



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PPG- FAU**

TESE DE DOUTORADO

**LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO DINÂMICA E INTERATIVA NOS
AMBIENTES ARQUITETÔNICOS VIRTUAIS**

EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

Brasília,
novembro/2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

**LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO DINÂMICA E
INTERATIVA NOS AMBIENTES ARQUITETÔNICOS VIRTUAIS**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção de grau de
Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Orientador :Prof. Dr. Neander Furtado Silva
Universidade de Brasília

Brasília
novembro/2009

Christakou, Evangelos Dimitrios.

C554L Luz natural: avaliação dinâmica e interativa nos ambientes arquitetônicos virtuais / Evangelos Dimitrios Christakou.-- 2009.

181 f. ; il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009

Inclui bibliografia

1. Projeto de arquitetura. 2. Luz natural. 3. Simulação computacional. 4. Interatividade. 5. Ambientes virtuais. I. Silva, Neander Furtado. II. Título.

CDU 72:004

TERMO DE APROVAÇÃO
EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU

LUZ NATURAL: AVALIAÇÃO DINÂMICA E INTERATIVA NOS AMBIENTES
ARQUITETÔNICOS VIRTUAIS.

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de doutor pelo Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Neander Furtado Silva (*Orientador*)
FAU/UnB

Prof. Dra. Cláudia Naves David Amorim
FAU/UnB

Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar
FAU/UnB

Prof. Dr. David Rodney Lionel Pennington
FAC/UnB

Prof. Dra. Neusa Mariza Leite Rodrigues Félix
UFPEL

Brasília, 19 de novembro de 2009.

Aos meus pais, Demetre (*in
memoriam*) e Fotini;

Aos meus filhos Olívia, Gabriel e
Lucas;

À Ana Paula por seu apoio e carinho;

Ao Oscar Kneipp, “Oscarzinho”
querido amigo que nos deixou recentemente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos:

Aos membros da banca de avaliação da tese, pelo seu esforço em atender a prazo tão exíguo e excelentes contribuições para aprimorar esta pesquisa;

Ao orientador desta tese, prof. Dr. Neander F. Silva, pela sua dedicação e apoio;

À minha irmã Helena e ao Aloylson (cunhado) pela revisão do texto e pelos debates infundáveis mas altamente produtivos;

Aos queridos amigos da Fau/UnB: Thais, Darja, Bia, Daniel, Juliana e Liza, profs. Cláudia Amorim, Rosana, Paulo Marcos e Márcio Buson, de quem recebi muito apoio e “dicas” fundamentais;

Aos colegas do LACAM;

Aos meus alunos da graduação e especialização pois me ensinaram muito, de verdade;

Aos colaboradores da Secretaria do PPG, Sr. João, Júnior e Sra. Raquel. E ao Valmor, Hudson e equipe pelo apoio com os computadores;

À Angela pelo *design* da capa, à Carol pela ajuda com o *abstract* e à Didi pelo apoio a ficha catalográfica e ajustes nas referências bibliográficas;

Aos colegas da Prefeitura da UnB de quem tenho muitas lembranças e fui obrigado a me afastar para cumprir as obrigações com o doutoramento, em especial aos amigos Silvano, Marlene, Fred e Joelsio;

Ao prof. Dr. Ricardo Cabus por suas discussões e ensinamentos sobre a luz natural;

À profa. Dra. Luisa Brotas e seu marido prof. Dr. Axel Jacobs nas discussões sobre o tema e por me apoiar e encorajar futuros estudos na London Metropolitan University;

Ao prof. Dr. Edison Pratini por dedicar seu precioso tempo para discutir os conceitos desta tese;

Agradecimento especial à CAPES por me conceder a bolsa de estudos que foi fundamental para a conclusão da pesquisa.

O domínio físico real é previsível e familiar; nele se pode prever a forma de um objeto quando visto sob outro ângulo, ou até mesmo prever o seu peso e a textura de suas superfícies antes de tocá-lo. O domínio quântico das partículas, as interações entre a luz e a matéria podem tornar-se familiares e previsíveis por meio de uma tela e um computador digital (SUTHERLAND).

A visualização compreende a habilidade de prever uma imagem acabada antes de realizar a exposição, a fim de que os procedimentos empregados contribuam para que se obtenha o resultado desejado (Ansel Adams em “A câmera”).

A chave para a aplicação satisfatória da visualização está em gravar a informação apropriada do negativo. Esse processo pode ser comparado ao ato de escrever uma partitura ou de desenhar uma planta arquitetônica (Ansel Adams em “O negativo”).

RESUMO

CHRISTAKOU, Evangelos D.;

Prof. Dr. Neander Furtado Silva - Orientador; Brasília, UnB, 2009, 183 fls., Tese de doutoramento em Arquitetura e Urbanismo

A visualização por meio do computador, em tempo real, das alterações propostas pelo arquiteto durante o processo de projeção é um recurso valioso, principalmente nas fases iniciais do processo de projeção. O uso da visualização computacional permite prever o espaço por meio de passeios internos ou externos. Avaliando como as sombras e os reflexos se comportam, pode-se fazer melhores escolhas em relação aos materiais, geometria e iluminação. Os métodos tradicionais como *Ray Tracing* ou *Radiosity* provêm muitos recursos para tais tarefas por meio da imagem de síntese. Contudo, estes algoritmos não oferecem a possibilidade de que o observador perceba as alterações da cena em tempo real. A visualização interativa exige grandes recursos computacionais, o que, em geral, impõe simplificações na interatividade ou o emprego de modelos de cálculos da iluminação simplificados que não permitem uma avaliação do comportamento real da luz no espaço arquitetônico, dado que os resultados assim obtidos na simulação não correspondem aos valores radiométricos do mundo real. Esta pesquisa investigou os ambientes virtuais que possibilitam gerar, em tempo real, cenas interativas que simulam a luz natural modelada por algoritmos fisicamente corretos. O objetivo é atender a necessidade do arquiteto de avaliar as modificações do projeto de forma dinâmica e sincrônica. Para atingir esse objetivo propõe-se elaborar um método para integração de ferramentas *open source*, visando a modelagem da cena e a renderização em tempo real, por meio de uma série de *scripts* aplicados a um motor de jogos (*game engine*). Para iluminar a cena, avaliou-se então a técnica de capturar os dados luminosos do céu por meio de sondas de luz, imagens de alta frequência dinâmica (HDR). Entretanto as imagens HDR que são obtidos por meio de fotografias instantâneas do ambiente geram dados luminosos arbitrários. Para conseguir dados luminosos do céu do sítio precisos e reais o autor desenvolveu um algoritmo específico para gerar o mapeamento digital com informações que levam em conta a geometria das aberturas entre outros aspectos associados ao edifício. Um dos principais diferenciais do método proposto é a possibilidade de incluir a percepção e avaliação visual, qualitativa - além da quantitativa -, de um ambiente virtual que represente o espaço projetado, em tempo real, que permita ao arquiteto tomar decisões com a convicção que o que vê na tela do computador, com a qual interage, é uma predição confiável e precisa da realidade lumínica.

Palavras-chaves:

Luz natural; projeto de arquitetura; simulação computacional; interatividade; ambientes virtuais em tempo real

ABSTRACT

Real time interactive visualization of changes proposed by the architect during the design process is a valuable resource, particularly during its early stages. The use of computer visualization allows anticipation by browsing on internal and external space. By assessing how the shadows and reflections behave, architects can make better choices regarding materials, geometry and lighting. Traditional methods such as Ray Tracing or Radiosity provide various features for these assessments by the use of synthetic images. Nevertheless such algorithms are inefficient to offer the possibility that the observer perceives the changes of the scene in real time. Interactive visualization requires large computational capacity, which generally imposes simplifications in the interactivity. It also imposes the use of lighting calculations models that do not allow an assessment of the actual behavior of light in architectural space, once the results obtained in the simulation do not correspond to radiometric values of the real world. This thesis proposes to investigate a method and tools for virtual environments that allow to generate, in real time, interactive scenes simulating daylight modeled by physically based algorithms . The goal is to meet the need of the architect to evaluate the changes of the project in a dynamic and synchronous way. To achieve this objective the proposal is to integrate open source tools aiming at modeling and rendering the scene in real time through a series of scripts applied to a game engine. To illuminate the scene was assessed the technique of capturing the luminance data of sky through light-probes, high dynamic range (HDR) images. However these HDR images that are obtained through snapshots of environmental generate arbitrary luminance data. In order to generate specific, real and accurate data of the site the author developed a specific algorithm to generate the digital mapping with information that take into account glazing geometry and other aspects of the building. One of the main advantages of the proposed method is about perception and quality visual evaluation - as well as quantitative - of a virtual environment that represents the space projected in real time, allowing the architect to make decisions with the conviction that the you see on the computer screen, with which it interacts, is a reliable and accurate prediction of daylight.

Key words:

Daylight, architecture design, computer simulations, interactivity, real-time virtual environments.

LISTA DE SIGLAS

API	Interface de Programação de Aplicativos
AVITR	Ambientes Virtuais Interativos em Tempo Real
CG	Computação Gráfica
CPU	Unidade de Processamento Central
CSG	<i>Constructive Solid Geometry</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
FPS	Fotogramas Por Segundo
GPU	Unidade de Processamento Gráfico
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HDR	<i>High Dynamic Range</i>
IA	Inteligência Artificial
IBL	<i>Image Based Lighting</i>
IBR	<i>Image Based Rendering</i>
IG	Iluminação Global
IRVE	<i>Information-Rich-Virtual-Environment</i>
JEC	Jogos Eletrônicos Computacionais
LOD	<i>Level Of Detail</i>
LN	Luz Natural
MAM	<i>Method for Aperture Meridians</i>
TR	Tempo Real
RGB	Sistema de cores aditivas <i>Red-Green-Blue</i>
RT	<i>Ray Tracing</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Iluminação Global.	32
Figura 2: Comparativo entre os algoritmos Shading Cache(A) e Render Cache(B).....	37
Figura 3: Equipamento para aquisição de imagem HDR - esfera espelhada de 10 cm diâmetro e video-gravadora digital.....	43
Figura 4: Descrição do processo de aquisição de imagens HDR por meio de esfera espelhada.....	43
Figura 5: Imagem HDR aplicada em semiesfera para gerar o IBL.....	44
Figura 6: Captura de imagens por meio de lentes fish-eye para gerar imagens HDR.....	45
Figura 7: Tipos de céu - encoberto, parcialmente encoberto e claro.....	47
Figura 8: Tipos de céu, segundo o CIE.....	47
Figura 9: Uma das series de sete exposições do céu e coroa solar.....	49
Figura 10: Estrutura modular na Game Engine.	51
Figura 11: Fluxograma para gerar mapas de texturas 3D no Quake III Arena.....	52
Figura 12: Panorama de Robert Barker em Leicester Sqaure, Londres – pintura aplicada em painel no interior da rotunda.....	54
Figura 13: Criação mecânica de perspectiva segundo Dürer.	57
Figura 14: Simulação computacional assíncrona da Luz Natural.....	58
Figura 15: Simulação computacional sincrônica da Luz Natural nos AVITR.....	59
Figura 16: Comparação do modo assíncrono (superior) com o sincrônico(inferior).....	60
Figura 17: Composição da Luz Natural - esquemática.....	61
Figura 18: Iluminação natural - esquema da proporção de Luz Natural que deve ser considerada no processo de projeção.	62
Figura 19: Detalhamento dos passos 1, 2 e 3 - síntese de imagem preditiva da LN	65
Figura 20: Fluxograma geração de síntese de imagem com o RADIANCE.....	74
Figura 21: Realismo versus imagem preditiva	75
Figura 22: O homem situado na cena real segura uma imagem sintética da mesma gerada por parâmetros fisicamente fundamentados.	76
Figura 23: Esquerda - Uma única cor representa cada face. Direita: mesma cena em wireframe.....	83
Figura 24: LOD - level of detail - objetos são simplificados na medida de sua posição relativa ao observador que se distancia.....	84
Figura 25: Fotografias de quatro esferas semelhantes sob duas condições diferentes de iluminação. Cada esfera tem propriedades de refletância próprias. (A) Preto reluzente (B) Cromado (C) acabamento rugoso (D) Pintura branca fosca	86
Figura 26: Série de fotografias tomadas com exposição em 16 velocidades diferentes.....	87
Figura 27: Visão geral do Método para geração dos ambientes dinâmicos e interativos.....	92
Figura 28: Método – passo 1- Modelagem do Espaços de testes.....	92

Figura 29: Método - Passo 2 - Geração das imagens HDR específicas.....	93
Figura 30: Algoritmo da ferramenta de geração das Sondas de luz para o IBL.....	95
Figura 31: Mapeamento da sonda de luz (light probe) na semiesfera.....	95
Figura 32: Método – Passo 3 - A geração do ambiente interativo associado a base de dados construtivos.....	97
Figura 33: Visão geral do método empregado para geração da simulação dinâmica e interativa	99
Figura 34: Espaço de testes – descrição e especificações.....	101
Figura 35: Espaço de testes - Planta com indicação das dimensões gerais e orientação.....	102
Figura 36: Espaço de testes - Corte transversal com indicação do brise-soleil.....	102
Figura 37: Propriedades dos materiais aplicados ao RADIANCE.....	104
Figura 38: Espaço de testes - posição inicial do observador.....	105
Figura 39: Espaço de testes - posição inicial do observador.....	106
Figura 40: Espaço de testes - resultado do ajuste da câmera sintética.....	106
Figura 41: Espaço de testes - 9 horas inverno - avaliação qualitativa e quantitativa.....	108
Figura 42: Espaço de testes - 9 horas inverno - incidência da luz direta lateral.....	109
Figura 43: Avaliação no plano de trabalho (0,75metros do piso) na área próxima da abertura.....	109
Figura 44: Tempo de rendering - 23.730.189 raios em 0.028 horas.....	110
Figura 45: Onze imagens calculadas pelo MAMmodeller.....	112
Figura 46: BRACKET - geração da imagem HDR fundamentado nos cálculos do MAMmodeller ...	112
Figura 47: Parâmetros e relações das iluminâncias em ponto de interesse específico do Espaço de testes.....	113
Figura 48: Imagens obtidas pelo cálculo do MAMmodeller de acordo com os parâmetros da figura 47. A imagem inferior a direita é a síntese do conjunto de luminâncias, representado em falsecolor para melhor entendimento.....	114
Figura 49: Rendering gerado com os dados de Debevec.....	115
Figura 50: Imagem de síntese obtida pelo algoritmo do autor.....	116
Figura 51: Projeção da semiesfera sobre o modelo 3D do espaço de testes.....	117
Figura 52: Geração do mapa de radiâncias para iluminar a cena dinâmica.....	117
Figura 53: Rendering dinâmico - somente luz direta.....	118
Figura 54: Rendering dinâmico - ajustes para adicionar luz indireta.....	118
Figura 55: Interface do Blender adicionado com o motor de rendering do RADIANCE.....	119
Figura 56: Blender Opção de carregar - Load file.....	161
Figura 57: Aplicativo BRAD sendo executado no Blender 2.3.....	164
Figura 58: Interface do BRAD e suas opções.....	165
Figura 59: BRAD executado Blender versão Windows.....	165
Figura 60: Ajustes das variáveis de ambiente do Windows para o Python, necessárias para executar o BRAD	166
Figura 61: Parâmetros de entrada da geometria para ajustes de simulação.....	168
Figura 62: Ajustes dos parâmetros de simulação no MAMmodeller.....	169
Figura 63: Saída em imagem representando as luminâncias (mapa de luminâncias) do céu visto pelo	

observador no ponto de interesse.....	172
Figura 64: Tela inicial do software.....	175
Figura 65: BRACKET - preferencias ajustes do software pelo usuário.....	175
Figura 66: Depois de selecionar as imagens - inserir os parâmetros de abertura de diafragma.....	176
Figura 67: Mapeamento tonal - redução da imagem HDR para as condições convencionais de vídeo/impressão.....	176
Figura 68: Mini-cluster - O sistema compõe-se de três CPU associadas que são gerenciadas por um servidor.....	179
Figura 69: Mini-cluster - Os componentes e montagem em gabinete especial.....	180

Figuras sem indicação de fonte são do autor deste trabalho

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre os algoritmos iterativos.....	39
Tabela 2: Parâmetros padrão SSLD (Standard Sky Luminance Distribution).....	173

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Processo de projeto auxiliado por simulação computacional.....	24
Diagrama 2: Holodeck, as setas indicam o sentido do fluxo de informação.	35
Diagrama 3: Render Cache - comparativo com o sistema tradicional - A) Render padrão linear B) Frames Coerentes em camada independente assíncrona.....	36
Diagrama 4: Síntese dos passos do processo de geração de imagem sintética.....	64

SUMÁRIO

Capítulo 1, Introdução e considerações iniciais.....	16
1.1. Tema.....	17
1.2. Justificativa.....	21
1.3. Problema.....	23
1.4. Hipóteses.....	26
1.5. Objetivos da tese.....	27
1.5.1. <i>Objetivo geral</i>	27
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	27
1.6. Estrutura da tese.....	27
Capítulo 2, Revisão bibliográfica	29
2.1. Das técnicas interativas de Iluminação Global.....	34
2.2. Das técnicas de iluminação fundamentada em imagens.....	41
2.3. Das técnicas de mapeamento digital de luminâncias do céu.....	46
2.4. Das técnicas de visualização aplicadas nas Games Engines.....	49
2.4.1. <i>Os ambientes virtuais visão histórica</i>	53
2.5. Das cenas animadas com suporte de agentes inteligentes	55
Capítulo 3, Imagem de síntese e a visualização interativa.....	57
3.1. Imagem de Síntese.....	63
3.1.1. <i>Imagem de síntese – breve introdução</i>	66
3.2. A visualização e representação virtual do espaço arquitetônico.....	68
3.3. A Simulação do Espaço Interior.....	71
3.4. Geração da imagem de síntese.....	72
3.5. Foto-realismo e simulação preditiva no ambiente construído.....	74

Capítulo 4, Aplicação dos motores de jogos eletrônicos.....	79
4.1. O projeto de Arquitetura nos ambientes interativos.....	82
4.2. A Iluminação Global interativa nos jogos eletrônicos.....	82
4.3. Imagens HDR em ambientes interativos.....	85
Capítulo 5, Método.....	88
5.1. Objetivo 1:.....	89
5.2. Objetivo 2.....	91
5.3. Objetivo 3.....	96
5.4. Resumo do método.....	97
5.4.1. <i>Sobre a revisão bibliográfica.....</i>	<i>99</i>
Capítulo 6, Experimento e resultados.....	100
6.1. Descrição do espaço de testes.....	101
6.1.1. <i>Geometria do modelo do espaço de testes.....</i>	<i>101</i>
6.1.2. <i>Materiais.....</i>	<i>103</i>
6.1.3. <i>Fontes de iluminação.....</i>	<i>104</i>
6.1.4. <i>Câmeras Sintéticas.....</i>	<i>105</i>
6.2. Simulação tradicional (assíncrona) – ECOTECT e RADIANCE.....	107
6.2.1. <i>Discussão.....</i>	<i>107</i>
6.3. Simulação interativa (sincrônica) – BLENDER e RADIANCE.....	111
6.3.1. <i>BRAD.....</i>	<i>111</i>
6.3.2. <i>Game engine do Blender.....</i>	<i>111</i>
6.3.3. <i>Síntese de imagem HDR para mapeamento das luminâncias.....</i>	<i>111</i>
6.3.4. <i>Renderização experimental.....</i>	<i>115</i>
Capítulo 7, Discussão e conclusões.....	120
7.1. Conclusões.....	123
7.1.1. <i>Objetivo 1.....</i>	<i>123</i>
7.1.2. <i>Objetivo 2.....</i>	<i>123</i>
7.1.3. <i>Objetivo 3.....</i>	<i>124</i>

7.1.4. <i>Comprovação das hipóteses</i>	125
7.2. Limitações do método proposto:.....	126
7.2.1. <i>Sobre a questão do fracionamento da ferramenta em fases distintas para que sua realização fosse possível</i> :.....	126
7.2.2. <i>Sobre as aproximações no algoritmo de geração de imagens HDR sintéticas</i> :.....	127
7.3. Sugestão de trabalhos futuros:.....	127
7.3.1. <i>Fluxo inverso</i>	127
7.3.2. <i>Finalização do software</i>	128
7.3.3. <i>Sistema de calibragem para o algoritmo de geração HDR</i>	128
Referências bibliográficas	129
Apêndice I	138
Glossário	142
Anexo I, Radiance	156
10.1. Programas auxiliares utilizados pelo RADIANCE.....	157
Anexo II, - Blender	160
11.1.1. <i>Importando para o Blender</i>	161
11.1.2. <i>Arquivos formato VRML</i>	161
11.1.3. <i>Orientação, dimensionamento e posicionamento do Modelo</i>	161
11.1.4. <i>Navegando na Game Engine</i>	162
Anexo III, - BRAD	163
Anexo IV, -. MAMmodeller	167
Anexo V, -. BRACKET	174
Anexo VI, -. CLUSTER	178

1.1. Tema

O processo de criação dos espaços arquitetônicos é comumente conhecido entre os arquitetos como definição do “partido”. No final do processo, os usuários apenas reconhecem o resultado final, o edifício pronto – construído - a ser decodificado nos mais diversos mundos.

Para Lúcio Costa *apud* Lemos (1980), a construção tem significado quando

... aquele que a ideou para e hesita ante a simples escolha de um espaçamento de pilar ou de relação entre altura e a largura de um vão e se detém na procura obstinada da justa medida entre cheios e vazios, na fixação dos volumes e subordinação deles a uma lei e se demora atento ao jogo de materiais e seu valor expressivo – quando tudo isso se vai pouco a pouco somando, obedecendo aos mais severos preceitos técnicos e funcionais, mas também aquela intenção superior que seleciona, coordena e orienta em determinado sentido toda essa massa confusa e contraditória de detalhes, transmitindo assim ao conjunto ritmo, expressão, unidade e clareza – o que confere à obra o seu caráter de permanência, isto sim é arquitetura (LEMOS, 1980, p. 38).

Sobre o projeto e o processo de projeção, pode-se destacar que pelo menos duas fontes principais de restrições podem ser identificadas: “restrições externas” que vão desde as limitações da legislação (código de obras) ao programa de necessidades; e as “restrições internas”; aquelas impostas pelo próprio arquiteto (LOGAN, 1987, p. 2).

Restrições internas, por sua natureza subjetiva, geralmente permitem um maior grau de liberdade de escolha, por sua associação com fatores que estão sob o controle do arquiteto, enquanto que as restrições externas, muitas vezes, dizem respeito a fatores sobre os quais tem-se pouco ou nenhum controle. Apesar destas constituírem uma pequena parte do problema total, são muitas vezes altamente significativas ao determinar a natureza da solução (LOGAN, 1987, p. 2).

Para apoiar a criação do “partido” o arquiteto utilizou ao longo dos anos, as maquetes - modelos físicos de dimensões reduzidas - ou os desenhos em perspectiva que pretendiam representar previamente o espaço projetado antes de sua efetiva construção. Estas técnicas de

representação desempenhavam papel importante como auxílio à elaboração dos espaços do edifício. Especialmente ao antecipar possíveis conflitos entre os diversos elementos arquitetônicos – estrutura, aberturas, tubulações, etc. - que devem estar coordenados e correlacionados entre si, promovendo melhores alternativas de projeto.

“Ver” a obra pronta – visualizar o projeto proposto - antes mesmo de sua construção, sempre foi um grande desejo – e necessidade intrínseca - do arquiteto.

“Durante quase cinco séculos, as necessidades figurativas da civilização ocidental foram satisfeitas por um sistema de representação plástica do espaço conhecido como perspectiva artificialis que é uma representação figurativa que procura obter a ilusão da profundidade com base nas leis objetivas do espaço formuladas pela geometria euclidiana e teorizada por Leo Batista Alberti” (MACHADO, 1984, p. 63).

Séculos depois da formulação matemática de Alberti, outra importante ferramenta de representação foi desenvolvida com fundamento na tecnologia digital dos computadores aliada a algoritmos complexos e sofisticados de simulação do espaço que resulta em um ambiente virtual.

“A imagem é o resultado de estímulos luminosos produzidos por um suporte bidimensional” (GOMES e VELHO, 1994, p. 131). O processo de conversão de dados em imagem é conhecido pelo nome de **visualização computacional**, materializada na **imagem de síntese**, gerada por computador a partir de dados abstratos, independentes do domínio do mundo real (GOMES e VELHO, 1994, p. 131).

A visualização computacional teve início na tese de doutoramento “*Sketchpad, a man-machine graphical communication system*” de Sutherland (1963). Essa tese contribui até os dias de hoje, fundamentalmente para o desenvolvimento da relação homem-computador por meio de interfaces gráficas que permitem interação¹ com os objetos exibidos na tela do computador.

Existe consenso entre os usuários da Computação Gráfica (CG) que a visualização

1 Modo de operação no qual cada input do usuário gera uma resposta ou ação do sistema, em contraste aos sistemas em lote (batch-mode) que são gerados em modo “off-line”.

computacional por meio da síntese de imagem, dada sua natureza preditiva, pode contribuir para apreender a ambiência do espaço e assim melhorar a proposta arquitetônica. Os recursos dos ambientes virtuais², ultrapassam os limites da *perspectiva artificialis* ao possibilitar a experiência sensorial indireta - virtual – e preditiva da ambiência arquitetônica.

Em outras palavras, a perspectiva é uma representação bidimensional, enquanto os ambientes virtuais, por se basearem em um banco de dados realmente tridimensional, vão além da simples sugestão.

A visualização computacional do edifício pode ser dinâmica e interativa³ quando gerada em ambientes virtuais. Na presente pesquisa, os ambientes virtuais são definidos como o resultado de aplicação de recursos computacionais para visualização dinâmica e interativa do espaço arquitetônico virtual. Nestes, o olho do arquiteto navega na tela do computador, que se transforma em uma “janela interativa” do espaço arquitetônico virtual ou, utilizando a metáfora de Sutherland (1965), “processo não imersivo, conhecido como *Fishtank* (aquário – nota minha)”.

Potencialmente, é possível proporcionar simulações do edifício, sob a influência direta das ações do observador da “janela interativa”. Assim, a experimentação simultânea de novos dados da cena - os parâmetros volumétricos, parâmetros das superfícies dos materiais, texturas, cores, iluminação do edifício - pode refletir-se de forma instantânea na tela do computador.

Ao longo do processo de estudo de alternativas do “partido”, estes dados podem ser arquivados, avaliados, comparados e modificados (THABET e FAIRUZ, 2003), ampliando a relevância do estudo de cada alternativa.

Por meio dos recursos dos ambientes virtuais (janelas interativas), o observador tem a possibilidade de propagar, através de suas ações, a alteração do estado dos objetos para o

2 Ambientes virtuais é o termo aplicado no presente trabalho ao invés do termo “realidade virtual” uma vez que são palavras de sentido oposto que aparentemente se contradizem.

3 Dialogo sensório que ocorre entre um ser humano e um software. Modo de operação no qual cada *input* do usuário gera uma resposta ou ação do sistema, em contraste aos sistemas em lote (batch-mode) que são gerados em modo “*off-line*”.

simulador, inclusive alimentar o banco de dados, criando novos objetos. Os resultados elaborados pelo simulador, por sua vez, são devolvidos para o agente destas ações de forma eficiente (BUKOWSKI, 2001).

Essas janelas interativas em tempo real – nas quais não há tempo de espera nas interações com o usuário - serão denominadas nesta pesquisa como **Ambientes Virtuais Interativos em Tempo Real (AVITR)**.

Os AVITR, propostos nesta tese, serão construídos a partir de ferramentas já existentes, integradas por meio de uma nova ferramenta cujo requisito essencial é que o aplicativo seja interativo em tempo real. Pretende-se utilizar esse aplicativo no processo de projeção do espaço arquitetônico, especialmente nas fases iniciais de definição do “partido”, porém com uma característica inovadora.

Particularmente no âmbito do controle da Luz Natural (LN) – segundo a ABNT (2005) a luz natural no ambiente construído é composta basicamente pela luz direta do sol e luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) - no interior do edifício, tem-se como objetivo prever os parâmetros que tratam das iluminâncias, das luminâncias⁴ e de sua distribuição espacial e assim acrescentar novos subsídios às escolhas do arquiteto. A LN deve ser incorporada, como variável de análise, na fase de concepção do edifício, ao contrário da iluminação artificial que pode ser decidida “a posteriori”.

Para chegar a isso, pretende-se investigar os processos geradores de ambientes virtuais, identificando aqueles aplicativos que atendem a condição de interatividade em tempo real e ao mesmo tempo tem potencial para serem integrados no fluxo de trabalho do arquiteto.

Nos AVITR o arquiteto avaliará qualitativamente a LN no interior do edifício, tomando decisões no “partido” com a convicção de que a imagem na tela do computador, com a qual interage, é uma predição confiável e precisa da realidade lumínica.

4 Ver Glossário

1.2. Justificativa

A interface usuário-computador adiciona camadas que buscam mediar domínios heterogêneos, potencializando a comunicação, conexões e trocas entre usuário e computador. Princípio ilustrado na criação das interfaces gráficas⁵ em meados dos anos sessenta que mudou o paradigma da linguagem “textual” adicionando uma camada, membrana visual, nas trocas de informações usuário-computador (BRUNO, 2001, p.194-196).

Usualmente, os estudos sobre interface procuram definir o conjunto de programas e aparelhos materiais que garantem a comunicação entre o homem e a máquina, particularmente os sistemas de informação numerizada [sic]. Em sua breve história informática, a interface homem/computador requer, inicialmente, que o computador ‘represente a si mesmo’ para o usuário numa linguagem que este possa compreender (JOHNSON, 1997 apud BRUNO, 2001, p. 194).

Estas novas interfaces aplicam-se no âmbito do projeto de arquitetura para simular o espaço do edifício e por meio da análise da interação entre as diversas variáveis deste processo, - clima, sistemas eletromecânicos, ocupantes, etc. - promover alterações ou avaliar ideias alternativas. Neste âmbito, os ambientes virtuais podem assumir o papel de uma ferramenta eficiente de suporte ao processo de projeção arquitetônica (TEIXEIRA et al., 1998).

O ambiente virtual possibilita a simulação de experiências que sejam transferíveis para o mundo real. Neste sentido, os ambientes virtuais tornam-se mais próximos da experiência cotidiana de seus usuários (VELHO et al., 2000).

As pesquisas sobre o controle da LN ao longo do processo de projeção arquitetônica, pretendem atingir principalmente quatro objetivos: alcançar o conforto visual; criar ambientes agradáveis do ponto de vista estético; melhorar a saúde e bem estar fisiológicos através dos efeitos positivos da exposição à LN no ciclo circadiano (Do lat. *circa diem*, ‘em torno do dia’ - nota minha) humano; além da eficiência energética decorrente do uso da LN integrada com a iluminação artificial (INANICI, 2004, p.56).

5 Ver Glossário

Estas análises podem ser categorizadas como quantitativas ou indicativas (qualitativas). Os recursos atualmente disponíveis – destaque-se as ferramentas de simulação não interativas, ou *off-line* - para executar tais tarefas têm pouco significado ao serem aplicados no processo de projeto, pois a teoria e correspondente metodologia foram propostas a partir de posições inicialmente simplistas. Em seguida, percebeu-se que os modelos matemáticos não podem ser facilmente aplicados nas avaliações, dado que não há como se obter, pelos instrumentos de mensuração disponíveis ao arquiteto – luxímetros, luminancímetros - , as informações fisicamente corretas necessárias. Além disso, as análises se fundamentam em medições de valores instantâneos que ignoram as variações temporais e espaciais (INANICI, 2004, p.57).

A apreensão do espaço mediada por imagens de síntese pode prover informações úteis à análise do espaço arquitetônico, considerando que algumas informações específicas não podem ser expressas diretamente em dados numéricos (INANICI, 2004), e por outro lado nem as análises indicativas poderiam ser omitidas. Segundo Mardaljevic (2000) apud Pereira et al., (2007) a representação através de curvas isolux ou isoluminâncias⁶, suficiente para análises técnicas, não transmite ao observador da cena a real sensação da visão do ambiente.

A interatividade na experimentação e na exploração de novas alternativas à elaboração do “partido” é uma das principais condições a ser alcançada para lidar com este complexo conjunto de aspectos do projeto arquitetônico. A simulação computacional tem sido apoiada por emergente desenvolvimento de *software/hardware* e comprovou que pode ser uma ferramenta eficiente para estudar o desempenho ambiental dos edifícios.

Para o arquiteto, a avaliação preditiva da LN, além de fisicamente correta, deve fazer-se em tempo real, provendo apreciação dinâmica das alterações propostas no futuro edifício, recurso valioso, principalmente nas fases iniciais do processo de projeção, em que há alto grau de aspectos subjetivos e escolhas por resolver (CHRISTAKOU, 2004, p. 24).

⁶ representação gráfica das luminâncias de um ambiente, curva traçada a partir de pontos nos quais a luminância tem o mesmo valor, conceito semelhante às curvas de nível em topografia

1.3. Problema

As decisões tomadas pelo arquiteto, estabelecidas nos estágios iniciais certamente influenciam as decisões posteriores e assim por diante, com impacto decisivo no desempenho ambiental do edifício (diagrama 1).

Inicialmente são inseridos a geometria tridimensional, as informações físicas das superfícies dos componentes da obra e dados geográficos para gerar a cena e processar a simulação e em seguida deve-se avaliar se os resultados das soluções adotadas estão de acordo com os parâmetros estabelecidos no programa de necessidades. Alguns ajustes podem ser adotados com novas entradas de dados e então processados novamente, até que a solução satisfaça os objetivos pretendidos. Então, volta-se ao processo de elaboração do projeto já em fase do anteprojeto e, portanto, elaborado com um grau de certeza suficiente para seguir para a fase seguinte do projeto.

Integrar uma ferramenta de simulação ao processo de projeção certamente não é uma tarefa simples, pois o arquiteto precisa obter respostas imediatas que atendam agilmente ao processo de espacialização das ideias adotadas ainda durante a elaboração do “partido”. A ferramenta, além disso, deve atender ao arquiteto em todas as fases do projeto, com as suas variações formais, funcionais e construtivas ao longo do processo de projeção.

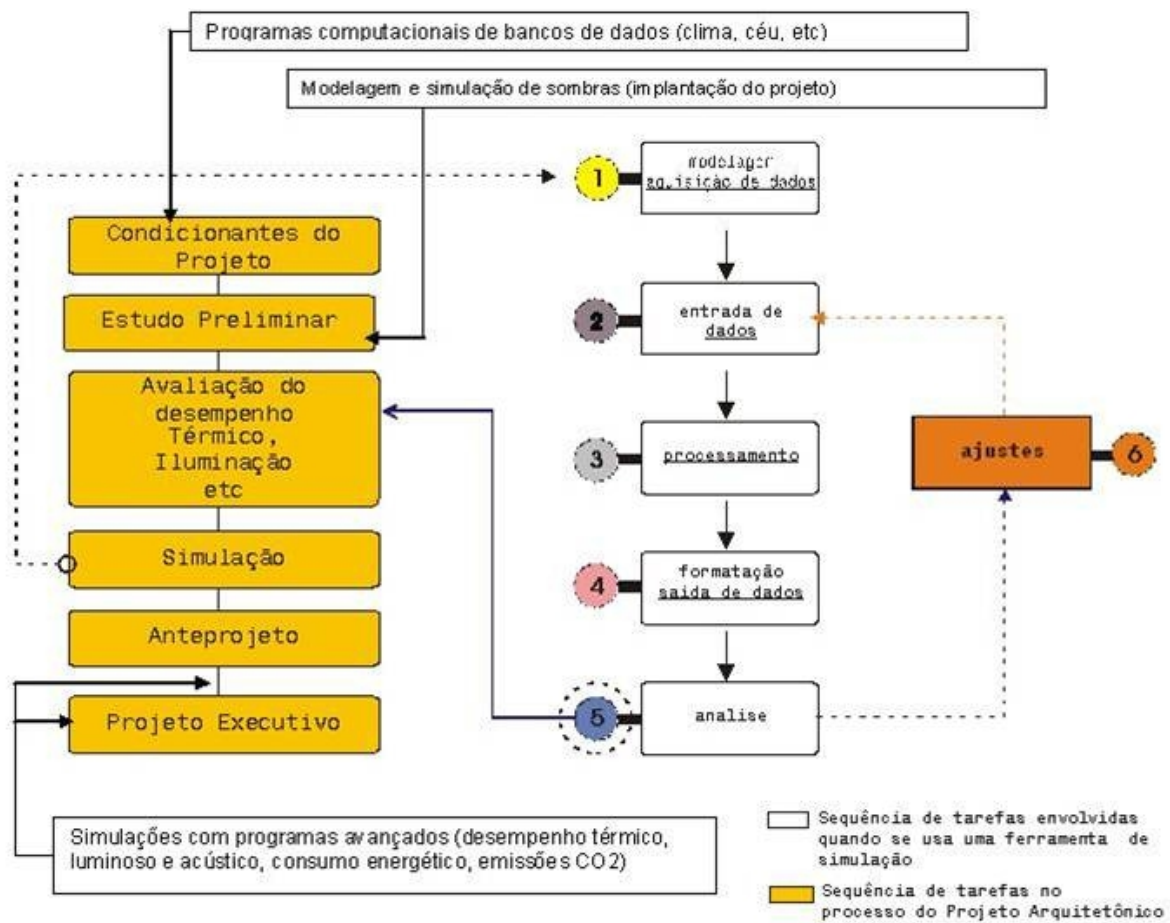


Diagrama 1: Processo de projeto auxiliado por simulação computacional

Fonte: Amorim (2007) p.6

...De fato, são poucos os arquitetos que lidam com os softwares de auxílio ao projeto, por pura incapacidade de compreender plenamente suas interfaces e entender o processo de simulação dentro do processo de projeto. Isso se deve basicamente a dois fatores: a própria inadequação dos softwares, principalmente com relação a interface e manuais de Ajuda, e a carência formativa dos arquitetos, que somente há alguns anos começam a ter em seu percurso formativo disciplinas suficientes para cobrir as necessidades de conhecimento dos fatores ambientais (AMORIM, 2007, p. 5).

O arquiteto tende a não fechar a questão logo no início do processo, para poder explorar todas as opções possíveis, antes de chegar a uma decisão definitiva (ROBBINS, 1997).

O processo da simulação deve estar inserido paralelamente às etapas de projeto nas quais se definem o “partido” ou o “risco” inicial.

