

**Sergio Estevão Machado
Lisboa Pinheiro**

**Um sistema de cache
preditivo para o
processamento em
tempo-real de grandes
volumes de dados gráficos**

TESE DE DOUTORADO

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
Programa de Pós-graduação em
Informática**

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2004

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Sergio Estevão Machado Lisboa Pinheiro

**Um sistema de cache preditivo para o
processamento em tempo-real de grandes
volumes de dados gráficos**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio
como parte dos requisitos parciais para obtenção do título
de Doutor em Informática

Orientador: Prof. Luiz Carlos Pacheco R. Velho
Co-Orientador: Prof. Waldemar Celes

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2004



Sergio Estevão Machado Lisboa Pinheiro

**Um sistema de cache preditivo para o
processamento em tempo-real de grandes
volumes de dados gráficos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Informática do Departamento de Informática do Centro
Técnico Científico da PUC-Rio como parte dos requisitos
parciais para obtenção do título de Doutor em
Informática Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo
assinada.

Prof. Luiz Carlos Pacheco R. Velho

Orientador
Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes

Co-Orientador
Departamento de Informática — PUC-Rio

Prof. Marcelo Gattass

PUC-RIO

Prof. Marco Antonio Casanova

PUC-RIO

Prof. Gilberto Camara

INPE

Prof. Paulo Cezar

IMPA

Prof. Renato Cerqueira

PUC-RIO

Prof. Luiz Henrique Figueredo

IMPA

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de Fevereiro de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Sergio Estevão Machado Lisboa Pinheiro

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Fez mestrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RIO em Computação Gráfica

Ficha Catalográfica

Pinheiro, Sergio

Um sistema de cache preditivo para o processamento em tempo-real de grandes volumes de dados gráficos/ Sergio Estevão Machado Lisboa Pinheiro; orientador: Luiz Carlos Pacheco R. Velho; co-orientador: Waldemar Celes. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2004.

v., 203 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Sistema de Gerenciamento de Memória Preditivo 3. Textura em MultiResolução. 4. Multi-Resolução Adaptativa 5. Visualização de Panoramas Virtuais. 6. Visualização de Imagens de Satélite. I. Velho, Luiz. II. Celes, Waldemar. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

Agradecimentos

A Deus por todos os dias bons e por ter me ajudado nos dias ruins da minha vida.

A minha família, meus pais Rogério e Telma, aos meus irmãos Flávio, Virna e Adelailson, por todo o apoio e carinho que foram essenciais para superar os momentos difíceis.

Ao meu amor Tatiana por toda paciência, apoio, carinho e muito amor que me deram muita força e serenidade durante a minha jornada. À minha madrinha Maria Tarcisa que me acolheu com o mesmo carinho.

Aos meus orientadores Luiz Velho e Waldemar Celes por toda a paciência, experiência e amizade as quais foram fundamentais para a elaboração e conclusão deste trabalho.

A todos os meus amigos do Visgraf e do IMPA pelo ótimo ambiente de trabalho e que sempre se colocaram a disposição para tirar dúvidas e ajudar no que fosse necessário.

A todos os meus amigos do Triatlon, em especial ao Treinador Cezar Couto, pelas palavras de apoio e pelos treinos sempre descontraídos que me fizeram relaxar e encarar a vida de uma maneira mais saudável.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e à PUC-RIO pela bolsa de isenção de pagamento, pois sem esse incentivo financeiro não seria possível desenvolver e concluir este trabalho.

À minha avó Zenaide e aos meus pais, Rogério e Telma. Ao meu amor
Tatiana.

