algoritmos propostos resultam na obtenção de representações visuais bastante realísticas, principalmente no caso de terrenos com montanhas, e este realismo decorre exatamente da impressão visual observada vinculada à textura e que está muito próxima à textura natural de terrenos e montanhas. A figura 4.1 exemplifica a aplicação da técnica.

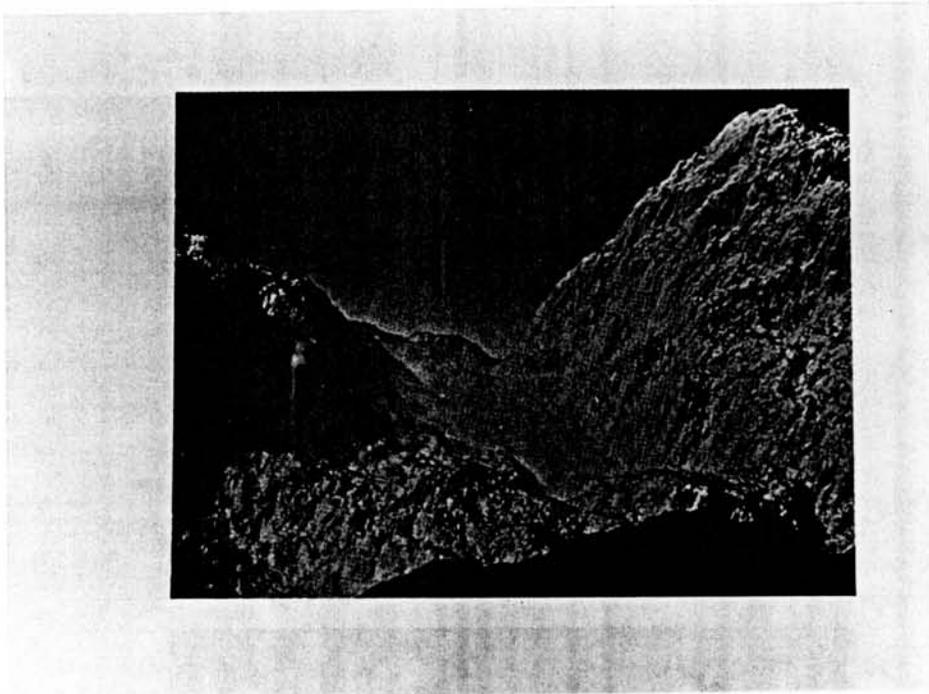


Fig. 4.1 - Fractais (extraída de /BAR 88/)

As técnicas para síntese de imagens de objetos (naturais ou não) via fractais, apesar de não terem como preocupação central a obtenção de textura, possibilitam imagens onde grande parte do realismo observado decorre justamente da existência de alguma informação visual que é relacionada à textura. Interpreta-se esta textura como a decorrência "natural" da aplicação da técnica e não por ser uma técnica especificamente desenvolvida com este propósito explícito, logo, é uma maneira indireta para síntese de texturas.

Por não ser considerada uma técnica diretamente relacionada à textura, apesar dos importantes resultados visuais obtidos, deixa-se aqui de detalhar os algoritmos citados. O texto tutorial sobre fractais de /OSO 89/ apresenta estes algoritmos com detalhes.

#### 4.3 Modelo de Iluminação Cook & Torrance

Em /COO 82/, os autores apresentam uma proposta para modelo de iluminação que leva em consideração vários fatores até então desconsiderados nos modelos existentes.

No modelo proposto, são acrescentados outros parâmetros para cálculo da iluminação de uma cena que levam em consideração: primeiro, as características físicas dos objetos representados como as capacidades refletoras e as propriedades da superfície dos materiais e, segundo, as características físicas das fontes de luz presentes na cena, como os comprimentos de onda específicos da luz emitida por estas fontes (composição espectral da fonte de luz).

A preocupação com a realidade física, expressa quando da definição do modelo e representada através de parâmetros específicos, resulta num modelo mais robusto onde a qualidade das imagens obtidas através da sua aplicação é incrementada possibilitando a percepção de níveis mais altos de realismo.

O modelo estabelece um compromisso real com o material (cobre, por exemplo) de que é feito o objeto a ser visualizado e, a partir daí, inclui-se no modelo de iluminação parâmetros que levam em conta o fato de que o objeto é feito de cobre e, portanto, reflete a luz diferentemente de um objeto feito de plástico, por exemplo.

Basicamente, o modelo se preocupa em obter as informações que proporcionam um nível mais alto de percepção do realismo, estabelecendo corretamente a **Intensidade** e a **Composição Espectral** da luz refletida que atinge o observador.

A intensidade da luz refletida é determinada pela intensidade e tamanho da fonte (ou das fontes) de luz e pelas capacidades refletoras e propriedades da superfície do material. Já a composição espectral da luz refletida é determinada pela composição espectral da fonte de luz e pela reflexão seletiva (em relação ao comprimento de onda) da superfície. Um procedimento é dado para se obter os valores apropriados de cores vermelho ("Red"), verde ("Green") e azul ("Blue") que correspondam às intensidades das componentes espectrais necessárias à exibição RGB.

Um ponto interessante do modelo, também apresentado em abordagens mais antigas (/BLI 77/), é o pressuposto de que a superfície de um objeto é composta por "micro-faces". Assim vários parâmetros são incluídos no modelo para uma quantização de variáveis como , por exemplo, de que maneira a luz é refletida por cada micro-face ou como cada micro-face pode cobrir e/ou mascarar a outra interferindo diretamente na quantidade de luz refletida percebida.

Estes parâmetros, normalmente dados por funções estatísticas, são obtidos também levando-se em consideração os comprimentos de onda das fontes de luz.

Esta abordagem resulta num compromisso muito maior com a realidade possibilitando imagens melhores que carregam uma informação normalmente associada ao que é considerado textura do objeto.

As imagens dos objetos sintetizadas por este modelo de iluminação já apresentam uma textura associada resultante do compromisso estabelecido no modelo em relação ao material de que é feito o objeto.

A figura 4.2 exemplifica a aplicação da técnica para síntese da imagem de um objeto de cobre.

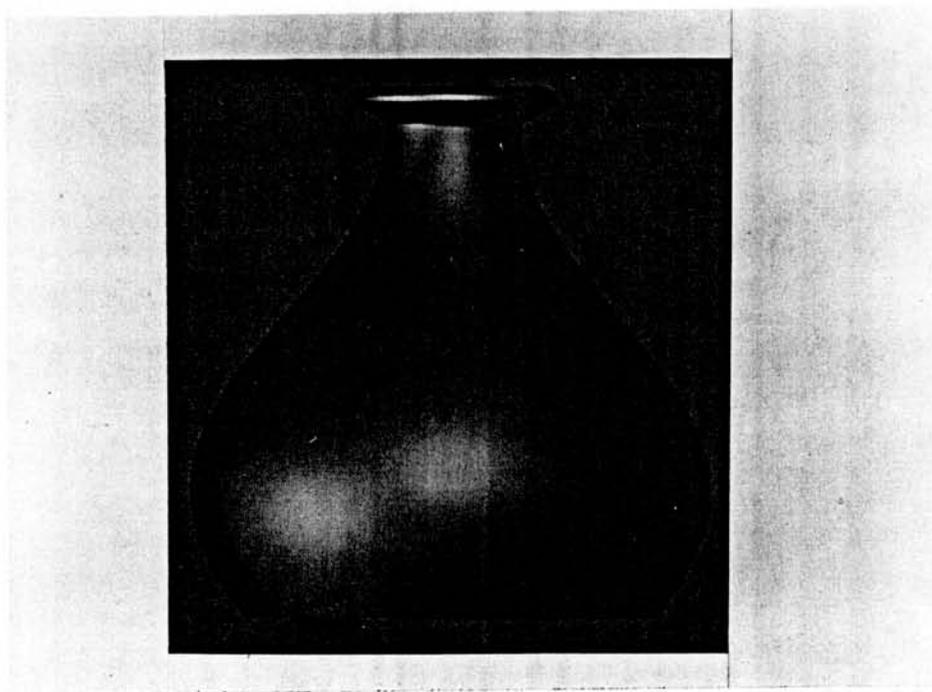


Fig. 4.2 - Modelo Cook & Torrance (extraída de /COO 82/)

Pode-se dizer que o modelo "incorpora" a textura dos materiais nos seus próprios parâmetros. A obtenção da textura não é um passo a mais dentro da seqüência para obtenção da imagem.

A aplicação do modelo limita-se aos materiais para os quais se pode encontrar os valores necessários dos parâmetros utilizados no cálculo da iluminação tais como as curvas de distribuição espectral do material.

#### 4.4 Sistemas de Partículas

Através das técnicas comumente utilizadas em Computação Gráfica, objetos nebulosos e mal definidos

("fuzzy objects") como nuvens, fogo e água não são devidamente modelados nem exibidos numa tela de computador.

Estes objetos têm como uma de suas características principais a ausência de uma geometria bem definida.

Os **Sistemas de Partículas** foram apresentados em /REE 83/ como uma técnica para modelar e sintetizar imagens em Computação Gráfica de objetos nebulosos. Nesta técnica um objeto é representado por nuvens de partículas que definem seu volume. Um objeto assim representado não é determinístico, uma vez que sua forma não é completamente especificada.

Esta abordagem para definição e formação do objeto permite que se modelem objetos "vivos", isto é, que modificam a sua forma ao longo do tempo. Com técnicas clássicas de modelagem de superfícies dificilmente consegue-se representar satisfatoriamente tais objetos.

Para a modelagem e representação de um objeto através dos sistemas de partículas, deve-se especificar diversos parâmetros relacionados às partículas em si e à dinâmica que comandará a sua evolução no tempo tais como trajetória, tempo de vida, velocidade e outros. Normalmente, esta dinâmica é definida por um conjunto de processos estocásticos.

Consegue-se assim uma seqüência de imagens que correspondem à evolução no tempo daquele sistema de partículas, desde o seu "nascimento" até a sua "extinção".

Esta ligação com o tempo pode sugerir que os sistemas de partículas só encontram aplicações em seqüências animadas. No entanto, um quadro isolado num

instante de tempo "t" qualquer representa o sistema de partículas naquele instante e esta imagem apresenta todas as qualidades e níveis de realismo da seqüência animada.

A inclusão neste trabalho dos sistemas de partículas como técnica para síntese de texturas justifica-se porque esta classe de objetos não satisfaz a noção intuitiva de objeto. Quando da geração do objeto, já deve estar implícita a textura associada.

No caso da obtenção de imagens de fogo, por exemplo, é a impressão visual relacionada à textura de fogo que permite a sensação de se estar observando fogo. O mesmo se dá com água e fumaça. Nestes objetos a textura é fundamental.

A figura 4.3 apresenta uma ilustração obtida com a aplicação da técnica.

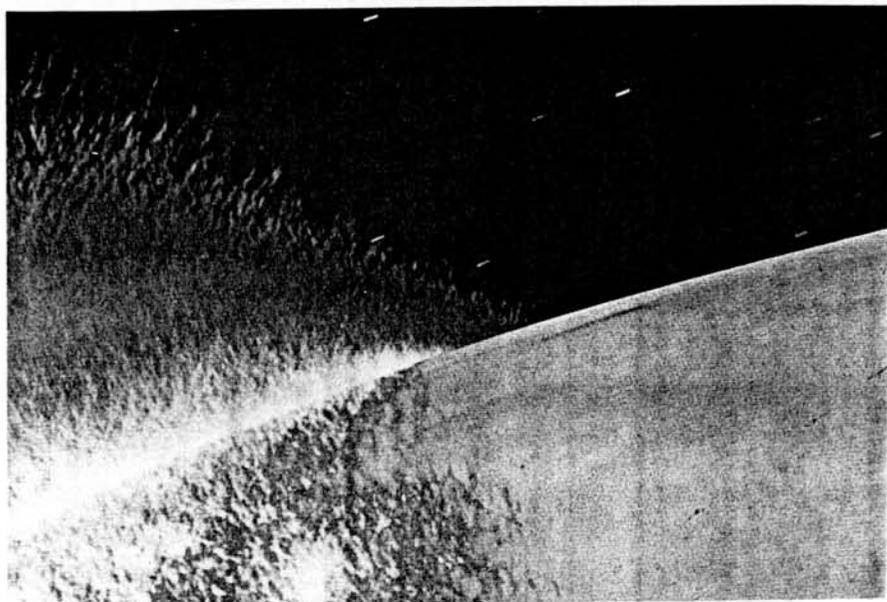


Fig. 4.3 - Sistemas de Partículas (extraída de /REE 83/)

Apesar da principal contribuição dos sistemas de partículas se dar em animação, a síntese da textura, como a de uma explosão e principalmente do fogo associado, é impressionantemente real e como o próprio autor diz (/REE 83/):

"As texturas na seqüência do fogo não poderiam ter sido modeladas através de outros modelos já existentes."

Em /REE 85/, são introduzidas outras aplicações envolvendo o uso de sistemas de partículas, especificamente para síntese de imagens de florestas e grama.

Nestes casos, torna-se inviável a remoção tradicional de elementos ocultos bem como os cálculos de iluminação, uma vez que o número de partículas é extremamente grande, aproximadamente um milhão de partículas para compor uma única árvore.

Na primeira apresentação dos sistemas de partículas, onde modelou-se apenas fogo em explosões, este problema foi contornado considerando-se que cada partícula era emissora de luz (como uma pequena fonte de luz).

Assim, em /REE 85/, são apresentados métodos para execução de remoção dos elementos ocultos e para os cálculos de sombreamento levando em consideração que se está visualizando partículas. As imagens obtidas são visualmente bastante impressionantes devido à enorme complexidade presente.

É justamente devido a esta complexidade visual que os autores sustentam seus algoritmos, afirmando que não há necessidade de soluções exatas onde há grande

complexidade visual envolvida. Os algoritmos propostos são probabilísticos. Por exemplo, a posição e orientação de uma partícula determinam se ela está na sombra ou não, ou se deve refletir especularmente ou não.

A união dos sistemas de partículas a outros objetos numa mesma cena, foi solucionada nas abordagens iniciais através da composição de imagens digitais, conforme apresentado em /POR 84/. Uma maneira alternativa, que permite a intersecção dos sistemas de partículas com outras primitivas mais clássicas para modelagem, como a representação de objetos por polígonos, é apresentada em /THA 86/.

Numa mesma cena, esta união permite a aplicação da técnica mais adequada para modelagem e visualização de elementos distintos por natureza como uma casa (modelada trivialmente por polígonos) atingida por uma explosão (modelada satisfatoriamente por sistemas de partículas), sem a necessidade de composição, numa etapa de pós-síntese, de duas imagens.

#### **4.5 Mapeamento de Textura**

##### **4.5.1 Descrição Geral**

O trabalho fundamental na área de síntese de texturas em Computação Gráfica foi a tese de doutorado de Edwin Catmull, de dezembro de 1974 (/CAT 75/ e /CAT 74/).

Neste trabalho, aparece pela primeira vez o termo e a idéia de **Mapeamento de Textura**. No trabalho de Catmull, este mapeamento surge como uma opção para se obter as intensidades dos "pixels" a serem exibidos. Ao invés de

resultar, por exemplo, de cálculos direcionados por algum modelo de iluminação, a intensidade de um "pixel" é obtida de uma fotografia ou outra imagem qualquer - o **Mapa da Textura**.

A idéia básica é estabelecer correspondência entre pontos no objeto e pontos de uma textura (fotografia, desenho,...) qualquer.

A idéia se assemelha à aplicação de um papel de parede elástico a uma parede, onde o papel de parede é o mapa de textura e a parede é o objeto que se deseja texturar. Elástico porque em função do formato do objeto pode vir a ser necessário que o papel de parede "estique" em alguns pontos, enquanto que em outros pontos pode vir a ser necessário que ele seja "comprimido".

Este procedimento para obtenção das intensidades vinha ao encontro do algoritmo para exibição de superfícies curvas apresentado por Catmull no mesmo trabalho, isto é, quando da execução do algoritmo havia informação necessária e suficiente para aplicação direta da idéia de mapeamento.

Catmull propôs um algoritmo para visualização de superfícies representadas parametricamente. Neste algoritmo, um "patch" é subdividido até se limitar a cobrir a área de um "pixel", quando, então, poderia ser exibido. No processo de subdivisão, as variáveis paramétricas que definem a superfície ( $u$  e  $v$ , por exemplo) podem ser utilizadas para acesso como índices ao arquivo que contém as intensidades a serem mapeadas. A cada pixel, correspondem valores de  $u$  e  $v$  diferentes.

Uma relação linear pode ser estabelecida entre os parâmetros ( $u$  e  $v$ ) e os limites do arquivo de intensidades,

de modo a garantir-se o mapeamento total da imagem no objeto em questão.