A avaliação da LN no interior do edifício, por meio da imagem de síntese, é extremamente complexa devido à interação de um número considerável de variáveis necessárias à avaliação fisicamente correta da iluminação. Entre essas variáveis pode-se destacar aquelas que são determinadas por agentes externos: hora do dia, dia do ano, latitude e longitude geográfica, as condições meteorológicas da abóbada celeste, nebulosidade, poluição, as condições específicas do sítio - as propriedades físicas do solo e das eventuais obstruções do entorno, como árvores ou edificações vizinhas - , luz direta, luz indireta e a distribuição de luminâncias do céu.

As variáveis internas determinadas pelo arquiteto incluem a complexidade da geometria e das propriedades óticas dos materiais que constituem a cena e compõem o fenômeno da inter reflexão dos raios de luz no seu transporte entre as superfícies.

A imagem de síntese na CG pode ser uma simples e descompromissada representação artística de uma cena. Pode também buscar a predição da ambiência do espaço, ao levar em conta o somatório das variáveis externas e internas acima listadas. Poder-se-ia afirmar que é esta a distinção entre o simples *rendering* e a simulação da LN que o arquiteto necessita para prever e avaliar o resultado de suas decisões com objetivo de aferir e controlar a LN no espaço arquitetônico.

A visualização gerada por meio de algoritmos de Iluminação Global (IG) fisicamente corretos demanda computar o valor da radiância – emitância luminosa⁷ - visível através de cada *pixel*⁸ da imagem; isso implica resolver a equação de *Ray Tracing* de Whitted (1980) para cada um de todos os *pixels* da cena e assim calcular, de modo aproximado, todas as interações dos raios de luz entre as superfícies.

Cada cena arquitetônica simulada em CG envolve alguns milhares de faces, milhões de polígonos e outras tantas amostragens de raios. Diante desta complexidade - durante algum tempo -

7 Ver Glossário

8 Ver Glossário

se considerou que a cadência de imagens necessária para gerar a interatividade era incompatível com a síntese de imagens compromissada com os princípios da IG (AKENINE-MOLLER e HAINES, 2002).

Um dos principais obstáculos para o uso efetivo da IG em ambientes interativos em tempo real (TR) é que a maioria dos algoritmos existentes atualmente foi concebida para a síntese de imagens estáticas que não podem atender a necessidade de reconstruir em TR a cena, quando o usuário muda alguma das propriedades da mesma.

Logo, os AVITR devem permitir: adicionar, remover, reposicionar, alterar todos os atributos da cena, e ao mesmo tempo, simular os novos dados radiométricos resultantes do processo. E, além disso gerar o número mínimo de fotogramas (*frames*) por segundo adequado à interatividade.

1.4. Hipóteses

As hipóteses deste trabalho são as seguintes:

1. A ferramenta proposta criará, por meio da integração dos softwares avaliados, ambientes virtuais não-imersivos (*Fishtank*) para avaliar o comportamento, em tempo real, da Luz Natural no interior do futuro edifício;
2. A ferramenta apresentada pode representar o papel de integração das atuais técnicas interativas no âmbito da Iluminação Global e do processo de projeção;
3. Não haverá necessidade de recalcular as interações da Luz Natural, se forem utilizadas as informações luminosas obtidas por meio de modelos e mapas de radiâncias do céu, uma vez computadas através de algoritmos, para interpolar os dados de forma que sejam úteis ao arquiteto.

Tais hipóteses se apoiam na premissa de que o algoritmo de IG empregado no AVITR é o *Ray Tracing*, fundamentado no algoritmo híbrido do RADIANCE considerado o estado da arte atual que pressupõe computar apenas os valores relativos à posição do observador, desconectado da

complexidade do modelo.

1.5. Objetivos da tese

1.5.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é investigar a aplicação do AVITR no processo inicial de projeção de edifícios, especialmente no âmbito da simulação da LN no interior da edificação, indicando os parâmetros necessários para a criação de uma nova ferramenta.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. Investigar as aplicações do AVITR à dinâmica do processo de projeção do espaço arquitetônico, especialmente nas fases iniciais.

1.5.2.2. Investigar a capacidade de simulação computacional da LN no AVITR para prover realimentação interativa e dinâmica ao arquiteto em resposta às mudanças no projeto arquitetônico, o que pode ampliar a aplicação dos algoritmos de IG no processo de projeção de edifícios.

1.5.2.3. Investigar os softwares existentes e identificar os parâmetros necessários para a criação de uma nova ferramenta que conjugue o AVITR e a simulação da LN.

1.6. Estrutura da tese

A tese divide-se em sete capítulos, o primeiro introduz ao tema, à justificativa, ao problema e apresenta os objetivos e hipóteses. O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica e do estado-da-arte ao abordar os cinco principais temas envolvidos na pesquisa. O terceiro capítulo ocupa-se da imagem de síntese e da visualização interativa no processo de projeção arquitetônica. O quarto capítulo aborda o motor gráfico dos jogos eletrônicos computacionais e sua aplicação no processo de projeção. O quinto capítulo evidencia o método desta pesquisa. O sexto capítulo descreve a

execução de experimento para desenvolver, ainda preliminarmente, os algoritmos necessários à elaboração da ferramenta proposta. O capítulo sete trata da análise e discussão dos resultados obtidos, apresenta as conclusões e indica possível continuidade da pesquisa.

Também compõem o corpo da tese um Glossário que explicita alguns conceitos e termos da Computação Gráfica, o Apêndice 1, onde detalha-se os parâmetros do RADIANCE aplicados às simulações no experimento, os Anexos I a V com uma descrição detalhada da estrutura do *software* RADIANCE, apresentação de alguns tópicos sobre o *software* BLENDER, a interface BRAD, sobre os *softwares* MAMmodeller e o Bracket HDR Manager. Finalmente no Anexo VI apresenta-se o projeto de um Mini-Cluster elaborado para prover um processamento computacional paralelo ao *rendering* interativo. O CD-Rom contém a tese em PDF, assim como os softwares utilizados e as informações e dados sobre o experimento.

2

Capítulo 2, Revisão bibliográfica

O cálculo de uma simples cena (512x512 *pixel*) iluminada por fonte de luz natural demandaria dezenas de dias para ser concluído, mesmo no computador mais poderoso disponível (WARD e SHAKESPEARE 1998, p. 492). Este problema foi resolvido por uma simples inversão, teórica, do caminho dos raios de luz o que permite que a cena em questão seja calculada em frações de segundos.

Modelos⁹ de iluminação na computação gráfica (CG) descrevem matematicamente como as superfícies são iluminadas. Alguns pesquisadores têm dividido, tradicionalmente, a modelagem do fluxo de luz em dois métodos distintos: 1) iluminação local 2) iluminação global. No modelo de iluminação local, a luz é transportada diretamente da fonte para a superfície a ser iluminada. Em outras palavras, a iluminação é direta. Por outro lado, no modelo de iluminação global a luz é refletida, refratada, dispersa, difratada por um ou mais objetos até alcançar a superfície a ser iluminada. Em outras palavras, a iluminação é indireta (ASHDOWN, 2002, p. 46).

Outros autores não dividem o fluxo de luz em modelos distintos. Ehrlich (2002) considera que os algoritmos de Iluminação Global (IG) são fisicamente corretos pois fundamentam seus cálculos nas propriedades físicas e comportamentais da luz, tanto na escala macro (propagação da luz diretamente da fonte ao observador) como em escala micro (interações da luz com as características das superfícies) (EHRlich 2002, p. 24).

O *Ray Tracing* (RT), ou traçado de raios, originalmente introduzido por Whitted (1980) e fundamentado na ótica geométrica, foi o primeiro algoritmo a resolver o problema da IG e se baseia no conceito que o raio de luz é lançado a partir do olho do observador em direção à cena. Essa metodologia, conhecida como RT reverso, é essencial para o cálculo das interações da LN, pois do sol partem milhões de raios, mas apenas uma pequena parcela destes atinge o olho do observador na cena. O cálculo de todos os raios de luz emitidos por uma fonte, o sol neste caso, seria inútil e

⁹ Modelo, segundo o Dicionário Houaiss Física, Ed. Objetiva, 2005, p.153, é um esquema que possibilita a representação de um fenômeno ou conjunto de fenômenos físicos e eventualmente a previsão de novos, tomando como base um certo número de leis físicas.

dispendioso computacionalmente.

A partir daí, é difícil não lembrar as sombras que projetadas na parede da caverna inspiraram Platão (427~347 a.c.). Em *Timaios*, um dos diálogos (cap. 30) descreve a visão como o encontro dos raios originados da mirada dos olhos com os raios de luz emitidos pelos corpos. Atualmente, sabe-se que os raios de luz são apenas uma abstração que nos ajuda a entender o fenômeno que intriga o ser humano e enseja interpretações metafísicas desde a antiguidade. A natureza da luz ainda hoje não é totalmente compreendida. Existem diversas abordagens para explicar o seu comportamento dual: corpuscular e ondulatório. A ótica quântica, a ótica eletromagnética e a ótica geométrica configuram os modelos propostos para descrever o comportamento da luz.

Dessa última provem o modelo que se adota na CG, e permite algumas simplificações que possibilitam o processamento computacional da IG no estágio atual de desenvolvimento do binômio *hardware/software*.

Segundo Ward e Shakespeare (1998) o Traçado de raios de Whitted (1980) estava fundamentado em algoritmo determinístico o que significa dizer que os resultados do cálculo serão sempre os mesmos para uma cena que se repete. Tal algoritmo não reproduz o comportamento físico da luz na natureza, pois os fótons são transportados entre as superfícies de maneira randômica e a aparente estabilidade da LN, que percebemos em qualquer ponto, provém do fantástico número de raios solares que atinge o nosso ambiente a cada segundo (WARD e SHAKESPEARE 1998, p. 493).

Segundo Besuievsky (1992, p. 42) uma simulação baseada em funções matemáticas randômicas do transporte luminoso foi proposta por Kajiya¹⁰ (1986) para resolver a equação de *rendering* em todos os aspectos de reflexão. Esta extensão ao RT de Whitted (1980) denominada por Kajiya (1986) como “*path-tracing*”, mantém a estrutura tradicional para cada raio lançado e acrescenta a informação da distribuição de amostragem por pixel de forma estocástica. A

10 Ver equação de *rendering* no Glossário

estratégia...

....considera a propagação de um único raio nas intersecções, ao invés de dois (refletido e transmitido), como no ray tracing tradicional. A decisão de refletir ou transmitir um raio que incide numa dada superfície está determinada por distribuições de probabilidades de cada superfície, que obedecem as próprias características destas [BESUIEVSKY, 1992, p. 42].

Kajiya demonstrou, (1986, *apud* Besuievsky, 1992, p. 43), que a aplicação desta técnica permite simular **todos** [grifo meu] os mecanismos de transporte de energia luminosa entre as superfícies, “....embora isto demande uma quantidade muito grande de raios lançados, e portanto um custo computacional alto” (BESUIEVSKY, 1992, p. 43). A luminância de raios no ponto de intersecção é devida à iluminação direta da fonte (que é uma área em geral ou da fonte de volume) e à iluminação indireta, devida a reflexões múltiplas das superfícies (semi-especular e difusa) na cena conforme a figura 1 (ASHDOWN 2002, p.7 e 42).

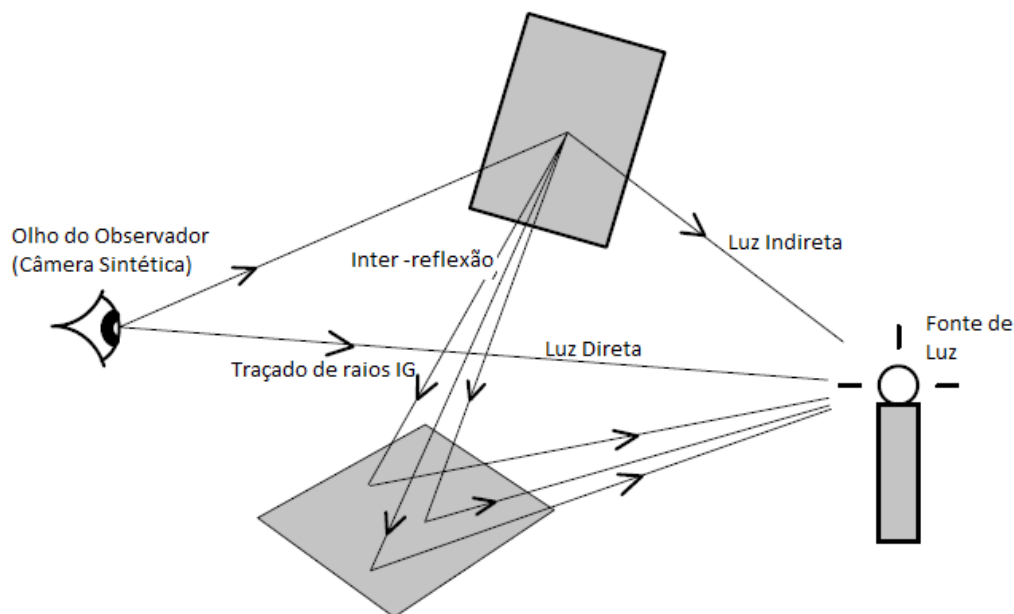


Figura 1: Iluminação Global.

Fonte: ASHDOWN 2002, p. 7 e 42

Entre os problemas¹¹ em CG que ainda necessitam de estudos em sua amplitude, destaca-se a

11 Segundo o Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa, problema pode ser entendido como: assunto controverso, ainda não satisfatoriamente respondido, em qualquer campo do conhecimento, e que pode ser objeto de pesquisas científicas ou discussões acadêmicas.

abordagem do cálculo da IG em cenas dinâmicas interativas. Atualmente as técnicas de CG que buscam resolve-lo compreendem as cenas estáticas simuladas com precisão ou a cenas dinâmicas interativas que utilizam modelos de iluminação simplificados, [modelo de GOURAUD: fonte de luz pontual direta com sombras de contornos definidos, *apud* WATT e POLICARPO, 2003, p.48], onde os conceitos físicos da ótica são ignorados, limitando a qualidade dos resultados.

A principal razão pela qual as técnicas de IG ainda não podem representar cenas dinâmicas em sua plenitude está na natureza dos requisitos de visualização dos elementos da cena que, por sua vez, supõe alta demanda de processamento computacional.

O *rendering* nesta pesquisa trata do processo de gerar uma imagem bidimensional a partir de uma descrição geométrica tridimensional (3D) na qual situa-se o observador em ponto de vista específico. Esse termo vem da prática tradicional de desenho arquitetônico e artístico, cujas regras de perspectiva foram desenvolvidas há séculos (WARD e SHAKESPEARE 1998, p. 4).

Essas regras foram elaboradas, refinadas, e codificadas na CG e implementadas nos algoritmos de iluminação denominados como Modelos de Iluminação local e global. Comumente, as imagens cunhadas como fotorrealismo parecem tão reais como uma fotografia. Embora este seja um objetivo próprio do domínio da arte da imagem, ainda há uma grande diferença entre algo que parece real e a reprodução fidedigna da realidade (WARD e SHAKESPEARE 1998, p. 4).

Algumas imagens aparentam fotorrealismo mas não se fundamentam na física Ótica e por isso são apensadas na cena texturas, cores e fontes inexistentes apenas para que o resultado se torne esteticamente aceitável. Por outro lado, os estudos da LN objetivam determinar como a luz se comporta no interior do edifício, ao interagir com as superfícies, da mesma forma que faria em um ambiente real.

As pesquisas descritas a seguir visam alcançar a redução dos esforços computacionais para realizar o *rendering* da IG interativo em tempo real.

2.1. Das técnicas interativas de Iluminação Global

Enquanto os algoritmos de IG levam alguns minutos, ou até mesmo horas, para gerar apenas uma imagem, nas técnicas interativas em tempo real não se admite que se gaste mais do que uma fração de segundo para tal tarefa. Uma revisão sobre o assunto está acessível em AKENINE-MOLLER e HAINES (2002).

Grosso modo, duas famílias de algoritmos de imagens em movimento podem ser destacadas. A primeira, caracteriza-se pelos métodos que permitem prover uma resposta imediata, **em tempo real** (TR), (na presente pesquisa são denominados: síncronos) de ações ou reações ao longo do processo. A segunda diz respeito aos métodos *off-line* (na presente pesquisa são denominados: assíncronos) para os quais todas as trajetórias de animação são conhecidas previamente (DAMEZ; DIMITRIEV; MYSZKOWSKI, 2003). Obviamente, esta última não beneficia o processo de projeção arquitetônico, pois não há como prever o roteiro e as modificações que o arquiteto precisará fazer ao longo do processo.

Segundo Walter, Drettakis e Parker (1999) uma das técnicas para alcançar interatividade na simulação da IG é prover ao usuário resultados intermediários aproximados, enquanto se computa os dados da cena para obter resultados mais precisos. Esta técnica é conhecida como "refinamento progressivo".

Além do “refinamento progressivo”, alguns componentes da iluminação indireta precisam ser pré-computados. Esses dados com informações sobre os raios luminosos previamente calculadas e armazenadas são aplicados para iluminar objetos da cena em TR, na medida em que o observador se desloca livremente na cena.

Essa técnica conhecida como “*Hardware Rendering*” utiliza cálculos da iluminação indireta pré-computados e armazenados em CACHE¹² (“*buffers*”) no *hardware*, em sistemas de discos rígidos fixos ou em memória principal RAM. A técnica explora ainda o reaproveitamento de dados

12 Ver Glossário

entre os fotogramas (*frames* ou quadros).

O sistema HOLODECK (WARD e SIMMONS, 1999) armazena dados entre os fotogramas, a fim de permitir “passeios virtuais” (*walkthroughs*) interativos, usando o sistema RADIANCE¹³. Embora permita o pré-cálculo de fenômenos óticos em superfícies especulares, suporta apenas o movimento do observador (câmera) na cena.

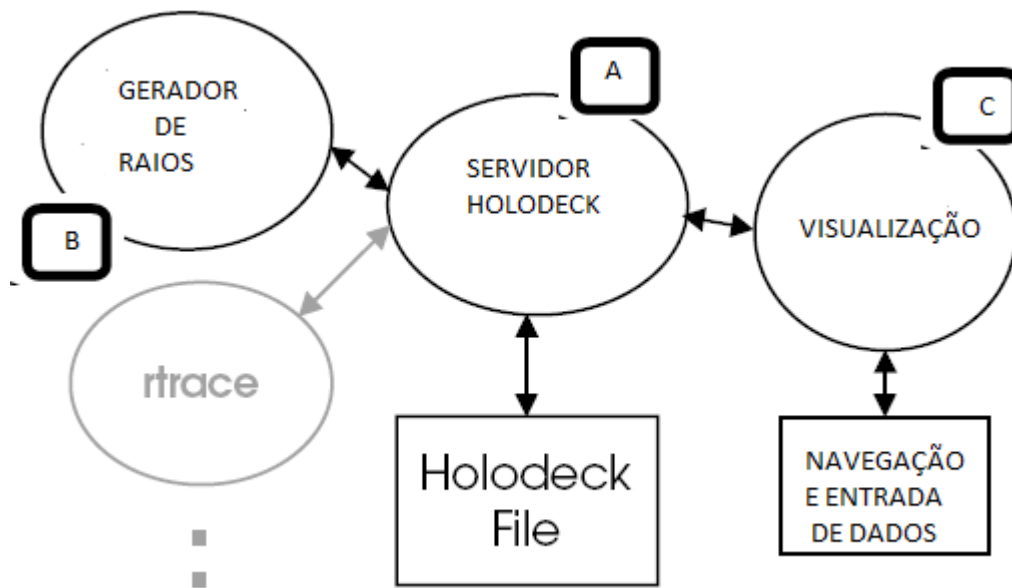


Diagrama 2: Holodeck, as setas indicam o sentido do fluxo de informação.

Fonte: adaptado de WARD, 2002

No HOLODECK, (diagrama 2) o *rendering* da cena é gerado por meio de processamento paralelo e de interpolação e projeção de fotogramas utilizando o motor de cálculo do software RADIANCE. Os arquivos do *Holodeck File* são armazenados em disco e sua disponibilidade para a memória principal é gerenciada pelo *Holodeck Server* (A) o qual define hierarquicamente entre o processamento de avaliação de amostragem de raios gerados pelo programa *Rtrace* (B) e os processos de visualização (C). Esse gerenciamento do *Holodeck Server* (A) permite ao sistema resultados promissores.

Walter, Drettakis e Parker (1999) e Walter, Drettakis e Greenberg (2002) foram pioneiros no

13 Software de simulação de iluminação fisicamente fundamentado. Detalhado no capítulo 3

estudo do processamento assíncrono, por meio da exploração de coerência espaço-temporal entre os fotogramas e do processamento paralelo. Esta técnica -denominada RENDER CACHE - computa o *rendering* em uma camada independente e que se comunica de forma assíncrona com o ambiente de visualização interativo. Ver diagrama 3.

O RENDER CACHE fundamenta-se na premissa que o cálculo da iluminação a partir do zero em todos os fotogramas é desnecessário, quando há coerência espacial dos pontos visíveis entre dois fotogramas subsequentes: a maioria dos pontos do fotograma n também é visível no fotograma subsequente $n+1$. O sistema atua quando há mudança de visibilidade em ao menos um *pixel*, reaproveitando os demais *pixels* coerentes, comuns aos fotogramas subsequentes.

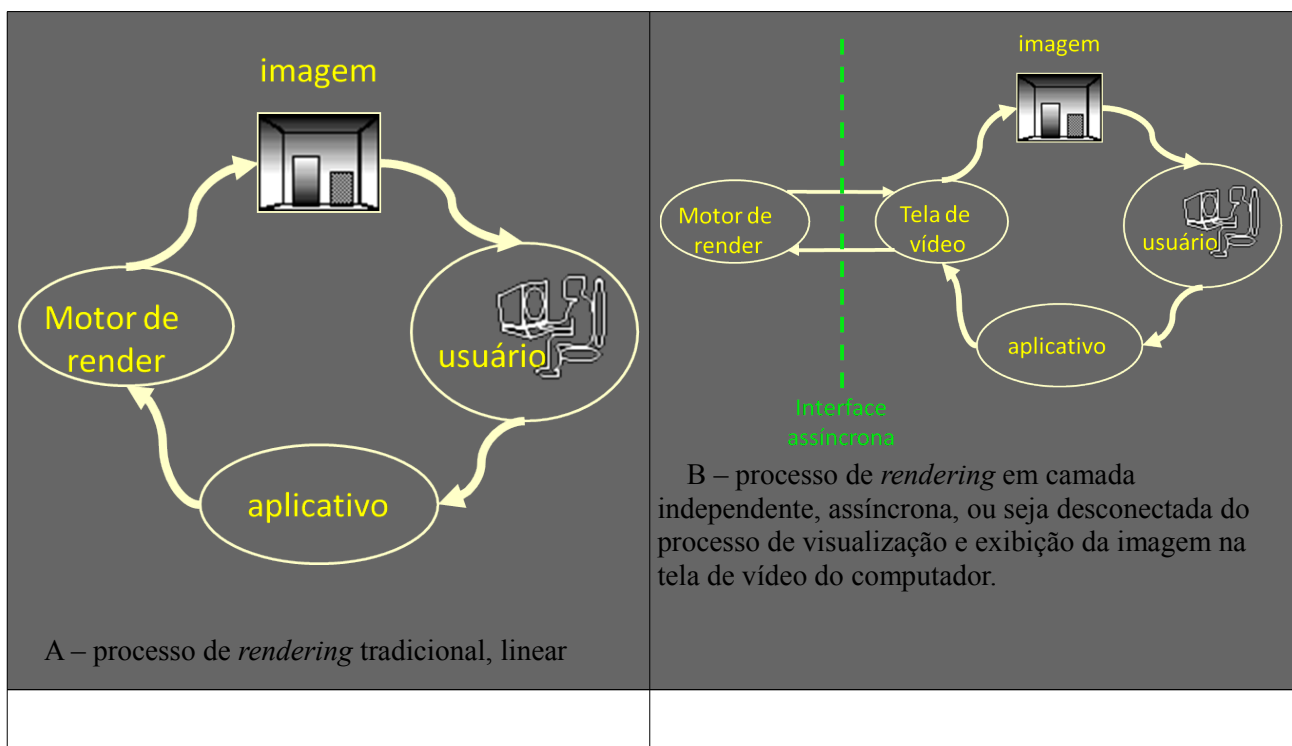


Diagrama 3: Render Cache - comparativo com o sistema tradicional - A) Render padrão linear B) Frames Coerentes em camada independente assíncrona.

Fonte: adaptado de Walter, Drettakis e Greenberg (2002).

O sistema RENDER CACHE propicia uma taxa de Fotogramas Por Segundo (FPS) considerada suficiente para a interatividade em TR uma vez que, ao contrário do sistema

tradicional, o número de fotogramas por segundo exibido na tela de vídeo não está limitado a questões relativas ao processamento no motor de *rendering*. Ainda segundo Walter, Drettakis e Parker (2002), o algoritmo apresentado de forma esquemática no Diagrama 2-B pode ser aplicado a outros *softwares de rendering*.

A frequência em que os fotogramas são exibidos nos dispositivos gráficos de tela é medida em FPS. Quando se atinge o valor de seis FPS pode-se dizer que pode haver alguma interatividade que somente é efetivamente atingida aos quinze FPS (AKENINE-MOLLER e HAINES 2002, p. 11).

Os algoritmos em geral gastam um determinado intervalo de tempo para regenerar os objetos na cena. Estes objetos deixam “rastros” (artefatos) no processo de recriar a imagem dinamicamente.

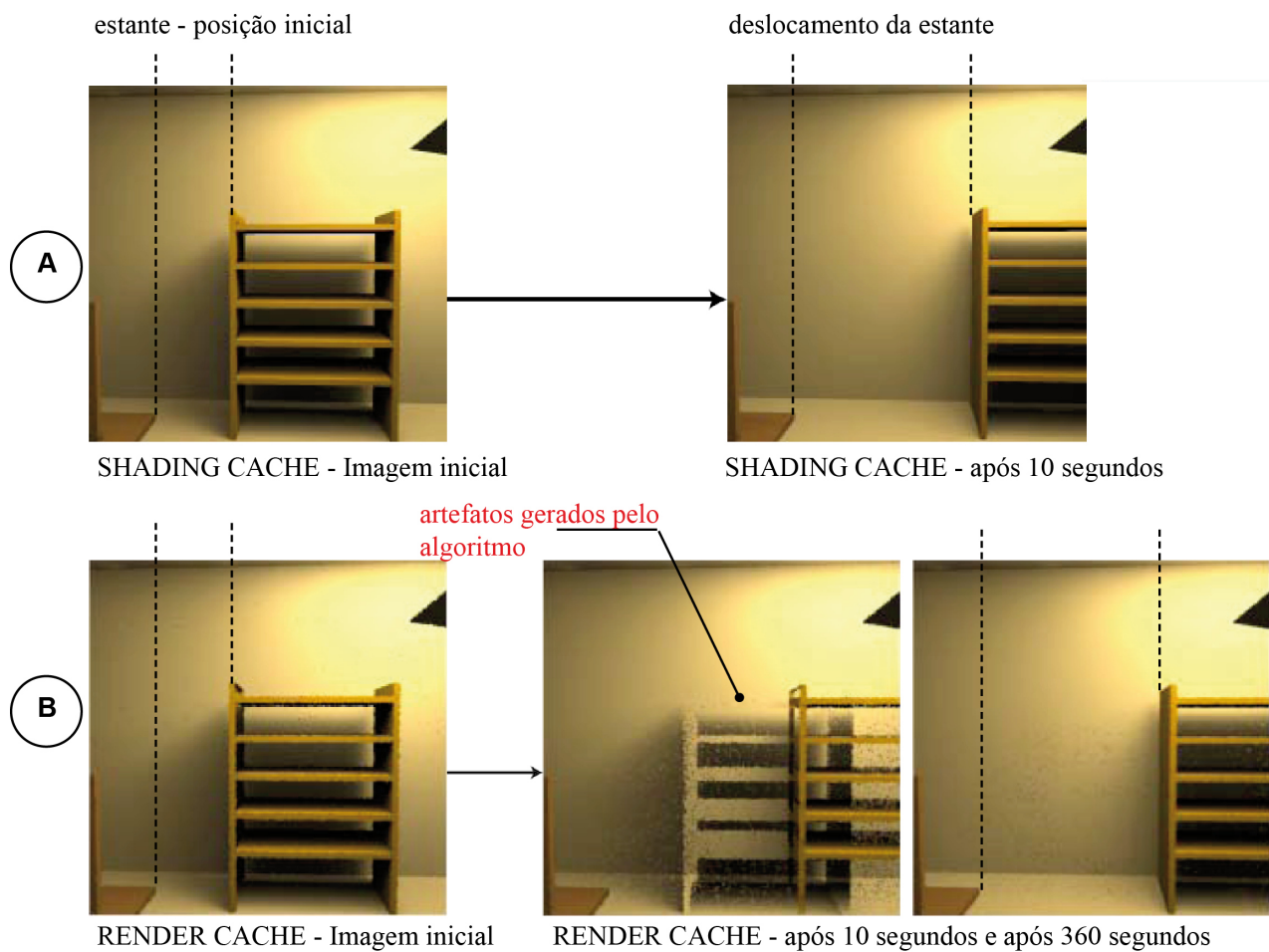


Figura 2: Comparativo entre os algoritmos *Shading Cache*(A) e *Render Cache*(B)

Fonte: Adaptado de Walter, Drettakis e Greenberg (2002) e Tole (2003)

Na figura 2 o comparativo mostra duas cenas em iguais condições de qualidade de imagem.

Na cena inicial o objeto estante será movimentado ligeiramente para a direita do ponto original. Após 10 segundos a imagem produzida pelo algoritmo *ShadingCache* (figura 2-A) está atualizada sem nenhum artefato residual do movimento, enquanto que o algoritmo *RenderCache* (figura 2-B) necessita de 360 segundos para atualizar o *rendering*, o que o torna menos adequado para ambientes virtuais interativos.

Os dados armazenados e projetados sequencialmente entre fotogramas, frequentemente resultam em erros geométricos ou artefatos indesejáveis (figura 2-B), especialmente nos momentos iniciais. Para contornar tal problema, Tole (2003), utiliza um enfoque similar ao RENDER CACHE, denominado *ShadingCache* que armazena os dados geométricos em uma matriz de pontos espaciais, o que elimina os erros decorrentes da retroprojeção. Trata-se de abordagem fundamentada em armazenamento de sombreamento (*Shading cache*) e suporta geometrias dinâmicas por meio de comparativo entre os fotogramas, das amostragens que se tornaram inválidas devido ao deslocamento do objeto (TOLE, 2003, p. 63).

A tabela 1, apresenta comparativo entre alguns algoritmos propostos para oferecer *rendering* em tempo real. Este estudo elaborado por Damez, Dimitriev e Myszkowski (2003) compara os algoritmos segundo os critérios de:

- Suporte a fenômenos de iluminação entre as superfícies (difusa ou especular);
- Complexidade média da cena (em número de polígonos);
- Numero de Fotogramas por segundo (FPS) alcançado;
- Artefatos residuais na cena dinâmica.

O algoritmo *ShadingCache*, elaborado por Tole et al., (2002) destaca-se por alcançar até 45 FPS. Contudo, produz artefatos relativos às malhas de modelagem e alguns atrasos na atualização da iluminação e exige suporte de um aglomerado (Cluster¹⁴) de nove computadores com

14 Cluster trata de aglomerados de computadores para potencializar o poder de processamento em modo paralelo.

processadores “dual Pentium 4” de 1.7 Ghz,

Tabela 1: Comparativo entre os algoritmos interativos

Algoritmo	Suporte a fenômenos de iluminação	Complexidade média da cena (em polígonos)	FPS (fotogramas por segundo) Processador (CPU)	Artefatos	Observações
SPT	Difusa	10^5	1 fps (dual P4, 1.7 GHz)	Falhas nas malhas de modelagem e atrasos na atualização da iluminação da cena (0.1 FPS)	Apenas fontes de luz pontual
DRT	Todos	10^5	1.5 fps (8 dual Athlon 1800+)	Cálculo superestimado e atrasos na atualização da iluminação da cena (0.5 FPS)	Requer hardware com aglomerados de processadores
UHA	Todos	10^4	0.25 fps (P3 733 MHz)	Falhas nas malhas de modelagem	Requer pré-computação
RENDER CACHE	Todos	10^4	0.5 fps (dual P4 1.7 GHz)	Paralisação de cenas e cavidades nas imagens	Requer alguns minutos para alcançar resultados satisfatórios
SHADING CACHE	Todos	10^4	45 fps (9 dual P4 1.7 GHz)	Falhas nas malhas de modelagem e atrasos na atualização da iluminação da cena (0.1 FPS)	Requer hardware com aglomerados de processadores

Tabela 1: Legenda e referências bibliográficas dos algoritmos

SPT	K. Dmitriev, S. Brabec, K. Myszkowski and H.-P. Seidel. Interactive global illumination using selective photon tracing. In <i>Proc. of the 13th Eurographics Workshop on Rendering</i> , pp. 25–36. 2002.
DRT	I. Wald, T. Kollig, C. Benthin, A. Keller and P. Slusallek. Interactive global illumination. In <i>Proc. of the 13th Eurographics Workshop on Rendering</i> , pp. 15–24. 2002.
UHA	X. Granier, G. Drettakis and B. Walter. Fast global illumination including specular effects. In <i>Proc. of the 11th Eurographics Workshop on Rendering</i> , pp. 47–58. 2000.

Fonte: Damez, Dimitriev e Myszkowski, 2003, p. 73

Quando se trata da interatividade em TR, as estratégias mais eficientes atualmente estão entre aquelas que utilizam a aceleração de *hardware* da *Graphics Processing Unit* (GPU - Unidade de Processamento Gráfico) – no processamento de imagem por *Pixel Shade*¹⁵ – e têm potencial para

Grupo de terminais ou estações de trabalho ligados a uma unidade de controle ou servidor, ou mesmo um grupo de servidores que compartilham trabalho. Dicionário de tecnologia, São Paulo, Futura, 2003, p. 162

15 Shaders são programas que são processados diretamente na GPU (placa gráfica de vídeo) . Existem dois tipos de shaders: os *vertex shaders* e os *pixel shaders*. Os vertex shaders trabalham na estrutura dos objetos 3D que compõe a imagem, adicionando efeitos e criando animações, como grama ou cabelos, por exemplo. Os pixel shaders atuam na etapa de renderização da imagem, analisando a estrutura dos objetos, as fontes de luz, cores e outras variáveis e usando estas informações para criar efeitos de luz e sombra, realce de cores, reflexos e outros efeitos.

renderizar ambientes complexos em taxas de FPS satisfatórias para o uso interativo. Para tanto, aplicam-se texturas pré-computadas, mapas de ambiente e *shaders - cache de pixel/vertex* - técnicas aplicadas com muita frequência em jogos eletrônicos computacionais (TOLE et al. 2002).

Zhu, Wang e Luebke (2005) apresentam uma nova abordagem da técnica de RENDER CACHE, experimentada anteriormente por Walter, Drettakis e Greenberg (2002), e empregam adicionalmente a aceleração de *hardware* em GPU's programáveis o que torna o processo até quatro vezes mais rápido que os resultados anteriores.

Nijasure, Pattanaik e Goel (2005) oferecem solução semelhante ao RENDER CACHE, mas propõem a adição de algoritmo de IG progressiva processado em paralelo em GPU's. Apresentam experimentos em cenas complexas onde os objetos e as fontes de luz se movimentam simultaneamente, com resultados promissores ao obter taxas de FPS acima do limite mínimo estabelecido por Akenine-Moller e Haines (2002, p. 11) utilizando *vertex e fragment shaders*, em GPU ATI Radeon 9800.

Lei e Xu (2009) propõem método que utiliza uma estrutura hierárquica do espaço da cena para calcular dinamicamente o conjunto de pontos de amostragem. Esta abordagem simplifica o cálculo e ao mesmo tempo reduz a exigência de memória primária, ao realizar o *rendering* com controle de resolução, de acordo com o posicionamento do objeto em relação ao observador, conhecido como LOD (*level of detail*).

As estruturas pré-computadas de dados utilizados pelo método, acima descrito, possibilitam atualizações interativas e dinâmicas da cena. Para tanto, empregam estratégias de divisão de tarefas entre CPU de núcleos múltiplos, em processamento paralelo. Em cenas complexas, uma CPU é usada para tratamento de cenas dinâmicas enquanto outra CPU é responsável pelo processamento do *rendering*.

Outra linha de pensamento fundamentada nas técnicas de elementos finitos, determinísticos,

pode ser aplicada nas simulações interativas da LN direta e dinâmica em ambientes com geometria fixa, especialmente em simulação de ambientes urbanos. Inicialmente, calcula-se e armazena-se a visibilidade de cada face (triângulo) dos componentes da cena. Na sequência do processo é necessário aplicar um hemisfério sobre a cena e subdividi-lo em duzentas e cinquenta e seis fatias (*patch*) e posteriormente calcular a contribuição da radiação – do sol e do céu - de cada uma destas fatias sobre as faces visíveis da cena (BOSCH, BESUIEVSKY e MARTIN, 2008, p. 256-263).

As técnicas fundadas em algoritmos determinísticos carecem da representação do transporte de luz entre superfícies não difusas. E por esta natureza determinística, sua aplicação em simulação de ambientes urbanos pode ser promissora, uma vez que as contribuições luminosas de superfícies não difusas em cenas urbanas são limitadas.

2.2. Das técnicas de iluminação fundamentada em imagens

A IBR (*Image Based Rendering*) – *rendering* fundamentado em imagens - integrada aos ambientes virtuais busca substituir algumas partes da cena por imagens. O propósito é alcançar tempos menores de processamento especialmente em cenas compostas por geometrias complexas. Ou seja, ao longo de um “passeio virtual” (*walkthrough*) no interior do edifício, as imagens substituem os elementos geométricos – preferencialmente os objetos distantes do observador - como se fossem quadros em uma parede em nossa sala de estar. Quando o observador aproxima-se do objeto, o algoritmo restaura o estado inicial e substituí a imagem pelos objetos tridimensionais da cena.

Esta técnica foi aprimorada por Debevec (1998) para recriar a iluminação das cenas, por meio de processamento computacional de fotografias panorâmicas que posteriormente são aplicadas como fontes de luz para gerar a imagem de síntese. Esta técnica denomina-se IBL (*Image Based Lighting*) – iluminação fundamentada em imagens - e é também conhecida como IG reversa pois ilumina o ambiente virtual (**sintético**) com mapeamento das radiâncias cuja informação luminosa

foi adquirida em ambientes reais por meio de fotografias *High Dynamic Range* (HDR), imagens de alta faixa dinâmica.