Resumo

Pinheiro, Sergio; Velho, Luiz; Celes, Waldemar. **Um sistema de cache preditivo para o processamento em tempo-real de grandes volumes de dados gráficos**. Rio de Janeiro, 2004. 203p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Atualmente, diversas áreas de Computação Gráfica necessitam processar uma grande quantidade de dados. Para visualizar em tempo-real esses dados é necessário lidar com dois tipos de problema. O primeiro está relacionado com o pouco tempo destinado para realizar os cálculos no processo de síntese de imagem. O segundo problema surge da capacidade limitada de armazenamento dos dispositivos de alta velocidade, como memórias RAM e de textura. Para resolver o primeiro problema, este trabalho utilizou a técnica de multi-resolução para representar os dados gráficos. A representação em multi-resolução permite que a quantidade de dados processada durante a visualização seja praticamente constante. O segundo problema foi resolvido a partir de um sistema de gerenciamento de memória preditivo baseado no modelo de memória virtual. Este trabalho propõe uma arquitetura que permite que qualquer tipo de dispositivo de armazenamento seja inserido. Os dispositivos estão organizados em seqüência. O funcionamento do sistema consiste em reservar um espaço de memória em cada dispositivo e gerenciar esse espaço de forma otimizada. O sistema de predição tem a finalidade de carregar antecipadamente os dados que serão provavelmente utilizados pela aplicação num futuro próximo. Este trabalho propõe um algoritmo de predição adaptativo específico para o problema de visualização. Este algoritmo explora as informações sobre as variações dos parâmetros da câmera e as informações sobre a taxa de transferência de dados, que são usadas para decidir o que deve ser carregado. As informações dos parâmetros da câmera ajudam a determinar os dados que possivelmente serão utilizados pela aplicação. A informação da taxa de transmissão é utilizada para decidir qual o nível de resolução desses dados que devem ser carregados antecipadamente para os dispositivos de alta velocidade. O sistema de gerenciamento de memória preditivo foi testado em aplicações de visualização de imagens de satélite e panoramas virtuais, em tempo-real.

Palavras-chave

Cache Preditivo; Imagem de Satélite; Panorama Virtual; Multi-Resolução Adaptativa; Visualização em tempo-real

Abstract

Pinheiro, Sergio; Velho, Luiz; Celes, Waldemar. **A predictive cache system for real-time processing of large 2D graphical data**. Rio de Janeiro, 2004. 203p. PhD. Thesis — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nowadays, many areas of computer graphics need to process a huge amount of data. In order to visualize the data in real-time, it is necessary to solve two different problems. The first problem is the limited time available to perform rendering. The second one arises from the restricted capacity of storage high-speed memories, like RAM and texture memories. In order to solve the first problem, this work has used multi-resolution techniques. The multi-resolution representation allows the application to work with a constant amount of data during the rendering process. The second problem has been solved by a predictive management memory system based on the virtual memory model. This work proposes an architecture that allows any storage device to be incorporated in the system. Devices are organized sequentially. The heart of the system consists in allocating an area of memory for each device and managing this space optimally. The predictive system aims to load in advance. The data that will probably be used by the application in the near future. This work proposes a specific adaptative prediction algorithm for the visualization problem. This algorithm exploits the information about the camera parameter variations as well as the data transfer rate, in order to decide what should be loaded. The camera parameters are used to determine which data will possibly be used by the application. The transfer rate is used to decide which resolution level of the data should be loaded to the high-speed devices, in advance. The predictive memory management system has been tested for real-time visualization of satellite images and virtual panoramas.

Keywords

Predictive Cache; Virtual Memory; Adaptative Multi-Resolution; Satellite Image; Virtual Panorama; Real-Time Visualization

Sumário

1	Introdução	22
1.1	Motivação	23
1.2	Problemas e Soluções	23
1.3	Objetivos	29
1.4	Contribuições	31
1.5	Estrutura	32
2	Trabalhos Relacionados	34
2.1	Técnicas de Multi-Resolução	34
2.2	Técnicas de Gerenciamento de Memória	39
2.3	Discussão Contextual	48
3	Objeto Gráfico 2D	51
3.1	Conceito de Objeto Gráfico	52
3.2	Geometria × Atributos	53
3.3	Exemplos de Objetos Gráficos 2D	56
4	Decomposição e Multi-Resolução	61
4.1	Decomposição do Objeto Gráfico	62
4.2	Multi-Resolução Adaptativa	63
4.3	Função de Mapeamento de Textura	70
4.4	Estrutura de Dados	75
5	Visualização	81
5.1	Visualização de Objetos Gráficos 2D	81
5.2	Imagens de Satélite	82
5.3	Panoramas Virtuais	89
6	Sistema de Gerenciamento de Memória	96
6.1	Arquitetura do sistema	97
6.2	Estágios de Armazenamento	104
6.3	Sistema de Paginação	115
6.4	Interface com as Aplicações	119
6.5	Interface com os Objetos Gráficos	124
7	Sistema de Predição Adaptativo	127
7.1	Sistema de Carregamento de Páginas	128
7.2	Sistema de Liberação de Páginas	143
7.3	Tratamento de Ausência de Páginas	147
8	Estudo de Caso	150
8.1	Multi-Resolução Adaptativa	150
8.2	Sistema de Gerenciamento de Memória	166