#### 4.5.2 Um Exemplo

Um exemplo ilustrativo ajudará a entender o processo de mapeamento. Supõe-se que se deseja mapear um quadriculado, definido como um arquivo bidimensional de 64x64 elementos, num octante de esfera conforme representado na figura 4.4.

O mapa de textura é acessado através de dois índices,  $u$  e  $v$ , que podem variar de 0 a 63, enquanto que o octante da esfera é definido pelas equações trigonométricas da esfera e pelos ângulos  $a$  e  $b$  limitados conforme a figura 4.4.

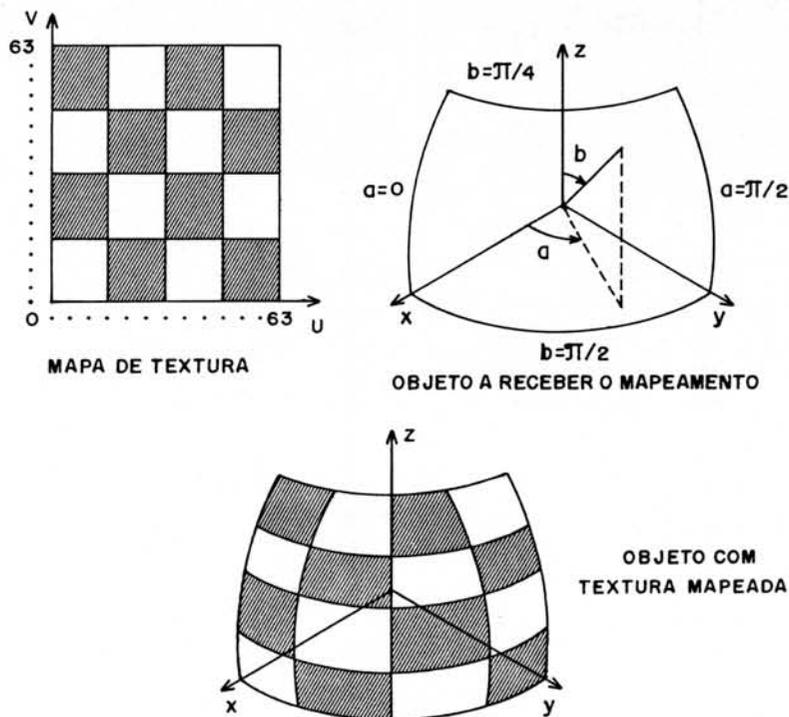


Fig. 4.4 - Mapeamento de Textura

Deseja-se estabelecer uma relação entre os valores de  $u$  e  $v$  com os ângulos  $a$  e  $b$  que definem o objeto. Primeiro, é necessário estabelecer "pontos de fixação" que estabelecem os limites de aplicação do mapa sobre o objeto. Para o exemplo acima, definem-se os pontos de fixação ilustrados na figura 4.5.

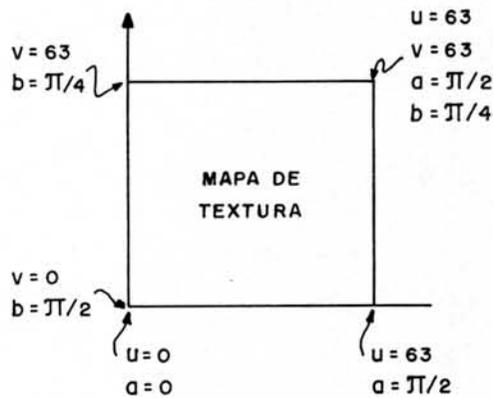


Fig. 4.5 - Definição dos Pontos de Fixação

A partir do estabelecimento destes pontos de fixação, pode-se montar as equações que irão definir o mapeamento propriamente dito:

$$u = C \cdot a + D \quad (4.1)$$

$$v = E \cdot b + F \quad (4.2)$$

com  $C, D, E$  e  $F$  constantes.

Considerando-se os pontos de fixação e resolvendo-se o sistema de equações acima, os seguintes valores para  $C, D, E$  e  $F$  são encontrados:

$$C = 126 / \pi$$

$$D = 0$$

$$E = -252 / \pi$$

$$F = 126$$

Substituindo estes valores nas equações (4.1) e (4.2) acima, encontram-se:

$$u = (126/\pi) \cdot a$$

$$v = (-252/\pi \cdot b) + 126$$

Com as duas equações acima, pode-se encontrar, para qualquer valor dos ângulos **a** e **b** que definem um ponto do objeto a ser visualizado, o valor de intensidade correspondente associado ao mapa de textura. Num exemplo simples, se se tiver  $a = \pi/3$  e  $b = \pi/3$ , encontra-se os seguintes valores para **u** e **v**:

$$u = (126/\pi) \cdot (\pi/3) = 42$$

$$v = (-252/\pi \cdot \pi/3) + 126 = 42$$

Com estes valores pode-se ter acesso ao mapa de textura. Assim, o "pixel" correspondente será exibido com a intensidade encontrada no mapa de textura para os valores de  $u = 42$  e  $v = 42$ .

#### 4.5.3 Aplicabilidade

A idéia do mapeamento tem enorme aplicabilidade, ou seja, praticamente qualquer fotografia, imagem, desenho, que possa ser digitalizado poderá por sua vez ser mapeado numa superfície.

Esta generalidade não garante entretanto que os resultados obtidos serão sempre satisfatórios. O mapeamento, por exemplo, de uma fotografia de um terreno sobre uma superfície na qual se deseja obter um efeito de textura como terreno, poderá ser não totalmente satisfatório, uma vez que as bordas do objeto permanecerão suaves. Em alguns casos a sensação visual poderá ser a de que realmente uma fotografia foi "colada" na superfície do objeto.

A aplicabilidade maior do mapeamento é encontrada na obtenção de texturas artificiais como um rótulo numa lata ou numa garrafa, padrões regulares como tecidos e plásticos sobre objetos comuns, padrões de tijolos regulares sobre paredes, pisos e desenhos arquitetônicos, etc.

#### **4.5.4 Modelo de Iluminação**

Na verdade não existe um modelo de iluminação específico associado à aplicação do mapeamento. Duas situações podem ocorrer:

a) os parâmetros de iluminação presentes na foto ou imagem a ser mapeada serão reproduzidos no objeto ou superfície que está recebendo a textura e assim o valor encontrado no mapa será reproduzido fielmente no "pixel";

b) o mapeamento pode ser conjugado com algum modelo de iluminação. Neste caso, a intensidade final do "pixel" não será dada apenas pelo arquivo que contém a imagem a ser mapeada, mas será também resultado de algum cálculo de iluminação utilizado em conjunto com a intensidade obtida do mapeamento.

#### 4.5.5 Restrições e Deficiências

Por ser uma técnica efetivada através de amostragem, com potencial para que a taxa de amostragem seja extremamente baixa, o mapeamento está sujeito a problemas graves de "aliasing" e distorção. "Aliasing" porque o mapeamento, na sua idéia original, é feito ponto a ponto, isto é, a um "pixel" da tela corresponde uma intensidade do mapa de textura, logo tem-se uma baixa taxa de amostragem ao longo do mapa de textura.

Deste processo, decorre imediatamente que haverá áreas do mapa de textura que não serão reproduzidas no objeto texturizado ou poderá ocorrer que a um intervalo muito pequeno na tela ( um ou dois "pixels") corresponda um intervalo muito grande no mapa de textura, provocando descontinuidades na imagem final do objeto. Em outras palavras, dois "pixels" juntos na tela podem estar muito separados no espaço paramétrico de definição do objeto.

Certos procedimentos, alguns bastante simples e outros bastante complexos, podem ser adotados para amenizar estes problemas.

Uma primeira idéia para amenizar o problema é apresentada na própria tese de doutorado citada acima (/CAT 74/) que consiste no que se denomina "amostragem de áreas" ("area sampling"). Ao invés de se mapear pontos em pontos (pontos do mapa de textura a "pixels"), deve-se mapear áreas em áreas.

Basicamente, está se abandonando a simplificação que consiste em considerar um "pixel" como um ponto e está se assumindo a dimensão correta do "pixel". Assim, ao mapear-se inversamente a área do "pixel" obter-se-á uma área no mapa de textura. A média das intensidades desta

área é o que se utiliza efetivamente como a intensidade do pixel, conforme ilustrado na figura 4.6.

Desta distribuição da informação a ser visualizada no "pixel", resulta um mapeamento em que os efeitos de "aliasing" são diminuídos.

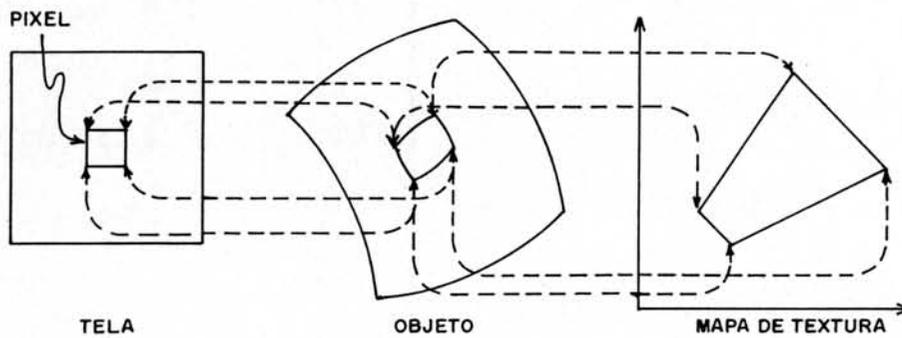


Fig. 4.6 - Amostragem de Áreas

Uma extensão da amostragem de áreas apareceu no trabalho de Blinn e Newell em 1976 (/BLI 76/). A idéia é de ampliar a amostragem de área na tela para mais de um pixel, mapeando-se inversamente (tela -> mapa de textura) um quadrado de 2x2 "pixels" que está em torno do "pixel" em questão, isto é, do "pixel" para o qual se deseja obter a intensidade.

As intensidades correspondentes a estes "pixels" seriam ponderadas por pesos que variam de acordo com a posição em relação ao "pixel" central. A intensidade final do "pixel" seria a média destas intensidades ponderadas. A figura 4.7 exemplifica este processo.

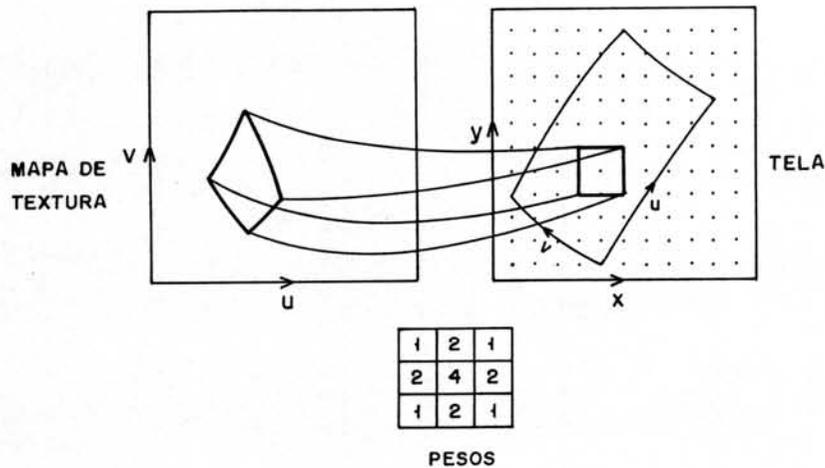


Fig. 4.7 - Amostragem de Áreas Ponderada

Na verdade, o efeito desta amostragem de áreas é o de se estar aplicando um pequeno "borrão" nas imagens, que diminui ou atenua a ocorrência de frequências mais altas responsáveis pelos efeitos desagradáveis de "aliasing". A amostragem de áreas é uma maneira de filtrar as frequências altas da textura a ser mapeada, restando apenas as frequências mais baixas, passíveis de serem visualizadas.

As duas abordagens para amostragem de áreas citadas acima constituem soluções iniciais para o problema e apresentam resultados satisfatórios em muitos casos. No entanto, o problema de "aliasing", no mapeamento de texturas, é complexo e a apresentação de soluções mais sofisticadas foge ao escopo deste trabalho. Em /HEC 86/, o problema específico de filtragem de altas frequências no mapeamento de textura é bem apresentado, através da explicação e comparação de diversas maneiras de atacar o problema de "aliasing".

Quanto ao problema de distorção, pode-se facilmente perceber que, ao se mapear uma imagem qualquer numa superfície arbitrária, há áreas no objeto final onde houve compressão de muita informação visual e também áreas onde houve a expansão da informação visual originalmente presente no mapa de textura. Não há um método geral para controlar ou minimizar estas distorções (e em alguns casos elas não constituem problemas maiores).

Em /MA 88/, os autores apresentam uma técnica para reduzir as distorções baseada no estabelecimento de uma "função de mapeamento isométrica" que define a correspondência entre o mapa de textura e os pontos da superfície do objeto, mantendo mínimo o valor de um critério para medição da distorção, definido no mesmo artigo.

Outra proposta que ataca o problema de distorção aparece em /BIE 86/. Neste artigo, é proposta uma nova abordagem que consiste em executar o mapeamento em duas partes.

Na primeira parte, cada ponto do mapa de textura é mapeado para um ponto numa superfície intermediária simples no espaço (esfera, cubo, plano, ...).

Na segunda parte, cada ponto desta superfície intermediária é mapeado para um ponto na superfície do objeto ao qual se deseja aplicar o mapeamento.

Este mapeamento em duas partes possibilita meios mais adequados para controle das descontinuidades e distorções, uma vez que os procedimentos estabelecidos tiveram como preocupação a minimização destes fatores.

Um último aspecto a ser considerado como restrição ao mapeamento está relacionado à tentativa de mapeamento de uma textura em um objeto formado por diferentes superfícies paramétricas. Pode-se imaginar um objeto formado por um cilindro e um tronco de cone conforme mostrado na figura 4.8.

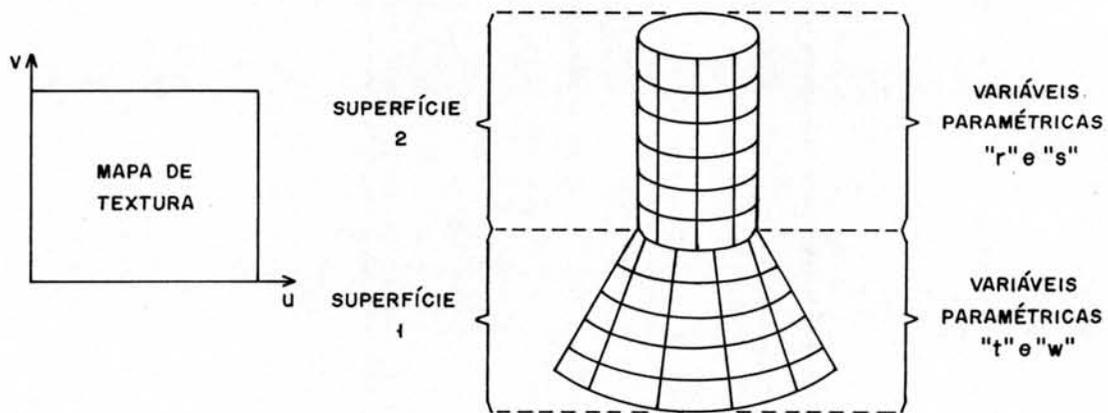


Fig. 4.8 - Descontinuidades no Mapeamento

No momento de estabelecimento dos pontos de fixação do mapa sobre a superfície acima definida, é necessário definir-se a aplicação do mapa sobre as superfícies "1" e "2" separadamente já que o objeto é formado por duas superfícies paramétricas com diferentes variáveis paramétricas de definição.

Esta não-generalização da aplicação do mapeamento pode ser incontornável em alguns casos. No caso em que se resolve estabelecer o mesmo mapa nas diversas superfícies que compõe o objeto a receber o mapeamento, poderão ocorrer descontinuidades desconfortáveis visualmente que denunciarão as superfícies isoladas que compõem o objeto,

se o mapa de textura não for irregular o suficiente para que estas descontinuidades passem despercebidas.

#### 4.5.6 Implementação

Alguns aspectos que devem ser levados em conta na implementação:

a) relacionado à representação dos objetos ou superfícies, a aplicação da idéia do mapeamento implica numa parametrização da superfície caso esta esteja modelada por faces (vértices e arestas). Isto pode ocasionar sensível sobrecarga na implementação. Em /HEC 86/, o autor sugere um esquema possível para parametrização de polígonos, através do estabelecimento arbitrário de valores paramétricos correspondentes aos vértices dos polígonos. Para o caso de triângulos planos, uma função linear pode ser encontrada de forma a estabelecer a cada ponto  $(x,y,z)$  do triângulo, um par de valores paramétricos para acesso ao mapa de textura. Em geral, para polígonos planos com mais de três lados, são necessárias funções não lineares;

b) a obtenção do arquivo que contém as intensidades (o mapa de textura) deve ser prevista pelo implementador. Este arquivo de intensidades pode ser obtido através da digitalização da imagem ou fotografia a ser mapeada através de algum dispositivo digitalizador de entrada ( "scanner", câmera,...) ou através de procedimentos algorítmicos como uma textura de quadrados com cores alternadas.