No processo de IBL a LN é computada por meio de imagens – que, quando aplicadas como mapas de radiâncias, indicam para o algoritmo de *rendering* a definição de zonas da fotografia que são fontes de luz, ou seja, quais os *pixels* que contêm atributos de energia luminosa (AZEVEDO e CONCI 2003, p. 325).

Nem os monitores nem os papéis fotográficos podem reproduzir toda a faixa dinâmica de iluminação, isto é, a diferença entre o escuro e o claro, presente no mundo real. Entretanto, se forem tiradas várias fotografias com diferentes tempos de exposição, essas imagens podem ser combinadas para que essa faixa dinâmica seja recuperada. Com essa técnica, uma série de imagens pode ser combinada em uma única imagem com alta faixa dinâmica (HDR – High Dynamic Range), denominada mapa de irradiação. Os mapas de irradiação são úteis para representar valores fisicamente corretos de iluminação em aplicações de síntese de imagens realísticas (HUF et al., 2004, p. 8).

Embora existam equipamentos específicos para a captura de imagens HDR, a maioria dos pesquisadores empregam imagens fotográficas omnidirecionais, com exposições múltiplas por meio de técnica inicialmente desenvolvida por Debevec e Malik (1997). São denominadas fotografias omnidirecionais, pois para cada direção de luz incidente, existe um *pixel* correspondente na imagem.

Segundo Reinhard et al., (2006, p.381-391) pode-se obter imagens omnidirecionais para aquisição das referências luminosas reais da LN por meio de:

1. Fotografia de uma esfera espelhada colocada na cena (figuras 3 e 4);
2. Mosaico de fotografias cobrindo uma grande área e ângulos e depois combinadas por meio de software específico, ex. *RealViz Stitcher*;
3. A mesma técnica anterior desde que se utilize uma lente tipo “*fish-eye*” (olho-de-peixe) que permite uma panorâmica completa com apenas duas tomadas (figuras 3 e 6);

4. Fotografia panorâmica obtida automaticamente por um equipamento fotográfico rotativo (360°) mecanizado, ex. Panoscam.



Figura 3: Equipamento para aquisição de imagem HDR - esfera espelhada de 10 cm diâmetro e video-gravadora digital

Fonte: Unger, et al., 2004

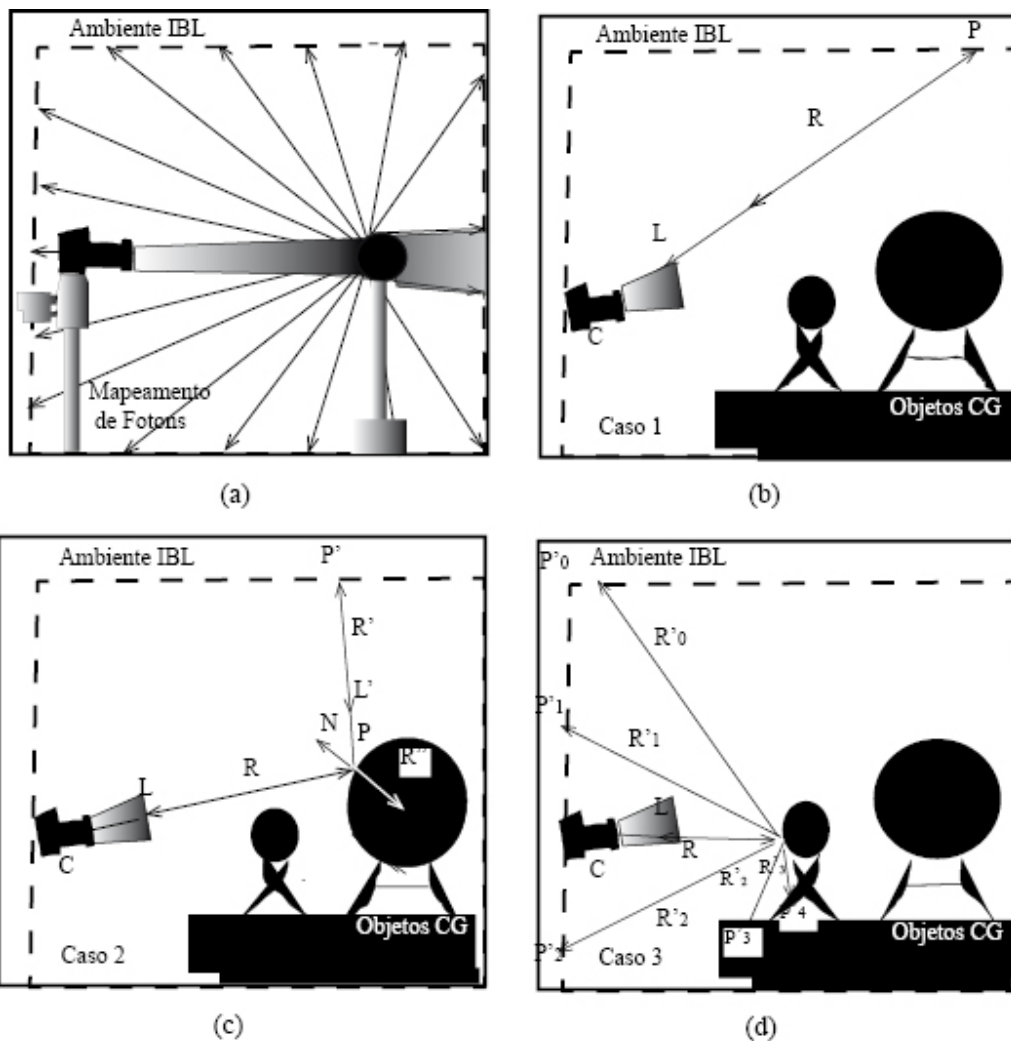


Figura 4: Descrição do processo de aquisição de imagens HDR por meio de esfera espelhada

Fonte: Reinhard et al, 2006, p. 411

A figura 4 apresenta detalhadamente o processo de rendering baseado em iluminação fundamentado em imagens, IBL, por um software de simulação de IG, que trata de estimar o valor da iluminação originada no ambiente e em cada ponto das superfícies da cena (P).

A imagem é gerada de *pixel* em *pixel* e para cada um deles é necessário determinar o valor RGB (L): caso 1 (figura 4-b). No caso 2 (figura 4-c) o raio lançado (R) atinge uma superfície espelhada (especular) e é refletido no ângulo da normal (N). No caso 3 (figura 4-d) o raio lançado (R) atinge uma superfície difusa que reflete a luz igualmente em todas as direções.

Em seguida à captura fotográfica, estas imagens devem ser convertidas para formatos aplicáveis aos diversos *softwares* que as utilizam como mapas de texturas e aplicadas em uma semiesfera para iluminar a cena conforme explicado anteriormente nas figuras 3, 4 e 5. Estas técnicas de conversão foram descritas por Debevec (1998 e 2002).

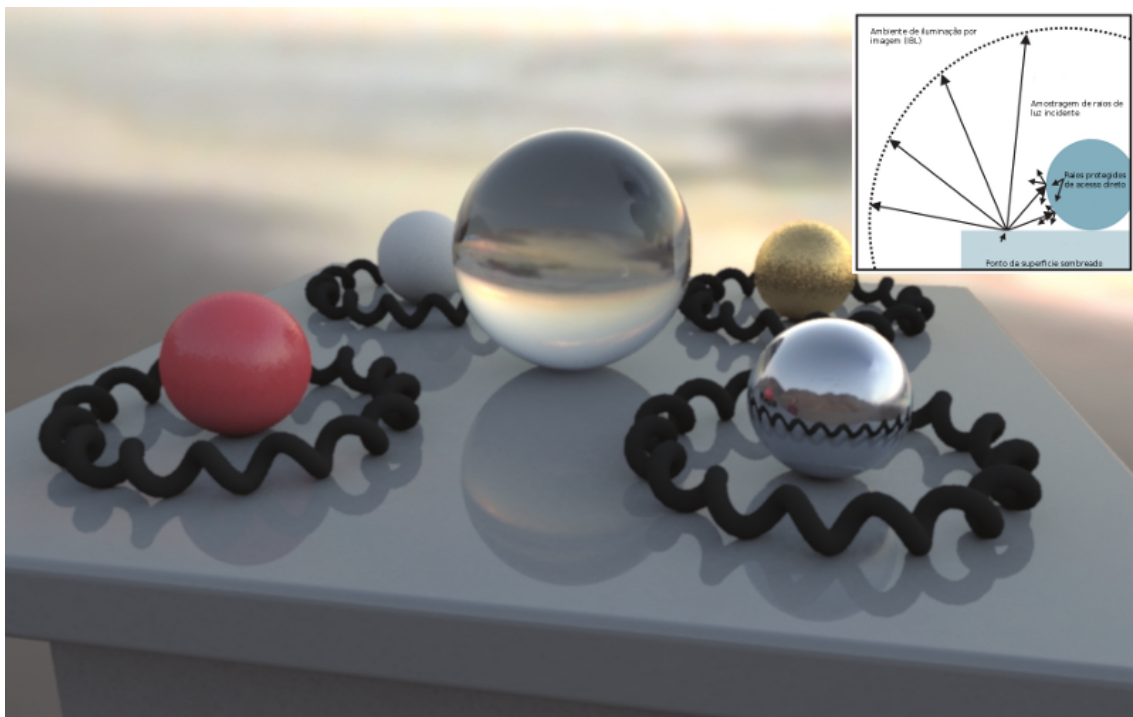


Figura 5: Imagem HDR aplicada em semiesfera para gerar o IBL

Fonte: Adaptado de Debevec, 2002, p 31

É possível gerar imagens HDR a partir de imagens obtidas por equipamentos fotográficos digitais comuns desde que sejam obedecidas determinadas especificações, calibrações e regras. Em

pesquisas na Universidade Metropolitana de Londres, Jacobs e Brotas (2006) propõem que o processamento e conversão aconteçam por meio da internet facilitar a tarefa para o usuário leigo. Para tanto, o usuário deve enviar as imagens capturadas que devem ser obtidas por máquinas fotográficas digitais previamente calibradas pelos autores (ver metodologia no site dos autores).

Posteriormente, as imagens são processadas e combinadas em uma única imagem HDR é apresentada ao usuário. Esse processo evita a manipulação de softwares complexos o que permite que um usuário leigo possa gerar suas próprias imagens HDR.

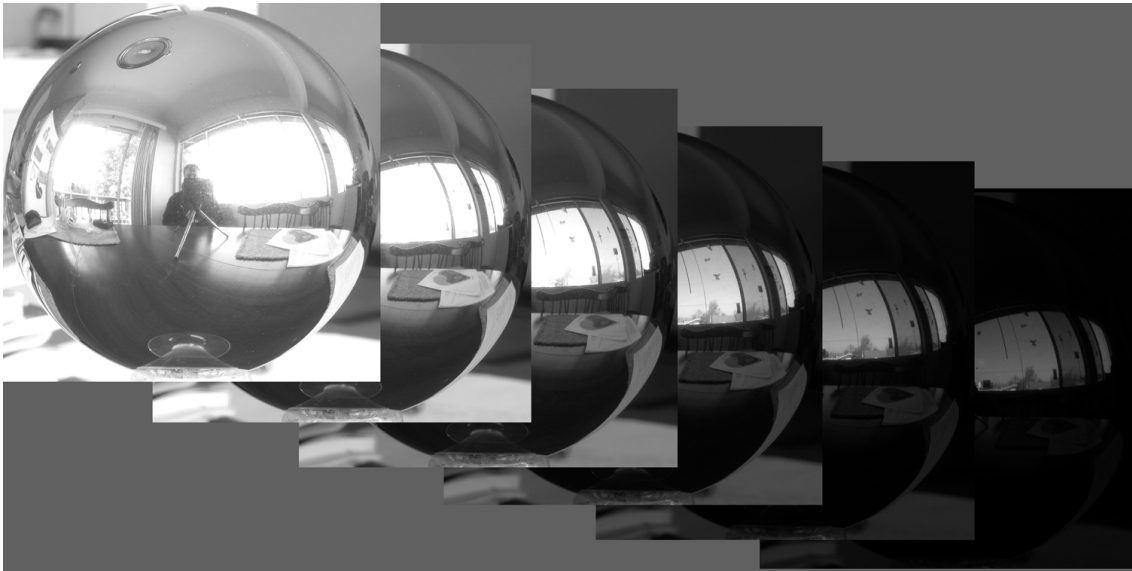


Figura 6: Captura de imagens por meio de lentes fish-eye para gerar imagens HDR

Fonte: Ward, 2002.

Segundo Ward (2002), o meio mais natural para representar a simulação da luz, sem dúvida é uma imagem sintética que é de fácil de interpretação. De modo geral, as imagens sintéticas são vistas na tela de vídeo do computador. Contudo, os monitores de vídeo convencionais não podem exibir a extensa faixa dinâmica das imagens resultantes das simulações fisicamente fundamentadas da luz.

A conversão de imagens HDR para o padrão convencional (JPG, PNG, TIF, BMP, etc) exige a aplicação de mapeamento tonal que trata de uma redução da faixa dinâmica para ser exibida em monitores convencionais.

Neste caso, precisa-se de outra representação de imagem para ultrapassar as limitações da

faixa dinâmica dos atuais monitores padrão CRT¹⁶, LCD¹⁷ e Plasma¹⁸.

Em analogia a este processo, Ward (2002) atribui semelhança com a fotografia clássica, na qual os negativos de cor são efetivamente uma representação HDR da cena e as impressões em papel fotográfico o resultado do mapeamento tonal.

Uma revisão das técnicas de aquisição, processamento e aplicação de imagens HDR está em Ward, Rushmeier e Piatko (1997), Ward (2002), Inanici e Galvin (2004) e Inanici (2004 e 2005). Reinhard et al., (2006) abordam o tema das técnicas de IBR, IBL e HDR com profundidade.

2.3. Das técnicas de mapeamento digital de luminâncias do céu

A chave para o controle da LN no processo de projeção depende do conhecimento dos níveis de luz gerados pelo céu e das suas variações ao longo dos anos e dias. O céu muda constantemente, o que torna a sua análise e representação um problema muito particular. As técnicas tradicionais utilizam conceitos como condições de céu típico. O estudo e a métrica das propriedades do céu tem sido objeto de pesquisas para estimar o fluxo radiante do sol e da abóbada do céu para avaliar dinamicamente a disponibilidade da LN no interior do edifício (ROY, HAYMAN e JULIAN, 1998).

Segundo a norma brasileira (ABNT) as condições de céu é a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre que esta relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz. Para categorizar as distribuições de luminâncias, adota padrão com três tipos de céu (figura 7). Céu claro, céu encoberto e parcialmente encoberto, ou intermediário. O céu caracteriza-se de acordo com o percentual de cobertura de nuvens em uma escala de 0% a

16 CRT - Cathode ray tube – semelhante ao tubo de imagem de raios catódicos de um receptor de televisão. Em sistemas de computadores, há diversos modos de exibição, o mais comum é a especificação SVGA (super video graphics array). Dicionário de tecnologia, São Paulo, Futura, 2003, p. 133

17 LCD – Liquid Crystal Display.- um monitor LCD é produzido com uma grade de exibição que pode utilizar matriz passiva ou ativa e funciona sob o princípio de bloquear a luz ao invés de emití-la. Dicionário de tecnologia, São Paulo, Futura, 2003, p. 490

18 No monitor de plasma cada pixel é iluminado por um pequeno bit de plasma ou gás, como uma miniatura de painel de néon. Pode exibir sinais analógicos como digitais, assim como os monitores de LCD. Dicionário de tecnologia, São Paulo, Futura, 2003, p. 662

100%.

- Céu claro: 0% a 35%;
- Céu parcialmente encoberto: 35% a 75%
- Céu encoberto: 75% a 100%.

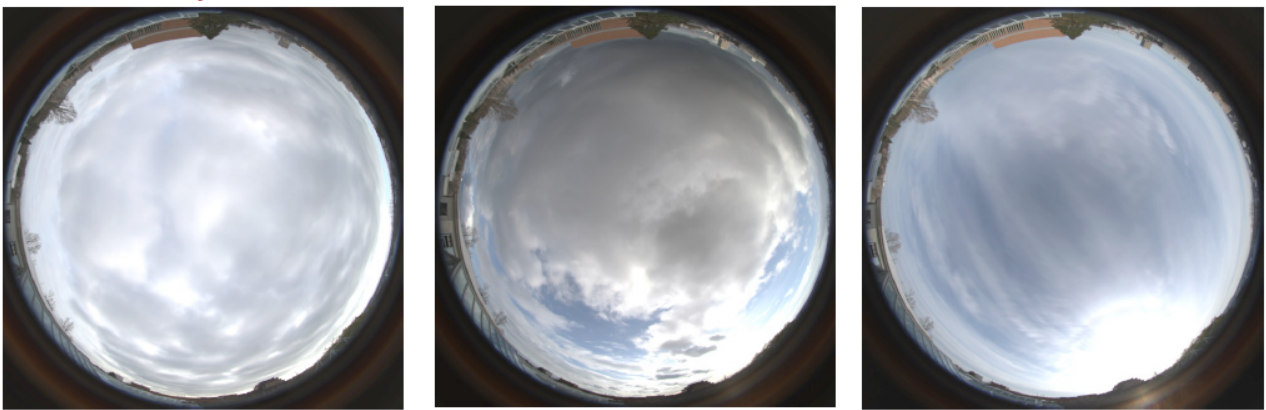


Figura 7: Tipos de céu - encoberto, parcialmente encoberto e claro

Fonte : Ecotect, 2004

Por outro lado, o CIE (International Commission on Illumination) adota padrão similar (figura 8). dividindo os tipos de céu em: 1) Encoberto, 2) Intermediário, 3) Limpo e 4) Uniforme

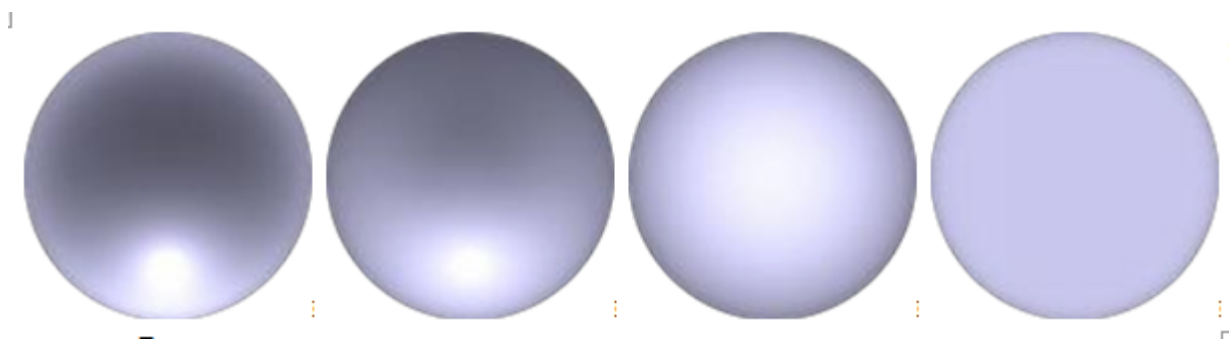


Figura 8: Tipos de céu, segundo o CIE

Fonte: CLEAR, 2006

Segundo CLEAR (2006) o tipo 1, encoberto, sofre mudanças de acordo com a altitude. É três vezes mais brilhante no zênite do que no horizonte. O céu nublado é usado na medição de fatores de luz natural e pode ser modelado sob um céu artificial. O tipo 2, intermediário é uma variante

com percentual de cobertura nebulosa em relação ao céu claro. A coroa solar não é tão brilhante como no céu claro e as mudanças de luminosidade não são tão drásticas. No tipo 3, limpo a luminância do céu varia de acordo com a altitude e azimute do sol. O tipo 4, uniforme é caracterizado por uma luminosidade uniforme que não varia de acordo com a altitude ou azimute do sol.

A pesquisa de Spasojevic e Mahdavi (2005) explora o potencial uso de uma câmera digital equipada com uma lente *fish-eye* para converter, em tempo real, o mapeamento da distribuição de luminâncias do céu. Esta técnica comprovou-se efetiva, desde que as imagens capturadas da abóbada sejam calibradas por meio de medições fotométricas paralelas – simultâneas -, *in loco*, dos níveis de iluminância horizontal. Assim, este mapeamento pode constituir uma fonte confiável de dados para a construção de modelos de céu para uso em ferramentas de predição da LN. Contudo, seus experimentos foram testados em céus com condições predominantemente encobertos ou nublados, o que dificulta sua aplicação em condições de céu parcialmente encoberto que predominam no Brasil.

O método de Abertura de Meridianos (*Method for Aperture Meridians* - MAM) foi elaborado por Darula e Kittler (2002). Propõe técnica para calcular a luminância do céu visto através de uma abertura retangular (orientada verticalmente) para posição solar, orientação específica do edifício, da janela do céu e do modelo escolhido. O software MAMmodeller (anexo IV) fundamentado nestas técnicas foi desenvolvido por Geoffrey G Roy (2007).

Ronnberg (2004), Stumpfel et al., (2004) e Stumpfel (2004) apresentam estudos de captura dinâmica da LN do céu e da coroa solar, por meio de fotografias e vídeos digitais. Apresentam técnica que ultrapassa os limites da fotografia tradicional para capturar a iluminação natural de ambientes naturais que incluem a iluminação direta do sol e indireta do céu. Discutem sobre os critérios de seleção dos tempos de exposição, abertura de diafragma e filtros de densidade neutra na captura da iluminação natural - em series de sete exposições de cada vez – por meio de uma câmera

digital padrão e demonstram alguns resultados em experimentos de renderização de cenas iluminadas por imagens HDR em ambientes complexos e de alta resolução.

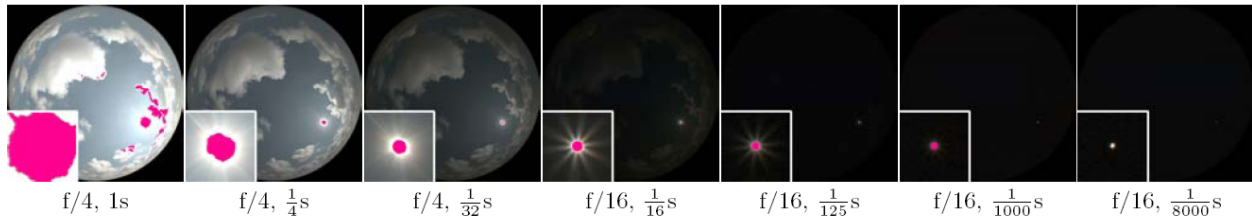


Figura 9: Uma das series de sete exposições do céu e coroa solar

Fonte: Stumpf et al., 2004 (p.145)

Na figura 9, Stumpf et. al., (2004) apresentam uma sequência de imagens HDR com indicações das configurações de abertura do obturador da câmera para abranger as sete exposições. Uma visão detalhada do sol é apresentado no canto inferior esquerdo de cada imagem; regiões na cor rosa indicam as áreas saturadas enquanto as regiões escuras indicam as áreas que não foram saturadas pela luz do sol.

Pereira et al., (2007) apresentam uma metodologia para avaliar o desempenho das ferramentas de simulação computacional de iluminação natural baseadas no mapeamento digital de luminâncias do céu. Estas ferramentas de simulação de iluminação natural exigem caracterização segura da fonte de luz natural o que requer modelos precisos de distribuição de luminância do céu. Para a validação destes modelos, Pereira et al., (2007) propõem gerar dados de entrada para simulação teórica por meio de mapeamento digital da distribuição de luminâncias, criando contexto para a comparação do comportamento da luz entre o modelo experimental e o modelo teórico.

2.4. Das técnicas de visualização aplicadas nas *Games Engines*

A tecnologia computacional dos ambientes virtuais tem contribuído para o estabelecimento de novas interfaces usuário-computador, novos paradigmas para tratar dados muito complexos, com capacidade de até mesmo representar mundos virtuais nunca antes vistos. Estes processos estão explícitos na indústria de jogos eletrônicos computacionais (JEC) (*games*) atuais, com excepcional poder de processamento computacional gráfico.

Os motores de jogos (*game engines*) referem-se a uma coleção de módulos de códigos de simulação que *não* determinam previamente as ações e reações do usuário na lógica do jogo (LEWIS e JACOBSON, 2002). São *softwares* gráficos que utilizam fluxos de *rendering* programados para a visualização imersiva ou não-imersiva de mundos virtuais tridimensionais em tempo real e incorporam elementos de domínios diversos, tais como *Graphical User Interface* (GUI) ou Interfaces Gráficas de Usuário, Inteligência Artificial, Física, funcionalidades de redes, audio e geradores de eventos.

Conforme a definição do FOLDOC, dicionário de computação mantido pelo Departamento de Computação do *Imperial College* de Londres, o *software* gráfico é um componente capaz de executar um processamento que resulta em uma determinada saída, precisando obrigatoriamente de um *front-end*¹⁹ que irá fornecer as informações de entrada e/ou exibir as informações de saída.

Esses motores de jogos podem ser divididos em duas categorias. A primeira abrange os que disponibilizam o código de programação (*open source*) e, na maioria, derivam de aplicativos comerciais ultrapassados, tais como DOOM e QUAKE 2 da Id Software (Id Software, 2006). São plenamente funcionais, contudo não dispõem de recursos gráficos avançados. E a segunda abrange os aplicativos comerciais, tais como QUAKE 3 (Id Software, 2006), *Unreal Tournament 2004* e *Half Life 2* em versões atuais que podem ser consideradas como o estado-da-arte dos motores gráficos de jogos (KOT et al, 2005).

A figura 10 mostra a estrutura modular global de motor de jogo (*game engine*) que se refere a uma coleção de módulos de código de simulação que não é diretamente relacionado ao comportamento do jogo (lógica do jogo) ou ambiente do jogo (nível de dados). Na figura o nível inferior é ocupado pelo Sistema Operacional, por ser o programa de nível básico, conforme o nível de complexidade aumenta, os programas ocupam a faixa superior do gráfico. O motor inclui módulos de movimentação, entrada/saída (renderização em 3D, desenho 2D, som) e

19 Aplicativo que atua na comunicação interface/usuário com o software.

física/dinâmica. Além de módulos que permitem ao próprio usuário criar novos ambientes e comportamentos e aplica-los no jogo. Destaque-se que os motores de jogos são dependentes do sistema operacional para o qual foram programados e tem vínculos específicos com as instruções para o *hardware* das placas gráficas especialmente fabricadas para esse fim.

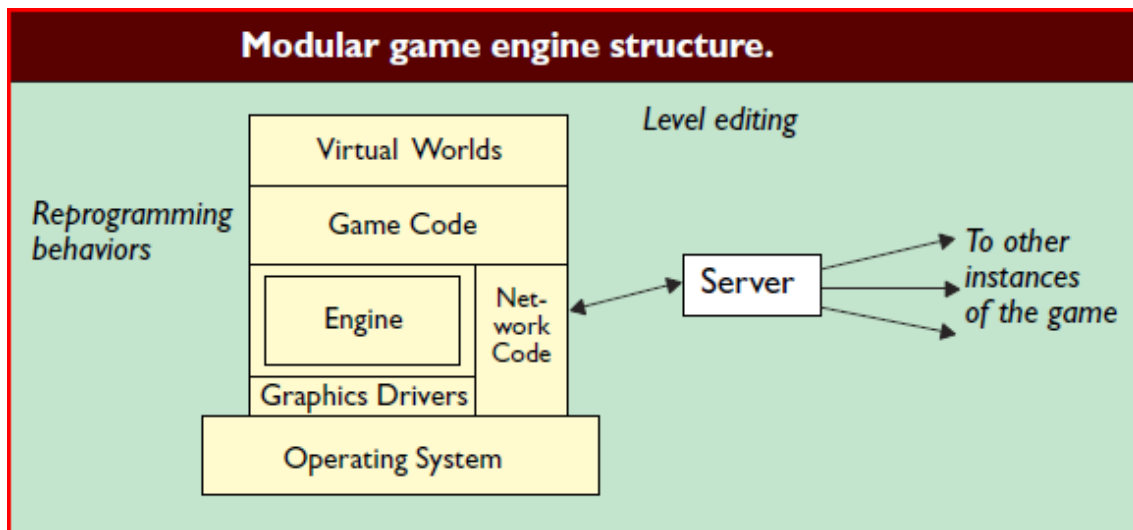


Figura 10: Estrutura modular na Game Engine.

Fonte: LEWIS e JACOBSON, 2002.

Revisão das técnicas utilizadas pelas motores de jogos (*games engines*), assim como os softwares correlatos, foram abordadas em Fritsch e Kada (2004) que demonstram que essas técnicas podem ser adotadas para desenvolver visualizações de projetos arquitetônicos.

O fluxograma da figura 11 (BECK, 2002 *apud* FRITSCH e KADA, 2004) apresenta os passos a serem seguidos. Inicialmente deve-se criar um modelo tridimensional com poucos detalhes. A geometria pode ser modelada por meio da combinação de sólidos de formas simples como cubos, pirâmides e esferas. Sobre este modelo tridimensional simplificado são aplicados os mapas de texturas que, por sua vez, podem ser sintéticas ou obtidas por meio de fotografias. Estes mapas de texturas substituem a complexidade geométrica dos objetos da cena, permitindo um melhor desempenho computacional quanto ao *rendering* das cenas dinâmicas.

Uma vez que a modelagem simplificada estiver completa, ainda não pode ser usada porque o

motor de jogo não tem como processar os dados. Assim, o mapa deve ser primeiro compilados com ferramentas designadas que transformar os dados dos sólidos em uma representação de faces.

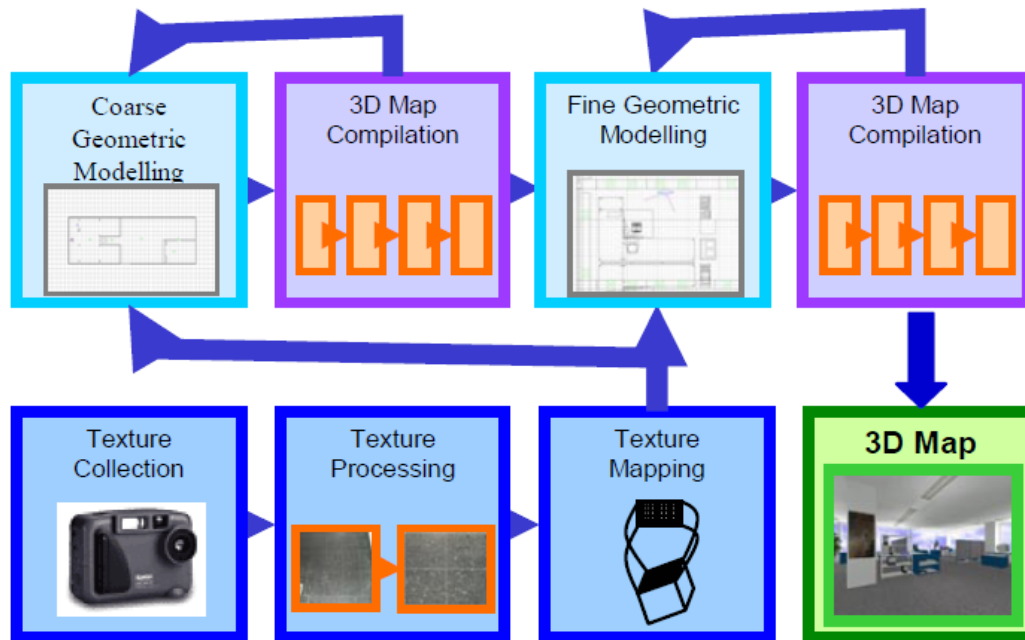


Figura 11: Fluxograma para gerar mapas de texturas 3D no Quake III Arena.

Fonte: Beck, 2002 apud FRITSCH e KADA, 2004.

Fritsch e Kada (2004) também discutem o papel dos motores de jogos (*games engines*) na criação de ambientes tridimensionais que apresentem informações em dados geográficos. As informações obtidas por imagens de satélites podem ser integradas aos bancos de dados específicos. Por exemplo, informações físicas do relevo do sítio da cena virtual são recuperadas das bibliotecas dinâmicas dos motores de jogos (*games engines*) o que permite uma representação fidedigna do ambiente onde o jogo se desenrola.

As técnicas de *real-time rendering* (rendering em tempo real) têm sido desenvolvidas e aplicadas aos *games*, especialmente no que diz respeito à transferência do processamento da CPU para as GPU's programáveis - conhecidas como *Shaders*²⁰ e *Vertex/Pixel Shaders*. Essas técnicas foram discutidas por Watt e Policarpo (2003, p. 189).

²⁰ Ver Glossário

Uma introdução às técnicas de programação para motores de jogos (*games engines*), assim como uma breve história do desenvolvimento dos *games* – abordando tanto o hardware como o software - podem ser encontradas em Grebler (2006, p. 1-16).

As informações perceptuais – tais como objetos geométricos, cores, texturas, iluminação, sons etc – adicionadas às informações abstratas – tais como descrições, classificações, estatísticas, valores numéricos etc – formam o conceito dos IRVE (*Information-Rich-Virtual-Environment*) ou ambientes virtuais de informação ampliada (BOWMAN et al. 2005, p. 414).

2.4.1. Os ambientes virtuais - visão histórica

O primeiro dispositivo de realidade virtual se confunde com o próprio nascimento da perspectiva: trata-se da famosa experiência da Tavoleta, realizada no Quattrocento, por Brunelleschi (PARENTE, 1999, p.128).

Ainda segundo Parente (1999) seguiram-se diversos dispositivos imagéticos criados nesta época – *Kaleidoscópio* (David Brewster, 1815), *Thaumatópio* (John Paris, 1825), *Phenakistiscópio* (Joseph Plateau, 1830), *Estroboscópio* (Simon Ritter von Stampfer, 1834), *Zootrópio* (William George Horner, 1835).

O Panorama é o primeiro dispositivo imagético a proporcionar imersividade, ainda no século XVIII. O panorama é um tipo de pintura mural (patenteada em 1787 por Robert Barker) construída em um espaço circular (rotunda) em torno de uma plataforma central, de onde os espectadores podiam observar um dos espetáculos imagéticos mais apreciados do século XIX. Basta lembrar que eles eram construídos em rotundas equivalentes a dois ou três andares (figura 12) (PARENTE, 1999, p.125).

“Os panoramas eram tão monumentais como sistema de representação – em geral eles nos davam uma visão monumental da natureza e da história – quanto como sistema arquitetônico” (PARENTE, 1999, p.125)..

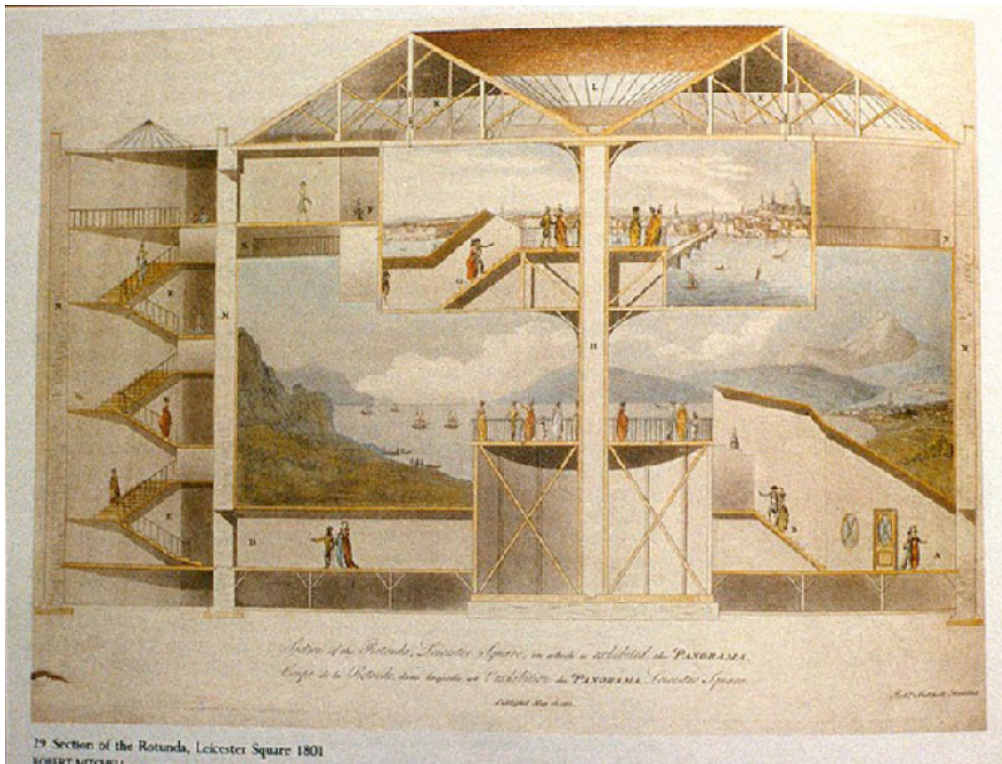


Figura 12: Panorama de Robert Barker em Leicester Sqaure, Londres – pintura aplicada em painel no interior da rotunda.

Fonte: Parente, 2008

Na verdade, trata-se de um sistema que está na origem de uma série de questões fundamentais atuais, entre elas as questões da imersividade, do cinema, dos parques temáticos e dos atuais sistemas de realidade virtual.

Recentemente, um número de sistemas foram desenvolvidos que utilizam técnicas de renderização baseada em imagens para a visualização de ambientes virtuais. A representação utilizada por alguns desses sistemas simula uma panorama, pintura mural utilizada desde o século XIX como uma forma de expressão da imagem. Chamamos essa representação de panorama virtual. Em uma panorama virtual, o usuário permanece em um ponto fixo, podendo olhar ao seu redor em qualquer direção (MATOS, GOMES e VELHO, 1997).

No domínio computacional, Chen (1995, p. 29-38) apresenta uma abordagem que utiliza imagens sintéticas panorâmicas cilíndricas para compor o ambiente virtual ajustado em tempo real. Utilizando os mesmos conceitos do Panorama de Robert Barker, mas em formato digital e não imersivo. As imagens panorâmicas cilíndricas podem ser geradas por câmaras panorâmicas

específicas ou pelo processo conhecido como “*stitching*”, que “costura” diversas imagens sobrepostas (até obter uma visão 360°) obtidas por uma câmera fotográfica.

Neste sistema, o observador pode alterar o ponto de vista dinamicamente e visualizar a alterações em tempo real (exceto nas direções cima/baixo). Como o observador não se move, as interações especulares podem ser exibidas corretamente, e não há limite para a complexidade geométrica, embora estes dois fatores claramente influenciem o tempo de computação inicial para gerar a cena dinâmica (WARD, 1996, p.1-17).