9	Conclusões e Trabalhos Futuros	187
9.1	Trabalhos Futuros	191
A	Sistema de Memória Virtual	197
A.1	Memória Virtual	197
A.2	Mecanismo de Paginação	199

Lista de Figuras

- | | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Hierarquia simples(a) e complexa(b) de processamento e armazenamento. | 24 |
| 1.2 | A parte superior ilustra uma imagem de satélite representada em diferentes níveis de detalhes. A parte inferior mostra a visualização desses níveis de detalhes na resolução correta. | 28 |
| 1.3 | Objetos gráficos 2D: (a) Imagem de satélite; (b) Panorama virtual. | 30 |
| 1.4 | A seqüência de operações realizadas para visualizar um objeto gráfico 2D. | 31 |
| 2.1 | Superfície representada em três níveis de resolução | 35 |
| 2.2 | Malhas regulares e irregulares | 35 |
| 2.3 | Representação em multi-resolução de uma textura; (a) Todos os níveis estão completos; (b) Eliminação das texturas dos ladrilhos que não acrescentam informação em relação ao nível de menor resolução. | 38 |
| 2.4 | Mecanismo de mapeamento de arquivo em memória; (a) As regiões do arquivo que contêm dados visíveis são mapeadas em memória; (b) O problema de ausência de páginas no caso de mudança de movimento. | 42 |
| 2.5 | (a) O <i>ClipSize</i> defini o tamanho região do mipmap que ficará armazenada em memória; (b) O <i>InvalidBorder</i> defini a área de memória reservada para armazenar as texturas carregadas pelo sistema de predição; (c) No endereçamento toroidal a textura do topo é carregada em baixo, a textura da direita é carregada na esquerda, a textura do canto superior é carregada no canto inferior. | 45 |
| 2.6 | Técnica de gerenciamento de memória para interiores de edifícios e casas; (a) Árvore que representa a visibilidade de uma célula em relação as demais células; (b) As células são classificadas de acordo com o tempo que levará para a câmera visitá-las. O sombreado das células mostra nível de resolução dos objetos que estão na memória (quanto mais escuro maior o nível de resolução). | 46 |
| 2.7 | Mecanismo de carregamento de dados para ambientes virtuais; (a) Região esférica em torno do observador; (b) A região esférica é dividida em zonas. Essas zonas definem o nível de resolução do objeto que deve ser pedido e carregado na memória. | 46 |
| 2.8 | Mecanismo de predição para visualização de panoramas virtuais; (a) As páginas de texturas classificadas segundo o critério temporal; (b) As páginas de textura classificadas segundo o critério espacial (quando mais claro maior a prioridade da página). | 47 |