#### **4.5.7 Relação Ambiente versus Técnica**

A princípio, a técnica de mapeamento de texturas pode ser implementada num ambiente qualquer para uso em Computação Gráfica, com a ressalva de que nem sempre a quantidade de intensidades presentes no Mapa de Textura a ser mapeado será obtida no vídeo. Reduções no número de níveis de cinza, por exemplo, numa fotografia em preto e branco, ocorrerão nas etapas de digitalização e posterior mapeamento para a tela.

Se estas reduções não comprometem sendo aceitas como limitações e se os resultados ainda possam ser considerados satisfatórios, então o mapeamento pode ser implementado num ambiente limitado.

Por exemplo, se o terminal de vídeo disponível para exibição for capaz de exibir 64 níveis de cinza de uma fotografia originalmente com 256 níveis e se se considerar satisfatório o resultado, então este terminal limitado pode ser utilizado neste contexto.

Dentro dos níveis permitidos pelo dispositivo de visualização, a utilização do mapeamento dentro de qualquer contexto certamente contribui para aumentar o realismo percebido. Não existe nenhum indício a priori que impeça a tentativa de utilização do mapeamento num ambiente de "hardware" limitado.

#### **4.6 "Bump Mapping"**

##### **4.6.1 Descrição Geral**

Uma aplicação que não é muito bem resolvida pelo mapeamento sugerido por Catmull é a simulação de

superfícies rugosas ou com saliências e reentrâncias pequenas (texturas típicas de uma laranja ou de um muro recoberto com argamassa "grossa"). A tentativa de se obter este efeito através do mapeamento de fotografias gera um efeito de visualização suave com as fotografias das texturas "coladas" às superfícies.

Blinn estabeleceu que a percepção visual de saliências e reentrâncias (rugosidades em geral) ocorre como efeito destas alterações de superfície sobre a direção do vetor normal à superfície (e portanto da luz refletida) em cada ponto /BLI 78/.

A idéia, portanto, foi a de perturbar de alguma forma a normal à superfície nos diversos pontos onde esta normal seria empregada para o cálculo das intensidades dos "pixels" num modelo de iluminação qualquer, uma vez que o vetor normal é informação imprescindível em qualquer modelo de iluminação.

O efeito obtido é o de que o objeto apresenta "rugos", pequenas saliências e reentrâncias, de acordo com a variação que for aplicada ao vetor normal, sem a necessidade de se estar modelando cada detalhe como um elemento em separado da superfície.

A perturbação é obtida basicamente através de uma **Função de Perturbação** que recebe como parâmetros de entrada os valores paramétricos que definem o "patch" em questão (como no caso do mapeamento) e devolve o valor de perturbação a ser utilizado para fazer uma variação da superfície nas direções do vetor normal em cada ponto visível. Os novos vetores normais, calculados a partir da nova posição é que são utilizados nos cálculos de iluminação.

A figura 4.9 apresenta esquematicamente este processo.

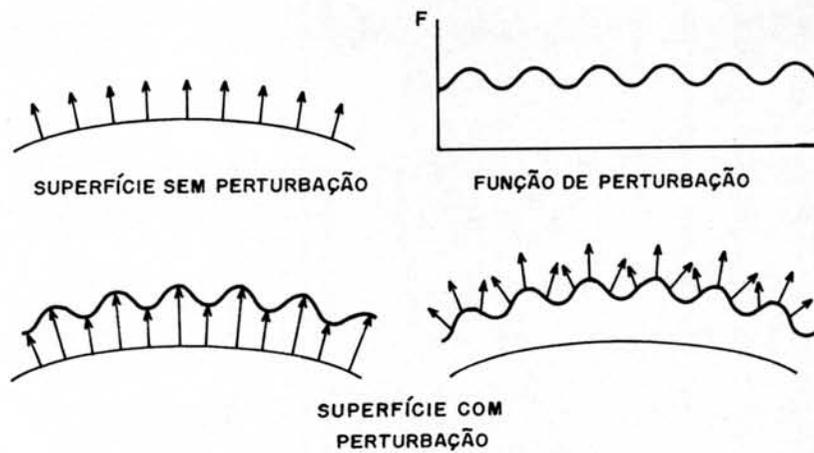


Fig. 4.9 - "Bump Mapping"

#### 4.6.2 Aplicabilidade

"Bump mapping" pode ser aplicado sempre que se deseja uma textura que cause a impressão visual de reentrâncias e saliências muito pequenas, rugosidades (maiores ou menores), pontos de depressão ou saliências específicas distribuídos ao longo da superfície (como um letreiro em relevo). Enfim, qualquer efeito visual que corresponda à impressão de superfícies "enrugadas" (em qualquer escala) pode ser obtido muito satisfatoriamente através do "bump mapping".

#### 4.6.3 Modelo de Iluminação

Em princípio o "bump mapping" pode ser utilizado com qualquer modelo de iluminação, uma vez que a técnica

trata elementos (os vetores normais) que serão utilizados posteriormente .

Não há uma relação direta entre algum modelo de iluminação e o "bump mapping", podendo inclusive ser utilizado com traçado de raios ("ray tracing"), uma vez que as normais são utilizadas para cálculo das trajetórias dos raios após a intersecção com os objetos da cena. Assim, ao invés de utilizar-se as normais corretas, utilizar-se-ia as normais alteradas e os efeitos de textura estariam presentes.

#### 4.6.4 Restrições e Deficiências

A aplicação do "bump mapping" restringe-se a uma gama de efeitos visuais que podem ser obtidos da mesma forma sempre, isto é, via alteração da normal.

Sob este aspecto obtém-se diferentes texturas através da variação de alguns parâmetros como:

- a) intensidade da perturbação (alta ou baixa);
- b) definição e seleção de áreas num mesmo objeto para aplicação da técnica;
- c) diferentes funções de perturbação (definidas algoritmicamente ou não).

No entanto, através da aplicação do "bump mapping", a quantidade de efeitos visuais diferentes obtidos não é tão significativa quanto os obtidos via mapeamento de textura.

Algumas restrições relacionadas ao "bump mapping" são comuns à técnica do mapeamento, visto que estas restrições têm origem no modo pelo qual a técnica é definida no aspecto relacionado à obtenção seja da intensidade dos "pixels" (no mapeamento), seja nos valores da função de perturbação (no "bump mapping"), via acesso a arquivos bidimensionais.

As restrições acima citadas referem-se aos casos em que há necessidade da perturbação do vetor normal em superfícies complexas (formadas por vários "patches") e aos casos em que a superfície não está representada parametricamente. Nestas duas situações, valem as mesmas observações apresentadas durante o mapeamento.

Um aspecto que pode ser relevante em alguns casos refere-se ao fato de que o "bump mapping", na verdade, não está modelando cada alteração isolada da superfície e, assim sendo, os efeitos são puramente ilusórios, isto é, a silhueta do objeto permanece suave e em alguns casos poderá ocorrer a interrupção abrupta de alguma saliência na borda do objeto, diminuindo a sensação de realismo percebido.

Uma variação do "bump mapping" que resolve o problema acima, consiste no que se denomina **mapeamento de deslocamento** /GOM 90/. Neste mapeamento a função de perturbação efetivamente altera o modelo que está descrevendo o objeto. Assim, as alterações definidas pela função de perturbação passam a fazer parte da superfície do objeto, e não são mais apenas efeitos visuais.

#### 4.6.5 Implementação

Alguns aspectos que merecem ser considerados:

a) "bump mapping" pode ser incluído como um procedimento de pré-processamento. Depois de perturbadas, as normais serão utilizadas normalmente na seqüência do algoritmo de visualização;

b) assim como no mapeamento, a obtenção do arquivo que contém os valores da função de perturbação deve ser prevista pelo implementador. Blinn sugere em /BLI 78/ várias formas para obtenção destes valores, desde procedimentos algorítmicos (como uma grade de valores altos e baixos) até mapas de perturbação obtidos de imagens digitalizadas e interpretadas de alguma maneira. Por exemplo, aos pontos escuros da imagem corresponderiam valores altos de perturbação e aos pontos claros da imagem, valores baixos de perturbação.

Através deste procedimento se pode digitalizar uma imagem de tronco de árvore. A interpretação desta imagem para perturbação do vetor normal como acima explicado possibilita a obtenção de um ótimo efeito visual que realmente se assemelha a um tronco de árvore /BLO 85/.

#### 4.6.6 Relação Ambiente versus Técnica

Considerando-se o "bump mapping" sob um aspecto de pré-processamento, as limitações impostas por um ambiente de implementação específico se manifestarão da mesma forma quando da tentativa de exibição da mesma cena sem perturbação.

Em outras palavras, um objeto pode ser visualizado com perturbação se o número de cores e a

resolução da placa gráfica forem satisfatórios para a sua visualização através de algum modelo de iluminação sem perturbação.

Por exemplo, se um ambiente limitado é satisfatório para a visualização de uma esfera com realismo através da aplicação de algum modelo simplificado de iluminação, então este mesmo ambiente deve satisfazer a visualização desta mesma esfera com aplicação do "bump mapping".

#### 4.7 Textura Sólida

##### 4.7.1 Descrição Geral

Pode-se entender a **Textura Sólida** (ou mapeamento tridimensional), /PEA 85/ e /PER 85/, como uma extensão no espaço do mapeamento de textura bidimensional. A idéia é utilizar uma **Função de Textura** para obter a intensidade de cada "pixel" que irá representar o objeto.

O mapeamento proposto por Catmull também pode ser entendido como uma função de textura. A diferença aqui é que os argumentos de entrada para obter o valor desta função não são mais um par de variáveis paramétricas, mas sim as coordenadas  $(x,y,z)$  do objeto no ponto que se deseja visualizar.

Esta função de textura é definida tridimensionalmente, isto é, ela define um **Volume de Textura** no espaço e pode-se imaginar o objeto como que "mergulhado" neste volume, como que "esculpido" a partir deste volume, conforme ilustra a figura 4.10.

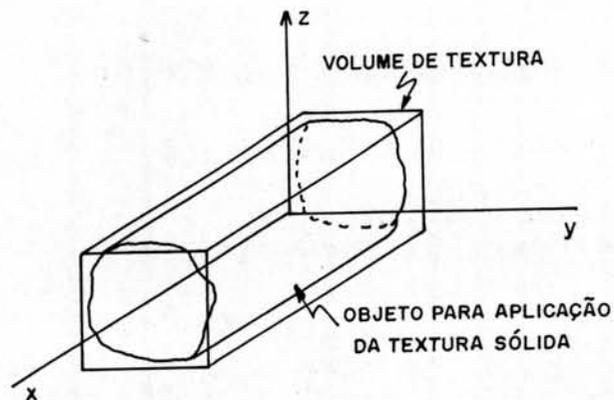


Fig. 4.10 - Textura Sólida

Assim a cada ponto  $(x, y, z)$  do objeto corresponderá um valor para a função de textura. As coordenadas tridimensionais do ponto que está sendo exibido são utilizadas como argumento de entrada para a função de textura que fornece a intensidade para o "pixel" correspondente àquele ponto.

A técnica de textura sólida deve ser entendida como uma ferramenta a mais no conjunto de ferramentas para síntese de imagens e não como uma técnica para substituir o mapeamento bidimensional.

#### 4.7.2 Aplicabilidade

A técnica de textura sólida encontra aplicações, preferencialmente, nas seguintes situações:

a) para representação e visualização de objetos esculpidos ou trabalhados em máquinas (como um torno, por exemplo) a partir de um bloco do material (como madeira, granito). A aplicação da técnica nestes casos aumentará o realismo percebido;

b) no texturamento de superfícies complexas aparece outra grande vantagem da textura sólida. Em superfícies compostas por vários "patches", é um problema obter um mapeamento bidimensional contínuo e coerente (ver item 4.5.5), uma vez que o mesmo mapa de textura deve ser aplicado em diferentes "patches" causando descontinuidades na textura resultante (os "patches" individuais podem ser identificados). Com a aplicação da textura sólida, como a cada ponto da superfície corresponde somente um ponto 3D, as coordenadas  $(x,y,z)$  deste ponto, únicas, podem ser utilizadas diretamente como argumento da função de textura, sem necessidade de informação adicional, causando um texturamento contínuo;

c) as situações expostas acima caracterizam aquelas situações ideais para aplicação da textura sólida. Fora estas situações, a aplicação da textura sólida ou mapeamento tende a ser equivalente. Ressalta-se o custo de avaliação da função de textura sólida, normalmente mais alto do que no mapeamento de textura simples.

#### 4.7.3 Modelo de Iluminação

Valem quase as mesmas observações que foram estabelecidas para o mapeamento bidimensional, ou seja, não existe um modelo de iluminação específico associado à técnica. Em /PEA 85/, onde a idéia foi inicialmente apresentada, utilizou-se traçado de raios para síntese das imagens.

As duas formas possíveis de aplicação da técnica são: primeiro, a utilização direta dos valores da função de textura como as intensidades finais dos "pixels" e, segundo, a utilização destes valores em conjunto com o

obtido de algum cálculo derivado da aplicação de algum modelo de iluminação.

#### 4.7.4 Restrições e Deficiências

Uma restrição que pode comprometer a utilização da técnica de textura sólida refere-se à geração dos valores da função de textura. Há duas abordagens que podem ser seguidas: os valores para a função de textura podem ser obtidos por digitalização ou podem ser sintetizados.

Na digitalização, apesar do realismo ser maior, o processo envolvido é bastante complexo na medida em que envolve a digitalização de um grande número de fatias transversais através de algum material. A avaliação de uma função de textura deste tipo é feita através de valores armazenados numa tabela, o que é caro computacionalmente em espaço de armazenamento.

A opção menos cara computacionalmente está na utilização de funções de textura sintetizadas através de algum procedimento. Não envolve espaço de armazenamento e é mais facilmente obtida através, por exemplo, de uma função de projeção cuja idéia associada é se projetar uma textura bidimensional no espaço, obtendo-se desta forma uma textura sólida.

A figura 4.11 exemplifica uma função de projeção que consiste na projeção de círculos concêntricos no semi-espaço em que o valor da coordenada  $z$  é positivo. Esta função de projeção gera um cilindro que se estende infinitamente ao longo do eixo  $z$  no semi-espaço positivo.

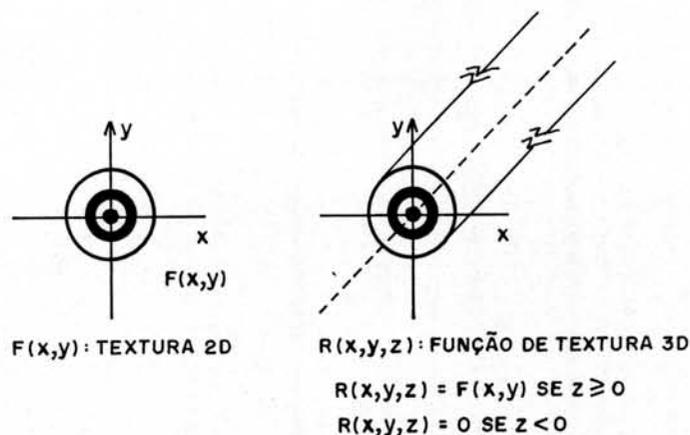


Fig. 4.11 - Função de Projeção para Textura Sólida

Um outro exemplo de função de textura sólida é a função "Noise" apresentada em /PER 85/. Ela retorna um valor estocástico controlável, a partir das coordenadas  $x, y$  e  $z$  do ponto que se deseja visualizar, como argumentos. Este valor é utilizado para obter os efeitos de textura. "Noise" diferencia-se de uma função randômica qualquer, pois precisa satisfazer certas condições para funcionar bem como primitiva para síntese de texturas sintéticas. Uma sugestão para implementação de "Noise" bem como as características que a tornam utilizável são encontradas em /PER 85/.

Uma restrição associada à textura sólida (independentemente da abordagem utilizada na obtenção da função de textura), está relacionada ao custo operacional associado à avaliação em si da função de textura. Este custo obviamente varia com a complexidade da função. A restrição refere-se ao fato de que é mais caro computacionalmente avaliar-se uma função de textura sólida do que um mapa de textura bidimensional simples.

Com relação a problemas de "aliasing", pode ser necessário amostrar a função de textura numa alta resolução

e filtrar as amostras através de alguma técnica de médias ponderadas para obter uma textura numa resolução mais baixa e com "anti-aliasing" /PEA 85/.