2.5. Das cenas animadas com suporte de agentes inteligentes

Nos mundos virtuais as limitações físicas não são relevantes, por exemplo, a localização geográfica dos usuários não importa. Nos aspectos associados à interação entre os usuários as entidades computacionais que os representam no ciberespaço²¹ são denominadas como **agentes**, em geral são denominados como *agentes inteligentes* ou *inteligencias artificiais* quando dispõem de alguma forma de “pseudo-inteligência” (SHERMAN e CRAIG, 2003, p. 368).

Os agentes inteligentes²² podem suportar a interatividade em cenas animadas. Segundo Silvestre, et al (2004), pode-se considerar duas abordagens alternativas para a concretização de ferramenta que busca a geração de cenas animadas interativas apoiadas por agentes inteligentes.

A primeira consiste em usar unicamente um programa de modelação. Ou seja, modelam-se os elementos estáticos e dinâmicos da cena; depois, através de scripts dentro do próprio programa de modelação, programam-se os acessos aos elementos dinâmicos, bem como os controlos [sic] de animação; de seguida, através da API [Interface de programação de aplicativos(nota minha)], constrói-se o programa de IA [Inteligencia Artificial (nota minha)] que acede aos scripts e controla as representações gráficas dos agentes. Todo o processo de rendering será feito dentro do software de modelação. A grande vantagem desta abordagem é o facto de as imagens serem geradas no próprio software de modelação, não

21 É um local que existe apenas nas mentes dos usuários que interagem entre si, em geral é resultado de tecnologia que habilita a comunicação interativas entre pessoas distantes SHERMAN e CRAIG, 2003, p. 17.

22 Consultar o Glossário para uma descrição detalhada

havendo constrangimentos no que respeita à ferramenta de rendering a utilizar, permitindo assim a obtenção de imagens muito realistas. (SILVESTRE et al., 2004,p.2).

Ainda segundo Silvestre et al. (2004) a segunda abordagem seria:

...a utilização de um motor gráfico, um tipo de software tipicamente usado em jogos de computador, para se poder gerar as imagens e as animações em tempo real. Esta abordagem tem uma componente mais forte de programação: primeiro modelam-se os elementos da cena e as animações pretendidas usando para tal um programa de modelação; de seguida, esta modelação é exportada para um motor gráfico, onde se liga a componente de IA através da API, à semelhança do que se passa no desenvolvimento de um jogo de computador. Com esta abordagem o problema da animação não correr em tempo real já não existe - tudo corre em tempo real - e a plataforma a desenvolver é independente do software de modelação, uma vez que os modelos e animações são exportados deste para o motor gráfico. (SILVESTRE et al., 2004, p.2-3).

A primeira abordagem tem como limitação a incapacidade de criar-se animações em tempo real, desde que a construção interna - ao software de modelagem - das imagens demanda um tempo de geração que é incompatível com a interatividade. A segunda tem potencialmente como alcançar a interatividade em tempo real, pois há uma divisão de tarefas em três ambientes independentes.

A aplicação destes conceitos, revistos nos tópicos acima, tem bastante relevância no desenvolvimento da presente pesquisa.

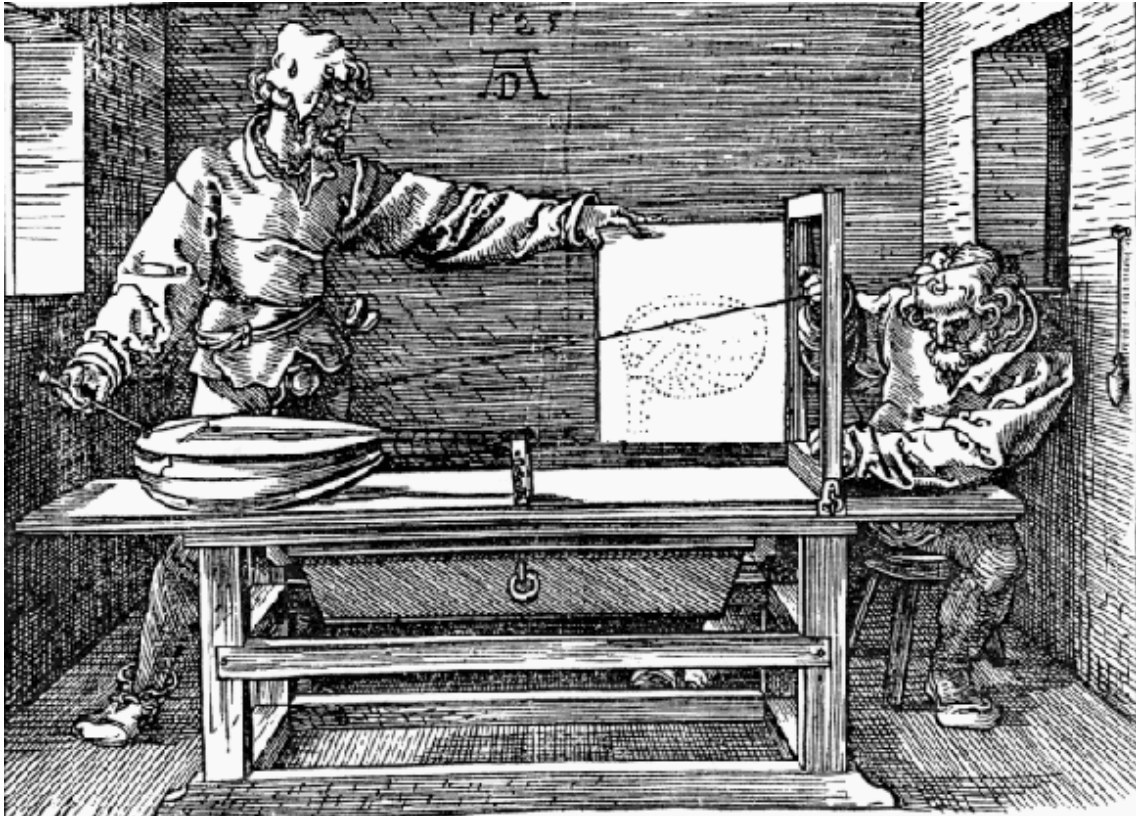


Figura 13: Criação mecânica de perspectiva segundo Dürer.
Fonte: Extraído de Jenses e Christense, 2007, p. 14.

A visualização computacional pode ser categorizada de duas formas, de acordo com possíveis interações da interface entre os dados de entrada/saída e o usuário. O primeiro enfoque trata da **interação assíncrona**, que se baseia em processo de sequência linear: entrada de dados (figura 14-A); em seguida efetua-se o cálculo da solução; apresenta-se a saída que é uma imagem sintética estática (figura 14-B). Esse enfoque é considerado assíncrono, pois existe uma demanda considerável de tempo de processamento computacional, o que provoca esperas entre as entradas e as saídas. Nesta pesquisa este enfoque também é tratado como *rendering off-line*.

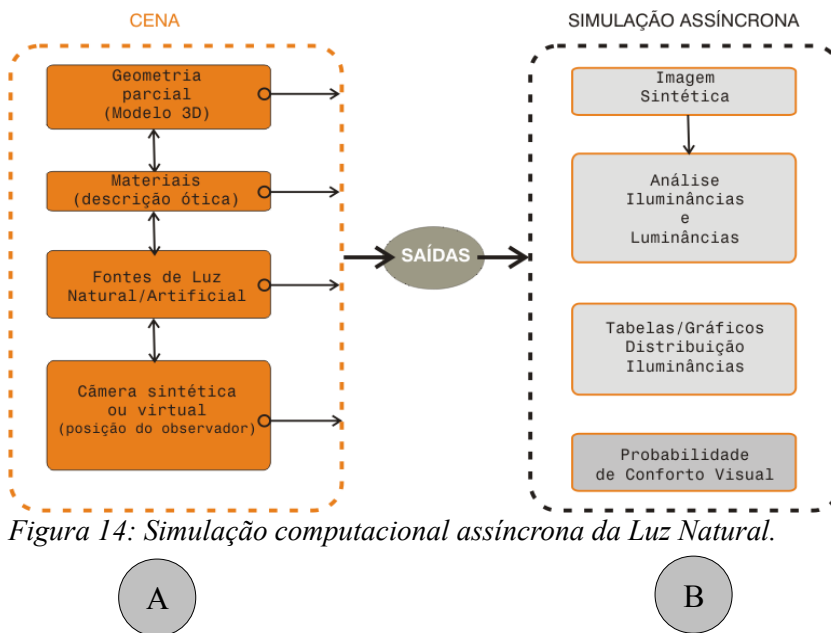


Figura 14: Simulação computacional assíncrona da Luz Natural.

Na geração de imagens sintéticas estáticas a sequência de ações do usuário deve seguir os passos previamente estabelecidos na interface do software de simulação. De modo geral, na construção da cena, a modelagem da geometria tridimensional antecede todos os demais atributos da cena: a definição dos materiais, das fontes de iluminação e a posição do observador. A saída depois de certo lapso de tempo - que esta vinculado a complexidade da cena - será uma imagem de síntese estática, única.

Por outro lado, a **avaliação interativa síncrona** (figura 15) tem por objetivo simular a LN e apresentar as saídas em TR, na medida em que os atributos da cena são alterados. Além de precisos,

os algoritmos precisam ser rápidos o suficiente para computar, em TR, cada ação e reação do usuário. Este ciclo de ação/reação/*rendering* deve acontecer em uma frequência suficiente para que o usuário perceba-se em um ambiente dinâmico e não visualize apenas uma sequência de imagens, fotograma (*frame*) a fotograma (como uma apresentação de fotografias).

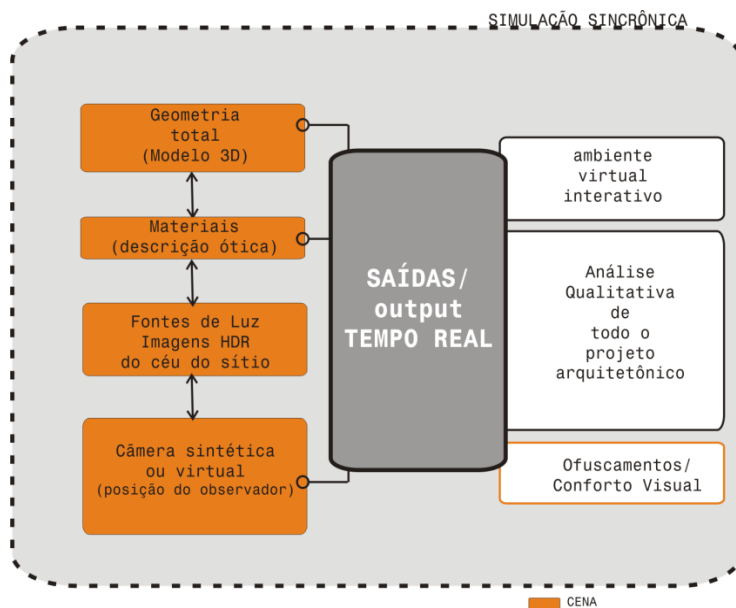


Figura 15: Simulação computacional síncrona da Luz Natural nos AVITR

Na figura 16, apresenta-se um comparativo entre os processos assíncrono e síncrono. As entradas são semelhantes nos dois procedimentos pois o conjunto de elementos que compõem a cena são exatamente os mesmos. Pode-se destacar como exceção os aspectos referentes as fontes de luz no processo síncrono que processa os cálculos por meio de imagens, de acordo com a técnica de IBL (iluminação fundamentada em imagem) a partir das imagens HDR.

O que difere, essencialmente, é que todo o procedimento é dinâmico e interativo, ou seja ao longo do processo síncrono é permitido ao usuário promover alterações das propriedades de cada um dos elementos da cena ao mesmo tempo que como reação as imagens dinâmicas refletem o resultado destas alterações. Melhor dizendo, em tempo real.

Espera-se que no processo síncrono as saídas sejam essencialmente indicativas (qualitativas)

desde que a avaliação numérica, como alertou Inanici (2004), neste caso não pode expressar algumas informações específicas (por exemplo, isoluminancias) dinamicamente.

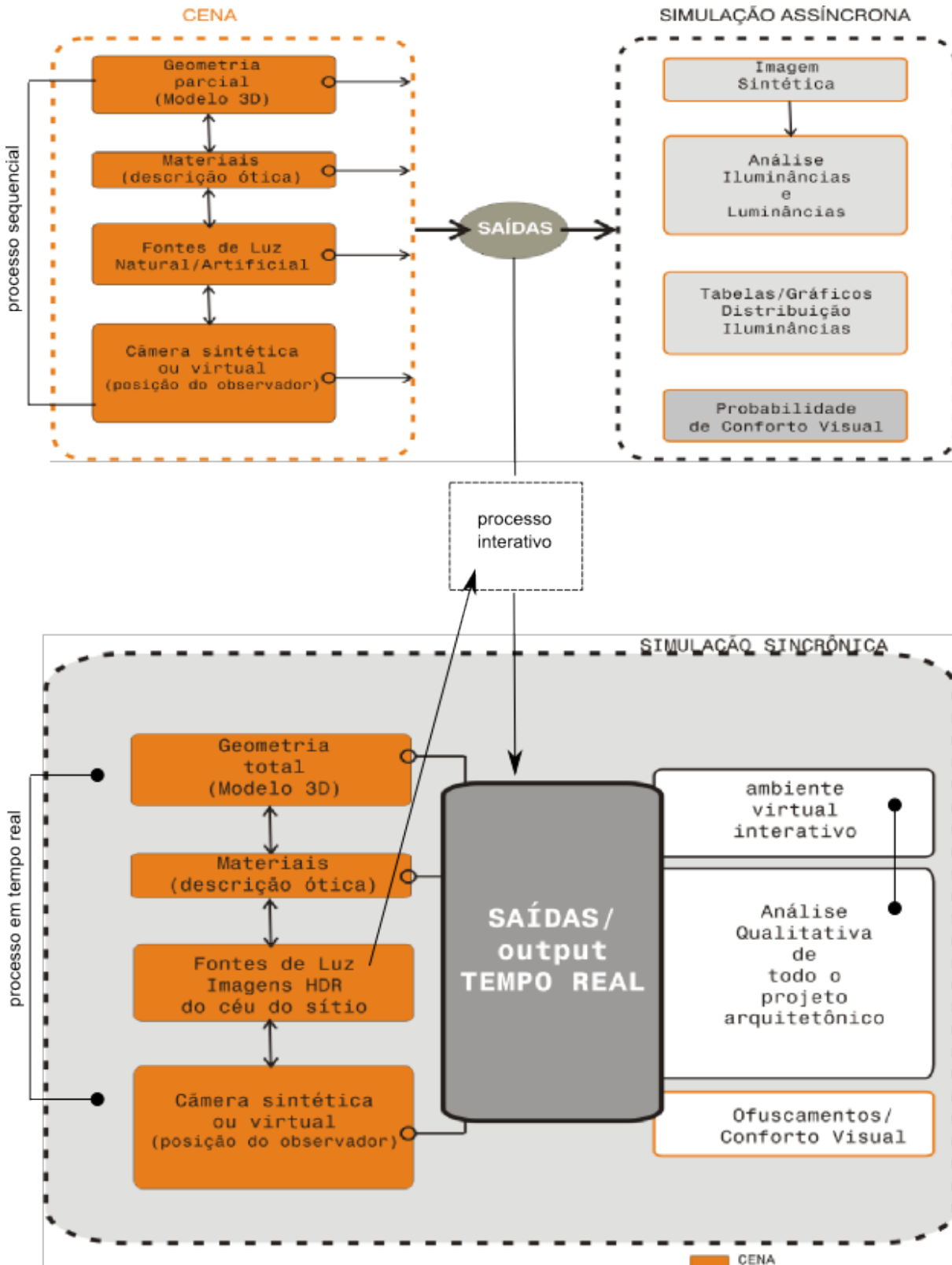


Figura 16: Comparação do modo assíncrono (superior) com o síncrono(inferior)

Na simulação síncrona (figura 16) as saídas são retroalimentadas em tempo real e a análise qualitativa do espaço arquitetônico acontece dinamicamente, em resposta as ações do usuário. Ressalte-se que na avaliação qualitativa a percepção do espaço e a decorrente análise estão conectadas aos aspectos visuais da distribuição das luminâncias e a visualização de possíveis fontes de ofuscamento. Considerando que todos os componentes não se alterem, a avaliação dos ofuscamentos é muito sensível a posição do olho do observador. Eventualmente o desconforto pode ser detectado por um observador em um determinado ponto do espaço e não ser relevante em outro, por isso a avaliação qualitativa é importante nestes casos.

Como processo posterior ao síncrono, depois de resolvidas as dúvidas iniciais do arquiteto em relação as suas escolhas no partido. As saídas numéricas, que buscam avaliar os valores mínimos de iluminâncias de acordo com a ocupação do ambiente podem ser avaliadas no modo assíncrono, sem nenhum prejuízo.

Antes de prosseguir, define-se a LN segundo a ABNT (2005) que é a fusão de três componentes (figura 17). O primeiro componente é a luz direta do sol, o segundo é a luz difusa da abóbada resultante da reflexão dos raios do sol na atmosfera. O terceiro é a luz refletida para o interior do ambiente pelas superfícies externas, ex. árvores, solo, água.

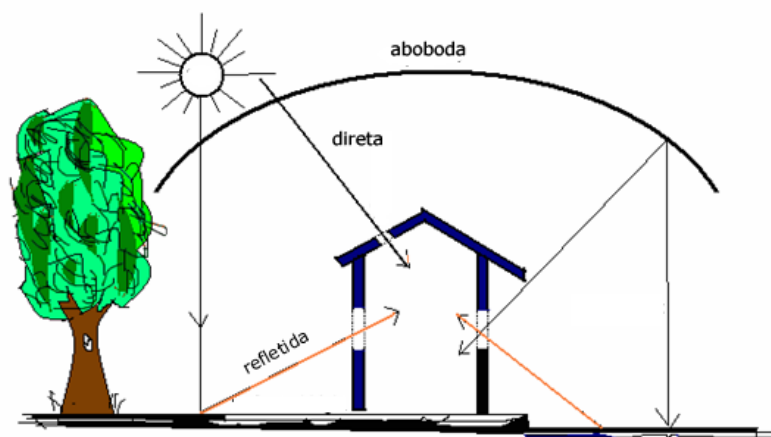


Figura 17: Composição da Luz Natural - esquemática

Contudo, deve-se ressaltar que a norma da ABNT não considera as inter-reflexões entre as superfícies internas atuando como fonte de iluminação. Esta fonte secundária existe e deve ser

considerada na simulação da LN. O RADIANCE adota estratégia muito específica para calcular estas fontes indiretas onde a luz é gerada nas reflexões entre as superfícies e não mais na sua fonte original.

A Iluminação natural (LN utilizável como fonte de iluminação para os ambientes arquitetônicos) é uma proporção entre a LN que depende das condições climáticas e geográficas, a obstrução gerada pelo “envelope” (forma) do edifício, dependente da geometria e orientação solar do edifício. Na figura 18 apresenta-se um diagrama simplificado do problema, visando esclarecer a complexidade do problema do cálculo da LN no interior do edifício.

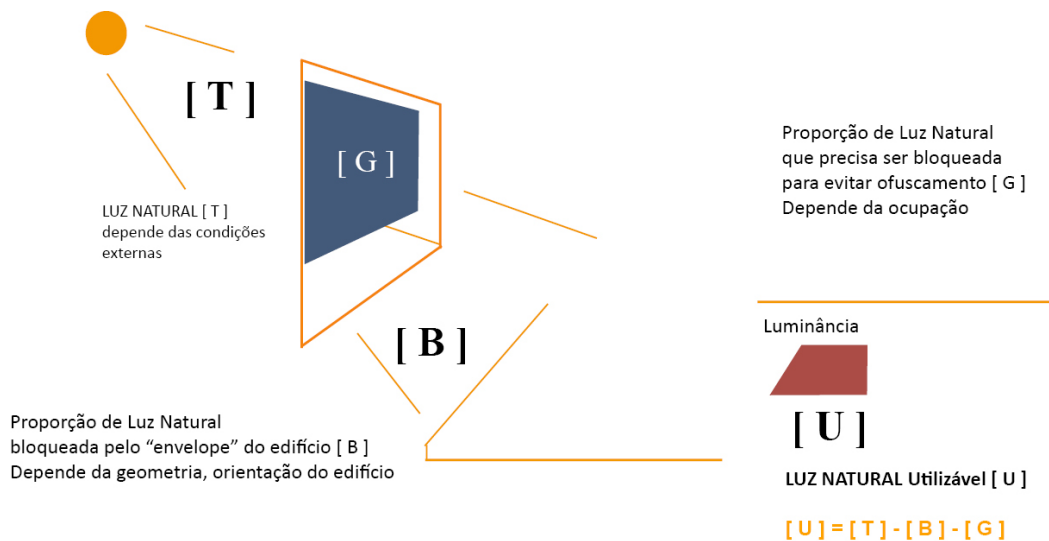


Figura 18: Iluminação natural - esquema da proporção de Luz Natural que deve ser considerada no processo de projeção.

Fonte: adaptado de TORRES, 2008

Deve-se levar em consideração a proporção da LN que precisará ser bloqueada para evitar ofuscamentos que depende da ocupação, do tipo de ambiente e da posição geométrica do plano de trabalho do usuário a ser avaliado. A equação a seguir tem como o resultado o fator U que representa a proporção de LN utilizável para ambientes arquitetônicos.

$$U = T - B - G$$

Onde T =LN disponível B = Proporção do Bloqueio do envelope G =Proporção do bloqueio para evitar ofuscamentos

3.1. Imagem de Síntese

O processo de geração da imagem de síntese do espaço arquitetônico compõe-se de quatro passos (diagrama 4).

- Passo 0 (inicial) – A entrada de dados da cena;
- Passo 1 – Geração da cena que compõe-se de: 1) definição do modelo tridimensional da geometria do espaço, 2) definições óticas, radiométricas – refletâncias, absorção, refração das texturas e cores – das superfícies dos materiais, 3) câmara virtual - o ângulo de visão do olho do observador – 4) dados climáticos que influenciam as fontes de Luz Natural. Detalhados na figura 19;
- Passo 2 – Compilação dos dados para geração do “*octree*”²³- subdivisão recursiva dos dados geométricos tridimensionais. Detalhados na figura 19;
- Passo 3 - Saída dos dados para o dispositivo de imagem (tela de video do monitor)

23 Atalho algorítmico para acelerar o processamento da cena. Ver Glossário

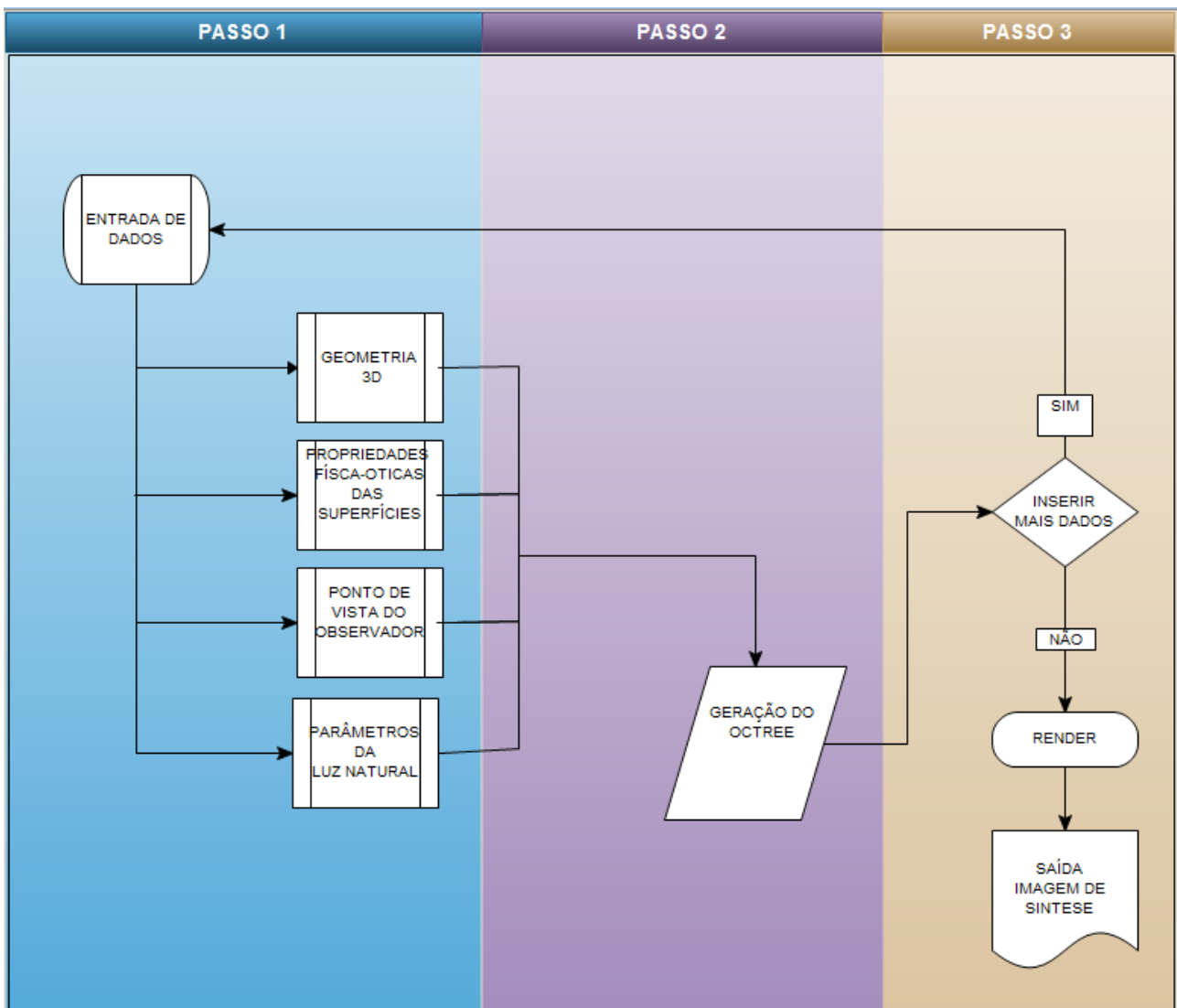


Diagrama 4: Síntese dos passos do processo de geração de imagem sintética.

Fonte: adaptado de Christakou, 2004

Note-se que no passo 1 – geração da cena – os procedimentos de seleção e inserção dos dados podem ser arbitrários quando se gera cenas descompromissadas com a predição da LN.

A figura 19 trata dos procedimentos de geração de imagem de síntese que visa a predição da LN em ambientes arquitetônicos é apresentado dividido em duas partes. A primeira trata do detalhamento da entrada de dados do Passo 1 do Diagrama 4. A segunda trata dos passos 2 e 3 do Diagrama 4 - dos procedimentos de cálculo e saída dos resultados.

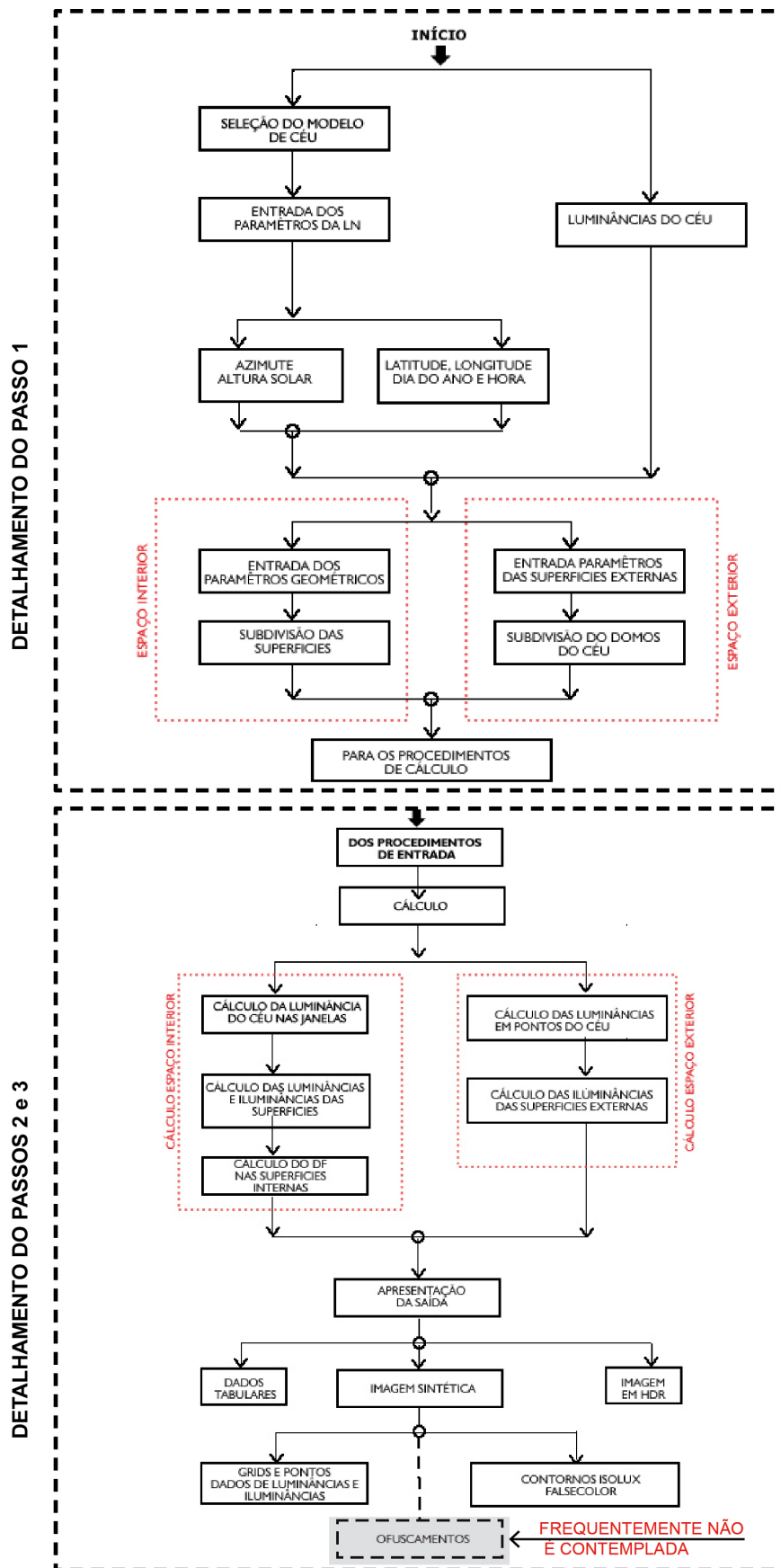


Figura 19: Detalhamento dos passos 1, 2 e 3 - síntese de imagem preditiva da LN

3.1.1. Imagem de síntese – breve introdução

Alguns autores preferem descrever o processo evolutivo da produção da imagem, de forma ontológica, como Santaella e Noth (2008, p. 166) ao propor a existência de três linhas divisórias paradigmáticas. O primeiro paradigma – pré-fotográfico -, trata da criação manual de imagens, incluindo a pintura e a escultura. O segundo paradigma – o fotográfico - trata das imagens registradas por meio mecânico implicando na pré-existência de objetos que emitam os raios luminosos capturados pela objetiva da máquina fotográfica. O terceiro paradigma - o pós-fotográfico - trata das imagens de síntese, cujo processo de geração matemática é representado pelo *pixel*, acrônimo de *Picture elements*, a unidade atômica de uma imagem matricial.

“O *pixel* é a expressão visual, materializada na tela, de um cálculo efetuado pelo computador, conforme as instruções de um programa” (COUCHOT, 1999, p.42). O mundo real não está representado por este conjunto de elementos, mas simulado, ou seja, reconstruído, fragmento por fragmento. A visualização decorrente simula por meio de nuvens de bilhões de micro-impulsos que trafegam em circuitos eletrônicos, sem substrato material, uma realidade, sem nenhuma aderência ao real, ou seja, uma figuração (COUCHOT, 1999, p.42).

A partir do *pixel*, deu-se a gênese da imagem de síntese. “A imagem, daí por diante, foi reduzida a um mosaico de pontos perfeitamente ordenado, um quadro de números, uma matriz. Cada *pixel* é um permutador minúsculo entre imagem e número, que permite passar da imagem ao número e vice-versa” (COUCHOT, 1999: p. 38-39).

Segundo Watt e Policarpo (1998) o que se vê na tela do computador é na verdade uma matriz bidimensional - coordenadas espaciais e cromáticas - de números representando a localização e a cor do *pixel*. Estes dados numéricos matriciais são manipulados e armazenados em razão do *hardware* utilizado. Por exemplo: um computador padrão atual utiliza resolução de 24 *bits* - 8 *bits* para cada *pixel* no espectro de cores RGB, *red*, *green*, *blue* - com resolução espacial de 1024 x 768 *pixels*. Neste caso específico, a cada um dos 786432 (1024x768=786432) pontos da imagem pode

ser atribuída qualquer uma das dezesseis milhões de cores disponíveis [28(R)+28(G)+28(B)=224(RGB) ou 16777216 cores].

À parte os aspectos técnicos da geração da imagem, a visualização computacional do espaço arquitetônico tem despertado estudos sobre a natureza da similaridade entre o que é representado e o real. Castells (2007) afirma que “...na comunicação interativa humana, independentemente do meio, todos os símbolos são, de certa forma, deslocados em relação ao sentido semântico que lhes são atribuídos. De certo modo, toda realidade é percebida de maneira virtual” (CASTELLS, 2007, p. 459).

No presente trabalho, não se trata de discutir a distinção semântica entre o virtual e o real no mundo do “faz-de-conta” navegado por meio das imagens sintéticas quando as aparências transformam-se na experiência per se (CASTELLS, 2007, p. 459).

Virilio (1999) propõe a análise da divisão da percepção do ambiente entre o animado, o sujeito vivo, e o inanimado, o objeto, a máquina de visão. Ao revisitar a natureza da imagem de síntese ou virtual, imagens sem suporte aparente, sem outra persistência que não a da memória visual mental ou instrumental.

...Caso ver seja prever, podemos compreender melhor porque a previsão tornou-se, recentemente, uma indústria em si mesma com o desenvolvimento da simulação profissional, da antecipação organizacional, até esta chegada das 'máquinas de visão' destinadas a ver, a prever em nosso lugar; máquina de percepção sintética capaz de nos suplantare em certos domínios, certas operações ultra-rápidas para as quais nossas próprias capacidades visuais são insuficientes devido à limitação, não da profundidade de campo de nosso sistema ocular (como era o caso do telescópio, o microscópio), mas devido à fraca profundidade de tempo de nossa tomada de imagens fisiológicas. (VIRILIO, in PARENTE, 1999, p. 129)

Segundo Domingues (2003, 2009) cabe lembrar que as questões da representação e dos conceitos de realidade, realismo e virtualidade, acompanham a história da imagem com discussões desde a Renascença quando se sistematiza o código de representação perspectivista. Alberti e

Leonardo DaVinci – posteriormente – recorreram a uma metáfora ao postular que a tela de pintura lembra uma janela na qual se contempla uma nova realidade (GRAU, 2003, p. 37).

...colocando dentro de uma janela, frame, ou moldura um pedaço da realidade, passando por muitos momentos, entre eles, o Realismo na pintura, a dissolução da realidade no Impressionismo, a negação do realismo figurativo pela construção por conceitos que eliminam os traços do real no Abstracionismo (DOMINGUES, 2003, p. 209).

O artista da renascença era capaz de iludir a própria natureza com o suporte da técnica visual da perspectiva. A imersão no espaço virtual foi incrementada, de forma convincente, quando antes era apenas uma alusão. Retorna-se à lenda de Zeuxis (GRAU, 2003, p. 37).

Para a disputa, Zeuxis pintou um cacho de uvas. Quando mostrou o quadro, dois passarinhos imediatamente tentaram bicar as frutas. Zeuxis então pediu que Parraso desembrulhasse seu quadro. Este então revelou que na verdade era a pintura que simulava a embalagem do quadro. Zeuxis imediatamente reconheceu a superioridade de Parraso, pois se tinha enganado os olhos dos passarinhos, este tinha enganado os olhos de um artista (PLINIO, o Velho, em História Natural, Livro XXXV, IV)

3.2. A visualização e representação virtual do espaço arquitetônico

A representação técnica e as projeções dos objetos em planos bidimensionais foram formuladas para descrever o espaço projetado em escala precisa, visando a execução construtiva.

[...] E se de um lado é risco, traçado, mediação para expressão de um plano a realizar, linguagem técnica construtiva, de outro lado é desígnio, intenção, propósito, projeto humano no sentido de proposta do espírito. [...] o ‘disegno’ do Renascimento, donde se originou a palavra para todas as outras línguas ligadas ao latim, como era de esperar, tem os dois conteúdos entrelaçados (ARTIGAS, 1986: p. 45)

O arquiteto, por dever do ofício, pode visualizar o futuro edifício através de desenhos essencialmente técnicos compostos por projeções geométricas horizontais e verticais, (plantas, cortes e vistas). Cria - a partir destas projeções - uma imagem mental do espaço tridimensional, capacidade conhecida como “visão espacial” do arquiteto. Contudo, nem todos podem visualizar o

espaço projetado a partir de projeções bidimensionais. O diálogo entre o arquiteto e sua obra não pode dispensar o auxílio das ferramentas tridimensionais de visualização, desde que estas facilitam a tarefa de imaginar os espaços e aferir seus atributos.

“A arquitetura não é produzida simplesmente pela adição de planos e seções alçados” (RASMUSSEN 1998, p. 7). Apreender o espaço exige que o observador mova-se dentro deste, olhe por outros ângulos, o que não acontece quando se aprecia uma pintura em museu. Tal relação está mais próxima da apreciação de uma escultura que exige o movimento do observador em torno do objeto.

Segundo Grau (2003) a origem do processo de instalar um observador em espaços fechados para obter a ilusão de um espaço abstrato surgiu muito antes do advento dos computadores digitais. Os afrescos nos jardins da “Villa dei Misteri” - em Pompeia - e alguns exemplos de espaços ilusionistas da Renascença como a “Sala delle Prospettive” e posteriormente o excepcional veículo de imagens ilusionistas, o panorama patenteado por Robert Baker em 1789 demonstram a tradição europeia em criar imagens de ilusão visando a imersão (GRAU, 2003, p.5).

A imersão é um processo mental tão absorvente que causa a mudança de um estado mental a outro. A imersão ocorre quando os limites do *self* se tornam mais transparentes e a distancia crítica do tema diminui. Ela também se caracteriza por um aumento do envolvimento emocional no que está acontecendo (GRAU 2003 p.13).

A discussão sobre as bases de construção dos mundos imersivos não está mais somente relacionada à mimese, numa visão grega de iludir a realidade por semelhança da aparência, mas a graus de realismo por comportamentos, oferecidos por gestualidades da ordem da mímica, ou da gestualidade respondida (DOMINGUES, 2003, p. 209).