- 2.9 A interface, os estágios de armazenamento e as operações de movimentação de dados são independentes da aplicação. Os sistemas de paginação podem ser independentes ou dependentes da aplicação. 50
- 3.1 Descrição implícita de uma circunferência. Neste exemplo o suporte do objeto gráfico V é definido por $V = [-1, 1] \times [-1, 1]$, a função implícita é $g(x, y) = x^2 + y^2$ e $c = 1$. 54
- 3.2 Descrição paramétrica de um cilindro. O suporte paramétrico V é definido por $V = [0, 2\pi] \times [-1, 1]$ e a função paramétrica é $g(x, y) = (\cos(x), \sin(x), y)$. 55
- 3.3 Definição de mapeamento de textura. A função T é uma transformação e a função z é o mapeamento de textura. 56
- 3.4 Mapeamento de textura para objetos gráficos descritos parametricamente. 57
- 3.5 Conceito de objeto gráfico para representar imagens de satélite 58
- 3.6 Exemplo de um mapeamento de textura em uma panorama cilíndrica. 58
- 3.7 Um exemplo da utilização do conceito de objeto gráfico para representar dados de terreno. 59
- 4.1 Decomposição retangular uniforme de um objeto gráfico. 62
- 4.2 Construção da estrutura em multi-resolução de um objeto gráfico. A função de atributo representa um mapeamento de textura. 64
- 4.3 Representação em multi-resolução de uma panorama virtual do Rio de Janeiro. 65
- 4.4 A estrutura em multi-resolução permite acessar os ladrilhos de forma indexada ou a partir do percorrimento na quad-tree. 67
- 4.5 Método de construção da estrutura em multi-resolução adaptativa para objeto gráficos cuja função de atributo é um mapeamento de textura. 68
- 4.6 Especificando uma tolerância igual a dois; (a)Na simplificação com erro relativo as texturas do nível $k + 2$ e $K = +1$ são eliminadas. A reconstrução da textura utilizando apenas a textura do nível k resultará num erro maior que o especificado; (b)Na simplificação com erro acumulativo apenas as texturas do nível $K + 2$ são eliminadas. Assim, a textura será reconstruída utilizando o nível $k + 1$, onde o erro médio é menor que a tolerância especificada. 69
- 4.7 Representação em multi-resolução adaptativa obtida a partir do método de simplificação para textura. 71
- 4.8 Tipos de mapeamento de textura: (a)Mapeamento de todo o conjunto U no conjunto V ; (b)Mapeamento de uma pequena região retangular de U em V . 73

4.9	Mapeamento de texture em representação em multi-resolução; (a)Mostra as duas situações que podem ocorrer durante a fase de mapeamento; (b)Identificação dos ladrilhos filhos em relação ao seu pai;(c)Mapeamento de textura para a situação onde o nível de resolução do ladrilho geométrico difere do nível de resolução do ladrilho de textura.	74
4.10	Estrutura de dados que representa um objeto gráfico no nível de implementação.	75
4.11	Estrutura de dados que implementa a representação em multi-resolução da geometria e da textura de um objeto gráfico.	76
4.12	Estrutura de dados que contém informação gerais sobre a representação em multi-resolução.	76
4.13	Estrutura de dados para representar os ladrilhos de textura e os ladrilhos geométricos.	78
5.1	O modelo de câmera virtual utilizado para visualizar imagens de satélite.	83
5.2	Cálculo da área de interseção entre o volume de visão e o suporte geométrico da imagem de satélite. Essa região corresponde área que está sendo visualizada pela câmera virtual.	84
5.3	Os ladrilhos dentro da área visível são representados por uma sub-matriz. Os índices iniciais ($Index_{min}$) e finais ($Index_{max}$) dessa sub-matriz são obtidos a partir da transformação $T(Near_{invl})$ e $T(Near_{invr})$, respectivamente.	85
5.4	Modelo de camera utilizado para a visualização de panoramas virtuais.	90
5.5	Região formada pela interseção entre o volume de visão e a superfície panorâmica.	91
5.6	A região de interseção é determinada a partir de seis pontos. As coordenadas desses pontos são obtidas a partir dos parâmetros da camera virtual.	92
5.7	A transformação H converte as coordenadas dos pontos que delimitam a região de interseção em coordenadas do suporte paramétrico. A região pintada representa a sub-matriz de ladrilhos que estão dentro o campo de visão da câmera.	93
6.1	Hierarquia dos dispositivos de armazenamento e o conceito de dispositivo primário e secundário.	97
6.2	Arquitetura do sistema de gerenciamento de memória.	99
6.3	Mecanismo de paginação preditiva. Para facilitar a ilustração os sistemas de carregamento e liberação foram separados. No entanto, eles continuam fazendo parte de um sistema de paginação associado à um estágio de armazenamento.	100
6.4	Comunicação entre os sistemas de visualização e de gerenciamento de memória durante o processo de visualização. O sistema de gerenciamento é ilustrado com três estágios de armazenamento.	101
6.5	Organização do modelo de gerenciamento de memória para a visualização de objeto gráficos 2D.	102