#### **4.7.5 Implementação**

Os objetos podem ser representados por "patches" ou não (via vértices, arestas e faces, por exemplo), uma vez que a associação do valor da função de textura é feita através da coordenada no espaço cartesiano do ponto sendo exibido (que é única) e pode ser obtida independentemente do tipo de representação que se está adotando para os objetos.

A obtenção dos valores da função de textura, seja através de alguma tabela ou através de algum procedimento, deve ser prevista pelo implementador, ressaltando-se os aspectos relacionados aos problemas de espaço para armazenamento, no caso de uma tabela, e o custo para avaliação, no caso de algum procedimento.

#### **4.7.6 Relação Ambiente versus Técnica**

A resolução e o número de cores definidos pela função de textura guiarão as considerações envolvendo o ambiente de implementação, isto é, caso esta função seja definida de maneira a que se obtenha valores para exibição de um determinado "pixel" dentro dos possíveis para o ambiente então esta função de textura é potencialmente implementável neste ambiente( como de resto no caso do mapeamento 2D).

Texturas interessantes visualmente, embora simples em número de cores, podem ser obtidas como função de textura sólida e implementadas num ambiente limitado.

A escolha da função de textura adequada possibilitará o uso da textura sólida num ambiente limitado.

#### **4.8 Outras Técnicas**

A seguir, é apresentado um grupo de algumas técnicas que de uma forma ou de outra estão relacionadas à síntese de texturas em Computação Gráfica. Por serem abordagens menos gerais, com orientações para resultados muito específicos em alguns casos, não se optou pela apresentação detalhada das mesmas. Uma breve descrição com referências à literatura consultada constitui a apresentação da técnica.

##### **4.8.1 Desenho por Computador**

Esta abordagem para obtenção de texturas apresentada em /YES 79/ é citada por Kaufmann em /KAU 88/ como uma linha de abordagem para síntese de texturas.

A idéia principal é obter a representação de texturas associadas e necessárias em projetos arquitetônicos como paredes, muros, árvores e pisos.

A abordagem é introduzir distúrbios gerados randomicamente em padrões inicialmente regulares (em /ZUC 76/, a mesma idéia foi apresentada num modelo para texturas). Os algoritmos desenvolvidos são baseados numa técnica de distúrbios randômicos, onde padrões regulares

(como um quadriculado) são inicialmente obtidos e, em seguida, perturbados pela movimentação randômica de seus pontos, para a direita e esquerda e para cima e para baixo.

Uma textura de madeira com os nós característicos poderia ser obtida através da perturbação randômica de uma coleção de elipses concêntricas.

Como limitação, a abordagem restringe e centra sua preocupação em desenhos arquitetônicos, sendo no fundo um sistema para gerar desenhos.

#### 4.8.2 Textura Artificial

A partir da constatação derivada de estudos psicológicos de que a textura de um objeto é um importante atributo visual para a percepção de cenas, aumentando a percepção de profundidade e orientação dos objetos, em /SCH 83/ o autor sugere o uso de uma "textura artificial" para auxiliar na visualização de imagens de superfícies geradas pelo computador sem haver preocupação com a produção de imagens texturizadas realísticas.

O termo **textura artificial** é sugerido porque não há a preocupação em obter a textura exata como em outras técnicas, mas é apenas um meio de fornecer um auxílio barato para visualização do formato de uma superfície.

Basicamente a textura artificial nada mais é que elementos de textura ("texels") mapeados sobre a superfície do objeto. O tamanho e o formato destes "texels" variará de ponto a ponto na superfície de acordo com a distância desta superfície ao plano de projeção e de acordo com a orientação da superfície.

A variação no formato e tamanho dos "texels" aplicados sobre a superfície incrementa a capacidade de percepção da cena.

#### 4.8.3 Texturamento de Superfícies Quádricas

A proposta básica apresentada em /GAR 84/ consiste em incrementar a utilização de superfícies quádricas limitadas por planos para representação de alguns objetos naturais como montanhas, terrenos e pedras.

A modelagem destes objetos é através das superfícies quádricas enquanto que os detalhes necessários para obtenção do realismo são dados por "funções de textura matemáticas". O mapeamento tradicional com os valores para textura armazenados em tabelas é substituído por uma função matemática.

A vantagem da função é o tamanho reduzido da base de dados necessária. Em contrapartida, não há obtenção de muitas texturas interessantes e nem a variedade possível através de uma tabela.

As funções sugeridas no artigo utilizam o princípio da expansão de Fourier e proporcionam boas representações visuais de terrenos e nuvens.

Em /GAR 85/, é apresentada uma extensão da proposta inicial com a preocupação específica de síntese de imagens de nuvens através novamente de elipsóides e funções de textura matemáticas.

#### 4.8.4 Azulejos de Textura

Em /DUN 78/ é apresentada a idéia de aplicação de "azulejos de textura" ("tiles") sobre superfícies, isto é, o processo para obtenção das texturas se assemelharia a colocação de azulejos numa parede.

O azulejo apresentado é uma imagem digital armazenada de textura, por exemplo, de fotos aéreas de árvores, terrenos, etc. A idéia foi aplicada em simuladores de vôo.

A aplicação dos azulejos corresponde a um mapeamento dos mesmos sobre a superfície. A idéia associada dos azulejos foi explorada em abordagens posteriores /CAR 85/ como vantajosa para solução de problemas de descontinuidades de textura.

#### 4.9 Seleção das Técnicas para Implementação

A partir das seis técnicas identificadas, o próximo passo foi a seleção das técnicas adequadas para implementação no ambiente especificado.

Algumas considerações, apresentadas a seguir, nortearam esta seleção, em conjunto com as considerações apresentadas durante as descrições das técnicas no item "Relação ambiente versus técnica".

Relacionadas aos Sistemas de Partículas:

a) a técnica dos sistemas de partículas apresenta um custo computacional extremamente alto visto que o elemento básico de trabalho é a partícula. A aplicação desta técnica no ambiente limitado certamente trará dificuldades em tempo de processamento;

b) o uso dos sistemas de partículas exige uma alta resolução e número de cores para que o efeito final obtido seja realmente o de um todo e não se tenha uma impressão visual separada das partículas;

c) por último, apesar da técnica não ser exclusiva para obtenção de seqüências animadas, seus maiores efeitos visuais são obtidos nestas aplicações (texturas de explosões, fumaças,...) e não em cenas fixas.

#### Relacionadas ao modelo de Cook & Torrance:

a) o modelo proposto por Cook & Torrance envolve a obtenção de informações sobre as características de distribuição espectral dos objetos da cena bem como as características de emissão espectral das fontes de luz presentes na cena.

Estas informações, quando utilizadas no modelo de iluminação, apresentam resultados altamente satisfatórios e incorporam a textura no modelo de iluminação. No entanto, elas não estão disponíveis para a maioria dos materiais que são utilizados na síntese de cenas, tornando o seu uso dependente destas informações e não tão genérico quanto desejado.

#### Relacionadas aos modelos estocásticos:

a) o uso de técnicas relacionadas à geometria fractal envolve ainda, na maioria dos casos, procedimentos muito experimentais sem um controle muito adequado de obtenção dos resultados. Não existe a relação entre o resultado e os meios para atingir este resultado.

Em /GAG 85a/, o autor expressa algumas limitações na utilização de fractais para síntese de texturas:

"Nem todas as texturas são fractais e não existe uma metodologia analítica que nos permita determinar, para (a obtenção de) uma determinada textura, o tipo de modelo fractal e os valores dos seus parâmetros. O uso de fractais é, desta forma, ad hoc".

b) os efeitos visuais obtidos relacionados a alguns objetos e cenas naturais são impressionantemente reais. No entanto, aparentemente, extingüe-se aí a utilidade dos modelos fractais para reprodução de texturas /GAG 85a/.

Favoravelmente à seleção de mapeamento, "bump mapping" e à textura sólida, são apresentadas as seguintes considerações:

a) todas as técnicas para síntese de texturas têm limitações e deficiências. A técnica que, apesar das limitações, apresenta resultados na maioria das vezes satisfatórios sem a necessidade da aplicação de muitos procedimentos ad hoc é a do mapeamento 2D. Por esta razão a abordagem mais freqüente e, em muitos casos, a mais fácil para síntese de texturas é o mapeamento de texturas /MA 88/;

b) em alguns dos modelos para síntese de texturas, no tocante a aplicações, havia observações relacionando o mapeamento como técnica favorável para utilização das texturas sintetizadas;

c) a utilização das técnicas de mapeamento e "bump mapping" resulta na obtenção de uma ampla gama de efeitos visuais que satisfaz grande parte das aplicações relacionadas à textura;

d) a textura sólida pode ser entendida e trabalhada como uma extensão no espaço do mapeamento 2D,

facilitando o seu uso caso já haja implementação do mapeamento tradicional.

Baseando-se nas considerações acima, selecionou-se Mapeamento de Textura, "Bump Mapping" e Textura Sólida como técnicas candidatas a implementação no ambiente especificado.

As considerações feitas acima para seleção das técnicas candidatas à implementação procuraram levar também em conta aspectos computacionais e características outras das técnicas do que exclusivamente a relação com a placa gráfica. Isto possibilitou um número maior de técnicas candidatas como a inclusão da técnica de "bump mapping" que num primeiro momento poderia sugerir a necessidade de dispositivos não limitados para sua aplicação, analisando-se as imagens significativas de aplicação da técnica.

Basicamente está se propondo uma tentativa prática antes da emissão de um julgamento final, um "teste visual" para confirmar a técnica candidata como técnica efetiva para implementação no ambiente limitado especificado.

## 5 O AMBIENTE ESPECIFICADO E PADRÕES

Este capítulo tem dois principais objetivos: o primeiro é descrever o ambiente de trabalho especificado para síntese das imagens e que tem como aspecto central a placa gráfica VGA. O segundo é apresentar a técnica conhecida por padrões que em termos gerais objetiva aumentar a resolução visual de um dispositivo de saída gráfico, e o contexto de sua utilização neste trabalho.

### 5.1 O Ambiente Especificado

Na área de Computação Gráfica, a parte central de qualquer ambiente de trabalho vem a ser a placa gráfica disponível para exibição das imagens num monitor de vídeo que corresponda às possibilidades da placa.

A placa gráfica é responsável pela resolução, que consiste no número de "pixels" disponíveis para exibição, e pelo número de cores simultâneas ou não que poderão ser exibidas.

A decisão de especificar a placa VGA para trabalho foi efetuada considerando-se o seguinte:

a) a realidade dos equipamentos disponíveis para desenvolvimento dos trabalhos, na época de definição destes estudos, indicava a placa VGA como a de maiores recursos existente e disponível para utilização;

b) a placa VGA deve se firmar como padrão ainda por um bom tempo no Brasil para instalações de pequeno porte, baseadas em microcomputadores /CAR 90/, mas que nem por isto demandam menos de aplicações gráficas com efeitos

cada vez mais sofisticados. Os estudos propostos procuram, então, também definir a real viabilidade da placa VGA para aplicações que envolvam a obtenção de realismo;

c) as limitações do ambiente constituem um fato impulsionador a mais como desafio visto que os resultados esperados poderiam ou não ser confirmados.

Então, como único aspecto relevante do ambiente, apresenta-se a seguir as principais informações a respeito da placa VGA. Informações mais detalhadas podem ser encontradas em /FER 88/.

#### **5.1.1 A Placa VGA**

A placa VGA ("Video Graphics Array") foi lançada em 1987 como padrão pela IBM para a sua nova linha de computadores pessoais. Ela permite o trabalho em vários modos diferentes, denominados **modos gráficos**, onde variam a resolução e o número de cores simultâneas possíveis de serem exibidas.

##### **5.1.1.1 Resolução**

Conforme o modo gráfico de trabalho, a placa VGA pode ser programada para trabalhar em diferentes resoluções. A resolução mais alta consiste de 640 "pixels" por linha na horizontal e 480 "pixels" por coluna na vertical.

Na resolução mais baixa a placa apresenta 320 "pixels" por linha na horizontal e 200 por coluna na vertical.

A fim de manter a compatibilidade com os "softwares" já existentes, a placa VGA emula a placa EGA (Enhanced Graphics Adapter), isto é, opera num modo gráfico em todo semelhante à placa EGA, sua antecessora cronologicamente.

No modo de trabalho para emular a placa EGA, a placa VGA apresenta uma resolução de 640 x 350 "pixels".

#### 5.1.1.2 Número de Cores

O modo gráfico de trabalho define também o número de cores máximas exibíveis. A placa pode operar com até 256 cores simultâneas na tela, escolhidas entre  $256 K^*$  cores possíveis (262.144 cores). As outras possibilidades são de quatro e 16 cores simultâneas.

No "hardware" da placa, aparecem definidos 256 registradores de cores ("Color Registers") que possuem um comprimento de 18 bits RGB assim distribuídos: 6 bits para vermelho (Red), 6 bits para verde (Green) e 6 para azul (Blue). Um número entre 0 e 63 para cada uma das componentes vermelho, verde e azul define a cor para um determinado registrador de cor.

A limitação de 256 cores simultâneas é física e está relacionada ao número máximo de registradores de cores presentes na placa.

---

\*1 K = 1024

O conjunto de cores disponíveis para trabalho, sejam elas 4, 16 ou 256, forma o que se denomina "palette". Usualmente as cores da "palette" podem ser estabelecidas individualmente ou em bloco e constituem um subconjunto possível do universo total de cores disponíveis.

#### 5.1.1.3 Modos de Trabalho

As combinações possíveis entre resolução e número de cores não são aleatórias, mas sim bem estabelecidas pelos modos gráficos.

Os modos gráficos que interessam mais de perto são os seguintes:

a) **Alta resolução** - neste modo gráfico a placa trabalha na máxima resolução (640 x 480 "pixels"), mas apenas com 16 cores simultâneas (escolhidas entre as 256 K possíveis);

b) **Baixa resolução** - neste modo, em detrimento da resolução que baixa para 320 x 200 "pixels", a placa possibilita o uso de 256 cores simultâneas.

Para os sistemas desenvolvidos a partir da placa EGA, a placa VGA trouxe sensível melhora uma vez que aumentava a resolução vertical sem reduzir o número de cores.

Estes sistemas não manipulam usualmente informação gráfica que necessite realismo e normalmente operam no modo de máxima resolução. O modo de baixa resolução e máximo número de cores da VGA possibilita tentativas mais ousadas para aplicações que envolvam

realismo. A utilização deste modo traz uma dificuldade a mais, além da baixa resolução, pela não existência nos ambientes de programação (TurboC, TurboPascal, etc.), de "drivers" para acesso à placa.

Para trabalhar com a placa neste modo, é necessária a construção de todos os procedimentos para acesso à placa e também das primitivas gráficas (desenha linha, desenha círculo, etc.).

### **5.1.2 Outros Aspectos**

Os outros aspectos do ambiente como sistema operacional, processador, velocidade de processamento, necessidade ou não de coprocessador aritmético, não foram especificados por não influenciarem diretamente a síntese da imagem.

As influências destes outros aspectos serão sentidas principalmente no tempo de processamento e na memória disponível, limitada pelo sistema operacional, e não na síntese da imagem, dependente quase que exclusivamente da placa gráfica e do monitor.

## **5.2 Padrões**

A característica integradora do sistema visual humano tem sido explorada há muito tempo, notadamente na impressão de fotografias em preto-e-branco em jornais, revistas e livros.

Se uma pequena área for observada a uma razoável distância, deixa-se de perceber os detalhes que compõem a imagem e percebe-se apenas a informação visual da área como

um todo. Isto permite que se perceba uma imagem com intensidade contínua de tons de cinza quando, na verdade, ela é constituída de pequenos círculos brancos e pretos de diferentes tamanhos, obtidos através da aplicação de uma técnica conhecida como "halftoning" /FOL 90/.

A idéia associada à utilização desta técnica pode ser estendida para aplicação em dispositivos de saída gráficos como terminais de vídeo e impressoras. Por exemplo, pode-se combinar quatro "pixels" de um vídeo para formar uma célula de 2x2 "pixels". Esta combinação de quatro "pixels", conhecida como um **padrão**, permite a obtenção de cinco diferentes intensidades percebidas, considerando-se que cada "pixel" possa assumir um entre dois valores, conforme ilustra a figura 5.1.

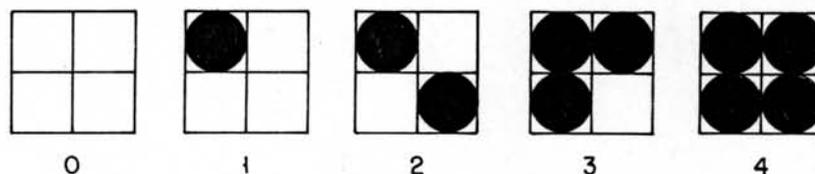


Fig. 5.1 - Padrões de "pixels" 2x2

Deve-se lembrar que a percepção de cinco diferentes intensidades está condicionada à percepção do grupo de quatro "pixels" como uma unidade, e não como quatro "pixels" independentes.