Por outro lado, a interatividade proporcionada pelas mídias eletrônicas e digitais – através dos ambientes virtuais imersivos em seus diversos graus - permite apreender e experimentar a ambiência arquitetônica de forma holística, codificando-a de modo cada vez menos dependente do

seu suporte físico, ou seja, do sítio físico e da construção real (DUARTE 1999, p. 157-158).

Segundo Domingues (2003) a classificação e tipologia dos ambientes imersivos pode ser:

1. tele-imersão (ambientes na rede);
2. imersões em realidade ampliada;
3. imersão total (*caves*) e imersões bidirecionais; e
4. imersão multi local de mundo virtual para mundo virtual.

A constante estabelecida é a vivência tridimensional do ambiente em linguagem numérica e a possibilidade de penetração e deslocamento espacial de natureza proprioceptiva, com correspondências entre as direções que o corpo assume e as mudanças na configuração do ambiente por pontos de vista mutantes. As variáveis são: as qualidades da realidade aumentada por sensações hápticas [do grego heptin “prender-se” consiste em agir no ambiente com dispositivos como luvas, sensores (nota minha)] e estereoscópicas, ou o toque, a manipulação e a visualização por estereoscopia em capacetes e caves, as possibilidades de se interagir em primeira e terceira pessoa e ainda a imersão bidirecional e multi-local entre mundos virtuais (DOMINGUES, 2003, p. 213).

A visualização interativa provê um elo de ligação entre dois poderosos sistemas de processamento de informações: a mente humana e o computador que permite aprofundar o entendimento do espaço tridimensional combinando dados adquiridos da luz, cor e texturas do mundo real e alimentando a representação virtual do mesmo (KIRNER et al. 2004).

O processo de projeção do espaço arquitetônico por sua complexidade pode obter vantagens no suporte dos computadores e da imagem de síntese. Além da visualização de imagens estáticas, é possível fazer passeios virtuais animados - por percursos internos ou externos da edificação e seu entorno - conhecidos na CG como “*walkthrough*”, o que potencializa o uso analítico destas imagens.

A visualização tende a se basear em dados físicos e no uso de representações visuais e

interativas de dados, apoiados por computadores que permitem amplificar a cognição. As pessoas têm maior facilidade em analisar representações gráficas perceptuais do conteúdo que levam à descoberta e à tomada de decisão e não ao simples entendimento da figura ou imagem em si (KIRNER et al. 2004).

A visualização computacional, segundo o poder de processamento computacional e gráfico do *hardware* disponível atualmente, pode ser definida como processo de transformação de um modelo matemático em imagens sintéticas que podem ser estáticas ou dinâmicas e interativas. Todas devem ser renderizadas por meio de algoritmos fundamentados nos fenômenos físicos (NATURAIS). O processo de renderização é definido como a criação da aparência dos dados (COX, 2003 p. 188).

3.3. A Simulação do Espaço Interior

Segundo Coutinho (1977) o espaço interno distingue-se do externo em função do controle exercido pelo arquiteto. A realidade do espaço interior arquitetônico institui-se de maneira autônoma do exterior, embora fundamentalmente seja composta dos mesmos elementos que atuam lá fora, sem domínio de ninguém. “A luz, a sombra, a temperatura, o odor, o ruído, o silêncio, uma vez combinados dentro do edifício, podem submeter-se à análise, a verificações que assumem caráter diferente das empregadas nesses mesmos valores expostos a céu aberto...” (COUTINHO, 1977, p. 205).

O arquiteto abre passagens que concomitantemente são fontes de luz, ar e visão do exterior que dirigem-se ao interior do volume. Contudo, o sol tem determinações particulares que obrigam o arquiteto a acomodar seu pensamento às diretrizes físicas da Luz Natural, independentemente da sua própria vontade. Ou seja, ao obedecer à “...regência do sol, o engenho do arquiteto se aplica em controlar as diversificações de luz, os momentos distintos que expressam as coisas em sua mutabilidade por motivo da mesma luz” (COUTINHO, 1977, p. 209).

A simulação da visualização do espaço arquitetônico interno e externo, fundamenta-se de

maneiras diferentes, ultrapassando as previsíveis diferenças de escala geométrica. Em cenas externas, os fundamentos dos efeitos atmosféricos manifestam-se na mudança e saturação das cores de objetos distantes do observador. Outro fundamento trata da iluminação nas cenas externas que é principalmente originada diretamente do sol e da abóbada celeste. Enquanto que nas cenas internas, este fundamento manifesta-se nas inúmeras fontes indiretas, além das diretas acima mencionadas (PREENTHAM, SHIRLEY e SMITS, 1999).

As paredes, pisos e teto além de conterem o vão, vedam expansões da luz, estabelecendo esta relação como um dado arquitetônico. Estes valores se combinam para efeito de representação do tempo. No interior do edifício, o tempo, assim como o espaço, são determinados e manifestam-se de acordo com as decisões e escolhas do arquiteto: a noite se antecipa e a manhã demora a se estabelecer em relação ao exterior. Então, os feixes de luz e as sombras se igualam a uma ampulheta a medir o tempo (COUTINHO, 1977, p. 209).

3.4. Geração da imagem de síntese

Para ser útil como ferramenta de projeto e análise, uma representação do espaço construído baseada em computador deve ser gerada a partir de informações físicas precisas e deve prever ou simular os dados que podem ser fisicamente medidos. Para ser útil como uma ferramenta de projeto e análise de iluminação natural, a imagem de síntese deve ser fundamentada em informações precisas sobre o fluxo luminoso da LN e, ao mesmo tempo, deve incorporar um algoritmo de mapeamento de tons para dar conta das limitações do sistema visual humano. Em outras palavras, a imagem deve representar fielmente a percepção do futuro espaço arquitetônico (EHRlich 2002, p.51).

A simulação da LN deve utilizar algoritmos de IG devidamente validados o que significa a averiguação no sentido de confirmação dos seus resultados. Os softwares de *rendering* simples objetivam uma aparente semelhança realística, ignorando a precisão numérica dos resultados.

Basicamente, busca-se obter imagens simplesmente belas (WARD e SHAKESPEARE 1998, p. 4).

Diante de um número muito grande de implementações de algoritmos de síntese de imagem, destaca-se o RADIANCE (1989) que é composto por mais de cinquenta sub-aplicativos, e foi devidamente validado por inúmeros pesquisadores entre os quais destacam-se Khoudolev e Kopylov (1996), Madaljevic (1999) e Reinhart e Walkenhorst (2001).

No enfoque híbrido - determinístico/estocástico - adotado pelo RADIANCE os componentes diretos são computados por meio de raios traçados para pontos arbitrários (enfoque estocástico) até as fontes de luz. Os componentes especulares indiretos são calculados por meio de raios distribuídos sobre o espelho e transmitidos em diversas direções, usando a amostragem uniformemente balanceada Monte Carlo. Posteriormente, quando estes componentes forem removidos da Integral, as inter-reflexões difusas são computadas em pontos selecionados dinamicamente (WARD e SHAKESPEARE, 1998, p. 491-496).

A componente difusa indireta da iluminação é computada por meio de lançamento de amostras de raios de um hemisferoide em direção à cena e posteriormente os dados são armazenados em arquivo para reutilização que permite diminuir o processamento de novas imagens (ROBERTSON et al., 1999).

Na figura 20, Ward (1994 e 1995) descreve como os principais sub-programas do RADIANCE geram as imagens de síntese. Os dados estão representados por retângulos e os processos por elipses. Inicialmente, o programa *Oconv* converte os dados da cena para o formato *Octree* que o motor de rendering utiliza com entrada (input) principal. O *Octree* subdivide os dados da cena (sistema hierárquico em forma de árvore com oito ramos) para ampliar a eficiência dos raios que serão lançados para testar as interseções entre estes e as superfícies. Além dos dados geométricos e das superfícies da cena, acrescenta-se os dados do ponto de vista do observador. Depois de compilado, o arquivo *Octree* é visualizado interativamente por meio do *Rview* ou renderizado em alta resolução por meio do *Rpict*.

O programa *Rpict* gera a imagem da cena, processa o *rendering off-line*. O *Rview* é a versão interativa do anterior, permitindo visualizar a imagem à medida em que se materializa na tela do computador. A cena é descrita e armazena-se uma listagem das superfícies e materiais em arquivos.

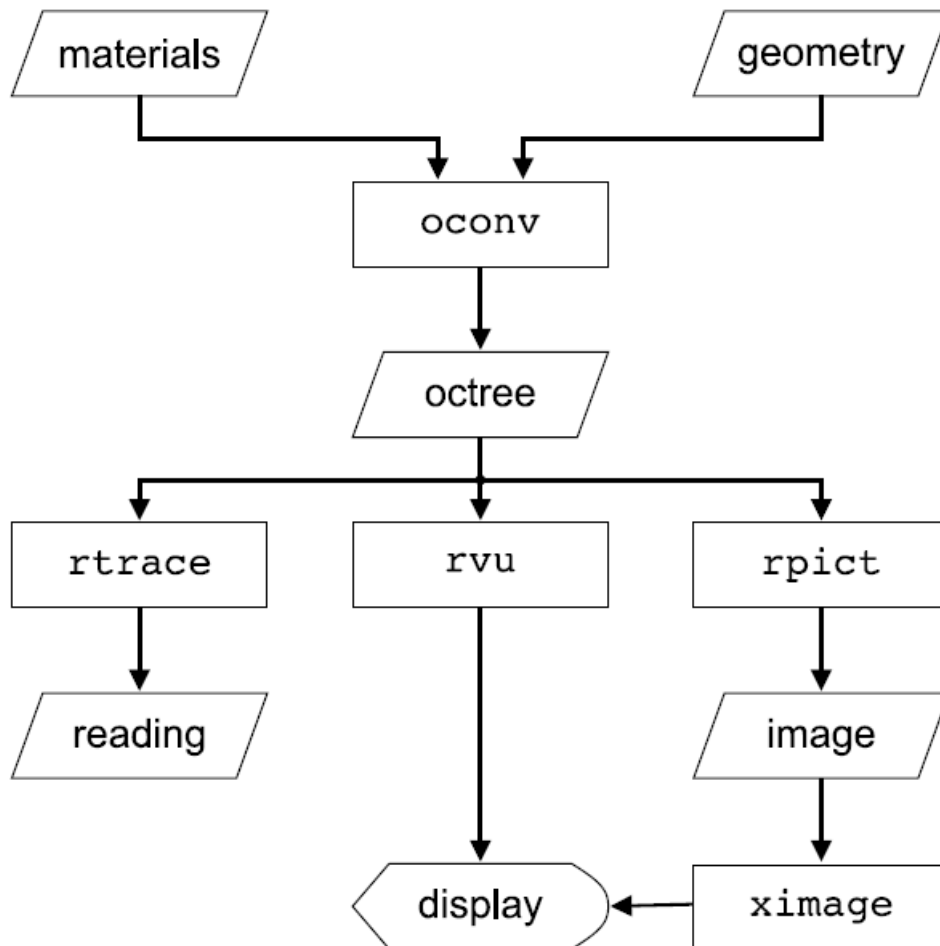


Figura 20: Fluxograma geração de síntese de imagem com o RADIANCE.

Fonte WARD, 2002

Note-se que a demanda computacional para gerar imagem de síntese de acordo com o fluxograma acima é considerável. Em uma cena típica, a visualização de somente um ponto de vista requer o cálculo de 1 a vinte e cinco milhões de raios e ao se considerar a iluminação ambiente este número passa para algumas centenas de milhões (ROBERTSON et al., 1999).

3.5. Foto-realismo e simulação preditiva no ambiente construído

Um dos aspectos mais importantes da computação gráfica está na simulação da iluminação em

uma cena. A complexidade do comportamento da luz, uma das razões para que o mundo que nos rodeia pareça rico e interessante, requer que o processo de gerar imagens de síntese preditivas seja igualmente complexo em nível conceitual e computacional (DEBEVEC 2004).

A síntese de imagem preditiva visa produzir imagens que não só pareçam plausíveis, mas que reproduzam o comportamento de fenômenos físicos do mundo real. A predição é gerada por modelagem computacional que simula o transporte da luz no ambiente – energia que é emitida pelas fontes de luz, refletida pelas superfícies da cena e finalmente captada pelo observador (olho ou câmera). O emprego da síntese de imagem preditiva é fundamental em tarefas críticas como a iluminação de ambientes e cenários em simuladores de voo, por sua reconhecida precisão (TOLE, 2003, p. 02).

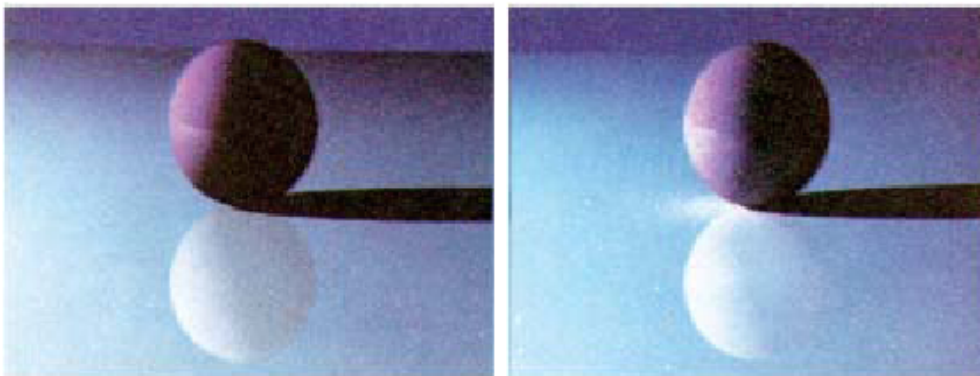


Figura 21: Realismo versus imagem preditiva

Fonte: TOLE, 2003 (p. 02)

A figura 21 demonstra a diferença entre uma imagem de síntese gerada por algoritmos de traçado de raios tradicional, aparentemente perfeita – foto-realista – que parece convincente (à esquerda); mas difere da imagem preditiva (à direita), gerada pelo algoritmo “*path tracing*” (KAJIYA,1986) fisicamente fundamentado. Apesar da coerência das sombras, a imagem da esquerda não reproduz com precisão, a reflexão da esfera no plano pois representa os contornos com exagerada definição.

Na visualização computacional aplicada no processo de projeção, um dos principais objetivos da imagem de síntese é alcançar semelhança com o mundo real de forma que a representação seja perceptualmente indistinguível da cena real (figura 22) (GREENBERG 1999, p. 44-53).

Os softwares de simulação da IG estão propostos para facilitar o entendimento da luz e o comportamento dos materiais através de cálculos complexos, baseados nas interações do fenômeno físico da luz na cena (INANICI, 2001).



Figura 22: O homem situado na cena real segura uma imagem sintética da mesma gerada por parâmetros fisicamente fundamentados.

Fonte: (Stroebel et al, apud Greenberg, 1999, p.44-53).

Na atualidade, a CG por meio das ferramentas avançadas de simulação, apoia o desenvolvimento de propostas arquitetônicas que contemplam o conforto do usuário e a eficiência energética. Torna possível simular os fenômenos da natureza com computadores por meio de imagens sintéticas *off-line* ou interativas em tempo real.

Por outro lado, quando se trata de ambientes dinâmicos, a aplicação da IG não está devidamente sedimentada. Segundo Mark e Fussel (2005) ainda existe uma considerável demanda

no que se refere a imagens de alta fidelidade (*high-fidelity*) geradas em tempo real. A maioria dos especialistas concorda que as imagens de síntese produzidas por sistemas “*batch-rendering*”²⁴ - por exemplo: animações para a indústria do cinema - são visivelmente superiores às produzidas em ambientes interativos em tempo real.

Ainda segundo Mark e Fussel (2005), durante muitos anos, os sistemas gráficos de tempo real basearam-se no tradicional modelo de *pipeline Z-buffer*²⁵, que é limitado apenas aos cálculos da iluminação local. Com modificações apropriadas, este método pode implementar algumas técnicas de IG, porém restritas. Destaque-se que a maioria das técnicas IG exigem uma maior capacidade de visibilidade computacional geral, do que a que está disponível na *pipeline Z-buffer* atual.

Diante do poder computacional disponível atualmente, a experiência sensorial indireta da ambiência arquitetônica pode ser concretizada em ambientes virtuais pelo uso de recursos da simulação computacional, incluídas as variações temporais, além das espaciais.

“A simulação [computacional (nota minha)] permite a reconstituição da aparência da realidade como uma representação calculada do real e, desse modo, de construção de todo um universo de tempo, espaço e imagem. É sua característica inventar novos processos de geração de imagens, como as modelagens físicas (explosões, vento, fogo etc) e/ou retomar antigos processos como o da perspectiva, inventada no Renascimento, podendo simular, até mesmo, uma pintura clássica, uma fotografia” (VENTURELLI, 2004, 78).

Segundo Zevi (1984, p. 26) o espaço interior é o protagonista do fato arquitetônico e sua percepção perfeita somente pode acontecer por experiência direta. No entanto, segundo as hipóteses levantadas nesta pesquisa os AVITR podem aproximar a percepção e a vivência de espaços que não podem ser experimentados diretamente, tais como aqueles ainda por construir ou que não existem mais, no caso de edifícios de sítios arqueológicos.

Pode-se afirmar que a tecnologia dos AVITR, desenvolvida nesta pesquisa, permite apreender

24 Pode ser denominado como “*off-line*” ver Glossário

25 Ver Glossário

e experimentar a ambiência arquitetônica de forma quase perfeita. No entanto, gerar essa ambiência é apenas parte das questões a serem resolvidas ao longo do processo de projeção arquitetônica.

Outros aspectos que envolvem a elaboração do “partido” também necessitam do auxílio dos AVITR. Percebe-se que, se durante o processo de projeção apoiada por simulação tradicional, muda-se algum material (revestimento de paredes, por exemplo) ou mesmo a posição ou tamanho de aberturas, isso leva à reformulação do modelo computacional. O processamento computacional tem que ser reiniciado, gerando um *delay* – atraso no processamento – que resultaria na quebra da interatividade.

Após a obtenção dos resultados, pode-se verificar que ao melhorar o desempenho do “partido” sob um aspecto, prejudica-se outros aspectos igualmente importantes (CHRISTAKOU 2004, p.57). E, então recomeçar todo os procedimentos novamente.

No mundo interativo dos AVITR tais limitações seriam minimizadas desde que os resultados da simulação são exibidos na tela do monitor de forma instantânea.

Capítulo 4, Aplicação dos motores de jogos eletrônicos

"Houve um tempo em que eu pensava muito nos axolotes. Ia vê-los no aquário do Jardim das Plantas e ficava horas olhando-os, observando sua imobilidade, seus imperceptíveis movimentos. Agora sou um axolote." [CORTAZAR, p. 163, 1969]

Apesar dos jogos existirem desde os primórdios da civilização, o computador expandiu-lhes o domínio, permitindo a criação de mundos visuais e interativos completamente novos, que até então existiam apenas na imaginação (RAESSENS e GOLDSTEIN 2005, P. 205).

O conceito de jogos eletrônicos computacionais (JEC) deve ser ampliado para além dos aspectos que o caracterizam como suporte aos jogos de entretenimento. Sua abrangência designa não apenas os produtos mas também uma rede complexa de pesquisas científicas no domínio da computação gráfica. Diante disso, o JEC é entendido não apenas como um tipo genérico de jogo que se processa e opera por meio de um computador, independentemente do lugar em que seja jogado, mas também como uma linguagem que, como tal, possui suas particularidades (SANTAELLA e FEITOZA, 2009, p. 26,).

A categorização clássica dos JEC abarca o tipo, o gênero e o papel associado do usuário, por exemplo: jogos de ação/simulação, de aventura/estratégia, *first person-shoter*, etc. Também se pode categorizá-los de acordo com a tipologia dos recursos que utilizam ou o padrão de comunicação entre os jogadores:

- Jogos tridimensionais;
- Jogos utilizados em rede/internet.

A presente pesquisa amplia o alcance da designação clássica dos *games* ao admitir as potenciais aplicações do JEC no desenvolvimento e definição do “partido” na projeção do edifício:

- Passeios virtuais (*walkthrough*) em ambientes arquitetônicos interativos;
- Visualização computacional com aplicação de simulação da LN.

Nos ambientes interativos, o projeto de arquitetura pode beneficiar-se da técnica de simulação da LN, com a qual é possível prever espaços que ainda não foram construídos e com eles

interagir. Pode-se, assim, avaliar dinamicamente as condições de conforto visual, computando os diversos níveis de iluminação em diferentes pontos do ambiente, de modo a possibilitar os ajustes necessários.

Para obter os melhores resultados, além da interatividade, deve-se considerar que para o processo de projeção arquitetônica existe outro conceito fundamental: a conexão com o mundo real, pois caso contrário qualquer aplicativo que tivesse reação às ações do usuário (interativo) seria útil ao arquiteto.

A interatividade na experimentação e na exploração de novas alternativas é um dos principais objetivos a ser alcançado para lidar com este complexo e dinâmico conjunto de aspectos do projeto arquitetônico (CHRISTAKOU e SILVA 2007, p. 256).

A capacidade de visualizar um mundo virtual com iluminação global – fundamentada nos fenômenos físicos – e, dinamicamente, mudar o ponto de vista, a geometria e a iluminação, sem distanciar-se daquele fundamento, é um grande desafio para a comunidade de pesquisa em computação gráfica.

Algumas limitações computacionais ainda precisam ser resolvidas no âmbito do JEC, uma destas é que a câmera deve responder a eventos “*unscripted*” (não previsíveis), uma das maiores dificuldades para projetar sistemas em tempo real. O uso crescente da animação em ambientes virtuais, marcado pela inclusão da modelagem da física e de sistemas complexos de detecção de colisão, significa que os sistemas da câmera devem ser ainda mais eficazes (HAIGH-HUTCHINSON 2009).

As fontes dinâmicas de LN conjugadas aos eventos não previsíveis compõem uma nova interface, fundada no paradigma do JEC, que visa ampliar os horizontes da simulação interativa em tempo real. Nesta nova abordagem, o arquiteto pode experimentar, examinar e escolher as alternativas de projeto que entenda melhor adequadas. Para tanto, é necessário aplicar o motor

gráfico dos JEC aos algoritmos de IG e adotar estratégias eficientes de *rendering* em tempo real (CHRISTAKOU e SILVA 2009, p.1-8).

Nesta pesquisa, o processo de geração dos AVITR está fundamentado na interatividade proporcionada pelo motor gráfico do BLENDER, na simulação da LN pelo RADIANCE e no pré-processamento das radiâncias e armazenamento em “*Cache*” que, coordenados por uma interface dedicada ao fluxo de trabalho do arquiteto, permite gerar e avaliar novas alternativas ao “partido”, em tempo real.

4.1. O projeto de Arquitetura nos ambientes interativos

Os passeios virtuais podem prover ganhos significativos ao processo de projeção colaborativo, ao permitir que o arquiteto e seus colaboradores (equipe de projetistas) revejam os projetos de cada especialidade (cálculo estrutural, instalações prediais, etc) em apenas um suporte. O que permite sobrepor cada projeto dos especialistas em camadas tridimensionais independentes e avaliar as interferências de cada componente de projeto na proposta arquitetônica inicial.

Nas fases iniciais, as decisões, imediatas e mediatas, em equipe podem evitar prejuízos de tempo e financeiros, mas principalmente oferecer respostas instantâneas a problemas críticos que comprometeriam permanentemente o conforto do usuário.

As ferramentas computacionais de auxílio ao projeto (CAD) ainda não dispõem de *rendering* em tempo real. No entanto, existe grande probabilidade de que na próxima geração destas ferramentas sejam incorporadas tais técnicas por enquanto exclusivas do mundo dos JEC (PECHLIVANIDOU et al, 2006, p. 185).

4.2. A Iluminação Global interativa nos jogos eletrônicos

No contexto de aplicação dos ambientes virtuais ao processo de projeção, busca-se substituir o *rendering* de geometrias muito complexas, como geralmente são os projetos arquitetônicos, por

um algoritmo eficiente de síntese, fundamentado em imagens de texturas. O modelo de testes de “*Cornell box*” (figura 23) demonstra que é possível armazenar em cada cor/face um número arbitrário de polígonos.

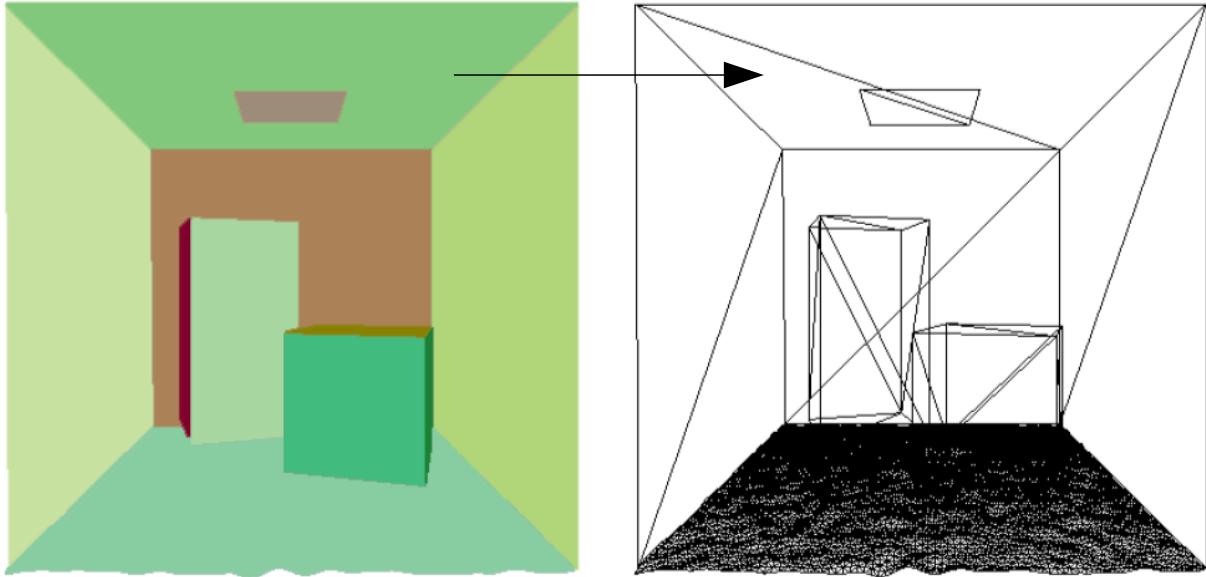


Figura 23: Esquerda - Uma única cor representa cada face. Direita: mesma cena em wireframe.

Fonte: Larsen e Christensen, 2004

No caso, na figura da esquerda, uma única cor/face verde que representa o teto substitui pelo menos dois polígonos. A figura da esquerda tem no total apenas 16 faces. Enquanto que na direita a mesma cena em *wireframe* precisou de um total de 13.000 polígonos (o piso é composto por material de geometria complexa).

Os conceitos de substituição de polígonos por texturas, denominados como “impostor” por Maciel e Shirley em 1995 (*apud* LENGYEL, 1998, p. 47), quando associados às técnicas de LOD (*Level of detail*, figura 24) e às técnicas de Coerência Espacial permitem simplificar a cena e com isso obter *renderings* em tempos muito próximos do padrão (15 FPS) estabelecido como adequado à interatividade em tempo real.



Figura 24: LOD - level of detail - objetos são simplificados na medida de sua posição relativa ao observador que se distancia.

Fonte: FUNKHOUSER, 1993, p. 19

Melhor dizendo, em passeios virtuais em cenas urbanas é razoável substituir seções distantes do observador por imagens, como se fossem parte de um cenário cinematográfico. Na escala do edifício, no interior de uma residência, ao invés de gerar a cena de um ambiente contíguo que é visto apenas através de uma porta aberta, exibe-se uma imagem que substituiu completamente a geometria tridimensional.

O conceito de *impostor* é relativamente simples e está presente na maioria das ferramentas atuais de *rendering*. Contudo, a substituição da iluminação natural embutida no *impostor* não é trivial, considerando que o ponto de vista do observador é dinâmico, assim como as fontes de LN o são. Na cena urbana, externa, a iluminação natural é basicamente proveniente do sol e da abóbada celeste. Na cena interna, além dessas fontes, há de se considerar a iluminação indireta, proveniente de fontes secundárias (refletida de outras superfícies).

A iluminação é representada nos JEC em aplicações em TR utilizando mapas de textura que são também chamados de *Light Maps* (mapas de luz) como *impostor* da luz real. Estes mapas representam tanto a iluminação direta como a indireta, mas geralmente carecem de precisão em relação a primeira. Desde que a iluminação indireta (difusa) muda lentamente ao longo de um passeio virtual em ambientes arquitetônicos é possível aplicar estes mapas de luz em simulações

predictivas. Para a iluminação direta, sombras e as inter-reflexões especulares, Larsen e Christensen, (2004) propõem o cálculo de cada *pixel* da imagem diretamente na GPU. Em seguida todas estas contribuições são combinadas por meio de um processo aditivo em um único modelo.

Wagoner, Chang e Debevec (1998) propõem que o *impostor* torne-se ele próprio uma fonte direta de iluminação no RADIANCE. Por exemplo, em uma cena interna o *impostor* de uma abertura com esquadrias será tratado como fonte de iluminação, mas para o cálculo das reflexões, o vidro da janela e o ambiente externo permanecem visíveis, apesar da substituição.

A representação das cenas arquitetônicas nos ambientes interativos é uma tarefa complexa e exige total compromisso com as condições físicas do sítio onde o futuro edifício estará localizado. Por sua vez, a aplicação dos motores de jogos (*game engine*) nos ambientes arquitetônicos interativos exige que a ferramenta disponha de recursos muito complexos para o cálculo da IG em tempo real.

Algumas experiências de JEC tem oferecido ao usuário escolhas que podem desempenhar papel crucial para sua sobrevivência no jogo. O jogo “Silent Hill 2”, ao acumular pontos o usuário recebe “prêmios”, neste caso uma lanterna, recurso útil para iluminar a cena em tempo real na qual se desenrolam determinadas fases.

Nesse jogo a iluminação tem papel importante no desempenho do jogador que escolhe qual a iluminação da cena mais adequada para a fase do jogo, assim como o trabalho do arquiteto demanda a simulação da iluminação natural para o bom desempenho da construção do “partido”. Os motores gráficos de jogos (*game engine*) ainda carecem de compromisso com a iluminação fundamentada nas condições físicas reais do sítio, dado que este vínculo compromete o número de fotogramas por segundo adequado à interatividade.

4.3. Imagens HDR em ambientes interativos

Um observador humano tem capacidade para diferenciar uma superfície espelhada de uma

superfície branca fosca, sem grande esforço em um único olhar. Enquanto a maioria das pessoas tem essa capacidade, a tarefa não é trivial do ponto de vista computacional. A Figura mostra duas imagens de cada um dos quatro diferentes esferas. Cada esfera foi fotografada sob duas condições de iluminação diferentes, logo, *pixels* de uma imagem de uma determinada área são bastante diferentes dos *pixels* correspondentes na outra imagem (DROR, ADELSON, WILLSKY, 2001).

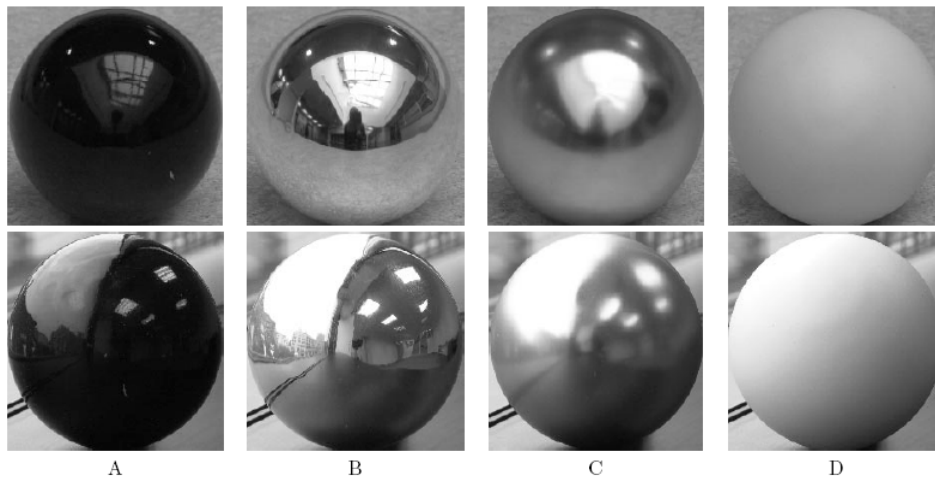


Figura 25: Fotografias de quatro esferas semelhantes sob duas condições diferentes de iluminação. Cada esfera tem propriedades de refletância próprias. (A) Preto reluzente (B) Cromado (C) acabamento rugoso (D) Pintura branca fosca

Fonte: Dror, Adelson e Willsky, 2001

Os mapas de radiâncias são gerados a partir de uma série de imagens combinadas em uma única imagem de alta faixa dinâmica (*HDR – High Dynamic Range*).

As câmeras fotográficas comuns foram criadas para registrar a luz de maneira que pudesse ser reproduzida sobre papel fotográfico, enquanto que as câmeras fotográficas digitais, por outro lado, foram desenvolvidas para poderem reproduzir a luz capturada no monitor. Nem os monitores nem os papéis fotográficos podem reproduzir toda a faixa dinâmica de iluminação, isto é, a diferença entre o escuro e o claro, presente no mundo real. Entretanto, se forem tiradas várias fotografias com diferentes tempos de exposição, essas imagens podem ser combinadas para que essa faixa dinâmica seja recuperada (HUFF et al., 2004, p. 8).

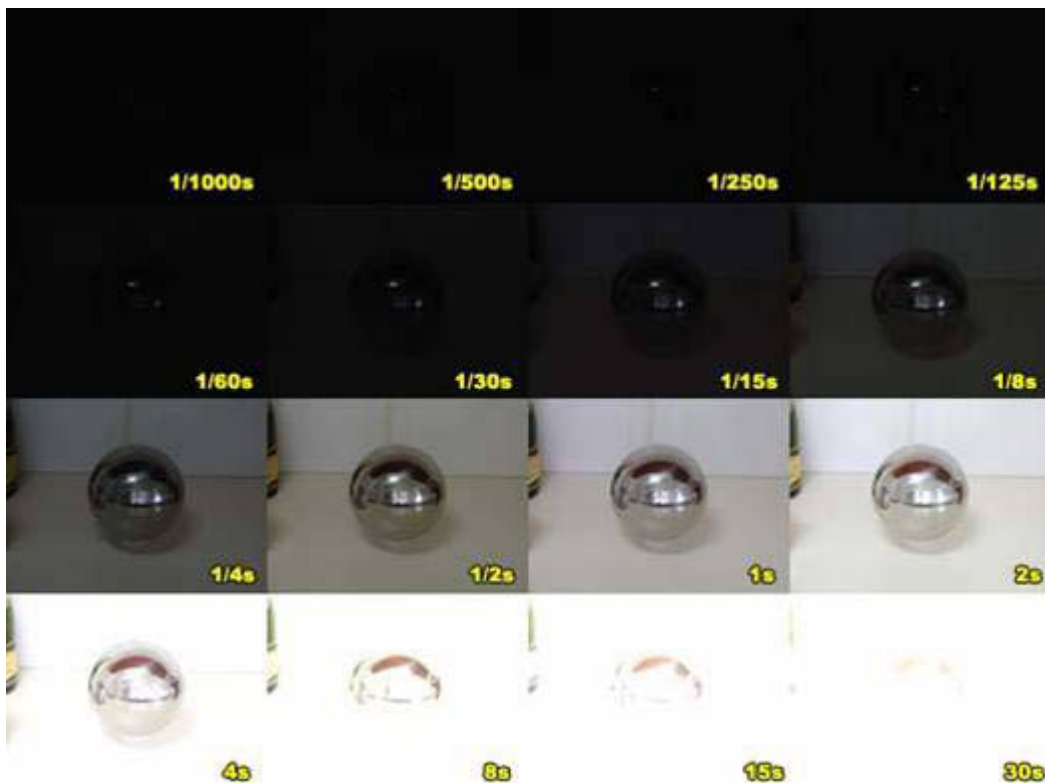


Figura 26: Série de fotografias tomadas com exposição em 16 velocidades diferentes.

Fonte: Huff et al., 2004.

A composição das 16 fotografias em uma única imagem HDR é gerada por meio de software específico como o Bracket HDR manager, para tanto é necessário informar os valores de exposição de cada fotografia, ou seja a abertura de diafragma ou a correspondente velocidade do obturador.

Os mapas de radiâncias são úteis para representar valores fisicamente corretos de iluminação na síntese de imagens e podem assumir papel fundamental quando aplicados como mapa de textura (ou *light maps*) em cenas interativas.

5

Capítulo 5, Método

Antes de descrever o método, revisitamos as hipóteses, o objetivo geral e específicos estabelecidos no capítulo 1 do presente trabalho.

As hipóteses desta pesquisa são as seguintes:

1. A ferramenta proposta criará, por meio da integração dos softwares avaliados, ambientes virtuais não-imersivos (*Fishtank*) para avaliar o comportamento, em tempo real, da Luz Natural no interior do futuro edifício;
 2. A ferramenta apresentada pode representar o papel de integração das atuais técnicas interativas no âmbito da Iluminação Global e do processo de projeção;
 3. Não haverá necessidade de recalculas as interações da Luz Natural, se forem utilizadas as informações luminosas obtidas por meio de modelos e mapas de radiâncias do céu, uma vez computadas através de algoritmos, para interpolar os dados de forma que sejam úteis ao arquiteto.
- Tais hipóteses se apoiam na premissa de que o algoritmo de IG empregado no AVITR é o *Ray Tracing*, fundamentado no algoritmo híbrido do RADIANCE considerado o estado da arte atual que pressupõe computar apenas os valores relativos à posição do observador, desconectado da complexidade do modelo.

O objetivo geral deste trabalho é: ***investigar a aplicação do AVITR no processo inicial de projeção de edifícios, especialmente no âmbito da simulação da LN no interior da edificação, indicando os parâmetros necessários para a criação de uma nova ferramenta.***

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, assim como os objetivos específicos foram adotados os procedimentos metodológicos descritos a seguir:

5.1. Objetivo 1:

Investigar as aplicações do AVITR à dinâmica do processo de projeção do espaço

arquitetônico, especialmente nas fases iniciais.

Nesta fase, selecionou-se as ferramentas de modelagem e animação com potencial de uso para a simulação da LN. Entre elas investigou-se a possível compatibilidade com os motores de jogos (*game engine*) para aplicação do ambiente interativo virtual de teste.