6.6	Cada endereço lógico identifica unicamente um ladrilho de um objeto gráfico 2D.	103
6.7	Construção do espaço de endereçamento lógico de um objeto gráfico 2D. O ladrilho sem textura recebe automaticamente o endereço da textura o nível inferior.	103
6.8	Arquitetura de um estágio de armazenamento.	105
6.9	A memória real é o nível de abstração que permite a integração de qualquer dispositivo de armazenamento ao sistema.	106
6.10	A tabela de páginas definida dentro de uma memória real. Neste exemplo uma página é dividida em quadros blocos de dados.	107
6.11	A arquitetura do espaço de memória. Todas as operações de acesso, alocação e liberação fazem consultas a tabela de páginas.	107
6.12	A arquitetura e o funcionamento da unidade de controle. Essa figura ilustra o pior caso de funcionamento do sistema.	109
6.13	A tabela de mapeamento que é definida dentro de um estágio de armazenamento.	110
6.14	O funcionamento do sistema de transferência para realizar a operação de leitura. A operação de leitura é utilizada para transferir dados do estágio secundário para o estágio primário.	112
6.15	O funcionamento do sistema de transferência para realizar a operação de escrita. A operação de escrita é utilizada para transferir dados do estágio primário para o estágio secundário.	113
6.16	Arquitetura do sistema de monitoração das operações de acesso aos dados. Cada operação é convertida em um evento.	115
6.17	Organização e funcionamento básico de um sistema de carregamento de dados.	116
6.18	Organização e funcionamento básico de um sistema de liberação de páginas.	117
6.19	Arquitetura e funcionamento do sistema de tratamento de ausência de páginas. O sistema pode trocar informações com a unidade de controle. Essa troca de informações permite ao sistema realizar o pedido de carregamento da página. A unidade de controle responde ao pedido com o endereço real da página solicitada.	118
6.20	Fluxograma geral de uma aplicação de visualização (visualização de panoramas e imagens de satélite). Uma aplicação de visualização limita-se basicamente em processar os eventos vindos dos dispositivos de entrada e convertê-los em eventos de rendering.	120
6.21	Processo de criação dos objetos gráficos.	121
6.22	Estrutura de dados para cada objeto gráfico gerenciado pelo sistema.	122
6.23	Processo de visualização dos objetos gráficos.	123
6.24	As estruturas de dados utilizadas nas quatro operações de busca definidas para as aplicações de visualização.	125
7.1	Arquitetura e funcionamento do sistema de carregamento de páginas para aplicações de visualização.	129

- 7.2 Os ladrilhos que estão dentro ou que interceptam a área de carregamento possuem uma probabilidade maior de serem requeridos pela aplicação de visualização e devem ser carregados. 131
- 7.3 Os pedidos de carregamento dos endereços virtuais dos ladrilhos que estão dentro da área de descarregamento são cancelados. 131
- 7.4 A predição dos parâmetros futuros da câmera para visualização de imagens de satélite;(a) As coordenadas futuras para cada grau de liberdade da câmera; (b) Os parâmetros futuros de zoom; (c) A predição das posições futuras da câmera dentro do suporte paramétrico; (d) As janelas de visão dentro da suporte paramétrico calculadas a partir dos parâmetros futuros da câmera. 132
- 7.5 Área de carregamento com curvatura. Nesse caso o ângulo entre o vetor de velocidade e o vetor de aceleração é de 90° graus. 135
- 7.6 O cálculo da área de carregamento para o caso onde a câmera está em movimento acelerado;(a) Os retângulos envolventes das janelas de visão utilizados para determinar a área de carregamento; (b) As coordenadas dos seis vértices que definem a área de carregamento. 136
- 7.7 O cálculo da área de carregamento para o caso onde a câmera está em movimento desacelerado; (a) Ilustra o caso onde $T_z \geq N_q$; (b) Ilustra o caso onde a área é definida a partir dos quadros $t_i = 0$ e $t_f = t_z$; (c) Ilustra a situação onde a área é definida pelos quadros $t_i = N_q - 1$ e $t_f = t_z$. 137
- 7.8 A figura mostra um objeto gráfico com quatro níveis de resolução. Os ladrilhos que estão dentro ou que interceptam a área de carregamento são marcados como candidatos para o carregamento. Isto é feito para cada nível de resolução. 138
- 7.9 A área de carregamento é dividida em sub-regiões. Nesse exemplo a área de carregamento é dividida em três regiões: $A_0 = (v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$, $A_1 = (v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8)$ e $A_2 = (v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11})$ 139
- 7.10 Os pedidos de carregamento dos ladrilhos que estão dentro a área de descarregamento são cancelados. 141
- 7.11 Regra C1: O nível mais baixo de resolução deve ser carregado na memória. 142
- 7.12 Regra C2: Se a textura de um ladrilho for carregada, então as texturas dos seus irmãos também devem ser carregadas. 142
- 7.13 Regra C3: Se a textura de um ladrilho que está em um determinado nível for carregada, então as texturas dos seus ancestrais também devem ser carregadas. 143
- 7.14 Arquitetura e funcionamento do sistema de liberação de texturas. 144
- 7.15 Os critérios utilizados para determinar a prioridade de um ladrilho. (a) Classificação dos ladrilhos baseado na critério de distância; (b) Classificação dos ladrilhos baseado no critério de profundidade; A paleta de cor mostra o significado das cores. 145
- 7.16 Visualização das variáveis utilizadas no cálculo da prioridade baseada na distância. 145