A utilização de padrões troca resolução espacial por resolução visual. Por exemplo, no caso de padrões de 2x2 "pixels", as resoluções horizontal e vertical diminuem pela metade.

O formato dos padrões apresentado na figura 5.1 já apresenta uma preocupação que deve estar presente quanto à posição dos "pixels" na célula. A utilização de algum padrão como os da figura 5.2, por exemplo, poderia introduzir linhas horizontais ou verticais em áreas de intensidade constante na imagem original.

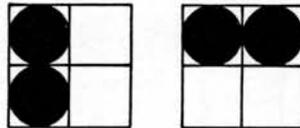


Fig. 5.2 - Padrões Inapropriados

A utilização de padrões para incremento da resolução visual (em detrimento da resolução espacial) não tem sido muito explorada em Computação Gráfica. Pode-se argumentar que a principal razão para isto advém da relativa redução de custo dos dispositivos para visualização com resoluções e número de cores cada vez maiores, normalmente inseridos numa configuração de estação de trabalho.

Em /THA 84/, é apresentada uma proposta para obtenção de imagens com incremento do realismo a partir da utilização de padrões de 14 x 8 "pixels" que possibilitam o aumento do número de cores percebidas e que são programados e administrados via "hardware".

O terminal de vídeo utilizado permite a exibição

simultânea de apenas oito cores numa resolução de 640x480 "pixels". Esta relativamente alta resolução tornou viável a utilização dos padrões no contexto do artigo e este é um ponto que deve ser analisado para utilização dos padrões. Uma vez que o acréscimo do número de cores percebido ocorrerá às custas da resolução, é necessário que esta não seja demasiado baixa.

Duas questões surgem quando da utilização de padrões no contexto do trabalho da dissertação. A primeira consiste em determinar o número de padrões de 2x2 "pixels" supondo-se a utilização da VGA com resolução de 640x480 e 16 cores simultâneas. A segunda questão envolve a determinação eficiente das 16 cores e a combinação destas cores para formação dos padrões.

Quanto à primeira questão, a quantidade de padrões pode ser determinada através da extensão da idéia utilizada na determinação dos padrões possíveis numa situação bem simples.

Os padrões possíveis quando cada "pixel" pode assumir quatro intensidades, (0,1,2,3), é igual a  $4 \times 3 + 1 = 13$  possíveis, ou seja, a quantidade de intensidades corresponde a intensidade máxima (quando os quatro "pixels" têm o maior valor de intensidade) mais o preto (quando os quatro "pixels" têm valor zero).

Estes padrões são ilustrados na figura 5.3.

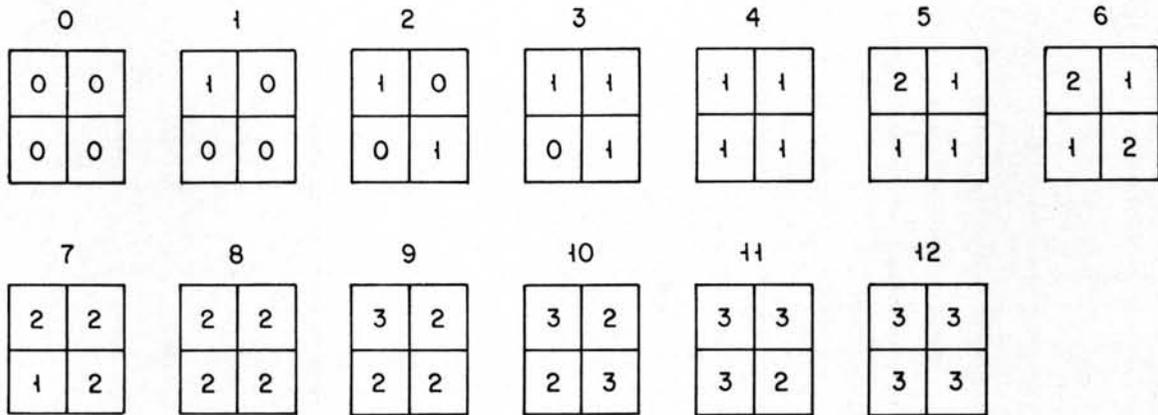


Fig. 5.3 - Padrões de "pixels" Possíveis, considerando-se 2 bits/"pixel" (extraída de /FOL 90/).

De acordo com /FOL 90/, na obtenção deste número considera-se que as intensidades dos "pixels" individuais são somadas para obtenção da intensidade do padrão. Isto significa que as diversas combinações de "pixels" que resultem numa mesma intensidade para o padrão são equivalentes, desde que o padrão seja percebido como um todo ( os "pixels" são suficientemente pequenos).

Estendendo-se a possibilidade de que cada "pixel" possa assumir não apenas quatro intensidades, mas sim 16 (15 mais o preto), chega-se ao caso de interesse. Neste caso o número de padrões é:

$$4 \times 15 + 1 = 61$$

Este é o número de combinações de quatro "pixels" onde cada "pixel" pode assumir 16 valores monocromáticos. Considerando-se o conjunto de intensidades para R,G e B, separadamente, o número final total de combinações chega a:

$$61 \times 61 \times 61 = 226.981$$

Numa tentativa de visualização deste resultado, pode-se imaginar os três planos de R,G e B separados, onde em cada um deles existem 61 combinações possíveis de 16 intensidades que combinadas resultam no número total obtido acima.

A existência deste alto número de combinações tende a dificultar uma utilização eficiente e otimizada dos padrões.

Este talvez não seja, no entanto, o número real de padrões a se trabalhar pelo fato de que possivelmente alguns resultarão na mesma cor percebida, logo, serão equivalentes, mesmo com a ausência daqueles padrões que apresentam a mesma soma de intensidades RGB. Não há uma maneira formal para estabelecimento de um número que dimensione estas ocorrências duplas.

A idéia de utilização dos padrões no contexto da dissertação atrai devido ao alto número possível de combinações que permite superar de longe as 256 cores disponíveis no modo gráfico com resolução de 320x200 "pixels".

A princípio se os quatro "pixels" combinados no modo com resolução 640x480 e 16 cores resultarem num tamanho de padrão percebido menor ou no máximo igual ao tamanho do "pixel" no modo 320x200, então a utilização de padrões no modo mencionado irá ser vantajosa, considerando-se apenas o aspecto "número de cores". A real viabilidade de administração de muitas variáveis no estabelecimento das cores e suas combinações deve ser estudada e considerada para possibilitar uma melhor decisão, o que leva à segunda questão.

A segunda questão que surge está relacionada com o estabelecimento eficiente de uma "palette". Neste contexto de utilização dos padrões, entende-se por estabelecimento de uma "palette" primeiro o estabelecimento das 16 cores que serão combinadas e segundo, a combinação destas cores na formação dos padrões.

O principal problema reside na impossibilidade de determinação efetiva de que, combinadas as três parcelas de R,G e B nos quatro "pixels" do padrão, a impressão visual obtida será a desejada, além da dificuldade de estabelecimento de uma ordenação dos padrões em termos de tons claros e escuros.

A abordagem utilizada neste trabalho em relação a estes problemas será apresentada quando da descrição do sistema implementado para síntese de imagens.

### **5.3 Conclusões**

Os diferentes modos gráficos de trabalho da placa VGA representam possibilidades de obtenção de imagens realísticas, principalmente no modo com 256 cores simultâneas. A relação entre a baixa resolução deste modo e o realismo deve ser analisada considerando-se as imagens obtidas e a finalidade do realismo.

Os padrões podem ser uma opção em termos de aumento do número de cores visualizáveis em detrimento da resolução. Aparentemente a administração do uso dos padrões tende a ser não genérica o suficiente, inviabilizando sua maior utilização.

## **6 SÍNTESE E ANÁLISE DAS IMAGENS OBTIDAS**

Este capítulo apresenta a descrição do sistema implementado para síntese de imagens de objetos simples com aplicação de textura. As técnicas para síntese de textura implementadas são as descritas no capítulo quatro e denominadas "candidatas à implementação".

A seguir é feita uma análise das imagens sintetizadas considerando-se o realismo atingido a partir da aplicação das técnicas de textura.

### **6.1 O Sistema Implementado**

Apresenta-se a seguir uma descrição resumida dos programas desenvolvidos e agrupados sob o nome de sistema sem que isto os caracterize como um sistema no sentido formal da palavra. Estes programas cumprem o seu objetivo dentro do trabalho proposto sem constituírem, entretanto, um sistema fechado, pronto a ser entregue a um usuário final. Estes programas formam uma "bancada de testes" para exploração de diversas idéias.

Esta "bancada de testes" permitiu estabelecer corretamente o potencial do ambiente limitado especificado para síntese de imagens de objetos com aplicação de textura.

#### **6.1.1 Visualização**

O sistema permite a visualização de objetos simples ainda que nas imagens sintetizadas apareça exclusivamente a esfera como objeto de interesse por considerar-se adequada e suficiente para os propósitos deste trabalho.

A visualização da esfera utiliza o conceito de câmera sintética, cuja posição no espaço é especificada por dois ângulos e uma distância. A câmera pode ser posicionada em qualquer ponto de uma esfera imaginária centrada na origem do sistema de coordenadas e ao redor dos objetos para visualização.

Esta abordagem em que a câmera está sempre voltada para a origem do universo é bastante simples e pode ser encontrada em detalhes em /PAR 85/. A projeção é perspectiva.

#### **6.1.2 Remoção de Elementos Ocultos**

As técnicas para síntese de textura selecionadas para implementação indicavam a representação paramétrica dos objetos como a mais adequada para uma utilização mais eficiente destas técnicas.

A utilização da representação paramétrica restringe ao número de três os algoritmos possíveis para remoção de elementos ocultos: subdivisão (/CAT 75/, /CAT 74/), algoritmos de "scan-line" (/LAN 80/) e traçado de raios (/FOL 90/ e /ROG 85/).

A subdivisão proposta por Catmull é genérica o suficiente para resolver qualquer tipo de superfície paramétrica. No entanto, o tempo necessário para efetuar a subdivisão e o algoritmo de "z-buffer" utilizado em conjunto, que exige grande quantidade de memória, desaconselharam a aplicação da técnica.

Os algoritmos de "scan-line" para superfícies e objetos representados parametricamente também apresentam dificuldades relacionadas aos procedimentos numéricos

necessários para, dado o valor de "y" que define o plano de intersecção com a superfície, encontrar o valor de "x" e "z" neste ponto de intersecção.

As dificuldades advém principalmente do fato de que a intersecção dos planos de "scan" com as superfícies paramétricas não são segmentos de linha reta, mas sim curvas e também da necessidade de identificação dos pontos de máximo e mínimo destas superfícies (para superfícies representadas por polígonos estes pontos coincidem com vértices).

O traçado de raios, apesar da sua utilização simplesmente para obtenção dos pontos visíveis de um objeto poder ser considerada uma "subutilização", foi a opção considerada mais adequada, pois para o objeto que se deseja visualizar, uma esfera, a sua aplicação é imediata e simples.

Através da emissão de "raios" que são definidos pela posição do observador e por cada "pixel" na tela, estabelece-se o ponto de intersecção do raio com o objeto mais próximo do observador (e, portanto, visível). Algoritmos mais detalhados de traçado de raios podem ser encontrados em /FOL 90/ e /ROG 85/.

### **6.1.3 Modelo de Iluminação**

Há necessidade de utilização de um modelo de iluminação em algumas situações de implementação das técnicas como no mapeamento, por exemplo, quando é conjugada a informação do mapa de textura com a de algum modelo de iluminação. Para tanto, o sistema implementa um modelo simples de iluminação, com apenas uma fonte de luz

mais as parcelas de luz ambiente, difusa e especular, conforme a equação abaixo:

$$i = k_a + k_d \cdot d + k_e \cdot e^g$$

onde:

$i$  = intensidade de luz percebida,

$k_a$  = constante de reflexão devido à luz ambiente,

$k_d$  = constante de reflexão de luz difusa,

$d$  = intensidade de luz difusa,

$k_e$  = constante de reflexão de luz especular,

$e$  = intensidade de luz especular,

$g$  = coeficiente (expoente) de especularidade do objeto.

Os produtos são de grandezas escalares.

A parcela devida à luz ambiente corresponde a um valor constante que representa uma fonte de luz distribuída e que atinge igualmente todos os pontos da superfície do objeto.

A intensidade da luz difusa é calculada pela lei de Lambert, que estabelece que a intensidade da luz refletida por uma superfície difusa perfeita é proporcional ao cosseno do ângulo entre o vetor direção da fonte de luz e a normal à superfície.

A intensidade da reflexão especular pode ser obtida calculando-se o vetor soma do vetor que expressa a direção da fonte de luz com o vetor que dá a direção do observador. Quanto mais próxima a direção deste novo vetor  $H$  estiver da direção do vetor normal, mais especular é a superfície.

O cosseno do ângulo entre o vetor normal e o vetor  $H$  é uma expressão do quanto um determinado ponto da superfície apresenta reflexão especular. Este valor é elevado à potência de  $g$ , que expressa o grau de nitidez ("sharpness") do reflexo especular.

A partir da informação obtida via traçado de raios, encontra-se facilmente o vetor normal à superfície em cada ponto visível que, adicionada à informação da posição da fonte de luz, fornece informação suficiente para os cálculos de iluminação.

O sistema permite a especificação da posição da fonte de luz no universo, dos coeficientes de luz ambiente ( $k_a$ ), difusa ( $k_d$ ) e especular ( $k_e$ ) além da especularidade ( $g$ ) do objeto.

#### **6.1.4 Síntese de Textura**

A aplicação de textura nos objetos sintetizados pelo sistema é acionada a partir de três opções básicas que correspondem às três técnicas selecionadas. Cada uma das três opções pode ser utilizada de duas maneiras diferentes:

a) com a placa VGA na resolução 640x480 e 16 cores simultâneas e

b) com a placa VGA na resolução 320x200 e 256 cores simultâneas.

A opção de mapeamento de textura pode ser utilizada ainda com a placa VGA na resolução 640x480 e 16 cores simultâneas conjugadas com a utilização de padrões, permitindo uma comparação entre este modo e o modo de 256 cores simultâneas.

A existência destas diferentes maneiras de acesso à placa permite facilmente a comparação dos resultados visuais obtidos utilizando-se os diferentes modos de trabalho.

A seguir, uma descrição mais detalhada das opções para síntese de textura.

#### **6.1.4.1 Mapeamento de Textura**

A opção de mapeamento de textura permite o mapeamento de duas classes de mapas de textura sobre uma esfera, diferenciadas conforme a natureza da informação presente no mapa para definir a textura:

- a) mapas de textura definidos pelo usuário e
- b) mapas de textura pré-definidos.

No primeiro caso, um arquivo contendo "zeros" e "uns" é definido pelo usuário. Este arquivo é interpretado de maneira que aos "zeros" correspondam uma determinada cor e aos "uns" correspondam outra cor.

Um arquivo para definição de um quadriculado a ser mapeado sobre a esfera, por exemplo, tem o formato apresentado na figura 6.1.

```

0 0 0 0 1 1 1 1
0 0 0 0 1 1 1 1
0 0 0 0 1 1 1 1
0 0 0 0 1 1 1 1
1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0 0

```

Fig. 6.1 - Exemplo de Mapa de Textura Definido pelo Usuário

A informação deste arquivo, interpretada como descrito acima, será então replicada sobre a esfera um número maior ou menor de vezes, conforme o número de linhas e colunas do arquivo que contém o mapa. Esta informação pode ser aplicada diretamente sobre o objeto ou pode ser conjugada com a informação de um modelo de iluminação.

No segundo caso (mapas de textura pré-definidos), a informação a ser mapeada sobre a esfera é obtida de um arquivo que contém uma imagem digitalizada de alguma forma (câmera, "scanner", etc.). Neste caso a informação do arquivo é utilizada diretamente como presente no arquivo que a define.

Estas duas possibilidades permitem um grande número de diferentes texturas. No primeiro caso, variando-se as combinações de zeros e uns do mapa e as cores associadas à interpretação do mapa. No segundo caso, variando-se as imagens a serem mapeadas.

#### 6.1.4.2 "Bump Mapping"

A opção de aplicação de textura via "bump mapping" é acionada a partir da definição, pelo usuário, do arquivo que contém os valores de perturbação a serem utilizados para alteração da superfície na direção do vetor normal em cada ponto visível.

Estes valores expressam o quanto cada ponto da superfície é transladado da sua posição original ao longo da direção do vetor normal. Como exemplo, a obtenção do efeito de saliências regulares sobre uma esfera pode se utilizar de um arquivo como o apresentado na figura 6.2. Da mesma forma que no mapeamento, a informação deste arquivo seria replicada sobre a esfera.