Deu-se ênfase às ferramentas abertas (em oposição aos softwares comerciais) :

- a. Entre os modeladores tridimensionais, o software BLENDER (BLENDER 2002) que adiciona o motor gráfico de jogo (*game engine*) interno – anexo II;
- b. Alternativas de software que disponibilizam licenças acadêmicas como o ECOTECH 2010 (Autodesk), foram utilizadas na criação do “espaço de testes” (ver objetivo seguinte), por sua facilidade em exportar diretamente para o RADIANCE, visando avaliar o fluxo de “*rendering off-line*”;
- c. O software MAMmodeller de Darula e Kittler (2005) como gerador dos modelos de céu SSLD – anexo IV;
- d. Utilização do software BRACKET: HDR *Photo Manager* (BRACKET 2009) para gerar as imagens HDR – anexo V;
- e. O motor de cálculo luminoso do RADIANCE versão 3.9 (WARD) para renderizar as cenas – anexo I;
- f. BRAD, que é uma série de *scripts* para gerar os cálculos de iluminação em linguagem PYTHON, (de autoria de ANSELMO s.d.) que permite a integração do BLENDER com o RADIANCE – anexo III;
- g. adicionalmente, utilizou-se o *script* (em Python) de exportação Radiance_233GUI - *Radiance Export Script* - criado por Jan Walter 1999 – anexo III.

Resumo das ferramentas selecionadas para serem integradas a uma nova ferramenta proposta no presente trabalho.

BLENDER – modelador 3D com motor gráfico de jogo (game engine) interno

ECOTECH 2010 (Autodesk) – licença acadêmica

MAMmodeller (Darula e Kittler 2005) modelos de céu SSLD

BRACKET HDR Photo Manager

RADIANCE versão 3.9 (WARD) para renderizar as cenas

BRAD scripts PYTHON permite a integração do BLENDER com o RADIANCE

Radiance_233GUI - Radiance Export Script para o BLENDER

Os *softwares* acima listados foram selecionados tomando como base os projetos de software públicos, não comerciais (*open source*), com exceção do Ecotect que dispõe de licença acadêmica. Destaque-se que, no caso específico, o motor de cálculo (RADIANCE) foi selecionado por ter sido validado e testado por muitos autores, conforme consta da revisão bibliográfica.

5.2. Objetivo 2

Investigar a capacidade de simulação computacional da LN, no AVITR, para prover realimentação interativa e dinâmica ao arquiteto, em resposta às mudanças no projeto arquitetônico, o que pode ampliar a aplicação dos algoritmos de IG no processo de projeção de edifícios.

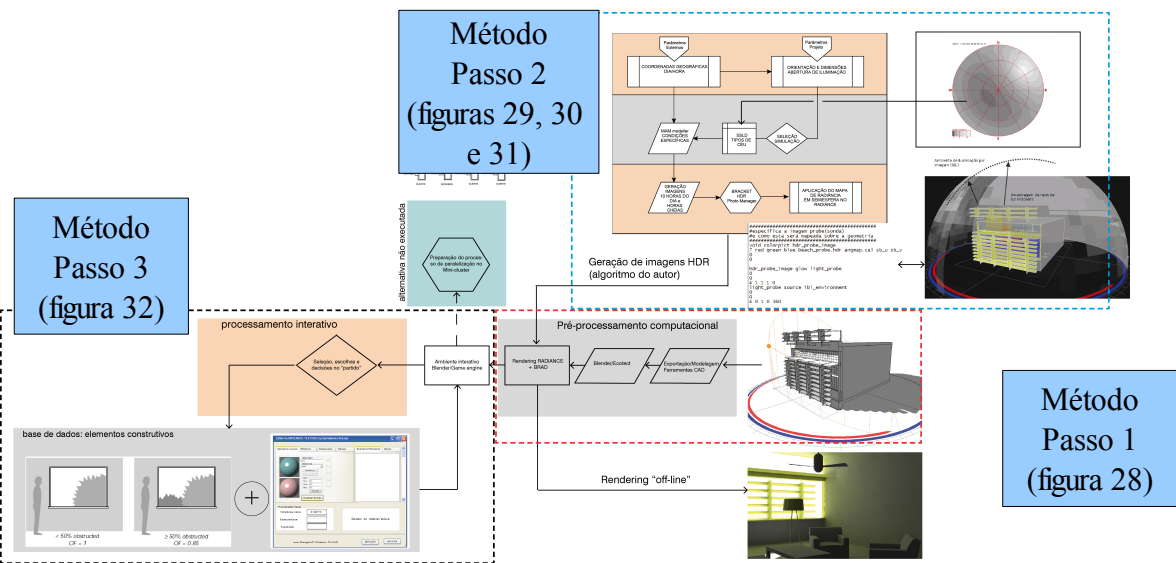


Figura 27: Visão geral do Método para geração dos ambientes dinâmicos e interativos

Para melhor visualização ver figura ampliada do método em anexo

Passo 1 - Foi necessário criar um modelo geométrico tridimensional de um espaço arquitetônico arbitrário, situado em Brasília, DF, denominado como “espaço de testes” (figura 28).

Passo 1 – modelagem do “espaço de testes”

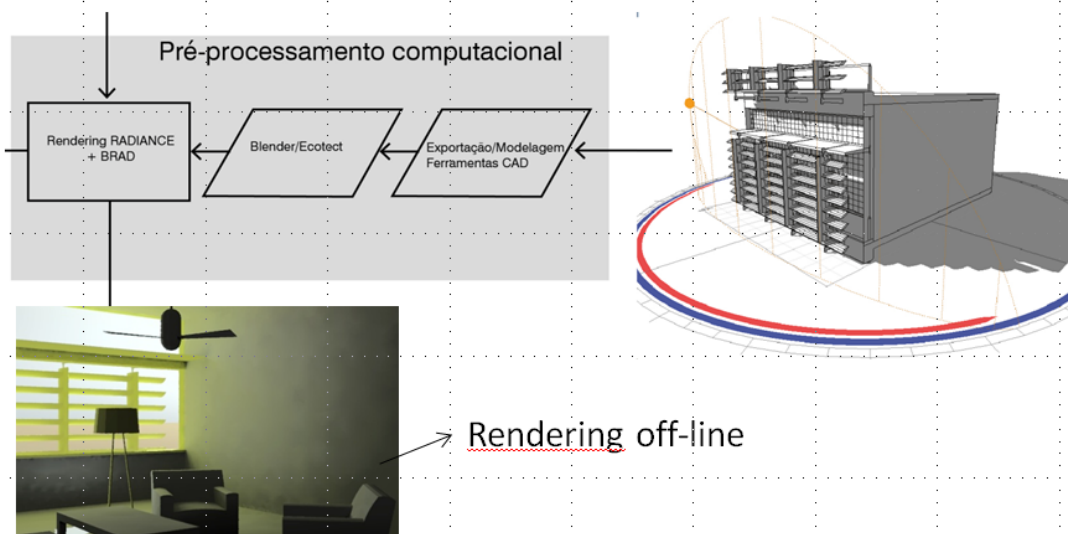


Figura 28: Método – passo 1- Modelagem do Espaços de testes

Passo 2 – A figura 29 demonstra o algoritmo desenvolvido pelo autor que visa a geração de imagens HDR, com dados específicos não arbitrários dependentes das propriedades físicas da LN associados aos aspectos do espaço arquitetônico e sítio. As imagens HDR assumem o papel de fonte de luz natural para iluminar a cena.

Para tanto, os parâmetros externos do edifício foram introduzidos no MAMmodeller:

- coordenadas geográficas, b) dia e hora; em seguida os parâmetros de projeto
- orientação e d) dimensões da abertura que ilumina o ambiente.

Passo 2 – algoritmo do autor para gerar imagem HDR como mapa de luminância

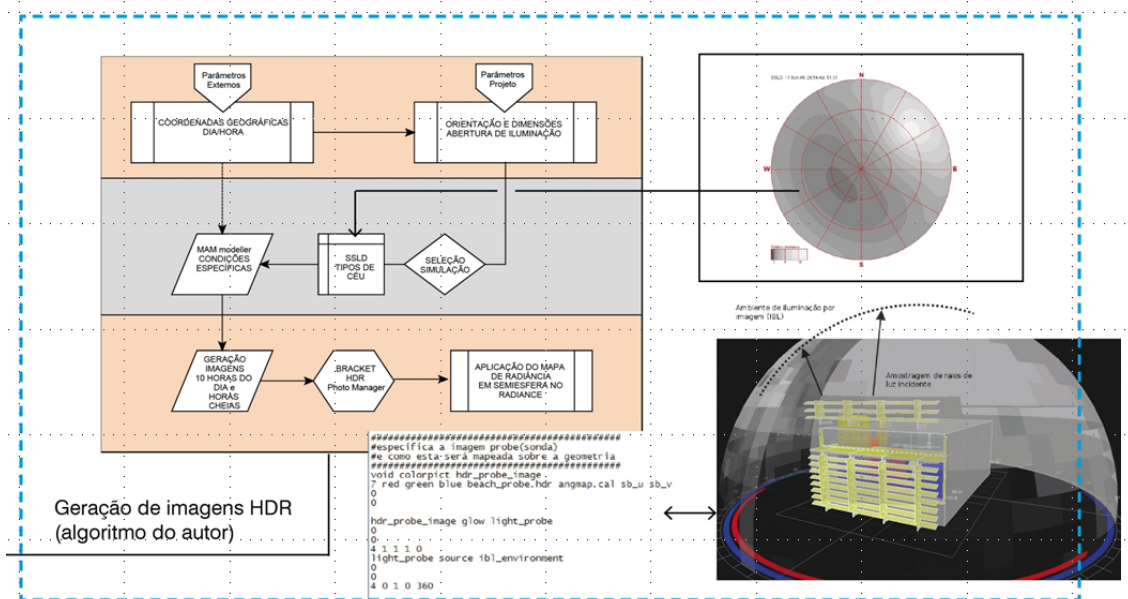


Figura 29: Método - Passo 2 - Geração das imagens HDR específicas

No passo seguinte foram especificadas as condições de modelagem do céu. Gerou-se então dez imagens, uma para cada hora (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17) e mais onze imagens para cinco minutos anterior e posterior de uma hora “cheia” (8:55, 8:56, 8:57, 8:58, 8:59, 9:00, 9:01, 9:02, 9:03, 9:04 e 9:05). O procedimento está descrito de forma detalhada no capítulo 6.

Estas imagens foram inseridas no software BRACKET HDR; foi atribuído a cada

uma delas um aumento de 1/3 de abertura do diafragma; e para as imagens de hora “cheia” foi estabelecido um acréscimo de 1/10 de abertura do diafragma.

A iluminação da cena foi fundamentada na técnica de IBL, com a utilização de imagens de alta faixa dinâmica HDR (*High-dynamic Range*) como fonte de luz. Contudo, ressaltando-se que imagens HDR tradicionais são capturas instantâneas e por isso não provêm informações luminosas satisfatórias para o arquiteto.

Para contornar tal deficiência, foram produzidas imagens HDR com algoritmo desenvolvido pelo autor (figura 30) a partir das técnicas de DARULA e KITTLER (2005). Para tanto, gerou-se sondas de luz como mapas de luminâncias do céu específico e de acordo com as dimensões da abertura do “espaço de testes” (geradas pelo software MAMmodeller). Por ser esse um processo relativamente lento, adotou-se a estratégia de pré-calcular e armazenar os dados relativos aos protótipos das aberturas, para posterior aplicação ao longo do processo de projeção.

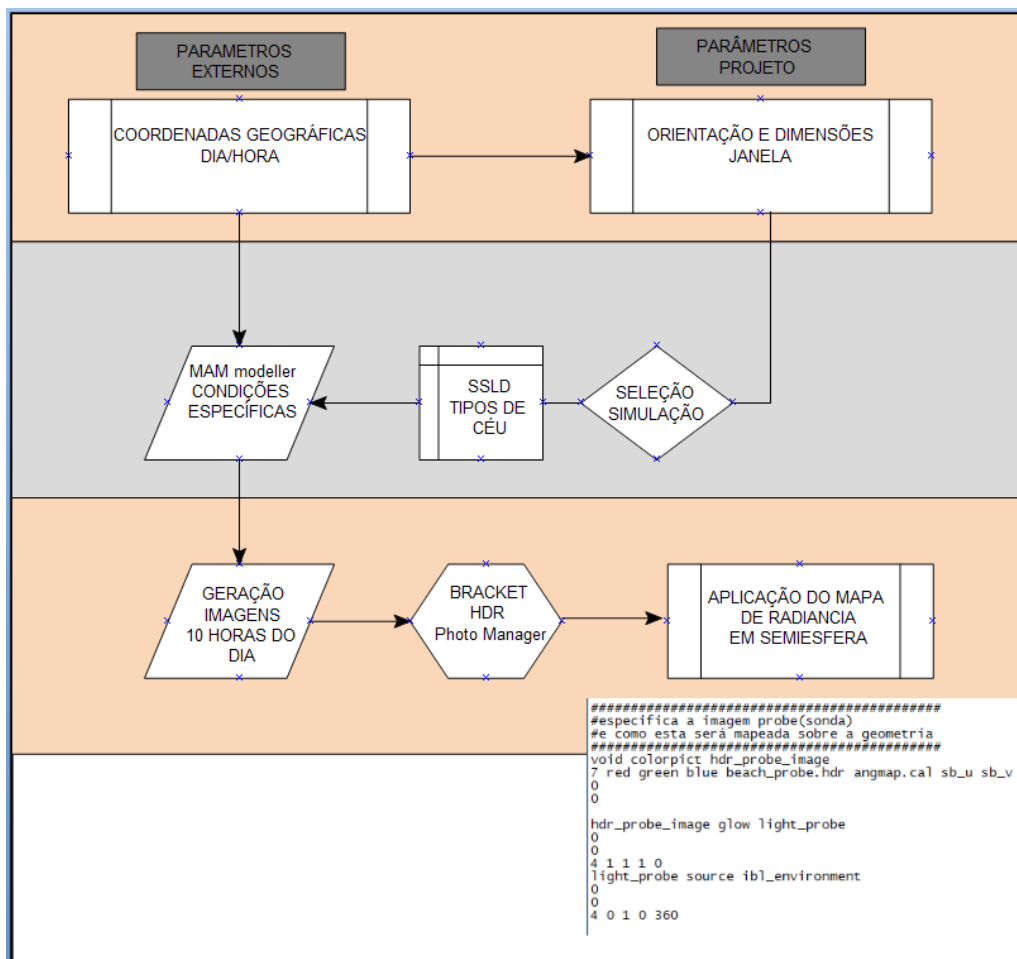


Figura 30: Algoritmo da ferramenta de geração das Sondas de luz para o IBL

A imagem HDR resultante do processamento no BRACKET, foi aplicada, por meio de código (ver figura 31), em uma semiesfera como mapa de radiância e fonte de iluminação do “espaço de testes”.

```

#####
#especifica a imagem probe(sonda)
#e como esta será mapeada sobre a geometria
#####
void colorpict hdr_probe_image
7 red green blue beach_probe.hdr angmap.cal sb_u sb_v
0
0
hdr_probe_image glow light_probe
0
0
4 1 1 1 0
light_probe source ibl_environment
0
0
4 0 1 0 360

```

Figura 31: Mapeamento da sonda de luz (light probe) na semiesfera

5.3. Objetivo 3

Investigar os softwares existentes e identificar os parâmetros necessários para a criação de uma nova ferramenta que conjugue o AVITR e a simulação da LN.

A realização desse objetivo implica uma terceira fase, gerada a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores. Nesta, associou-se a ferramenta de modelagem ao motor gráfico do BLENDER (BLENDER 2002) para animar a cena. A seguir, foi agregada uma coleção de *scripts* que permitiram implementar uma nova ferramenta interativa, por meio da *game engine*.

Para tanto foi elaborado um protótipo de base de dados de componentes construtivos, implementados na ferramenta para que o usuário selecione os elementos componentes da obra final para gerar a simulação.

Passo 3 – geração do ambiente interativo

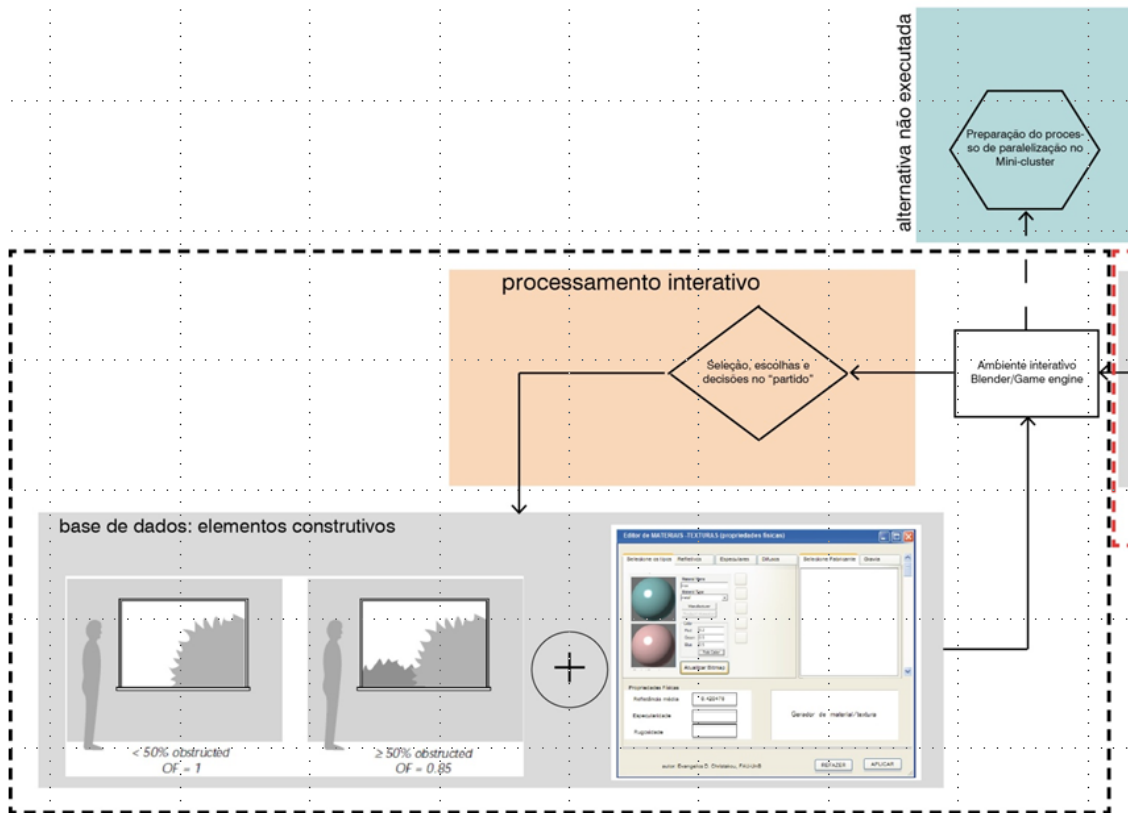


Figura 32: Método – Passo 3 - A geração do ambiente interativo associado a base de dados construtivos

Esta fase foi executada de modo preliminar, a ser descrita no experimento detalhado no capítulo 6.

5.4. Resumo do método

Sequência dos passos adotados no método:

1. Etapa de modelagem ou importação do modelo 3D do Espaço de testes;
2. Geração das imagens HDR específicas com o algoritmo criado pelo autor, para aplicação da imagem resultante como mapa de luminância, fonte de luz;
3. Aplicação do motor de jogo (*game engine*) do Blender para gerar o ambiente interativo;
4. Integração da base de dados de componentes construtivos que armazena texturas e

informações CACHE dos pré-cálculos;

5. (etapa experimental não realizada) Aplicação do sistema Mini-cluster para processamento paralelo em tempo real;
6. Resumo gráfico da aplicação do método, fluxograma (figura 33 p. 99).

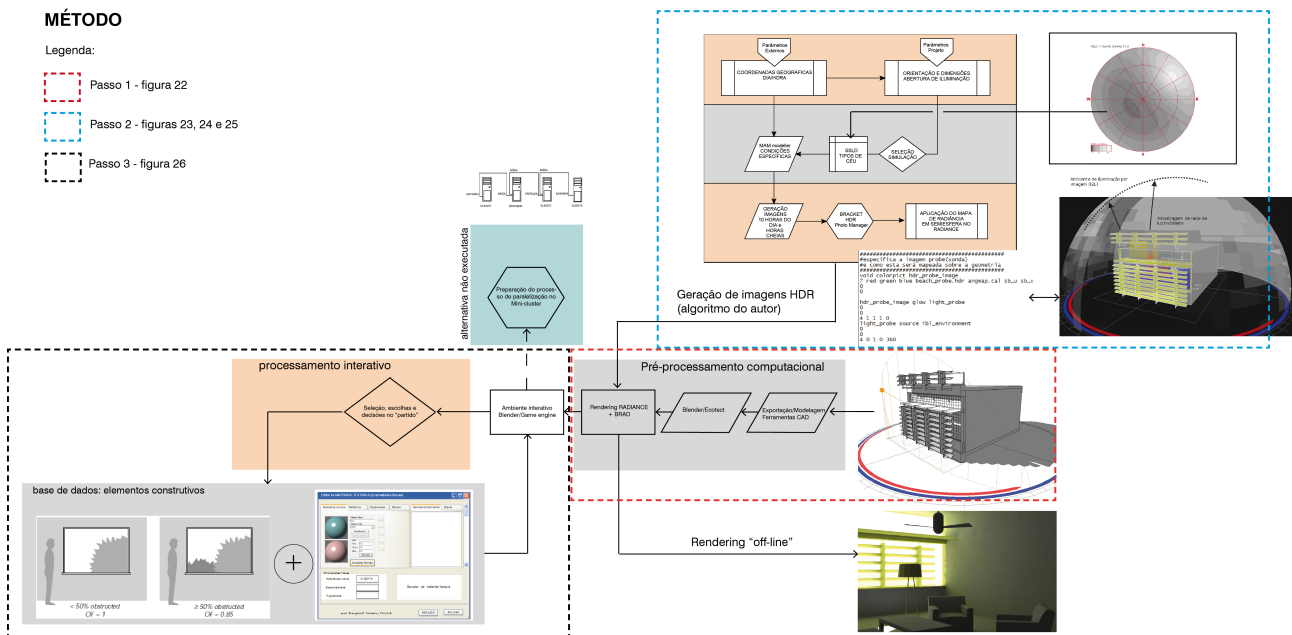


Figura 33: Visão geral do método empregado para geração da simulação dinâmica e interativa

Ver a figura maior em anexo que ilustra com a visão geral do método empregado para geração da simulação dinâmica e interativa

5.4.1. Sobre a revisão bibliográfica

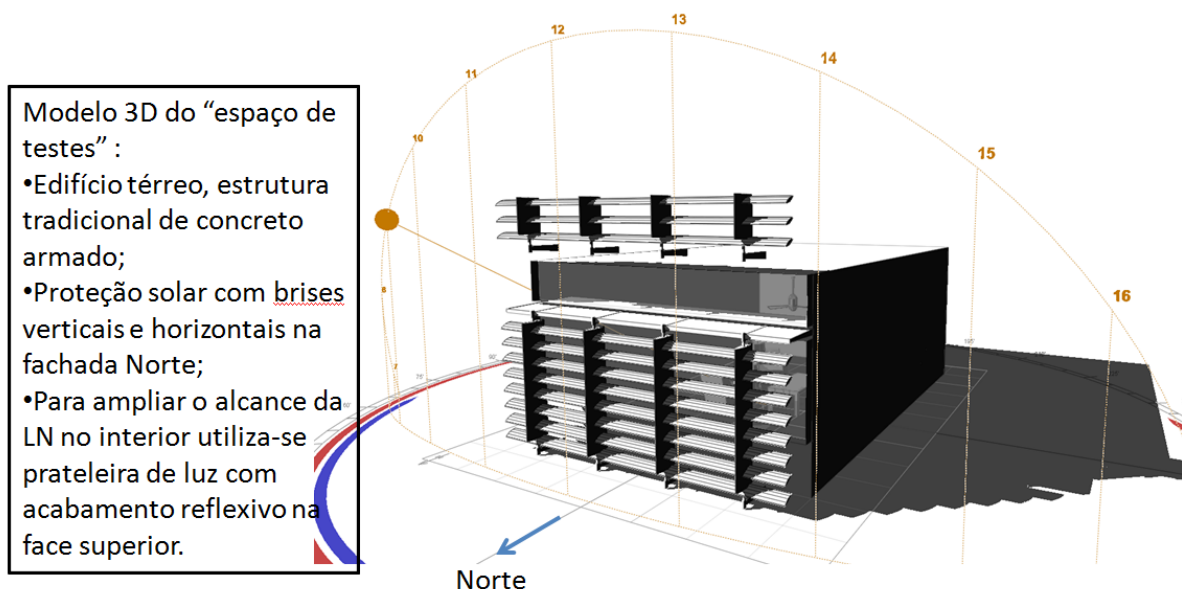
Para se alcançar os objetivos foi realizada extensa pesquisa bibliográfica do estado da arte. A síntese desta encontra-se descrita no capítulo 2: “revisão bibliográfica”. Buscou-se o melhor entendimento da simulação computacional dinâmica e interativa da LN.

A descrição do experimento inicialmente abrange a geometria e suas dimensões, descrição das propriedades óticas das superfícies do interior do ambiente e o posicionamento inicial do observador conforme o fluxograma disposto na figura 14 p. 58 do capítulo 3. Em seguida descreve-se a geração de imagens de síntese síncrona (*off-line*) do “espaço de testes”. Posteriormente descreve-se a geração de imagens HDR não-arbitrárias a partir do algoritmo proposto pelo autor, visando gerar a fonte de iluminação (IBL) para permitir a visualização interativa síncrona.

6.1. Descrição do espaço de testes

O projeto do espaço de testes é descrito a seguir:

Edifício térreo. (Figura 34). com estrutura tradicional de concreto armado. Proteção solar com elementos verticais e horizontais na fachada Norte. Para ampliar o alcance da LN até o fundo do ambiente utiliza-se uma prateleira de luz (interna e externa) com acabamento reflexivo na face superior.



6.1.1. Geometria do modelo do espaço de testes

Dimensões do Espaço de testes (internas) figura 35 e 36	
Largura (fachadas Norte/Sul)	6,00 metros
Comprimento (fachadas Leste/Oeste)	9,00 metros
Pé-direito	3,60 metros

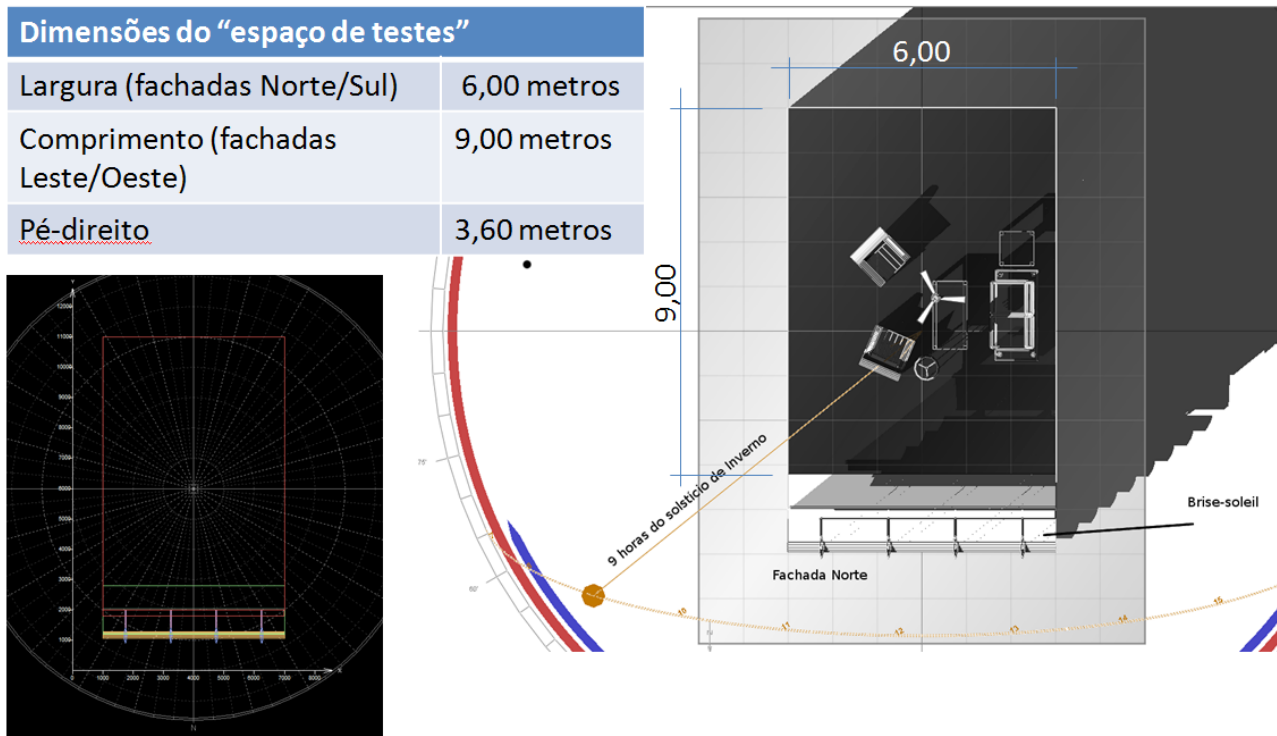


Figura 35: Espaço de testes - Planta com indicação das dimensões gerais e orientação

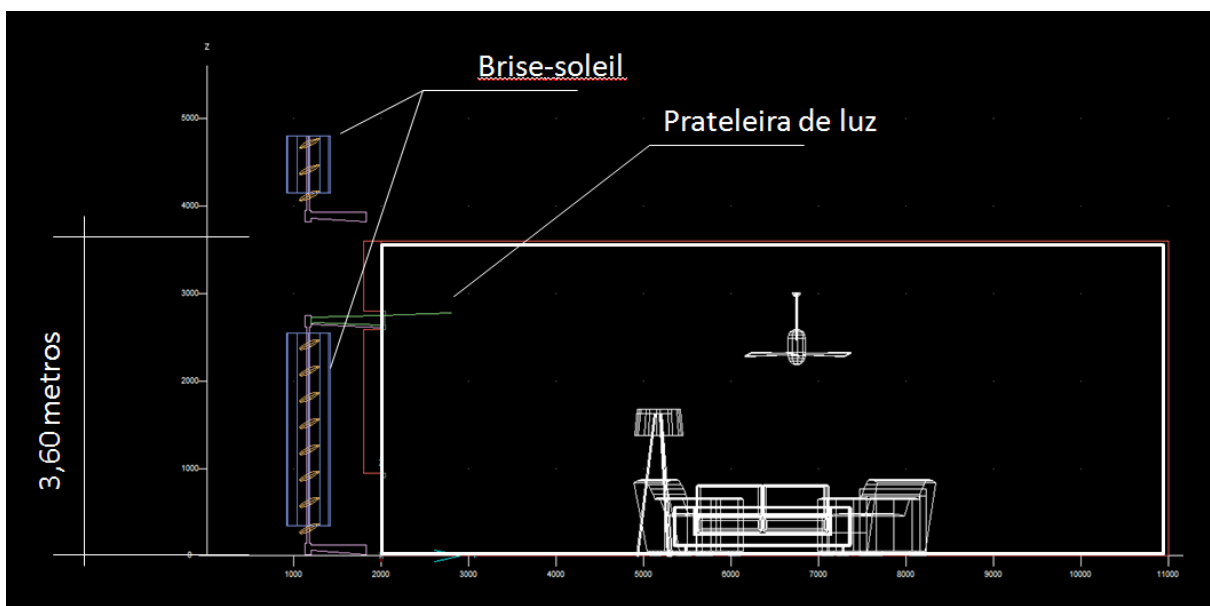


Figura 36: Espaço de testes - Corte transversal com indicação do brise-soleil

6.1.2. Materiais

As descrições dos materiais no RADIANCE estão detalhadas no apêndice I.

Propriedades dos materiais descritos a seguir foram fundamentadas no banco de dados do RADIANCE constantes do manual <i>Rendering with RADIANCE: the art and science of lighting visualization</i> de WARD e SHAKESPEARE (1998)				
Superfície	refletância	transmitância	especularidade	rugosidade
Parede 1, 2, 3 e 4 Tipo: Pintura Cor branca	65,61%	0%	0%	0%
Piso Cor cinza granito	35%	0%	0%	0%
Teto Tipo: Pintura Cor Branca	68%	0%	0%	0%
Prateleira de Luz Tipo: Pintura Cor branca	65,61%	0%	2,68%	1%
Vidro Tipo transparente E=6 mm	82%	89,90%	-	-

- Especificação das dimensões das aberturas – vidros

Aberturas	Dimensões do pano de vidro comum 6mm
Painel 1	6.00 x 1.70 metros com parapeito de 1.00
Painel 2	6.00 x 1.20 metros

- Propriedades dos materiais das superfícies estão definidas da seguinte forma:

O RADIANCE utiliza código próprio para descrever as propriedades dos materiais, segundo a figura 37.

- Quanto menor a rugosidade e maior especularidade o material torna-se espelhado

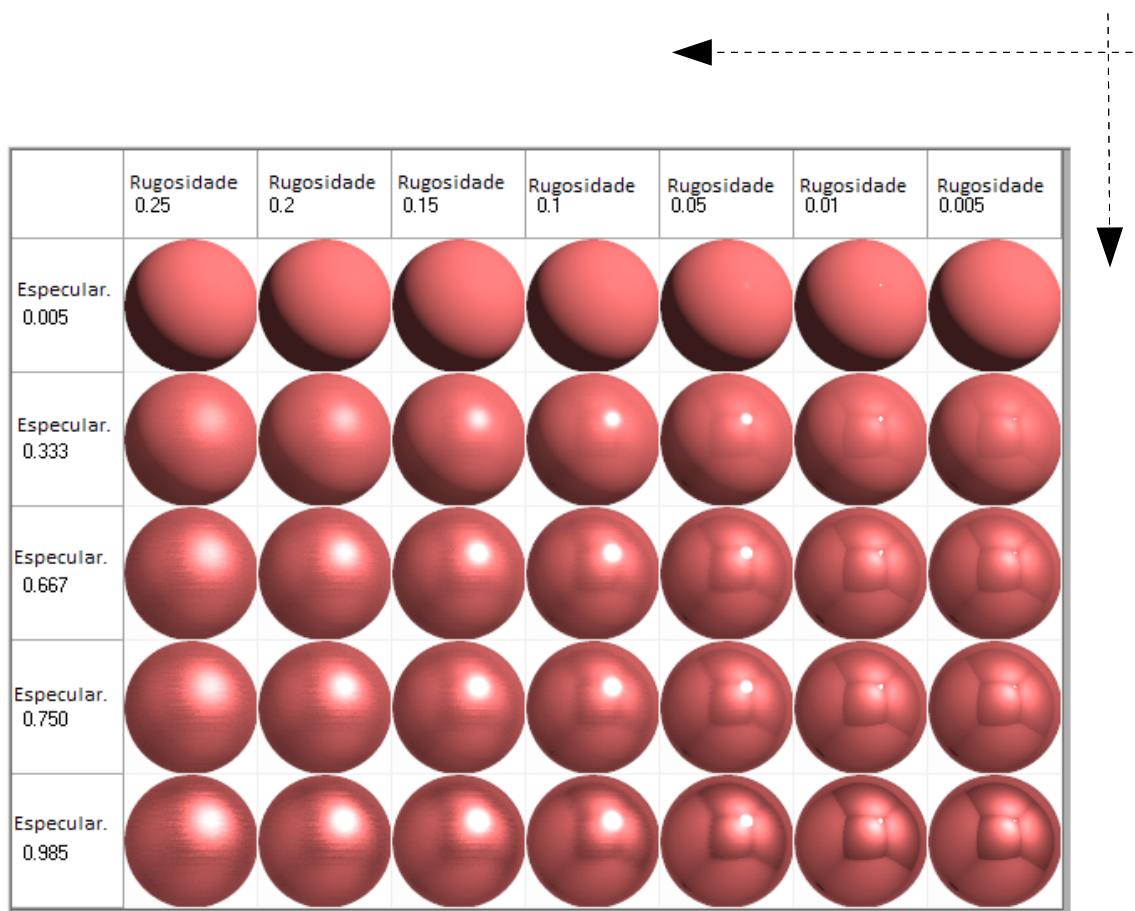


Figura 37: Propriedades dos materiais aplicados ao RADIANCE

Fonte: Manual do RADIANCE

Um material equivalente a pintura das paredes com acabamento fosco deve ter especificação de rugosidade mais próxima de 1 e especularidade próxima de 0, no caso de pintura brilhante deve-se adotar procedimento inverso.

6.1.3. Fontes de iluminação

Luz natural direta e indireta. Para o experimento com as simulações off-line o céu tem as seguintes características:

Tipo de céu e a distribuição de luminâncias relativas as estações climáticas do sitio. Assim, selecionou-se o tipo de céu numero 11 da padronização de Darula e Kitller (2005), como o mais representativo do período de inverno em Brasília. Em geral os dias do solstício de inverno tem céu claro, sem nebulosidade e com a coroa Solar presente na abobada celeste.