- 7.17 Procedimento realizado pelo sistema de liberação de páginas quando a textura de um ladrilho deve ser liberada da memória. 147
- 7.18 Os passos realizados pelo sistema de tratamento de ausência de páginas. 148
- 7.19 Procedimento realizado pelo sistema de carregamento de páginas quando ocorre um acesso a uma página ausente. 149
- 8.1 (a) Imagem de São José dos Campos; (b) Imagem de satélite do Pará; (c) A panorama virtual do Rio de Janeiro. Ao lado de cada uma dessas imagens é ilustrado uma de suas regiões na resolução original. 152
- 8.2 (a) mostra a textura original do rosto do Cristo;(b), (c) e (d) mostram a mesma textura reconstruída a partir das multi-resoluções criadas com valores de tolerância de 1, 2 e 3 por cento, respectivamente. 156
- 8.3 As figuras (a), (b) e (c) mostram as três texturas do Rio de Janeiro reconstruídas a partir das estruturas em multi-resolução criadas com tolerâncias de 3%, 2% e 1%, respectivamente. Na parte superior a textura reconstruída com a técnica de erro relativo e na parte inferior a textura reconstruída com a técnica de erro acumulado. A palette de cor informa o nível de resolução utilizado para reconstruir cada área da textura. O nível 0 é o nível de menor resolução e nível 4 o de maior. 157
- 8.4 As figuras(a), (b) e (c) mostram a porcentagem de erros cometidos na reconstrução da textura do Rio de Janeiro a partir dos ladrilhos de maior resolução; (a) 3% de tolerância; (b) 2% de tolerância; (c) 1% de tolerância; Na parte superior mostra os resultados com erro relativo e na parte inferior mostra os resultados com erro acumulado. 158
- 8.5 O gráfico mostra o erro médio cometido para cada ladrilho durante o processo de reconstrução da textura do Rio de Janeiro. O *eixo X* representa cada ladrilho que foi utilizado para reconstruir a textura e o *eixo Y* representa o erro cometido nessa reconstrução. 159
- 8.6 As figuras (a), (b) e (c) mostram as texturas do Pará reconstruídas a partir das estruturas em multi-resolução criadas com torâncias de 3%, 2% e 1%, respectivamente. Do lado esquerdo estão as texturas reconstruídas com a técnica de erro relativo e do lado direito estão as texturas reconstruídas com a técnica de erro acumulado. A palette de cor informa o nível de resolução utilizado para reconstruir cada área da textura. O nível 0 é o nível de menor resolução e nível 6 o de maior. 160
- 8.7 As Figuras(a), (b) e (c) mostram a porcentagem dos erros cometidos na reconstrução da textura do Para; (a) 3% de tolerância; (b) 2% de tolerância; (c) 1% de tolerância; Do lado esquerdo estão os resultados obtidos com erro relativo e do lado direito estão os resultados com erro acumulado. 161