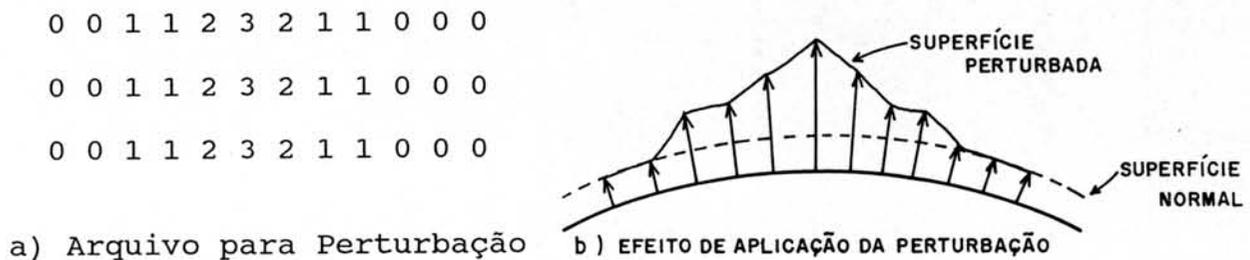


Fig. 6.2 - Exemplo de Arquivo para "Bump Mapping"

Com a informação das novas posições da superfície, são calculados os novos vetores normais que serão utilizados para os cálculos de iluminação.

A seguinte seqüência resume o acima exposto:

- 1) obtenção dos pontos visíveis da esfera;
- 2) alteração da posição destes pontos de acordo com o arquivo de perturbação;

3) cálculo das normais à nova superfície;

4) aplicação do modelo de iluminação.

Através da variação do arquivo de perturbação e da "palette" a ser utilizada, o usuário pode obter diversas imagens da esfera com diferentes perturbações do vetor normal.

#### **6.1.4.3 Textura Sólida**

O aspecto principal na utilização da textura sólida é a função que define a textura em si. Foram selecionadas duas funções para definição da textura 3D: uma função de projeção de círculos concêntricos (conforme figura 4.11) e uma função de projeção aplicada sobre uma imagem obtida por bombardeamento randômico de retângulos num plano, inspirado em /SCH 79/ e sugerido em /PEA 85/.

Dentre as opções possíveis para as funções de textura tridimensionais citadas em /PEA 85/, as funções de projeção constituem a classe mais simples e imediata para aplicação de textura sólida.

Aqui não há uma maneira interativa de o usuário modificar as funções de textura tridimensionais, tornando esta opção menos genérica do que as duas anteriores. A variação possível está localizada na possibilidade de alteração das cores definidas para as imagens às quais se aplica a função de projeção e do eixo sobre o qual a projeção é realizada.

### 6.1.5 "Palette"

As opções relacionadas à "palette" possibilitam o acesso aos 256 registradores de cores da placa VGA. São operações que permitem a alteração dos valores de R,G e B de um determinado registrador como também operações que alteram em conjunto os valores dos 256 registradores.

Basicamente o usuário pode estabelecer qualquer cor para qualquer registrador, fornecendo os valores de R,G e B para este registrador. Pode ainda solicitar ao sistema que obtenha uma "palette" através da interpolação de valores de R, G e B entre dois determinados registradores de cor.

Se é necessária uma "palette" com 256 tons de cinza, por exemplo, seleciona-se a cor preta (R=0;G=0;B=0) para o registrador número zero e a cor branca (R=63;G=63;B=63) para o registrador número 255 e solicita-se a interpolação de cores entre o registrador zero e o registrador 255. A "palette" assim obtida pode ser armazenada para posterior utilização.

### 6.1.6 Padrões

A inclusão da possibilidade de trabalho com os padrões visou estabelecer mais concretamente a viabilidade de aplicação desta técnica para superar ou amenizar uma limitação do ambiente relacionada ao número de cores.

Assim, estabeleceu-se uma situação possível de uso, a do mapeamento de textura através de um mapa definido pelo usuário conforme apresentado no item 6.1.4.1, e condicionou-se todas as decisões de implementação a esta situação.

Pretende-se desta forma contribuir para o melhor entendimento da utilização dos padrões sem no entanto esgotar ou equacionar uma maneira ótima e definitiva para sua utilização.

Este condicionamento a uma situação específica decorreu principalmente do alto número de variáveis a serem definidas e permitiu estabelecer eficientemente uma "palette" de cores para utilização.

O uso de padrões no sistema inicia com a definição pelo usuário de duas cores associadas ao mapa de textura e que serão mapeadas na esfera com tons mais claros ou mais escuros conforme aplicação do modelo de iluminação. A partir daí são estabelecidas as cores "múltiplas" (ou tons) desta cor pura, multiplicando-se e dividindo-se os valores de R,G e B da cor pura até o limite máximo (63) e mínimo (estabelecido pelo usuário) para cada parcela.

Dependendo da cor inicial estabelecida poderá ser obtido ou não o número máximo de tons para cada cor. Em qualquer instante as cores múltiplas da cor inicial podem ser visualizadas, permitindo um controle sobre a quantidade de tons obtidos.

Após esta etapa interativa, estão definidas as cores a serem combinadas para obtenção dos padrões incluindo-se o preto e o branco. A partir destas cores, o sistema obtém as combinações possíveis. Por exemplo, do preto com todas as cores, do branco com todas as cores e das cores entre si, sempre considerando-se as possibilidades de combinações dos quatro "pixels" para formar o padrão: 25% da cor 1 e 75% da cor 2, 50% da cor 1 e 50% da cor 2, 75% da cor 1 e 25% da cor 2 e os quatro "pixels" da mesma cor.

As combinações assim obtidas são ordenadas pela média quadrática das componentes R,G e B dos "pixels" componentes do padrão, do valor mais baixo ao valor mais alto. A cada padrão é estabelecido um índice de 0 até o número máximo de padrões obtidos. Este índice reflete a ordenação e possibilita o acesso correto ao padrão desejado.

Por exemplo, se a informação do modelo de iluminação conjugada com a do mapa de textura indica um vermelho com 0,75 de intensidade (numa escala de 0 a 1) para um padrão, multiplica-se este valor pelo número total de padrões obtidos, por exemplo, 100. Assim,  $100 \times 0,75 = 75$  indica o número do padrão a ser utilizado na escala anteriormente formada. Reproduz-se então na tela a combinação de quatro "pixels" que resultou no índice 75 para o padrão em questão.

A "palette" assim obtida apresenta uma continuidade visual, com pequenas variações locais. A ordenação pela soma dos valores de RGB dos "pixels" componentes do padrão também foi tentada, porém apresentou uma "palette" com maiores variações. O problema de ordenação destas combinações decorre da falta de um critério para ordenação de cores no sistema RGB. Visualizando-se o sistema de cores RGB como um cubo unitário no espaço, a distância de uma determinada cor à origem do sistema fornece um critério para ordenação das cores.

Os valores obtidos pela média e que identificam a combinação específica a ser utilizada podem aparecer repetidos. A ocorrência destas combinações com o mesmo valor, entretanto, não implica que a sensação visual obtida, ao serem observadas estas duas combinações, seja a mesma, para o tamanho do "pixel" que está sendo utilizado.

Por esta razão optou-se pela permanência destas ocorrências duplas.

Estes procedimentos são bastante específicos, mas permitiram sistematizar o trabalho com padrões de maneira a obter vários resultados para serem analisados.

## 6.2 Análise das Imagens

Através das opções para síntese de textura presentes no sistema desenvolvido, várias imagens foram geradas com aplicação de textura, usando as diversas maneiras possíveis pelas técnicas e nos modos gráficos selecionados da placa VGA.

De uma maneira geral, as imagens alcançaram um nível de realismo satisfatório através da aplicação das técnicas, devido ao acréscimo de informação visual.

No caso, por exemplo, da imagem de uma esfera sem aplicação de nenhum modelo de iluminação, ela aparecerá como um círculo chapado na tela. O mapeamento de uma textura qualquer possibilitará a percepção de que o visualizado é uma esfera pelas distorções características do mapa para adaptação à esfera, possibilitando a percepção do volume da esfera. Até que ponto o realismo obtido é adequado para os propósitos de alguma aplicação dependerá da aplicação em si.

As melhores imagens foram obtidas no modo com 256 cores, apesar de alguns problemas previsíveis de "aliasing", ocasionados pela baixa frequência de amostragem neste modo, que proporciona "pixels" demasiado grandes. No entanto, devido ao alto número de cores, o "aliasing" decorrente passa a ser tolerável.

O fato de que as imagens são constituídas por apenas um objeto, definido na maioria das vezes com apenas duas cores, permitiu que as 256 cores da "palette" fossem utilizadas somente para os tons destas duas cores, o que contribuiu para a qualidade das imagens.

Apresenta-se a seguir algumas observações mais específicas sobre cada técnica implementada.

#### **6.2.1 Mapeamento de Textura**

O mapeamento de textura foi obtido, conforme descrito no item 6.1.4.1, através de duas classes básicas de mapas de textura: os definidos pelo usuário e os pré-definidos. Nos mapas pré-definidos, utilizou-se um "scanner" e uma câmera para digitalização das imagens.

O "scanner" possibilitou mapas de textura obtidos pela digitalização de letreiros, figuras, enfim qualquer imagem que pudesse ser exibida com duas cores (alto-contraste). Assim foi obtida a imagem da figura 6.3, onde o letreiro com a marca "Coca-Cola" foi digitalizado num arquivo com 211 linhas e 393 colunas, com apenas duas possibilidades de valores, zero e um. Ao valor zero foi estabelecida a cor vermelha e ao valor um foi estabelecida a cor branca.

Neste exemplo, não há aplicação de nenhum modelo de iluminação e a placa está no modo 640 x 480 "pixels" com 16 cores.

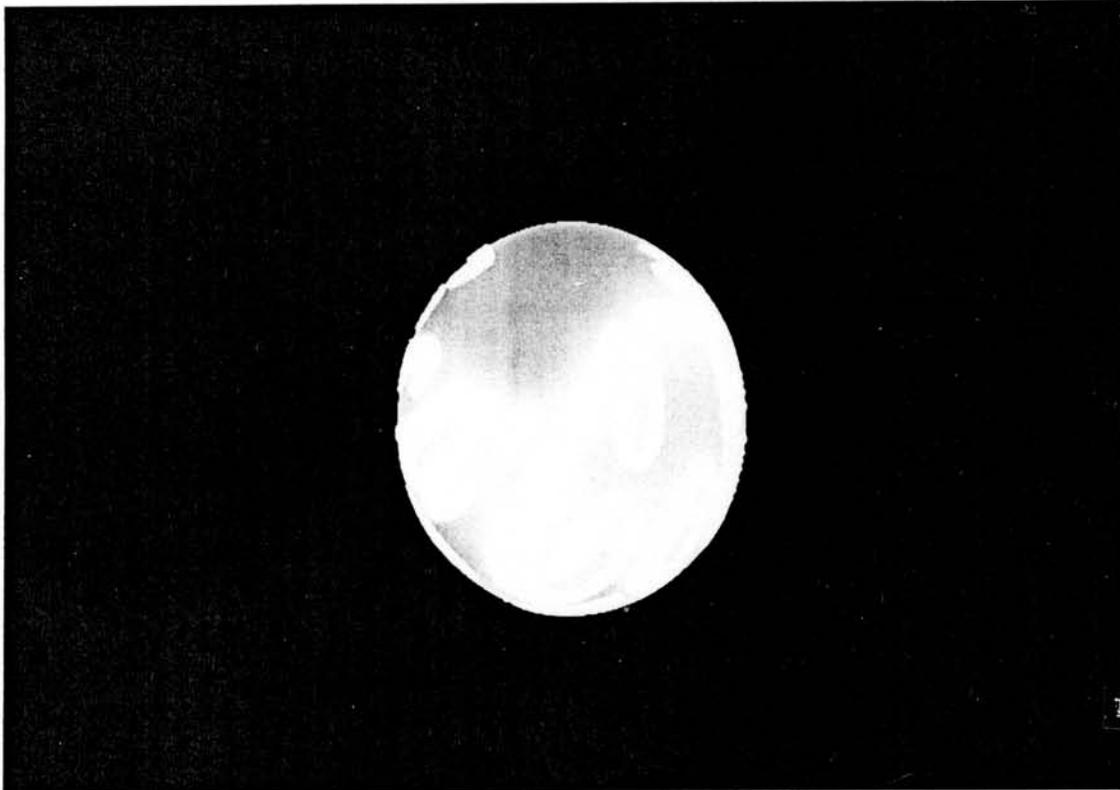


Fig. 6.3 - Imagem de Mapeamento de Textura: Mapa Pré-definido

A distorção resultante do mapeamento possibilita alguma percepção de que se está visualizando uma esfera, mesmo sem a aplicação de algum modelo de iluminação.

Os mapas de textura obtidos pela câmera representam uma imagem através de 256 tons em 512 linhas e colunas. Como definido para esta classe de mapas, a informação é mapeada diretamente da forma como presente no arquivo para a esfera. As distorções resultantes deste mapeamento permitem perceber uma esfera. No entanto, a conjugação desta informação com a resultante da aplicação de um modelo de iluminação certamente melhoraria os resultados.

Apesar disto, a intenção foi a de reconstituir na esfera a iluminação da imagem quando digitalizada, sem sobrepor informação adicional.

Houve uma certa restrição na obtenção dos mapas de textura uma vez que as imagens obtidas ou estavam em alto-contraste (preto-e-branco) ou, em 256 tons monocromáticos. Não houve possibilidade de digitalização de imagens coloridas.

Na classe de mapas definidos pelo usuário, associa-se aos zeros e uns do mapa duas cores. No modo com alta resolução, as duas cores são utilizadas diretamente para exibição e, no modo com 256 cores, os diversos tons destas cores são utilizados, desde o preto até o branco.

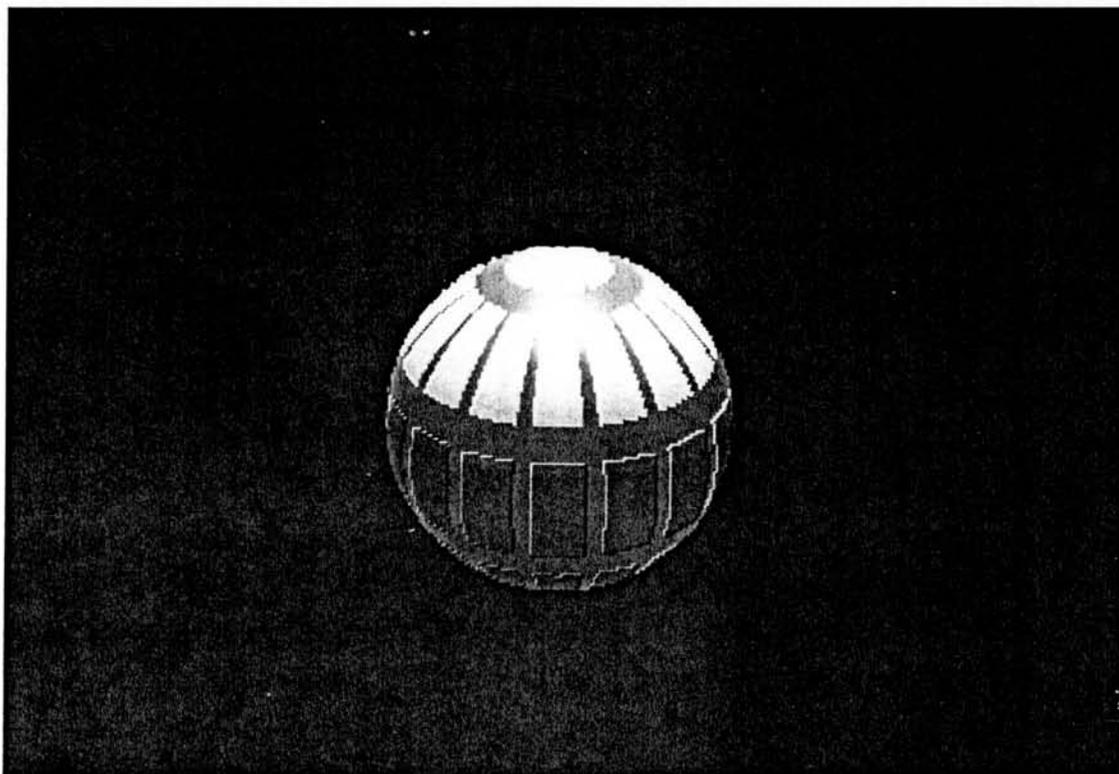


Fig. 6.4 - Imagem de Mapeamento de Textura: Mapa Definido pelo Usuário

Um arquivo deste tipo, definindo um quadriculado foi utilizado para síntese da imagem da figura 6.4.

Nesta imagem, as duas cores definidas foram vermelho e verde. A utilização do modelo de iluminação escalona a cor estabelecida para o objeto e define a tonalidade a ser utilizada. Nas imagens obtidas com a placa VGA no modo de baixa resolução, os efeitos de "aliasing" aumentam. A finalidade da aplicação é que definirá se estes efeitos podem ser desconsiderados ou não.