<i>Tipo</i>	<i>Gradação</i>	<i>Descrição da distribuição de luminância</i>
<i>II</i>	<i>IV</i>	<i>Céu branco-azul com coroa solar distinta</i>

6.1.4. Câmeras Sintéticas

É necessário definir o ponto de vista do observador, estas informações estão em geral formatadas com as coordenadas x,y e z do observador, a altura de seu olho e o ângulo de abertura da lente.(figuras 38, 39 e 40)

Posição inicial do observador situado ao fundo da sala (coordenadas x,y,z → 6,9,1.5)

Ângulos de abertura da lente: 40,5° horizontal e 25,35° vertical;

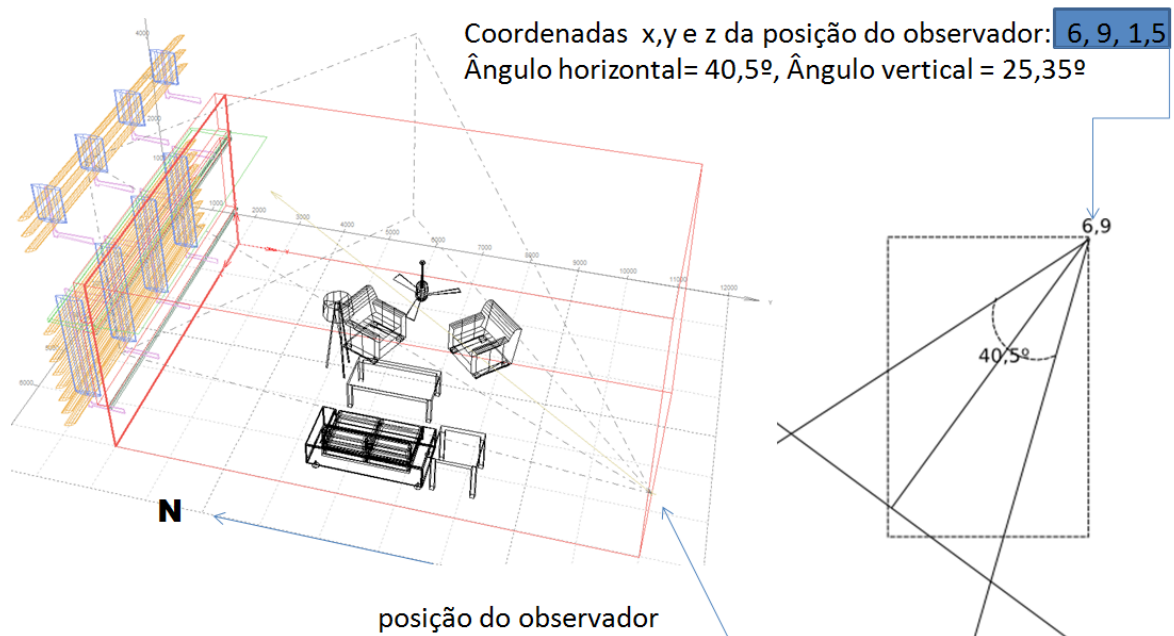


Figura 38: Espaço de testes - posição inicial do observador

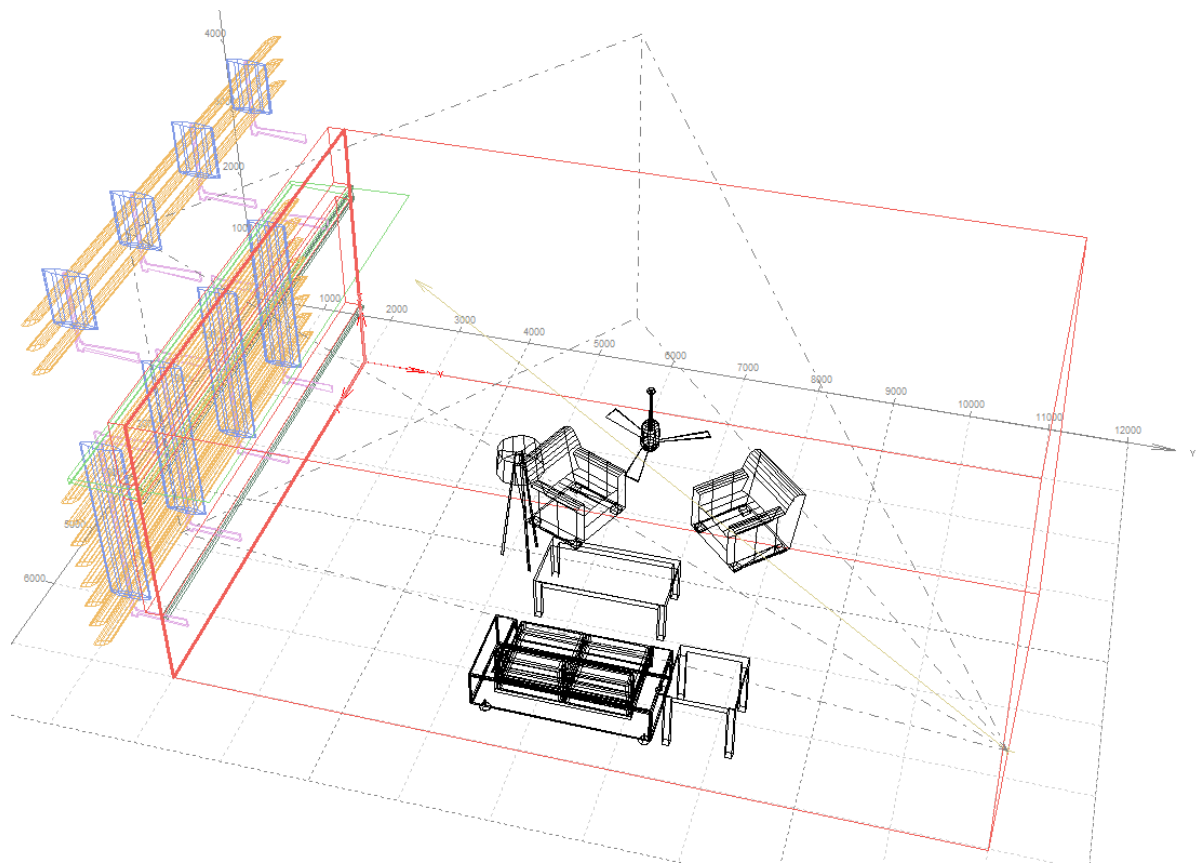


Figura 39: Espaço de testes - posição inicial do observador



Figura 40: Espaço de testes - resultado do ajuste da câmera sintética

6.2. Simulação tradicional (assíncrona) – ECOTECH e RADIANCE

Cálculo apoiado na ferramenta ECOTECH para a modelagem e como interface para o RADIANCE, adotado como motor de cálculo, da simulação da LN no interior do Espaço de testes. As imagens estão contidas na figura 41 .

6.2.1. Discussão

A análise da figura 41 representa a simulação das 9 horas do solstício de inverno do “espaço de testes gerada pelo RADIANCE:

- Na imagem superior (41-A) nota-se que a distribuição das iluminâncias está equilibrada e pode-se prever que o ambiente terá as condições de conforto visual necessárias para abrigar um ambiente de sala de estar.
- luminâncias acima de 5000 cd/m² (zona vermelha na imagem "falsecolor" da figura 41- B) devem-se à incidência da luz direta que atravessa a proteção do *brise-soleil* lateralmente, apesar da presença dos montantes verticais (ver figura 42). A figura 41C demonstra os valores relativos ao plano de trabalho (0,75m) e os extremos em gráfico 3D.

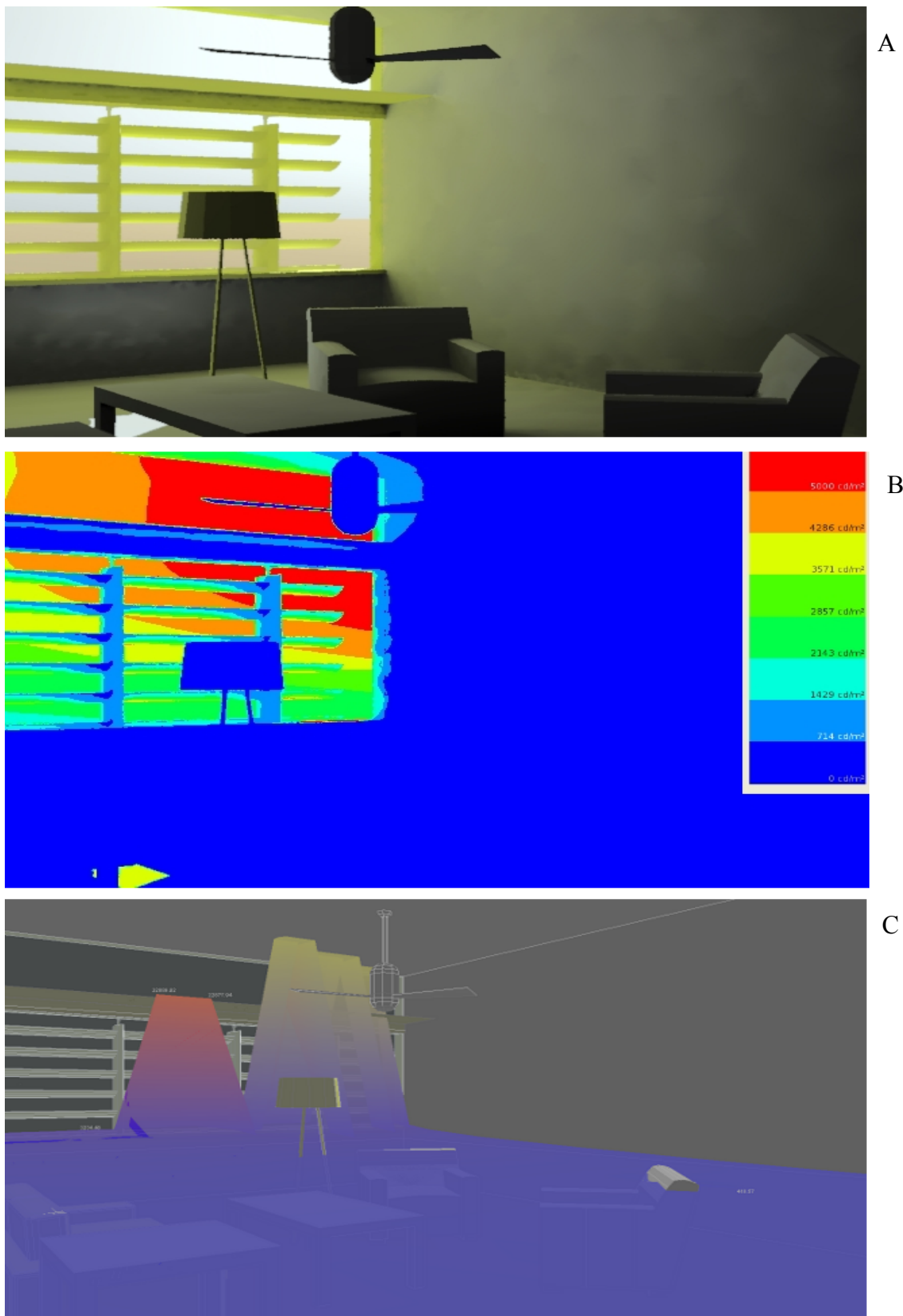


Figura 41: Espaço de testes - 9 horas inverno - avaliação qualitativa e quantitativa

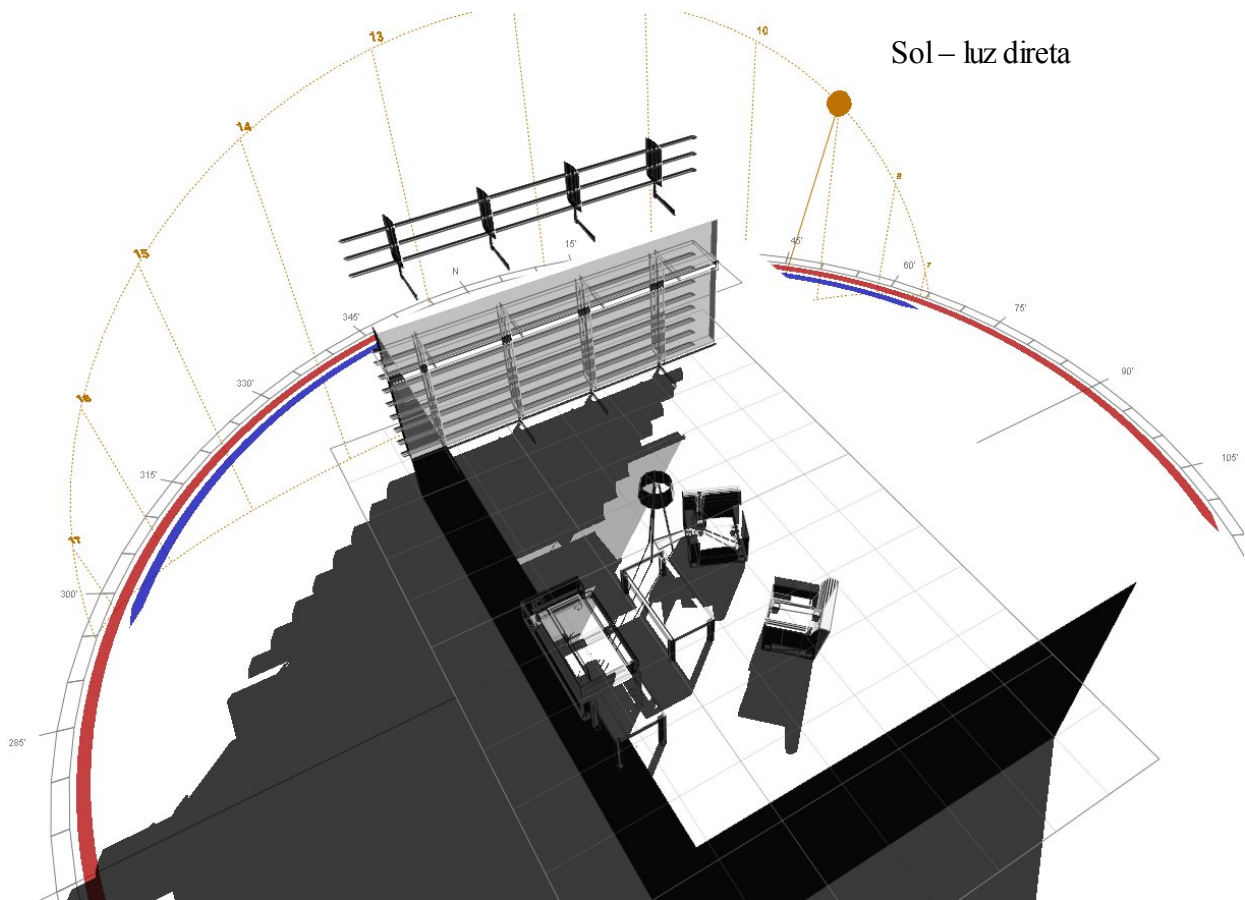


Figura 42: Espaço de testes - 9 horas inverno - incidência da luz direta lateral

A figura 42 apresenta o caminho da luz direta das 9 horas do solstício de inverno que insere-se no interior do “espaço de testes” apesar da proteção do *brise-soleil*.

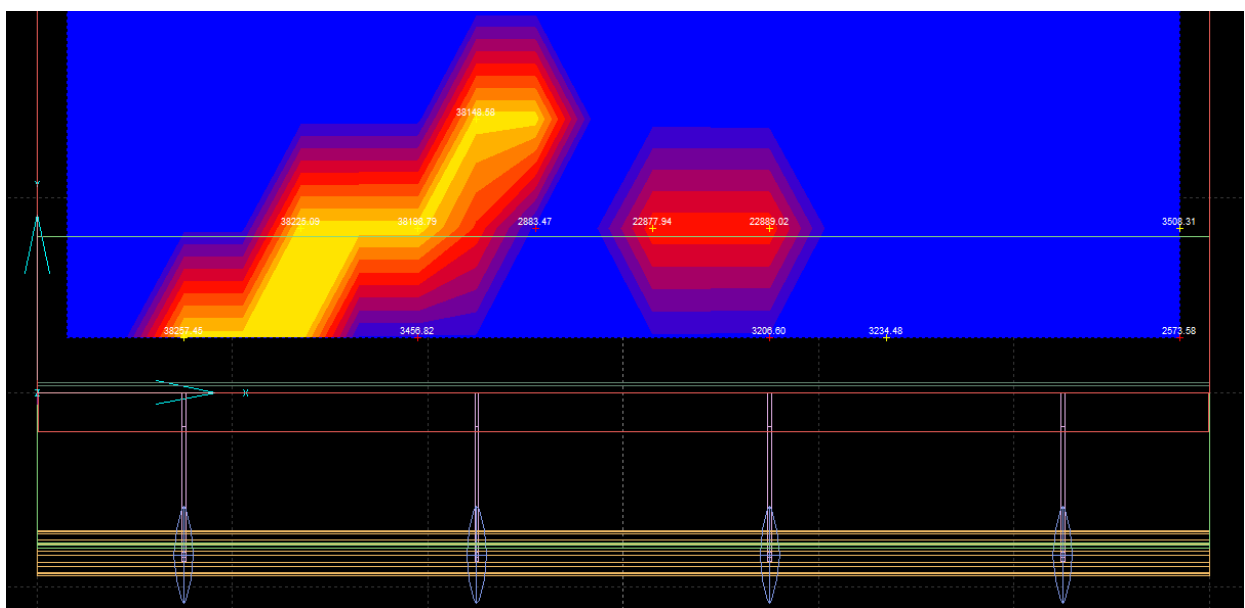


Figura 43: Avaliação no plano de trabalho (0,75metros do piso) na área próxima da abertura

A figura 43 apresenta a análise da imagem *falsecolor* com os valores da luz direta, atingindo até 22 000 cd/m² na proximidade da abertura. Provavelmente uma fonte de ofuscamento.

O cálculo da simulação levou 0.03 horas (108 segundos) para gerar mais de vinte e três milhões de raios na cena (figura 44). Foi utilizada computador com SO LINUX com processador Intel Dual core 2500 e 4 GB memoria RAM.

```

evangelos@evangelos-ubuntu:~/ibl$ rvu -vf anim.vf rnl_scene.oct
rvu: warning - no light sources found
evangelos@evangelos-ubuntu:~/ibl$ rvu -vf anim.vf -ab 1 -aa 0 -ad 256 rnl_scene.oct
rvu: warning - no light sources found
evangelos@evangelos-ubuntu:~/ibl$ rpict -vf anim.vf @optrad rnl_scene.oct > render.hdr
rpict: warning - no light sources found
rpict: 0 rays, 0.00% after 0.000u 0.000s 0.000r hours on evangelos-ubuntu
rpict: 6752431 rays, 54.58% after 0.008u 0.000s 0.008r hours on evangelos-ubuntu
rpict: 13651761 rays, 59.79% after 0.017u 0.000s 0.017r hours on evangelos-ubuntu
rpict: 20701242 rays, 69.17% after 0.025u 0.000s 0.025r hours on evangelos-ubuntu
rpict: 23730189 rays, 100.00% after 0.028u 0.000s 0.028r hours on evangelos-ubuntu
evangelos@evangelos-ubuntu:~/ibl$ █

```

Figura 44: Tempo de rendering - 23.730.189 raios em 0.028 horas

Na cena que está descrita no Apêndice I, o céu foi calculado segundo o padrão do RADIANCE ou seja, estabelecendo os parâmetros padronizados: céu claro, limpo; os parâmetros do dia e da hora: 9 horas do dia 21 de junho (solstício de inverno).

Esta claro que para uma avaliação para as demais horas do dia seria necessário computar novamente a cena alterando somente os parâmetros da hora (9, 10, 11, 12, 13, 14 15, 16 horas) . A previsão mais otimista é que cada calculo gaste algo em torno 600 segundos ou dez minutos.

Isso pode ser feito em modo semi-automatizado quando se aplica *scripts* no ambiente LINUX ou usando a interface do ECOTECT o que torna a tarefa mais eficiente. Neste caso, o RADIANCE prevê a possibilidade de aproveitar alguns elementos do calculo prévio. No entanto, se houver a necessidade de alterar outros parâmetros, tais como as propriedades da geometria, ou a mudança do

ponto de vista do observador o cálculo tem que começar do zero.

6.3. Simulação interativa (sincrônica) – BLENDER e RADIANCE

Cálculo apoiado na interface gerada no *software* BLENDER:

O passo inicial é importar o arquivo WRL gerado no ECOTECH utilizando o mesmo modelo do tópico anterior para a interface do BLENDER. As simulações acontecem em dois momentos distintos.

6.3.1. BRAD

O primeiro momento inicia-se na interface denominada BRAD (Blender + Radiance) desenvolvida por Anselmo (2002) para funcionar como *front-end*, uma interface amigável, para o RADIANCE que de outro modo é manipulado em linha de comando no Terminal do Linux.

6.3.2. Game engine do Blender

O segundo momento desenvolve-se na interface do motor de jogo (*game engine*) do BLENDER onde desenvolvem-se as ações interativas (ver anexo II).

6.3.3. Síntese de imagem HDR para mapeamento das luminâncias

Em seguida gerou-se uma imagem HDR fundada na síntese das imagens produzidas pelo MAMmodeller. Conforme figuras 45, 46 e 47.

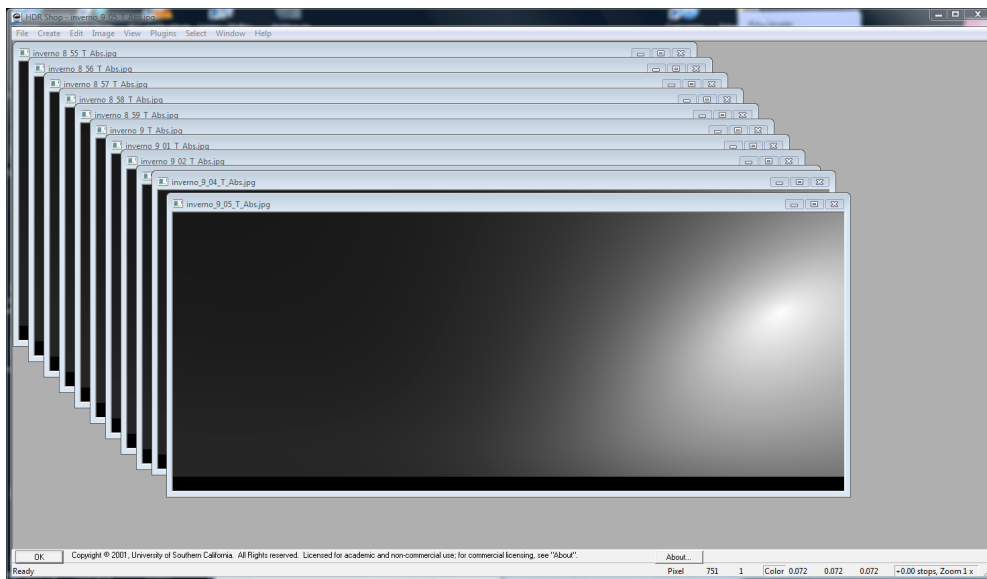


Figura 45: Onze imagens calculadas pelo MAMmodeller

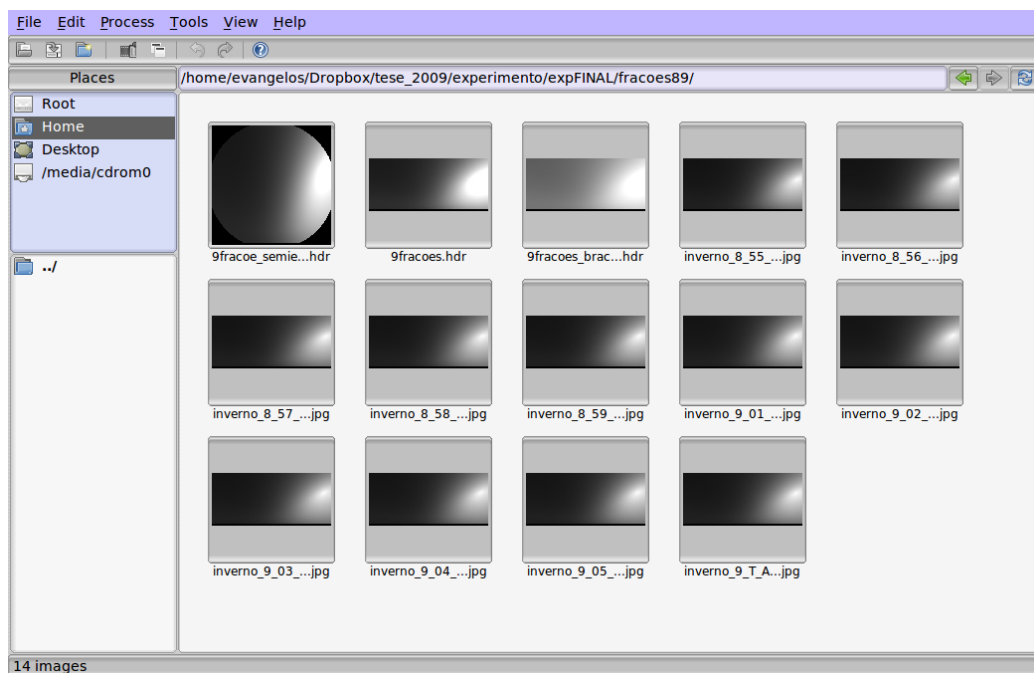


Figura 46: BRACKET - geração da imagem HDR fundamentado nos cálculos do MAMmodeller

As onze imagens JPG geradas pelo MAMmodeller (figuras 45 e 46) de acordo com os parâmetros estabelecidos na figura 47. A seguir as imagens foram processadas no BRACKET HDR manager (figura 48) com o propósito de gerar a imagem HDR de síntese com o conjunto de todas as luminâncias do céu de inverno em Brasília, DF de acordo com as especificações inseridas na interface do software.

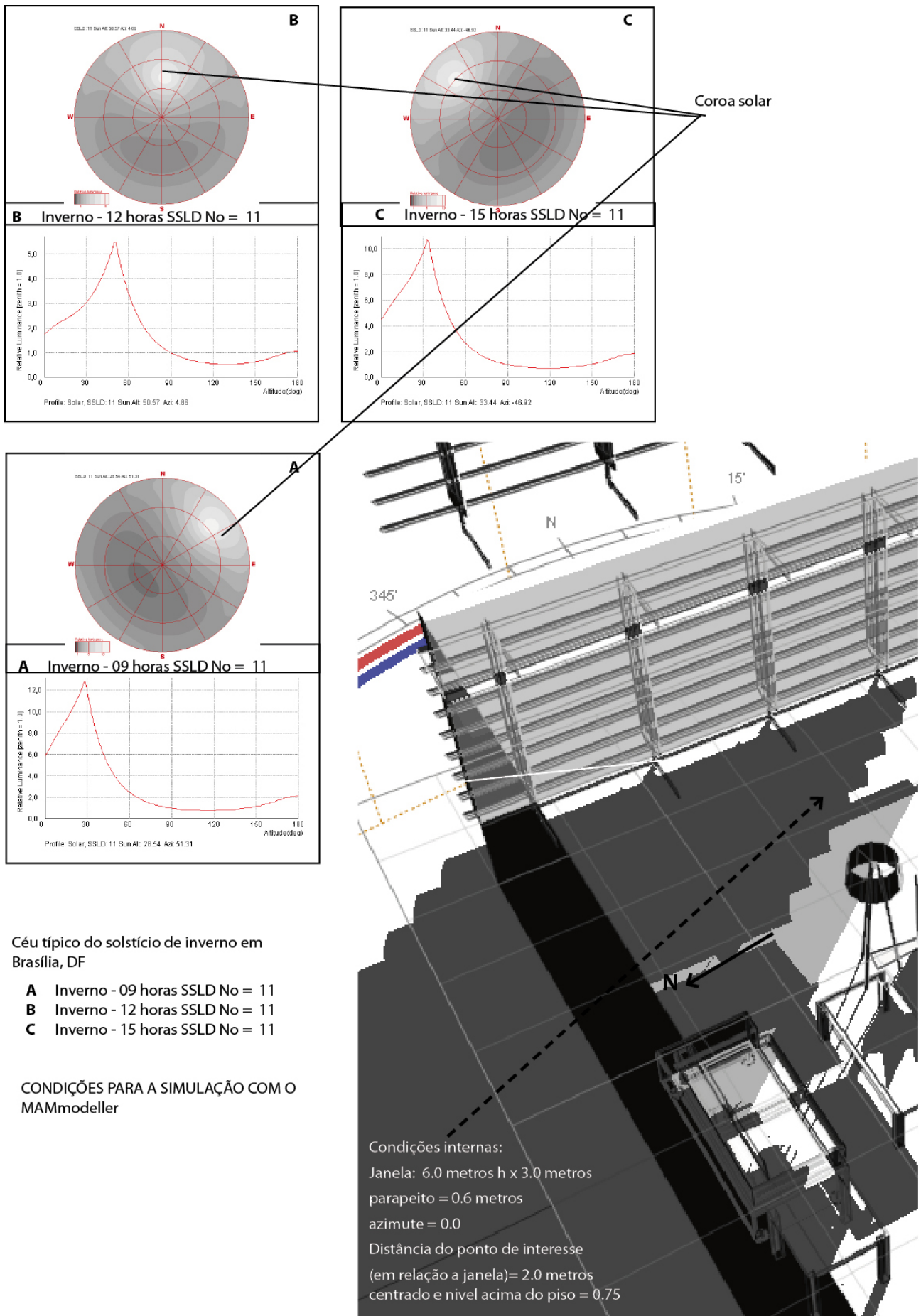


Figura 47: Parâmetros e relações das iluminâncias em ponto de interesse específico do Espaço de testes

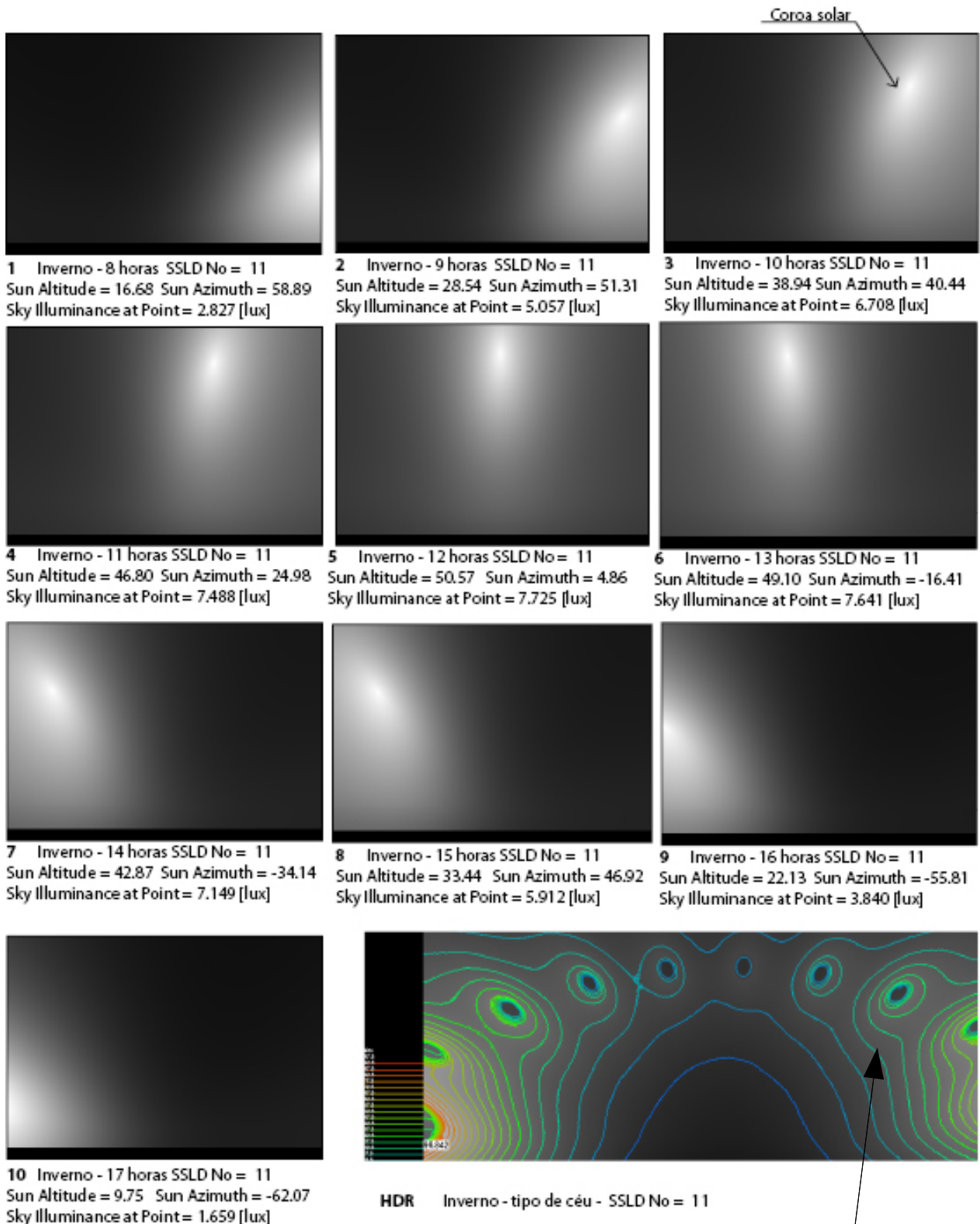


Figura 48: Imagens obtidas pelo cálculo do MAMmodeller de acordo com os parâmetros da figura 47. A imagem inferior a direita é a síntese do conjunto de luminâncias, representado em isoluminâncias para melhor entendimento.

A imagem com a escala de cores de *isoiluminancias* representa o conjunto das luminâncias do céu do solstício de inverno em Brasília, DF obtidas a partir do olho do observador posicionado no interior do modelo do “espaço de testes” levando em consideração as condições específicas da abertura no ponto de interesse. Em uma sequência de hora em hora, 8 horas até as 17 horas.

6.3.4. Renderização experimental

Foi executada uma renderização pré-experimental, a partir de tutorial de Debevec, 1998. O objetivo desta renderização prévia foi avaliar a validade do algoritmo proposto pelo autor para gerar fonte de iluminação (IBL) a partir dos cálculos do MAMmodeller.

A imagem da figura 49 foi gerada a partir de repetição do experimento elaborado por Debevec, Siggraph 1998, no qual utilizou-se uma imagem HDR fornecida por Debevec como fonte de iluminação, gerada por diversas fotografias da mesma paisagem processada pelo software “HDRShop”.

A imagem da figura 50 foi gerada com o novo algoritmo do autor com dados luminosos específicos do céu do solstício de inverno de Brasília, DF utilizando o mesmo modelo geométrico. Para iluminar a cena, foi utilizada a imagem HDR resultante do procedimento descrito nas figuras 51. e 52. Pode-se esperar que a imagem resultante tenha todas as características qualitativas do céu de Brasília no inverno.



Figura 49: Rendering gerado com os dados de Debevec



Figura 50: Imagem de síntese obtida pelo algoritmo do autor

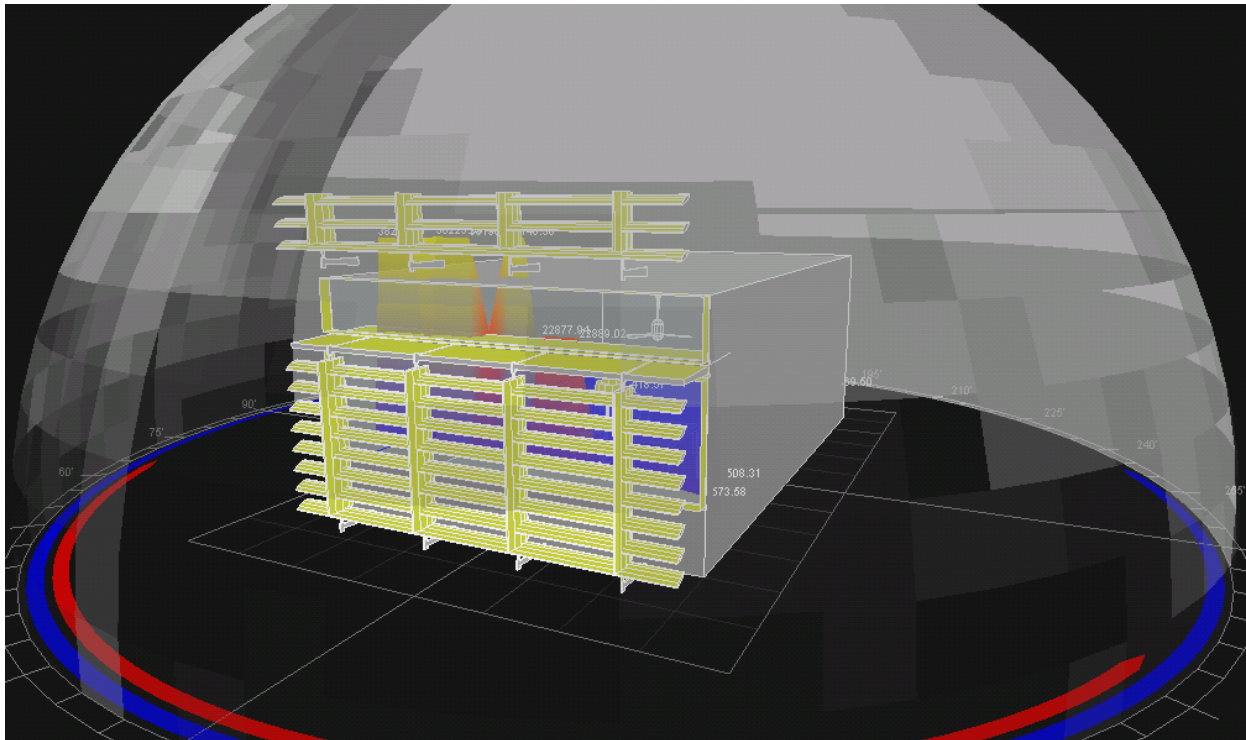


Figura 51: Projeção da semiesfera sobre o modelo 3D do espaço de testes.

A imagem HDR produzida pelo algoritmo, ver figura 48, foi aplicada sobre uma semiesfera que encobre o modelo do “espaço de testes”. As figuras 51 e 52 ilustram o procedimento de mapeamento da luminância em uma semiesfera sobre o modelo, para gerar a iluminação IBL em relação ao posicionamento solar do modelo de testes.