- 8.8 O gráfico mostra o erro médio cometido para cada ladrilho durante o processo de reconstrução da textura do Pará. O *eixo X* representa cada ladrilho que foi utilizado para reconstruir a textura e o *eixo Y* representa o erro cometido nessa reconstrução. 162
- 8.9 As Figuras (a), (b) e (c) mostram as texturas de São José dos Campos reconstruídas a partir das estruturas em multi-resolução criadas com tolerâncias de 1%, 2% e 3%, respectivamente. Na parte superior a textura reconstruída com a técnica de erro relativo e na parte inferior a textura com a técnica de erro acumulado. A palette de cor informa o nível de resolução utilizado para reconstruir cada área da textura. O nível 0 é o nível de menor resolução e nível 5 o de maior. 163
- 8.10 As Figuras(a), (b) e (c) mostram a porcentagem de erros cometidos na reconstrução da textura de São J. Campos; (a) 3% de tolerância; (b) 2% de tolerância; (c) 1% de tolerância; Na parte superior mostra os resultados com erro relativo e na parte inferior mostra os resultados com erro acumulado. 164
- 8.11 O gráfico mostra o erro médio cometido para cada ladrilho durante o processo de reconstrução da textura da cidade São José dos Campos. O *eixo X* representa cada ladrilho que foi utilizado para reconstruir a textura e o *eixo Y* representa o erro cometido nessa reconstrução. 165
- 8.12 As configurações do sistema de gerenciamento de memória utilizadas para realizar os experimentos. 166
- 8.13 Modelo da troca de informações entre o cliente e o servidor;(a) Informações trocadas na fase de conexão;(b) Informações trocadas na fase de transmissão. 167
- 8.14 À esquerda os pontos da curva são mapeados nos parâmetros da câmera para visualização de imagens de satélite. À direita os mesmos pontos mapeados nos parâmetros da câmera para visualização da panoramas virtuais. 171
- 8.15 À esquerda a norma do vetor de velocidade para cada ponto da curva. À esquerda o ângulo entre o vetor de velocidade e o de aceleração. Esses gráficos foram obtidos com um valor constante de incremento do ângulo θ . 171
- 8.16 À direita os ângulos de abertura horizontal da câmera. À esquerda a velocidade de variação desses ângulos por quadro. 172
- 8.17 (a) Velocidade da câmera obtida a partir do incremento dinâmico; (b) Nova trajetória percorrida pela câmera. 173
- 8.18 Imagem de satélite de São José dos Campos. A curva representa a trajetória realizada pela câmera durante os experimentos. 174
- 8.19 Imagem panorâmica da vista do Corcovado. A curva mostra a trajetória realizada pela câmera. 174

- 8.20 O gráfico mostra a porcentagem média de ladrilhos corretos por quadro (*Media_{ic}*); (a) Resultados com a visualização de imagens de satélite; (b) Resultados com a aplicação de panoramas virtuais. A Ordem a legenda é Máquina-Memória de Textura-Memória RAM, onde *DP2* representa Dual-Pentium2 e *P4* representa Pentium4. 176
- 8.21 Os gráficos que mostram a média de acertos do sistema de predição; (a) Visualização de imagens de satélite; (b) Visualização de panoramas virtuais. 178
- 8.22 Os graficos mostram a relação entre o desempenho do sistema de predição e a variação dos parâmetros de zoom; (a) Gráfico que mostra a porcentagem de acerto para cada quadro; (b) Gráfico da Velocidade do parâmetro de zoom em cada quadro. 179
- 8.23 O gráfico mostra a média de ladrilhos corretos por quadro obtida utilizando a predição adaptativa e a predição por área de segurança. 179
- 8.24 O gráfico azul mostra o nível de resolução requerido pela aplicação. Os outros dois gráficos representam o nível de resolução real do quadro que foi sintetizado utilizando a predição adaptativa e a predição por área de segurança; Os gráficos mostram os resultados obtidos no Dual-PentiumII. 180
- 8.25 A mesma análise de desempenho dos algoritmos de predição adaptativa e por área de segurança realizada no Pentium4. 180
- 8.26 O gráfico mostra a porcentagem média de ladrilhos corretos por quadro (*Media_{ic}*) com os dados armazenados remotamente; (a) Aplicação de imagens de satélite; (b) Aplicação de panoramas virtuais. A Ordem a legenda é Máquina-Memória de Textura-Memória RAM-Memória de Disco-Rede ou Máquina-Memória de Textura-Memória RAM-Rede, onde *DP2* representa Dual-Pentium2 e *P4* representa Pentium4. 182
- 8.27 O gráfico da porcentagem da média de acerto por quadro; (a) Aplicação que visualiza imagens de satélite; (b) Aplicação que visualiza panoramas virtuais. 183
- 8.28 Os gráficos mostram a porcentagem de acerto por quadro do sistema de predição na aplicação de visualização com dados armazenados local e remotamente; (a) Visualização de panoramas virtuais com armazenamento remoto; (b) Visualização de panorama virtual com armazenamento local. 184
- 8.29 A porcentagem média de ladrilhos corretos por quadro obtida com a utilização da predição adaptativa e da predição por área de segurança. 185
- 8.30 O gráfico azul mostra o nível de resolução requerido pela aplicação. Os outros dois gráficos representam o nível de resolução real do quadro que foi sintetizado utilizando a predição adaptativa e a predição por área de segurança; (a) e (b) resultados obtidos no Dual-PentiumII; (c) e (d) resultados obtidos no Pentium4. 186
- A.1 Estrutura básica de um sistema de memória virtual. 197