As variações do mapa e das cores associadas, definidas pelo usuário, permitem um grande número de diferentes mapeamentos.

#### **6.2.2 "Bump Mapping"**

As imagens obtidas via aplicação do "bump mapping" apresentaram resultados satisfatórios somente no modo com 256 cores. Os melhores resultados foram obtidos com perturbações que variavam suavemente, como a aplicada na esfera e ilustrada na figura 6.5.

Nesta imagem, foi aplicado um arquivo de perturbação que define uma função de perturbação sobre a superfície, procurando criar o efeito de depressões contínuas e igualmente espaçadas, para alterar o vetor normal antes dos cálculos de iluminação. O efeito obtido é bastante satisfatório considerando que o mesmo efeito, a ser obtido via modelagem das alterações, seria de um custo computacional muito mais alto.

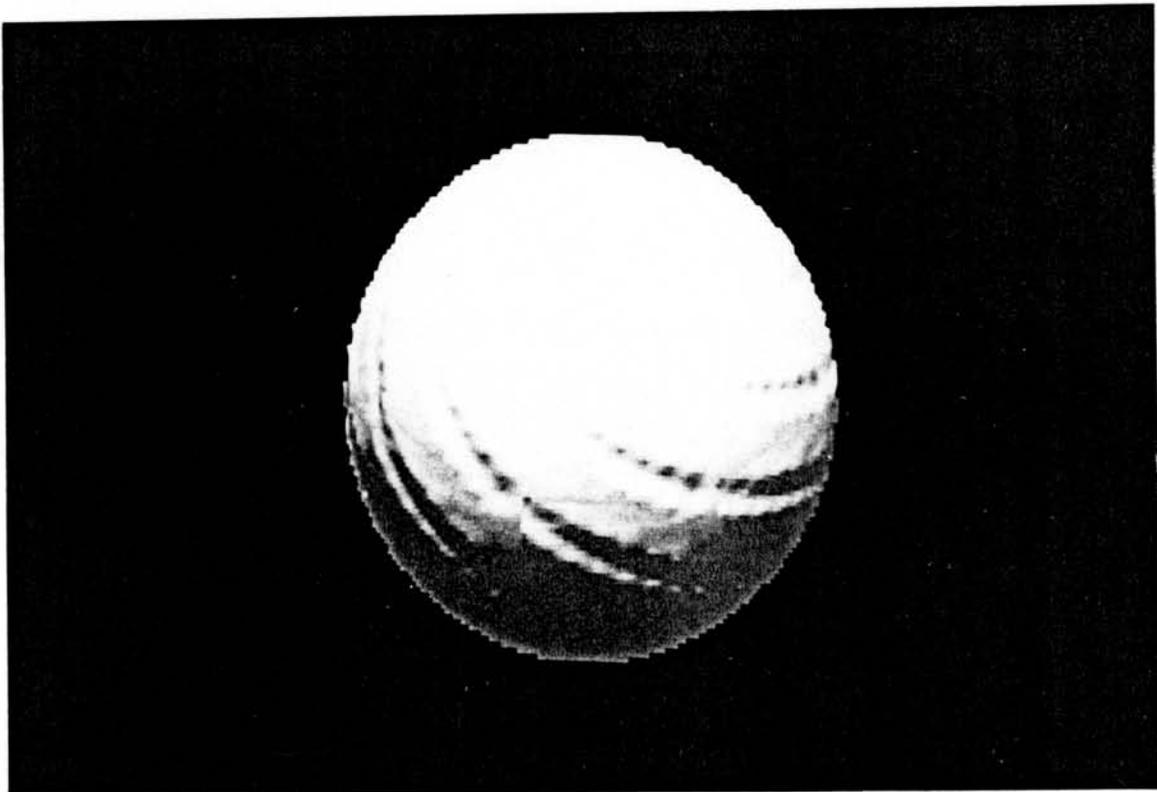


Fig. 6.5 - Imagem com Aplicação de "Bump Mapping"

A função de perturbação é usualmente definida através de um "array" bidimensional com os valores de perturbação. A fim de diminuir o tamanho deste "array", optou-se pela definição de uma pequena tabela que é replicada sobre a esfera formando a função completa e periódica.

### 6.2.3 Textura Sólida

Devido à limitação do número de cores, não investigou-se funções de textura sólida altamente complexas. Desta forma, as funções de projeção possibilitaram verificar o potencial de aplicação da textura sólida naqueles casos em que esta técnica apresenta vantagens nitidas sobre o mapeamento.

Um destes casos é o da textura sólida obtida através da função de projeção de círculos concêntricos conforme ilustra a figura 6.6 onde uma imagem de aplicação da técnica no modo 640 x 480 "pixels" é apresentada.

O mapeamento simples da imagem destes mesmos círculos resultaria na indesejável distorção nos pólos da esfera, que não ocorre utilizando-se a função 3D.

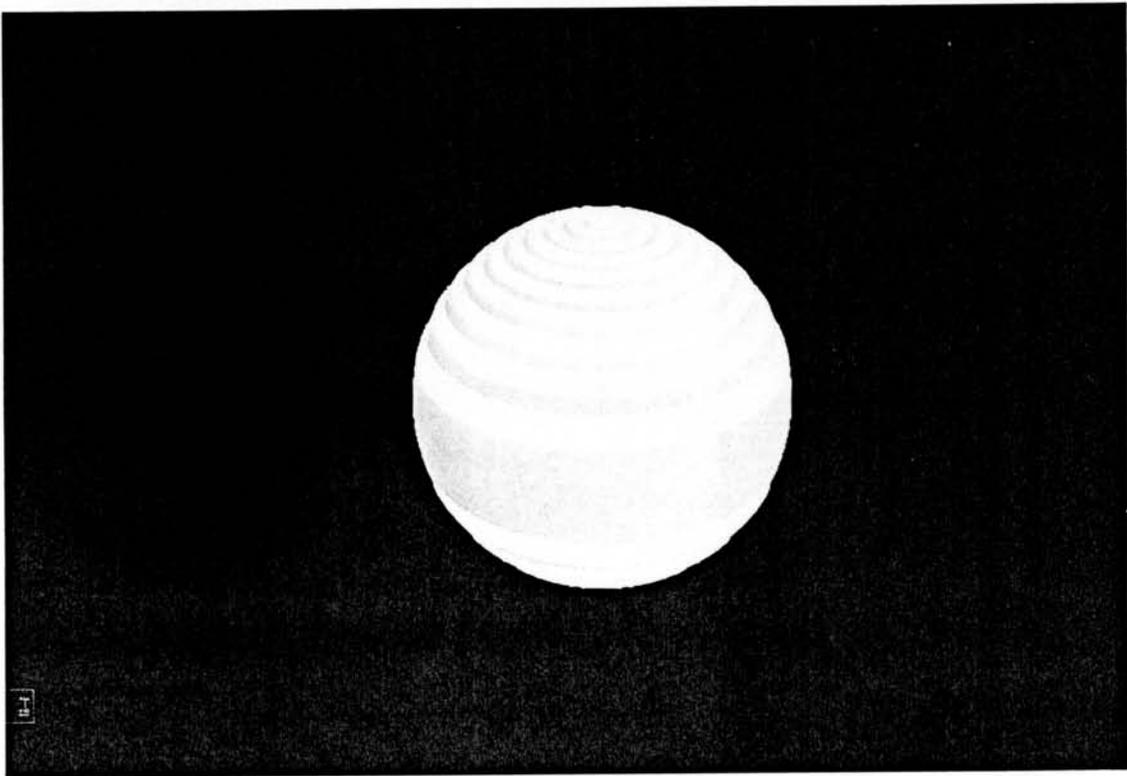


Fig. 6.6 - Imagem de Textura Sólida

Da mesma forma que no mapeamento, a aplicação da textura possibilitou a percepção do volume da esfera, de outro modo impossível.

Os melhores resultados da textura sólida estão na simulação de materiais como mármore que exigem a priori uma grande quantidade de cores e alta resolução, não sendo portanto funções viáveis neste estudo.

#### 6.2.4 Padrões

As imagens obtidas através do uso de padrões apresentaram resultados altamente satisfatórios considerando-se o número reduzido de cores presentes, como no caso da imagem da figura 6.7, onde apenas 14 cores foram utilizadas. Nesta imagem o mapa de textura definido pelo usuário foi o mesmo utilizado para síntese da imagem da figura 6.4.

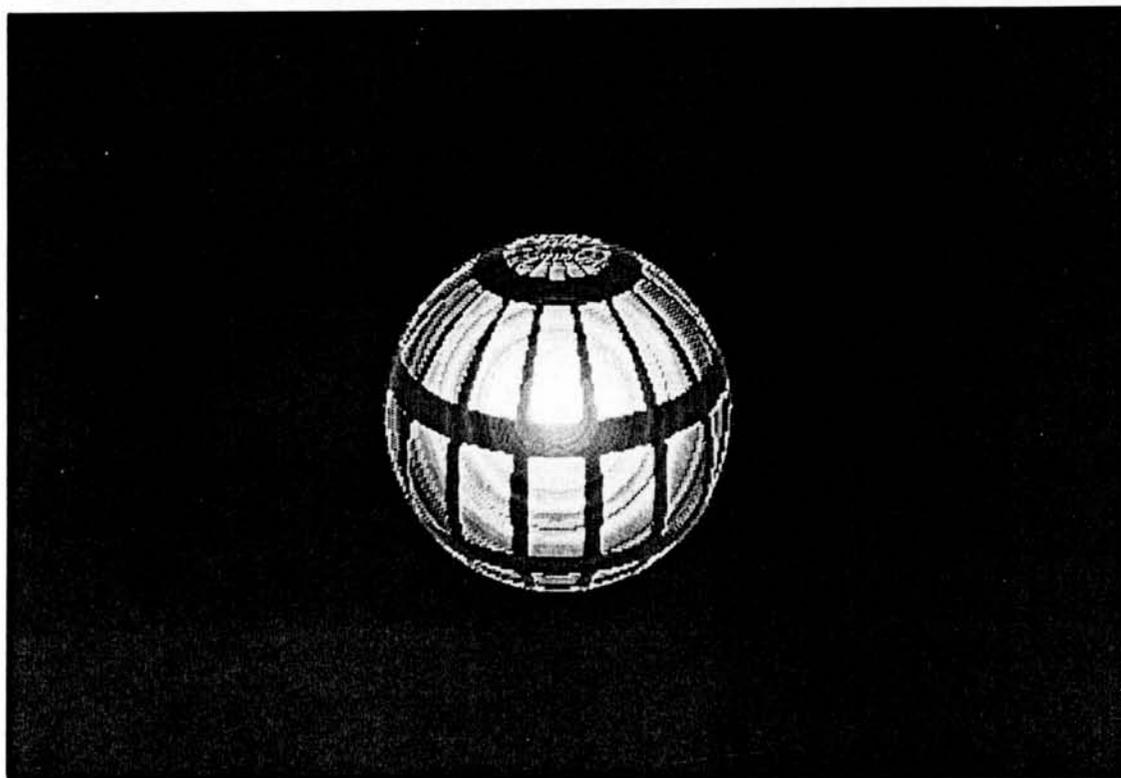


Fig. 6.7 - Imagem de Mapeamento de Textura com Uso de Padrões

A utilização de padrões, no caso específico da VGA, não apresentou resultados superiores aos obtidos com a placa no modo 320 x 200 "pixels" e 256 cores, não sendo, portanto, indicada sua utilização neste contexto. A observação das figuras 6.4 e 6.7 ilustra esta constatação.

No caso de um ambiente sem a possibilidade das 256 cores (como um ambiente com a placa EGA, por exemplo), o uso de padrões certamente possibilitaria um incremento significativo nas imagens. Cabe ressaltar, no entanto, a grande complexidade no estabelecimento das cores e das combinações possíveis, o que ocasiona um aumento no tempo necessário para a síntese das imagens.

### 6.3 Conclusões

As imagens sintetizadas confirmam a viabilidade da placa VGA em aplicações que envolvam algum realismo. As imagens aqui apresentadas não esgotaram as inúmeras possibilidades representadas pelas técnicas selecionadas e implementadas. Elas fornecem apenas uma idéia do que se pode obter.

A aplicação de alguma técnica de "anti-aliasing" pode vir a melhorar a qualidade das imagens com resolução de 320 x 200 "pixels".

Os trabalhos de implementação confirmaram o mapeamento de texturas como a técnica mais genérica e direta para síntese de texturas. A sua utilização permite resultados satisfatórios na maioria das vezes, sem necessidade de muitos procedimentos particulares que reduziriam sua generalização.

## 7 CONCLUSÕES FINAIS

As principais conclusões envolvendo especificamente as imagens sintetizadas foram apresentadas no capítulo seis. Aqui apresenta-se outras considerações finais derivadas deste estudo:

a) a ausência de uma definição precisa e única para textura não apresenta maiores reflexos sobre os trabalhos desenvolvidos em Computação Gráfica. A idéia de textura em Computação Gráfica ultrapassa um pouco a do senso-comum e pode ser resumida como sendo qualquer informação visual que aumente o realismo da cena ou objetos sintetizados;

b) a grande quantidade de informação visual que normalmente está associada à textura certamente fortalecerá o desenvolvimento de modelos e técnicas que privilegiem uma estrutura hierárquica para formação da textura, onde a textura final e altamente complexa é obtida por operações e combinações sobre texturas mais simples;

c) as várias técnicas relacionadas a textura existentes em Computação Gráfica permitem um sem número de diferentes texturas. No entanto, esta é provavelmente uma das áreas de Computação Gráfica que ainda necessita de muitas pesquisas, seja no aperfeiçoamento das técnicas já existentes, como os problemas de mapeamento em superfícies complexas, seja no desenvolvimento de novas técnicas. Texturas como a da pele de uma pessoa ainda não estão bem resolvidas;

d) a placa VGA, conforme apresentado em /CAR 90/ deverá se firmar e manter-se ainda por um bom tempo como opção de placa gráfica para instalações de pequeno porte no Brasil. Aplicações que explorem mais o modo de trabalho com o número máximo de cores da placa deverão surgir como

opção a placas mais poderosas e mais caras, apesar da baixa resolução associada a este modo. FastCAD, por exemplo, (/PRO 90/), é um "software" que adiciona realismo a cenas de ambientes arquitetônicos com possibilidade de exibição na placa VGA no modo acima mencionado;

e) as imagens sintetizadas possibilitaram dimensionar melhor a viabilidade de utilização da placa VGA para obtenção de realismo no aspecto exclusivo relacionado à síntese de texturas, mas não esgotaram as técnicas a serem aplicadas para incremento do realismo. Num ambiente para síntese de cenas realistas, outros aspectos estariam presentes, como modelos de iluminação mais sofisticados, proporcionando cenas mais complexas que ressaltariam ainda mais a viabilidade da placa VGA para aplicações que envolvam realismo;

f) as técnicas selecionadas para implementação têm aplicação generalizada em relação ao ambiente, isto é, apesar de possuírem características que as favorecem para aplicação no ambiente limitado, elas são aplicáveis igualmente num ambiente não limitado.

O estudo feito até aqui abrangeu uma grande quantidade de assuntos inter-relacionados que possibilitarão estudos futuros, listados a seguir:

a) a aplicação dos padrões para superar as limitações do ambiente não esgota as possibilidades para aplicação de técnicas de "dithering" no contexto deste trabalho;

b) a ausência de "driver" de acesso à placa VGA no modo com 256 cores implicou a construção de rotinas básicas para possibilitar o trabalho com a placa neste modo. Os procedimentos implementados constituem um

subconjunto mínimo para trabalho, mas estão aquém do necessário para trabalhos que explorem mais profunda e eficientemente a placa VGA neste modo. Procedimentos gráficos e de uso geral para um trabalho mais confortável com a placa neste modo possibilitarão o desenvolvimento mais imediato de aplicações que se beneficiem da placa VGA com 256 cores;

c) como já mencionado, algumas texturas ainda são proibitivas computacionalmente, seja por custo de tempo ou pela inexistência de técnicas apropriadas. O levantamento das técnicas acentuou as possibilidades existentes e mostrou as prováveis direções das pesquisas futuras nesta área;

d) pesquisas ainda deverão ser direcionadas no sentido de equacionar certos problemas do mapeamento de texturas como a distorção inerente, descontinuidades em superfícies complexas e parametrização eficiente de polígonos;

e) a utilização dos padrões esteve limitada a uma situação específica que direcionou o desenvolvimento dos estudos. Tentativas de utilização dos padrões num outro contexto mais amplo possibilitarão dimensionar melhor a viabilidade de tal técnica para incremento do realismo em determinadas situações.

**BIBLIOGRAFIA**

- /AMA 87/ AMANATIDES, John. Realism in Computer Graphics: a Survey. **IEEE Computer Graphics and Applications**, New York, 7(1):44-56, Jan. 1987.
- /BAR 88/ BARNESLEY, Michael F. et al. **The Science of Fractal Images**. New York, Springer-Verlag, 1988.
- /BIE 86/ BIER, Eric A. & SLOAN, K.R. Two-part Texture Mappings. **IEEE Computer Graphics and Applications**, New York, 6(9):40-53, Sept. 1986.
- /BLI 78/ BLINN, James F. Simulation of Wrinkled Surfaces. In: SIGGRAPH 78 CONFERENCE, Atlanta, August 23-25, 1978. **Proceedings**. New York, ACM, 1978. p.286-92.
- /BLI 77/ BLINN, James F. Models of Light Refelection for Computer Synthesized Pictures. In: SIGGRAPH 77 CONFERENCE, San Jose, July 20-22, 1977. **Proceedings**. New York, ACM, 1977. p.192-8.
- /BLI 76/ BLINN, James F. Texture and Reflection in Computer Generated Images. **Communications of the ACM**, New York, 19(10):542-47, Oct. 1976.

- /BLO 85/ BLOOMENTHAL, Jules. Modeling the Mighty Maple. In: SIGGRAPH 85 CONFERENCE, San Francisco, July 22-26, 1985. **Proceedings**. New York, ACM, 1985. p.305-11.
- /BRO 66/ BRODATZ, Phil. **Textures**. New York, Dover, 1966.
- /CAR 90/ CARDOSO, Antônio S.S. Monitores de vídeo, um outro "show" nas telas. **PC Mundo**, Rio de Janeiro, VI(64):20-8, Nov. 1990.
- /CAR 85/ CAREY, R.J. & GREENBERG, D.P. Textures for Realistic Image Synthesis. **Computer & Graphics**, Oxford, 9(2):125-38, Apr. 1985.
- /CAT 75/ CATMULL, Edwin E. Computer Display of Curved Surfaces. In: CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS, PATTERN RECOGNITION and DATA STRUCTURES, Los Angeles, May 14-16, 1975. **Proceedings**. New York, IEEE, 1975. p.11-7.
- /CAT 74/ CATMULL, Edwin E. **A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces**. Utah, Department of Computer Science, University of Utah, 1974. (PhD dissertation, Technical Report UTEC-CSc-74-133).
- /COO 84/ COOK, Robert L. Shade Trees. In: SIGGRAPH 84 CONFERENCE, Minneapolis, July 23-27, 1984. **Proceedings**. New York, ACM, 1984. p.223-231.

- /COO 82/ COOK, Robert L. & TORRANCE, Kenneth E. A Reflectance Model for Computer Graphics. **ACM Transactions on Graphics**, New York, 1(1):7-24, Jan. 1982.
- /CRO 84/ CROW, Franklin C. Summed Area-Tables for Texture Mapping. In: SIGGRAPH 84 CONFERENCE, Minneapolis, July 23-27, 1984. **Proceedings**. New York, ACM, 1984. p.207-12.
- /CRO 83/ CROSS, George R. & JAIN, Anil K. Markov Random Field Texture Models. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, New York, PAMI-5(1):25-39, Jan. 1983.
- /CRO 80/ CROSS, George R. **Markov Random Field Texture Models**. Michigan, Department of Computer Science, Michigan State University, 1980. (PhD dissertation, Technical Report 80-02).
- /DUN 78/ DUNGAN, W. et al. Texture Tile Considerations for Raster Graphics. In: SIGGRAPH 78 CONFERENCE, Atlanta, August 23-25, 1978. **Proceedings**. New York, ACM, 1978. p. 130-4.
- /ENC 89/ ENCARNAÇÃO, J.L. et al. **A Hierarchical Model for Texture Descriptions and Synthesis**. Darmstadt, GRIS, 1989. 17p.

- /ENG 89/ ENGLERT, G. & SAKAS, G. A Model for Description and Synthesis of Heterogeneous Textures. In: EUROPEAN COMPUTER GRAPHICS CONFERENCE, Hamburg, Sept. 4-8, 1989. **Proceedings**. Amsterdam, North-Holland, 1989. p.245-56.
- /FER 88/ FERRARO, Richard. **Programer's Guide to the EGA and VGA Cards**. Reading, Addison-Wesley, 1988.
- /FER 86/ FERREIRA, A.B. de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.
- /FOL 90/ FOLEY, James D. et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. Reading, Addison-Wesley, 1990.
- /FOU 82/ FOURNIER et al. Computer Rendering of Stochastic Models. **Communications of the ACM**, New York, 25(6):371-84, June 1982.
- /FU 80/ FU, K.S. Syntactic Image Modeling using Stochastic Tree Grammars. **Computer Graphics and Image Processing**, Duluth, 12(2):136-52, Feb. 1980.
- /FU 78/ FU, K.S. & LU, S.Y. Computer Generation of Texture using a Syntactic Approach. In: SIGGRAPH 78 CONFERENCE, Atlanta, August 23-25, 1978. **Proceedings**. New York, ACM, 1978. p. 147-52.

- /GAG 89/ GAGALOWICZ, A. & BENNIS, C. Hierarchical Texture Synthesis on 3-D surfaces. In: EUROPEAN COMPUTER GRAPHICS CONFERENCE, Hamburg, Sept. 4-8, 1989. **Proceedings.** Amsterdam, North-Holland, 1989. p.257-69.
- /GAG 85/ GAGALOWICZ, A. & DE MA, S. Sequential Synthesis of Natural Textures. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, Duluth, 30(3):289-315, June 1985.
- /GAG85a/ GAGALOWICZ, A. & MA, S. Model Driven Synthesis of Natural Textures for 3-D Scenes. In: EUROPEAN COMPUTER GRAPHICS CONFERENCE, Nice, September 9-13, 1985. **Proceedings.** Amsterdam, North-Holland, 1985. p.91-108.
- /GAG 81/ GAGALOWICZ, André. A New Method for Texture Fields Synthesis: Some Applications to the Study of Human Vision. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, New York, PAMI-3(5):520-33, Sept. 1981.
- /GAR 85/ GARDNER, Geoffrey Y. Visual Simulation of Clouds. In: SIGGRAPH 85 CONFERENCE, San Francisco, July 22-26, 1985. **Proceedings.** New York, ACM, 1985. p.297-303.

- /GAR 84/ GARDNER, Geoffrey Y. Simulation of Natural Scenes using Textured Quadric Surfaces. In: SIGGRAPH 84 CONFERENCE, Minneapolis, July 23-27, 1984. **Proceedings**. New York, ACM, 1984. p.11-20.
- /GOM 90/ GOMES, J.M. & VELHO, L.C. **Conceitos Básicos de Computação Gráfica**. São Paulo, IME-USP, 1990. Curso apresentado na VII Escola de Computação, São Paulo, 1990.
- /GOT 90/ GOTLIEB, Calvin C. & KREYSZIG, H.E. Texture Descriptors Based on Co-ocurrence Matrices. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, Duluth, 51(1):70-86, July 1990.
- /GRE 86/ GREENE, Ned. Environment Mapping and Other Applications of World Projections. **IEEE Computer Graphics and Applications**, New York, 6(11):21-9, Nov. 1986.
- /HAL 79/ HALL, Ernest L. Image Formation and Perception. In: **Computer Image Processing and Recognition**. New York, Academic Press, 1979. cap. 2, p.8-75.
- /HAR 79/ HARALICK, Robert M. Statistical and Structural Approaches to Texture. **Proceedings of the IEEE**, New York, 67(5):786-804, May 1979.
- /HEC 86/ HECKBERT, Paul S. Survey of Texture Mapping. **IEEE Computer Graphics and Applications**, New York, 6(11):56-67, Nov. 1986.

- /JUL 75/ JULESZ, Bela. Experiments in the Visual Perception of Texture. **Scientific American**, New York, **232**(4):34-43, April 1975.
- /JUL 73/ JULESZ, Bela et al. Inability of humans to discriminate between visual textures that agree in second-order statistics- revisited. **Perception**, London, **2**():391-405, 1973.
- /JUL 65/ JULESZ, Bela. Texture and Visual Perception. **Scientific American**, New York, **212**(2):38-48, Feb. 1965.
- /KAU 88/ KAUFMANN, Arie. TSL - a Texture Synthesis Language. **The Visual Computer**, Berlin, **4**(3):148-58, Sept. 1988.
- /KAU 85/ KAUFMANN, Arie & AZARIA, S. Texture Synthesis Techniques for Computer Graphics. **Computer & Graphics**, Oxford, **9**(2):139-45, Apr. 1985.
- /LAN 80/ LANE, Jeffrey M. et al. Scan Line Methods for Displaying Parametrically Defined Surfaces. **Communications of the ACM**, New York, **23**(1):23-34, Jan. 1980.
- /LU 79/ LU, S.Y. & FU, K.S. Stochastic Tree Grammar Inference for Texture Synthesis and Discrimination. **Computer Graphics and Image Processing**, Duluth, **9**(3):234-45, Mar. 1979.

/LU 78/ LU, S.Y. & FU, K.S. A Syntactic Approach to Texture Analysis. **Computer Graphics and Image Processing**, Duluth, 7(3):303-30, June 1978.

/MA 88/ MA, S. & LIN, H. Optimal Texture Mapping. In: EUROPEAN COMPUTER GRAPHICS CONFERENCE, Nice, September 12-16, 1988. **Proceedings**. Amsterdam, North-Holland, 1988. p.421-8.

/MAN 83/ MANDELBROT, B.B. **The Fractal Geometry of Nature**. New York, W.H. Freeman and Company, 1983.

/MAN 75/ MANDELBROT, B.B. On the geometry of homogeneous turbulence with stress on the fractal dimension of iso-surfaces of scalars. **Journal of Fluid Mechanics**, London, 72(2):401-16, 1975.

/MON 81/ MONNE, J.; SCHMITT, F.; MASSALOUX, D. Bidimensional Texture Synthesis by Markov Chains. **Computer Graphics and Image Processing**, Duluth, 17(1):1-23, Sept. 1981.

/NEW 79/ NEWMAN, W.M. & SPROULL, R.F. Texture and Reflections. In: **Principles of Interactive Computer Graphics**. New York, McGraw-Hill, 1979. chap. 25, p.389-410.

/OSO 89/ OSÓRIO, Fernando Santos. **Um Estudo sobre Fractals: Geração e Usos**. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1989.

- /PAR 85/ PARK, Chan S. Mathematical Elements in 3-D Graphics. In: **Interactive Microcomputer Graphics**. Reading, Addison-Wesley, 1985. chap. 4, p.133-80.
- /PEA 85/ PEACHEY, Darwyn R. Solid Texturing of Complex Surfaces. In: SIGGRAPH 85 CONFERENCE, San Francisco, July 22-26, 1985. **Proceedings**. New York, ACM, 1985. p. 279-86.
- /PER 85/ PERLIN, K. An Image Synthesizer. In: SIGGRAPH 85 CONFERENCE, San Francisco, July 22-26, 1985. **Proceedings**. New York, ACM, 1985. p. 287-96.
- /PIX sd/ PIXAR. **Glossary of Technical Terms**. San Rafael, s.d.
- /POR 84/ PORTER, T. & DUFF, T. Compositing Digital Images. In: SIGGRAPH 84 CONFERENCE, Minneapolis, July 23-27, 1984. **Proceedings**. New York, ACM, 1984. p. 253-59.
- /PRO 90/ PROSISE, Jeff. FastCAD 3D with RenderMan: The Shape of CAD to Come. **PC Magazine**, New York, 9(16):38, Sept. 90.

- /REE 85/ REEVES, W.T. & BLAU, R. Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particle Systems. In: SIGGRAPH 85 CONFERENCE, San Francisco, July 22-26, 1985. **Proceedings**. New York, ACM, 1985. p.313-22.
- /REE 83/ REEVES, W.T. Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. In: SIGGRAPH 83 CONFERENCE, Detroit, July 25-29, 1983. **Proceedings**. New York, ACM, 1983. p.359-76.
- /ROG 85/ ROGERS, David F. **Procedural Elements for Computer Graphics**. Singapore, McGraw-Hill, 1985.
- /SCH 83/ SCHWEITZER, Dino. Artificial Texturing - an Aid to Surface Visualization. In: SIGGRAPH 83 CONFERENCE, Detroit, July 25-29, 1983. **Proceedings**. New York, ACM, 1983. p.23-9.
- /SCH 79/ SCHACHTER, B. & AHUJA, N. Random Pattern Generation Process. **Computer Graphics and Image Processing**, Duluth, 10(2):95-114, June 1979.
- /SCH 78/ SCHACHTER, Bruce J. et al. Random Mosaic Models for Textures. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, New York, SMC-8(9):694-702, Sept. 1978.

- /SUT 72/ SUTTON, Richard & HALL, E.L. Texture Measures for Automatic Classification of Pulmonary Disease. **IEEE Transactions on Computers**, New York, **C-21(7):667-76**, July 1972.
- /TAM 78/ TAMURA, H.; MORI, S.; YAMAWAKI, T. Textural Features Corresponding to Visual Perception. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, New York, **SMC-8(6):460-73**, June 1978.
- /THA 88/ THALMANN, N. & THALMANN, D. **Advanced Course on Image Synthesis and Computer Animation**. Campinas, 1988. Part 5 - Textures, p. 34-8. Curso apresentado na Sexta Escola de Computação, Campinas, 1988.
- /THA 86/ THALMANN et al. The Integration of Particle and Polygon Rendering using an A-Buffer Algorithm. In: **EUROPEAN COMPUTER GRAPHICS CONFERENCE**, Lisbon, August 19-25, 1986. **Proceedings**. Amsterdam, North-Holland, 1986. p.161-9.
- /THA 84/ THALMANN et al. Colour Gradation, Shading and Texture using a Limited Terminal. **Computer Graphics Forum**, Amsterdam, **3(1):83-90**, Mar. 1984.

/YES 79/ YESSIOS, Chris I. Computer Drafting of  
Stones, Wood, Plant and Ground Materials.  
In: SIGGRAPH 79 CONFERENCE, Chicago, August  
8-10, 1979. **Proceedings**. New York, ACM,  
1979. p.190-8.

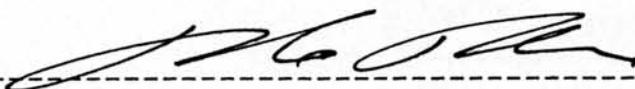
/ZUC 76/ ZUCKER, Steven W. Toward a Model of Texture.  
**Computer Graphics and Image Processing**,  
Duluth, 5:190-202, 1976.

/ZUC 75/ ZUCKER, S.W. et al. Picture Segmentation by  
Texture Discrimination. **IEEE Transactions**  
**on Computers**, New York, C-24(12):1228-33,  
Dec. 1975.

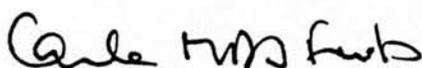
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

A obtenção de texturas na síntese de imagens realísticas  
num ambiente limitado.

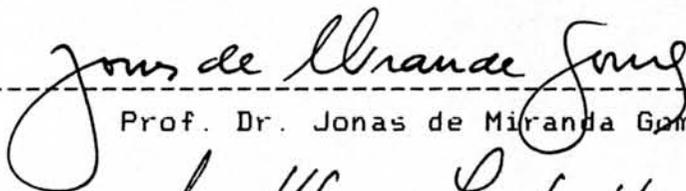
Dissertação apresentada aos Srs.



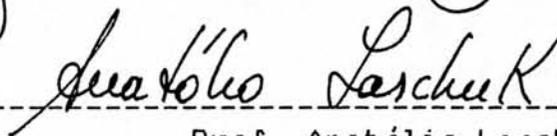
Prof. Dr. Ricardo A. da L. Reis



Profa. Carla Maria Dal S. Freitas



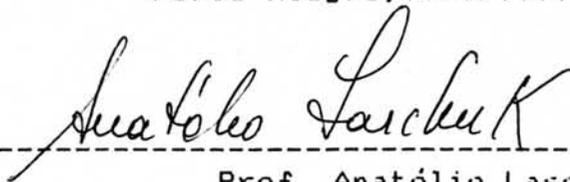
Prof. Dr. Jonas de Miranda Gomes (IMPA)



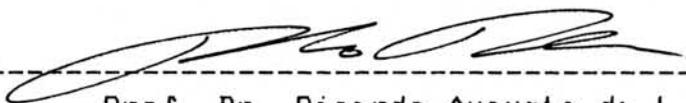
Prof. Anatólio Laschuk

Visto e permitida a impressão

Porto Alegre, 24. // .04. // .91. . . .



Prof. Anatólio Laschuk  
Orientador



Prof. Dr. Ricardo Augusto da L. Reis  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Ciência da Computação