A.2	Representação de um endereço lógico. O sistema de endereçamento lógico identifica unicamente cada unidade de memória.	198
A.3	Mecanismo de paginação sob demanda.	199
A.4	Tarefas realizadas pelo sistema de gerenciamento de memória quando um processo acessa um página ausente.	200
A.5	Tarefas realizadas pelo sistema de gerenciamento de memória durante o processo de substituição de página.	202

Lista de Tabelas

6.1	Grupo de operações que definem as funções básicas de um sistema de gerenciamento de memória.	119
6.2	Operadores que definem a interface de comunicação com os objetos gráficos.	125
8.1	Objetos gráficos com texturas de diferentes resoluções.	152
8.2	Resultados obtidos com a representação em multi-resolução adaptativa utilizando erro relativo; o primeiro campo mostra a tolerância desejada; o segundo campo mostra o número de níveis de resolução; o terceiro campo mostra o espaço ocupado pela estrutura em multi-resolução; o quarto campo mostra o erro médio; o quinto campo mostra o erro máximo; o sexto campo mostra o número de ladrilhos que tiveram um erro maior do que o desejado.	153
8.3	Resultados obtidos com a representação em multi-resolução adaptativa utilizando erro acumulado.	154
8.4	Todas as configurações utilizadas nos experimentos. O mesmo experimento foi realizado nas duas máquinas com o objetivo de poder avaliar o quanto o desempenho do sistema está ligado a arquitetura do hardware.	170

Lista de Algoritmos

1	TileMatrix Decomposition (TileMatrix MAT , $nTilesW$, $nTilesH$, $O(S, z, I)$)	63
2	NormalMutiResolution (Matrix MAT , MultiRes MR_{tex} , MultiRes MR_{geo} , $nLevels$)	66
3	AdptativeMutiResolution (Matrix MAT , MultiRes MR_{tex} , MultiRes MR_{geo} , $nLevels, Tol$)	79
4	TextureMapping (MultiRes MR_{tex} , MultiRes MR_{geo})	80
5	ViewSatelliteImage (MultiRes MR_{geo} , MultiRes MR_{tex} , SatCamModel $SatCam$, $ScreenW$, $ScreenH$)	88
6	CalculateLevel (MultiRes MR_{geo} , MultiRes MR_{tex} , SatCamModel $SatCam$, $ScreenW$, $ScreenH$, $DrawLevel$)	88
7	CalculateIndex(MultiRes MR_{geo} , SatCamModel $SatCam$, $DrawLevel$, $Index_{min}$, $Index_{max}$)	89
8	ViewPanoramaVirtual (MultiRes MR_{geo} , MultiRes MR_{tex} , PanCamModel $PanCam$, $ScreenW$, $ScreenH$)	94
9	CalculateLevel (MultiRes MR_{geo} , MultiRes MR_{tex} , PanCamModel $PanCam$, $ScreenW$, $ScreenH$, $DrawLevel$)	94
10	CalculateIndex(MultiRes MR_{geo} , PanCamModel $PanCam$, $DrawLevel$, $Index_{min}$, $Index_{max}$)	95
11	ViewSatelliteImage (MultiRes MR_{geo} , MultiRes MR_{tex} , SatCamModel $SatCam$, $ScreenW$, $ScreenH$)	123

“Entre tantos males que afligem o mundo contemporâneo, o mais preocupante é constituído por um tremendo enfraquecimento do sentido do mal.”

Papa João Paulo II, .