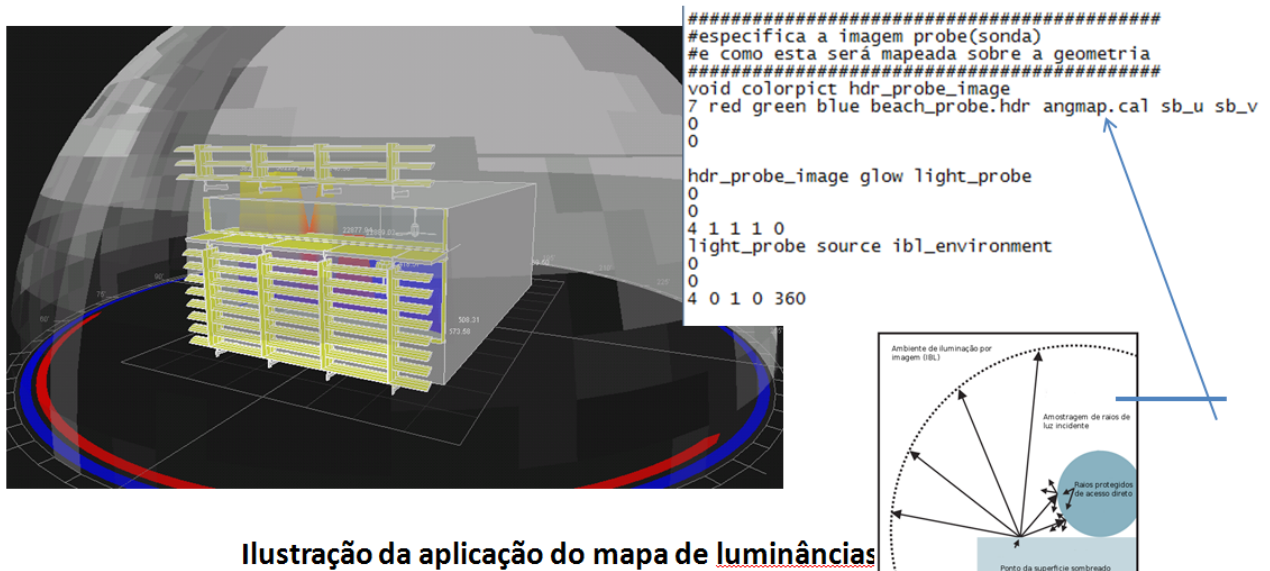
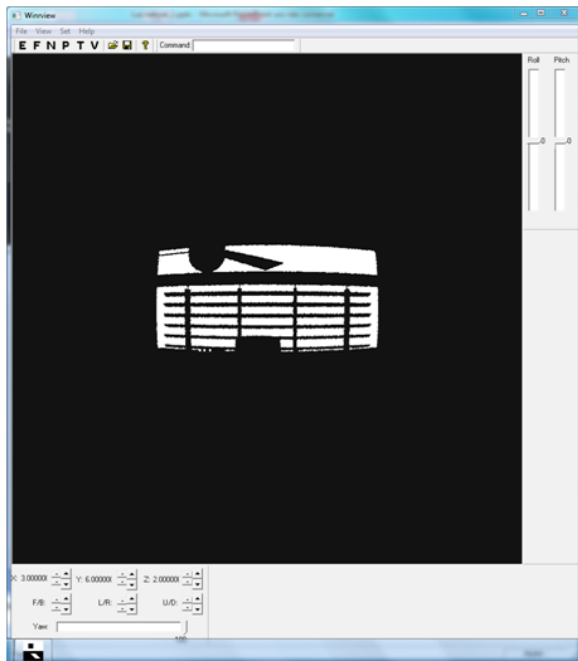


Ilustração da aplicação do mapa de luminâncias
uma semiesfera utilizando um código e funções
matemáticas;
Esta técnica foi utilizada para aplicar a imagem HDR
gerado pelo algoritmo do autor

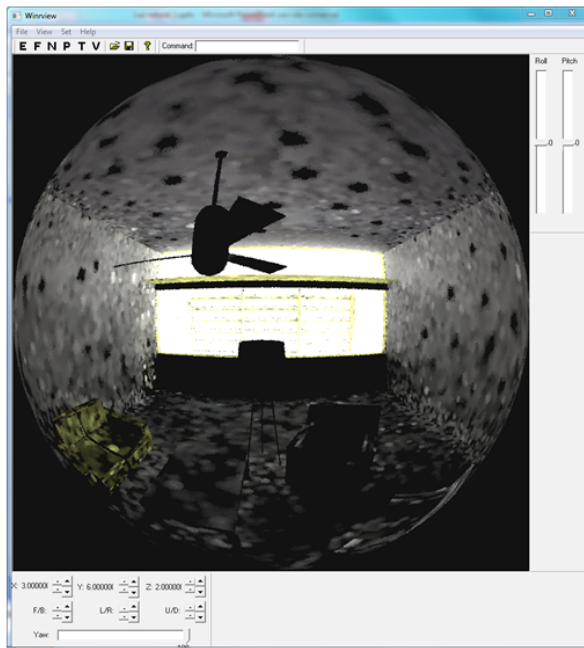
Figura 52: Geração do mapa de radiâncias para iluminar a cena dinâmica



Rendering dinâmico
em tempo “quase-
real”
Somente luz direta

Figura 53: Rendering dinâmico - somente luz direta

No ambiente do “prompt de comandos DOS” no sistema Windows. Com o comando “oconv xxxx.rad > xxxx.oct” faz-se a compilação da cena. Em seguida utiliza-se o comando “rview -vf xxxx.vp xxxx.oct” para visualizar a cena dinamicamente.



Ajuste de
parâmetros para
utilizar também
luz indireta

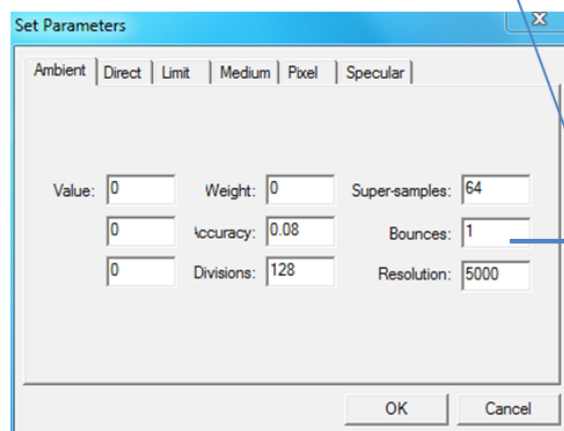


Figura 54: Rendering dinâmico - ajustes para adicionar luz indireta

As figuras 53 e 54 apresentam as ferramentas de rendering dinâmico do RADIANCE para

simulação da luz direta e indireta. A figura 55 apresenta a interface do motor gráfico de jogos do BLENDER associado ao motor de rendering do RADIANCE, por meio do script Radiance_233GUI.

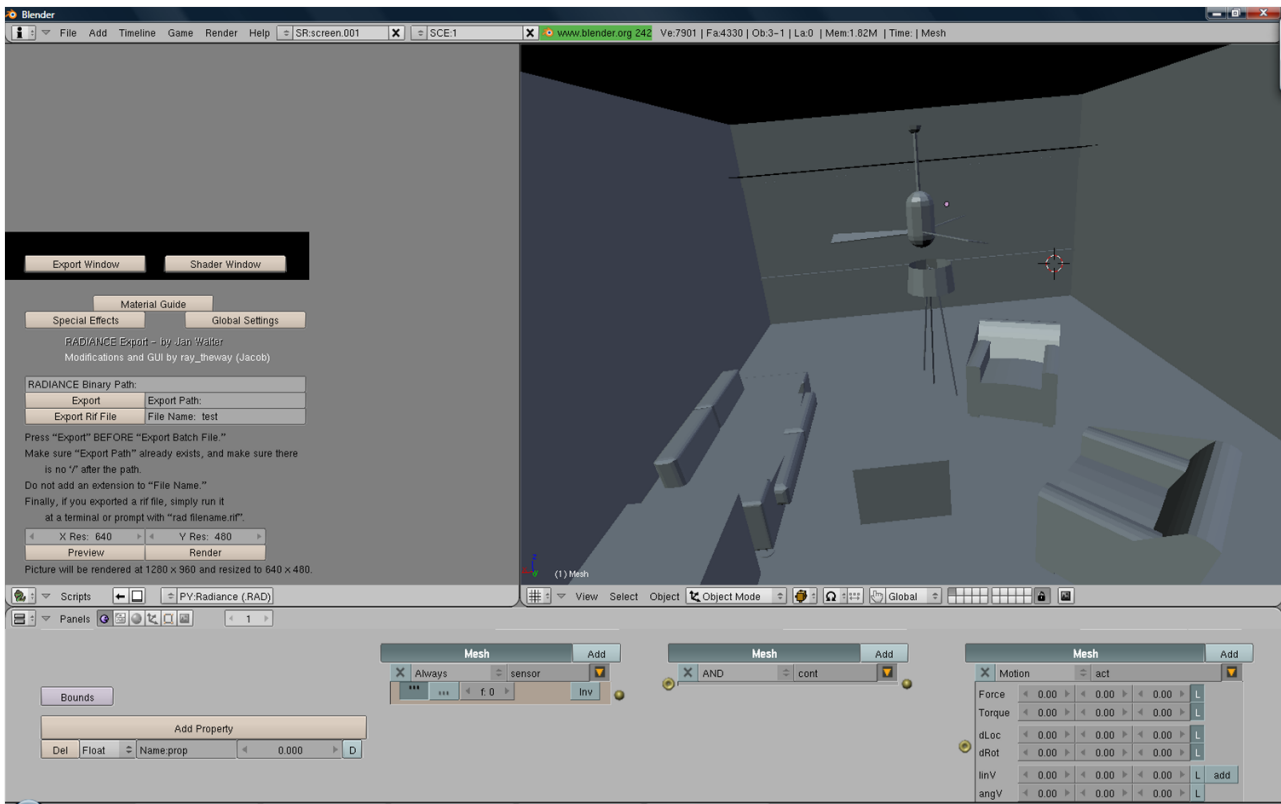


Figura 55: Interface do Blender adicionado com o motor de rendering do RADIANCE

A esta altura importou-se o modelo tridimensional do espaço de testes e o motor de jogo do BLENDER está pronto para ser programado para a interatividade com o usuário.

As ferramentas interativas estão na mídia anexa, em CD-ROM que faz parte da presente pesquisa.

7

Capítulo 7, Discussão e conclusões

Cada vez mais a alta tecnologia faz parte do nosso dia-a-dia. Essa constatação torna-se mais relevante no que diz respeito às ciências que, tradicionalmente, se apoiam em instrumentos computacionais para o seu desenvolvimento.

Para a arquitetura, a evolução dos programas computacionais e instrumentos de simulação trouxe um novo patamar às possibilidades de geração de projetos. No entanto, as ferramentas disponíveis ainda não estão totalmente integradas ao fluxo de projeção do arquiteto. As ferramentas CAD foram propostas inicialmente como auxílio à representação bidimensional e posteriormente permitiram a geração de modelos tridimensionais e passeios virtuais no espaço projetado. A seguir buscou-se a perfeição da representação. Nesse sentido, concorda-se com Duarte, 1999 (p. 160) que entende as imagens sintéticas não apenas como imagens finais, mas também um modelo de simulação. Elas trazem consigo uma das possibilidades: a que no momento é visualizada, todas as outras que foram ou poderiam ser experimentadas, mas embora visualmente ausentes, estão logicamente contidas nos modelos numéricos que fundamentam a sua geração.

As ferramentas computacionais que assistem à elaboração do “partido” devem confirmar as escolhas que o arquiteto faz ao longo desse processo.

As restrições internas que permeiam o processo de projeção permitem maior liberdade de escolha ao arquiteto. Já os agentes externos, tais como legislação, código de obras, possibilidades financeiras e clima são determinantes e geralmente tem grande influência na escolha da solução ou no seu resultado. Dentre os determinantes externos associados ao clima, destaca-se nessa pesquisa a LN que, por sua natureza, precisa ser levada em conta desde os primeiros passos do “partido” para não comprometer o conforto do usuário, por um lado e promover a eficiência energética do edifício, integrando a luz artificial apenas complementarmente à LN.

As ferramentas computacionais atualmente disponíveis não atendem ainda plenamente as necessidades do arquiteto no que diz respeito à avaliação da inserção da LN dentro do edifício. O

arquiteto precisa fazer suas simulações seguindo um caminho abstrato previamente traçado, mas devido à demora e à dificuldade em gerar resultados, deixa de explorar outros caminhos possíveis. Perde-se muito tempo para se produzir uma simples simulação com o sistema tradicional (ferramentas atualmente disponíveis). Portanto, seria desejável uma conjunção dos JECs que, na sua maioria são interativos em tempo real, às ferramentas CAD.

A indústria de entretenimento tem conseguido grande desenvolvimento tecnológico, especialmente no que diz respeito à representação das cenas e dos seus componentes, muito mais do que na própria representação da ação dos personagens. Além dos jogos eletrônicos, essas produções estão muito presentes nos efeitos especiais espetaculares do cinema. Os processos de interatividade e tecnologia de *hardware/software* especificamente desenvolvidos para os JECs têm tido um desenvolvimento tecnológico em progressão que se adianta à Lei de Moore (1965), segundo a qual os processadores conseguiriam duplicar a capacidade de processamento a cada 18 meses. O desempenho das GPUs (*hardware* específico dos jogos) tem crescido mais rapidamente do que Moore (1965) preconizava, duplicando ou até mesmo triplicando o poder de processamento gráfico em apenas um ano (Galoppo et al, 2005).

Aparentemente, há oportunidade para que os *softwares* dedicados à simulação computacional que assistem ao processo de projeção do espaço arquitetônico apropriem-se do resultado dos investimentos da indústria de entretenimento.

Para aplicar as ferramentas, relacionadas a seguir, foi proposto o método descrito no presente trabalho que engloba a integração, em uma nova ferramenta, das ferramentas *open source* de modelagem (BLENDER) e o motor de cálculo de renderização (RADIANCE) ao motor de jogos (*game engine*) embutido no próprio BLENDER. Essa fase foi chamada de “pré-processamento computacional” pois até aqui diferencia-se muito pouco do processamento de *rendering* tradicional *off line*. A segunda fase desenvolve-se paralelamente à primeira e aborda a geração das imagens HDR segundo o algoritmo desenvolvido pelo autor. A partir daí, no processamento interativo a

ferramenta solicita a seleção, escolhas e decisões pertinentes à definição do “partido” arquitetônico. O que se aborda preliminarmente no experimento é a questão das aberturas no envelope do edifício para a entrada da LN. Outras questões poderiam ser contempladas, em trabalhos futuros, tais como: o acabamento dos materiais (pisos, paredes, texturas, cores), iluminação artificial (lâmpadas, formas e disposição das luminárias), dimensões e proporções, orientação solar, localização geográfica, obstruções do entorno, presença/ausência de vegetação, propriedades óticas da cobertura do piso, presença de espelhos d'água e contribuição luminosa dos edifícios vizinhos.

7.1. Conclusões

Resumidamente, pode-se enumerar as conclusões de acordo com os objetivos específicos dessa pesquisa:

7.1.1. Objetivo 1

Investigar as aplicações do AVITR à dinâmica do processo de projeção do espaço arquitetônico, especialmente nas fases iniciais.

Após as investigações, conclui-se que: as aplicações do AVITR são possíveis se:

- a) utiliza-se a tecnologia de interatividade disponível na maioria dos motores de jogos (*games engines*) atuais, incluídas as ferramentas que são *open source*; e,
- b) adiciona-se o algoritmo (RADIANCE) de cálculo de iluminação, que foi amplamente validado na comunidade científica. Melhor dizendo, a integração desse motor de cálculo no motor de jogos (*game engine*) permite alcançar esse objetivo.

7.1.2. Objetivo 2

Investigar a capacidade de simulação computacional da LN no AVITR para prover realimentação interativa e dinâmica ao arquiteto em resposta às mudanças no projeto arquitetônico, o que pode ampliar a aplicação dos

algoritmos de IG no processo de projeção de edifícios.

- a) Entre os diversos aspectos possíveis, investigou-se a questão relativa às aberturas no envelope do edifício para a entrada da LN no interior do ambiente. A interatividade pode contribuir para a melhor compreensão do fenômeno físico, que é essencialmente dinâmico, e exige avaliações indicativas, em tempo real, o que permite análises dinâmicas da distribuição das iluminâncias e previsão de possíveis ofuscamentos ou áreas com deficiência de iluminação.
- b) Quando comparadas ao processo não interativo, essas avaliações seriam fundamentadas apenas em algumas amostragens (dias típicos, solstício de inverno, de verão, equinócios etc.).
- c) Para tanto, a ferramenta, em sua plenitude, deveria incluir uma metodologia de calibragem das imagens, o que exige equipamentos muito específicos e a programação de códigos necessária para o desenvolvimento da ferramenta - software de integração.
- d) O algoritmo proposto consegue integrar as fases de cálculo das informações luminosas, segundo o modelo de IG, ao fluxo de projeção do arquiteto, sendo no entanto, necessária a sua complementação de acordo com o exposto acima.

7.1.3.

Objetivo 3

Investigar os softwares existentes e identificar os parâmetros necessários para a criação de uma nova ferramenta que conjugue o AVITR e a simulação da LN.

- a) A conjugação do RADIANCE como motor de cálculo da simulação da LN no motor de jogos (*game engine*) do BLENDER atende os parâmetros necessários para a criação dessa ferramenta interativa, denominada aqui AVITR.
- b) A investigação em questão comprovou o que Silvestre et al., (2004)

preconizaram em seu trabalho, avaliado nessa pesquisa que a ferramenta BLENDER, também selecionada por eles como base para elaboração de aplicativo com motor de jogos (*game engine*) e modelagem tridimensional tem o potencial necessário para alcançar a interatividade desejada.

c) Essa pesquisa amplia esse conhecimento, promovendo a aplicação desse ambiente interativo para assistir ao arquiteto no processo de projeção do edifício, especialmente nas fases iniciais, considerando que o que o arquiteto vê na tela do computador é a representação fidedigna das suas escolhas e decisões.

7.1.4. Comprovação das hipóteses

Em relação à comprovação das hipóteses deste trabalho, pode-se pontuar:

1. *A ferramenta proposta criará ambientes virtuais não-imersivos (Fishtank) para avaliar o comportamento, em tempo real, da Luz Natural no interior do futuro edifício;*

Essa ferramenta apresenta potencial promissor para promover a interatividade não imersiva integrada ao processo de projeção. Contudo, para sua plena comprovação seria necessário ainda o desenvolvimento de um software por meio de ferramentas de programação, baseado no método aqui desenvolvido.

Até o momento apresenta-se as fases envolvidas no método de forma ainda fracionada. A integração dos produtos dessas fases poderá gerar novos desdobramentos.

2. *As ferramentas apresentadas podem representar o papel de integração das atuais técnicas interativas no âmbito da Iluminação Global (IG) e do processo de projeção;*

A hipótese confirma-se uma vez que a IG foi incorporada através do algoritmo

desenvolvido pelo autor que é o diferencial, pois atualmente a maioria dos JECs empregam imagens HDR como fonte de iluminação em suas cenas. Tais imagens tem geração arbitrária e poderiam ser substituídas por imagens específicas geradas pelo algoritmo desenvolvido pelo autor.

3. *Não haverá necessidade de recalcular as interações da Luz Natural, se forem utilizadas as informações luminosas obtidas por meio de modelos e mapas de radiâncias do céu, uma vez computadas através de algoritmos, para interpolar os dados de forma que sejam úteis ao arquiteto.*

No sistema de aquisição e geração de imagens HDR fundamentadas em fotografias do ambiente, as condições que importam ao arquiteto são ignoradas, dado que as fotografias são apenas instantâneos, não sendo consideradas como relevantes as condições luminosas do céu, por sua vez importantes para o arquiteto. As técnicas atuais de geração de HDR não são apropriadas ao trabalho do arquiteto pois não suprem a necessidade de computar a LN no interior do edifício. Nesse aspecto a hipótese está correta. Contudo, a pesquisa foi além e propõe um novo algoritmo que pode levar em consideração as condições reais da LN representativas do sítio do futuro edifício.

7.2. Limitações do método proposto:

A esta, altura, deve-se relatar as limitações do método proposto.

7.2.1. Sobre a questão do fracionamento da ferramenta em fases distintas para que sua realização fosse possível:

A ferramenta de integração que conjuga as diversas ferramentas adotadas e selecionadas de acordo com o método exigiu que cada fase fosse executada de forma independente para viabilizar o experimento sem que houvesse a obrigação de elaboração do software pleno, o que demandaria muito tempo mesmo em nível de protótipo.

Admite-se que se as partes funcionam individualmente, no software pleno não há de ser diferente.

7.2.2. Sobre as aproximações no algoritmo de geração de imagens HDR sintéticas:

É necessário considerar que deve haver a validação dos resultados da geração de HDR como fontes de iluminação, obtidos por meio do algoritmo proposto pelo autor. Para tanto, propõe-se uma calibragem das imagens que compõem a HDR sintética. Para isso, propõe-se detectar o fator de desvio (se houver algum) entre as luminâncias das imagens (hora a hora e minuto a minuto) produzidas pelo MAMmodeller e comparar os valores máximos e mínimos de cada uma delas para ajustar o valor de abertura de diafragma a ser inserido no software BRACKET HDR para a geração da HDR sintética.

Também é necessário destacar que o resultado gerado pelo algoritmo não é uma media das luminâncias de um determinado período, mas uma síntese de todas as luminâncias do mesmo período de tempo. A síntese implica em uma recriação do todo.

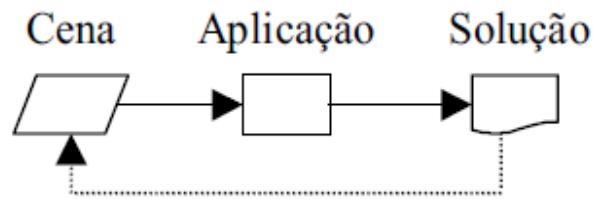
7.3. Sugestão de trabalhos futuros:

Entre os desdobramentos possíveis para esta pesquisa pode-se destacar:

7.3.1. Fluxo inverso

A implementação da mesma ferramenta com enfoque diferenciado, para investigar o fluxo inverso da solução do problema. Ou seja, partindo da solução desejada, chega-se às condições anteriores, iniciais, evidenciadas no problema.

Este principio é muito utilizado na resolução de problemas computacionais que envolvem um grau de dificuldade muito alto, segundo propuseram Costa, Souza e Ferreira (2000)



Tradicionalmente, uma simulação segue o fluxo: aplica-se, neste caso, uma estratégia recursiva de tentativa e erro, até chegar à solução do problema. Este caminho demanda muito tempo e esforço.

Para um procedimento diferente e mais econômico, propõe-se o seguinte fluxo:

Solução → Galerias/repertórios → Aplicativo → Cena inversa

Esta estratégia evita o procedimento recursivo de tentativa e erro. Especificamente no caso de um problema referente ao “partido” arquitetônico, poder-se-ia elaborar um conjunto de galerias de materiais previamente simulados com parâmetros fisicamente fundamentados disponíveis em forma de repertórios selecionáveis na ferramenta.

7.3.2. Finalização do software

Conforme afirmado anteriormente concluir a ferramenta para atender de forma integral o processo de projeção na fase de “processamento interativo”, assim deve-se incluir nesta opções para os materiais de acabamento (pisos, paredes, texturas, cores), iluminação artificial (lâmpadas, formas e disposição das luminárias), dimensões e proporções, orientação solar, localização geográfica, obstruções do entorno, presença/ausência de vegetação, propriedades óticas das superfícies do piso, presença de espelhos d'água e contribuição ou obstrução luminosa dos edifícios vizinhos.

7.3.3. Sistema de calibragem para o algoritmo de geração HDR

Elaborar sistema de calibragem para validar o algoritmo de geração de HDR proposto pelo autor. Isso implicaria em experimentos em laboratório e medição das luminâncias da abobada do céu e a partir da obtenção destes dados empíricos ajustar a relação entre as imagens e as aberturas do diafragma exigidos pelo BRACKET.

Referências bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 15215-2 **Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005

AKENINE-MOLLER, T.; HAINES, E. **Real-Time Rendering**. 2^a.ed. Massachusetts: A K Peters Ltd, 2002. 835 p.

AMORIM, C. N. D., **Avaliação ambiental integrada e simulação computacional: interfaces, limitações e potencialidades**. UnB/FAU/ Curso de Extensão em Avaliação Ambiental com Auxílio de Software de Simulação Ecotect. Brasília, 2007

ANSELMO, F. **BRAD**. Disponível em: <<http://www.bozzograo.net/radiance>>Acesso em: 06 Jan. 2007.

ARTIGAS, J. B. V. **Caminhos da arquitetura**. 2^a.ed. São Paulo: Fundação Vilanova Artigas/Pini., 1986.

ASHDOWN, I. **Radiosity: a programmer's perspective**. Nova York: Wiley and Sons, 2002.

AZEVEDO, E.; CONCI, L. **Computação Gráfica: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier; Ed. Campus. 2003. 353 p.

BESUIEVSKY, S. G. **Cálculo da iluminação em síntese de imagens através de Ray Tracing Estocástico**. 1992. Dissertação (Mestrado em Física) – Unicamp, 1992.

BLENDER Foundation. **Blender**. março 2002. Disponível em: <<http://www.blender.org>>Acesso em: 01 nov. 2007.

BOSCH, C.; BESUIEVSKY, G.; MARTIN, I. A hardware accelerated adaptive mesh subdivision for interactive daylight illumination. **Proceedings CGI 2008 Computer Graphics International**. Istanbul, Turkey, Jun. 2008. p. 256-263.

BOWMAN, D. A.; KRUIJFF, E.; LAVIOLA, J. J.; PROUPYREV, I. **3D Interfaces – theory and practice**. Boston: Pearson Education - Addison Wesley, 2005.

BRAKET. **HDR Photo Manager. v. 1.0.0 (Beta)**. Ahmet Oguz Akyuz, junho, 2009.

BRUNO, F. Mediação e interface: incursões tecnológicas nas fronteiras do corpo. In: DA SILVA, D. F. e FRAGOSO, S. (Org.). **Comunicação na Cibercultura**. São Leopoldo: Unisinos, 2001. p. 191-215.

BUKOWSKI, R. W. **Interactive Walkthrough Environments for Simulation**. 2001. 171 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Graduate Division, University of California at Berkeley, Califórnia, EUA, 2001.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede. A era da informação: economia, sociedade e cultura**. 10^a.ed. São Paulo: Ed. Paz e Terra, v. 1, 2007.

CHEN, S. E. QuickTime VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation. In:

ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 22nd., 1995. **Proceedings...** p. 29-38.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. 134 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

CHRISTAKOU, E.; SILVA, N. **Ambientes virtuais na simulação do interior do edifício**. Sigradi 2007. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRAFICA DIGITAL, 11., Universidad La Salle, MBM Impressora, MEX, 2007. p. 253-256.

CHRISTAKOU, E.; SILVA, N. **Da perspectiva artificialis ao cyberspaço: motor gráfico e a visualização interativa da luz natural no interior do edifício**. Sigradi 2009. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRAFICA DIGITAL, 13., Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009. p. 101-103.

CLEAR. Comfortable Low Energy Architecture. London Metropolitan University. Disponível em: <http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/about/partners.html>. Acesso em nov. 2008

CORTAZAR, J. (1969). **Final do Jogo**. 3^a.ed. Rio de Janeiro: Ed. Expressão e Cultura, 1969. 198 p.

COSTA, A.; SOUZA, A.; FERREIRA, F. Novos métodos de design de iluminação. In: **9º Encontro português de computação gráfica**. Marinha Grande, 2000.

COUCHOT, E. Da representação à simulação. In: PARENTE, A. (Org.). **Imagem-máquina: a era das tecnologias do virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999. p. 38-39.

COUTINHO, E. **O espaço da arquitetura**. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1977. 244 p.

COX, D. A arte e a ciência da visualização. In: MACIEL, K.; PARENTE, A (Org.). **Redes sensoriais: arte, ciência, tecnologia**. Rio de Janeiro: Contra Capa Livraria, 2003.

DAMEZ, C.; DIMITRIEV, K.; MYSZKOWSKI, K. **State of art in global illumination for interactive applications and high-quality animations**. Computer graphics forum. 2003. p. 55-77.

DARULA, S. e KITTLER, R. CIE general sky standard defining luminance distributions. **Proceedings e Sim 2002**. Montreal, 2002.

DARULA, S. e KITTLER, R. **MAM modeller**. 2005.

DEBEVEC, P. E.; MALIK, J. **Recovering high dynamic range radiance maps from photographs**. ACM Siggraph 97. 1997. p. 369-378.

DEBEVEC, P. **Rendering with Natural Light Source Files**. Orlando: ACM Siggraph, 1998.

DEBEVEC, P. **Tutorial: Image Based Lighting**. IEEE Computer Graphics and Applications, mar./abr., 2002.

DOMINGUES, D. Imersão e autopoiesis: a estética e a construção de mundos poéticos de realidade virtual. In: MEDEIROS, M. (Org.). **A arte pesquisa, volume 1**. Brasília: Dupligráfica Editora,

2003. p. 205-220.

DOMINGUES, D. **Arte, ciência e tecnologia: passado, presente e desafios**. São Paulo: Ed. Unesp, 2009.

DROR, R. O.; ADELSON, E. H.; WILLSKY, A. S. Estimating Surface Reflectance Properties from Images under Unknown Illumination. **Proceedings SPIE 4299: Human Vision and Electronic Imaging IV**. San Jose, California, January 2001.

DUARTE, F. **Arquitetura e tecnologias de informação - da Revolução Industrial à revolução digital**. São Paulo: Ed. Unicamp, 1999. 200 p.

EHRlich, C. K. **Computer Aided Perception: A method to Evaluate the Representation of Glare in Computer Graphics Imagery**. 2002. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – University of California at Berkeley.

ECOTECH. Autodesk. Disponível em: <http://ecotech.com/>. Acesso em nov. 2007.

FOLDOC – **Free on-line dictionary computing**. Supported by Imperial College Department of Computing. Disponível em: <<http://foldoc.org/>> Acesso em: jan. 2009.

FRITSCH, D.; KADA, M. Visualization using games engines. In: ISPRS CONGRESS, 20th, Istanbul, 2004.

FUNKHOUSER, T. **A Database and Display Algorithms for Interactive Visualization of Architectural Models**. 1993. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – University of California at Berkeley, 1993.

GALOPPO, N.; GOVINARAJU, N. K.; HENSON, M.; MANOCHA, D.; LU-GPU: Efficient Algorithms for Solving Dense Linear Systems on Graphics Hardware. In: **Proceedings of the 2005 ACM/IEEE SC05 Conference (SC'05)**, 2005

GOMES, J.; VELHO, L. **Computação gráfica: Imagem**. Rio de Janeiro: Ed. Impa/SBM, 1994.

GRAU, O. **Virtual Art: From Illusion to Immersion**. Massachusetts Institute of Technology. 2003. 416 p.

GREBLER, E. **Game programming for teens**. Boston: Thomas Course Technology, 2006.

GREENBERG, D. A framework for realistic image synthesis. **Communications of the ACM**, v. 42, n. 8, p. 44-53, 1999.

HAIGH-HUTCHINSON, M. **Real-Time cameras: a guide for game designers and developers**. Morgan Kaufmann, 2009.

HOUAISS. Dicionário Houaiss Física, Ed. Objetiva, São Paulo, 2005,

HUFF, R.; NEDEL, L. P.; OLIVEIRA, M. M.; FREITAS, C. M. S. Usando iluminação baseada em imagens na geração de Ambientes de Realidade Mista. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY- SVR, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.

INANICI, M.. **Application of the State-of-the-Art Computer Simulation and Visualization. in Architectural Lighting Research.** In: Building Simulation- Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, ago 2001.

INANICI, M. **Per-pixel lighting data acquisition high dynamic range photography.** LBNL Report, 2005.

INANICI, M. **Transformations in architectural lighting analysis:Virtual Lighting Laboratory.** 2004. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Michigan, 2004.

INANICI, M.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique.** LBNL Report, 2004.

JACOBS, A.; BROTAS, L. Imagens HDR na luminância de espaços. In: CONGRESSO IBÉRICO,13., e CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENERGIA SOLAR 8., 2006. **Anais...** Lisboa: CIES, 2006.

JENSEN, H. W. e CHRISTENSEN, P. High quality rendering using Ray Tracing and Photon Mapping. **Siggraph 2007 Course 8.** p. 1-116. 2007.

KAJIYA, J. T. The rendering equation. Computer Graphics Proceedings **Siggraph 86**, Dallas,Texas, v. 20, n. 4, p. 143-150, agosto 1986.

KIRNER, C.; KIRNER, G. T.; CALONEGO, N.; BUK, V. C. Uso de realidade aumentada em ambientes virtuais de visualização de dados. In: SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY- SVR 2004. **Proceedings...** São Paulo, 2004.

KHOUDOLEV, A. e KOPYLOV, E. Physically Accurate Lighting Simulation in Computer Graphics Software. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND VISUALIZATION, 6., St. Petersburg, 1996.

Disponível em:<<http://rmp.kiam.ru/articles/pals>>. Acesso em: 02 abr. 2003.

KOT B.; WÜENSHE, B.; GRUNDY, J.; HOSKING, J. Information Visualization Utilizing 3D Computer Game Engines: Case Study: A source code comprehension tool. **CHINZ '05**, Auckland, NZ, July 6-8, 2005. p. 52-60.

LARSEN, D. B., CHRISTENSEN, J. N. Simulating Photon Mapping for Real-time Applications. In: EUROGRAPHICS SYMPOSIUM ON RENDERING. 2004. **Proceedings...**

LEI, Z.; XU, D. Real-Time Rendering of Highly Complex Dynamic Scenes Based on Parallel Multi-Core Architectures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION MANAGEMENT AND ENGINEERING – CIME, 2009. Kuala Lumpur. **Proceedings...**, 2009. p.593-597.

LEMOS, A. C. **O que é Arquitetura.** São Paulo: Ed. Brasiliense, 1980. 85 p.

LENGYEL, J. The convergence of graphics and vision. **Siggraph**, 1998.

LEWIS, M.; JACOBSON, J. Game engines in scientific research. **Communications of the ACM.** January 2002, v. 45, n. 1. p. 27-31, 2002.

- LOGAN, B. **The Structure of Design Problem**. 1987. 53 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Strathclyde, Glasgow, 1987.
- MACHADO, A. **A Ilusão Especular: introdução à fotografia**. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1984. 162 p.
- MADALJEVIC, J. **Daylight Simulation: Validation, Sky Models and daylight Coefficients**. 1999. Tese (Doutorado) – Institute of Energy and Sustainable Development de Montfort University Leicester, UK, 1999.
- MARK, W. R.; FUSSEL, D. **Real-Time Rendering Systems in 2010**. University of Texas at Austin Dept. of Computer Sciences Technical Report, Maio, n. 2, 2005.
- MATOS, A.; GOMES, J.; VELHO, L. Um Visualizador de Panoramas Matriciais. **Anais do X SIBGRAPI**, outubro, 1997.
- MOORE, G. **Cramming more components onto integrated circuits**. Electronics, v. 38, n. 8, April 19, 1965.
- NIJASURE, M.; PATTANAIK, S.; GOEL, V. Real-Time Global Illumination on GPUs. **Journal of graphics tools**, out. 2005. p. 55-71.
- PARENTE, A. (Org.). **Imagem-máquina: a era das tecnologias do virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999. 300 p.
- PARENTE, A. **O visorama e os museus virtuais**. In: Computação gráfica: pesquisas e projetos rumo à Educação Patrimonial, Seminário - São Paulo, novembro, 2008.
- PARENTE, A. **A arte do observador**. In: Revista FAMECOS • Porto Alegre • nº 11, • dezembro, 1999
- PECHLIVANAIDOU, A.; LIAKATA, S.; ZEREFOS S.; MIKROU e STAMENIC, M. Realtime perceptual navigation experiments in existing and virtual architectural space. **IET Conference**, Athens, 2006.
- PEREIRA, R.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A.; SOUZA, L. Metodologia para avaliação de ferramentas de simulação da iluminação natural através de mapeamento digital de luminâncias. In: ENCONTRO NACIONAL, 9., e LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., ENCAC 2007 - Ouro Preto, 2007.
- PREETHAM, A.J.; SHIRLEY, P.; SMITS, B. A practical analytic model for daylight. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 26th, Nova York, 1999. p. 91-100. **Proceedings...**
- RADIANCE. (WARD). Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance>>. Acesso em: jun. 2002.
- RAESSENS J. ;GOLDSTEIN, J. **Handbook of computer game studies**. Cambridge, MA: MIT Press, 2005. 451 p.

RASMUSSEN, S. E. **Arquitetura Vivenciada**. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1998.

REALVIZ STITCHER – Autodesk. Disponível em:

<<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11390049&siteID=123112>>. Acesso em: jan. 2009.

REINHARD, E.; WARD, G.; PATTANAİK, S.; DEBEVEC, P. **High dynamic range imaging - acquisition, display, and image-based lighting**. São Francisco: Morgan Kaufmann, 2006.

REINHART, C. WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. In: **Energy and Buildings**, v. 33. p. 683-697, 2001.

ROBERTSON, D.; CAMPBELL, K.; LAU, S.; LIGOCKI, T. Parallelization of Radiance for real time interactive lighting visualization walkthroughs. In: CONFERENCE ON HIGH PERFORMANCE NETWORKING AND COMPUTING ARCHIVE. Oregon, 1999. **Proceedings...**

ROBBINS, E. **Why architects draw**. Londres, Inglaterra: The MTI Press, 1997.

RONNBERG, S. **Real-time rendering of natural illumination**. 2004. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Umea. University, Department of Computing Science, Sweden, 2004.

ROY, G.; HAYMAN, S.; JULIAN, W. **Sky modelling from digital imagery**. Sydney: The University of Sydney, 1998.

ROY, G., KITLLER, R.; DARULA, S. An Implementation of the Method of Aperture Meridians for the ISO/CIE Standard General Sky. **Lighting Research Technology**, v. 39, n. 3, p. 253-264, 2007.

SANTAELLA, L.; NOTH, W. **Imagem: cognição, semiótica, mídia**. São Paulo: Ed. Iluminuras, 2008.

SANTAELLA, L.; FEITOZA, M. (Org.). **Mapa do Jogo: a diversidade cultural dos games**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2009. 254 p.

SHERMAN, W.; CRAIG, A. **Understanding virtual reality: interface, application, and design**. São Francisco: Morgan Kaufmann, 2003, 582 p.

SILVESTRE, M.; PINTO-ALBUQUERQUE, M.; CARMO, M. B.; CLÁUDIO, A. P.; CUNHA, J. D.; COELHO, H. **Arquitetura de Suporte à Geração de Cenas Animadas com Agentes Inteligentes**. Technical Report DIFCUL TR-04-7, Departamento de Informática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2004.

SPASOJEVIC, B.; MAHDAVI, A. Sky luminance mapping for computational daylight modeling. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 9., Montreal, 2005. p. 1163-1170.

STUMPFEL, J. **HDR lighting capture of the sky and sun**. 2004. Dissertação (Mestrado de ciência) – California Institute of Technology. Pasadena, 2004.

STUMPFEL, J.; JONES, A.; WENGER, A.; TCHOU, C.; HAWKINS, T.; DEBEVEC, P. Direct

HDR capture of the sun and sky. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY, COMPUTER GRAPHICS, VISUALIZATION AND INTERACTION IN AFRICA. 3.,2004. **Proceedings...** Stellenbosch, Cape Town, 2004.

SUTHERLAND, I. **Sketchpad a man-machine graphical communication system**. 1963. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Massachusets, 1963.

SUTHERLAND, I. The Ultimate display. In: **Proceedings Int. Fed. of Information Processing Congress**, v. 2, 1965. p. 506-508.

TEIXEIRA, J. C.; BERNARDES, P.; DIOGO, A. J. SILVA, A. F.; SOARES, L. A cultura e ciência na era dos ambientes virtuais. **Actas**. 8o. Encontro português de computação gráfica. Coimbra, 1998.

THABET, W.; FAIRUZ, M. S. **A framework for a collaborative design review system utilizing the unreal tournament (ut) game development tool**. Digital library of construction informatics. Ljubljana: University of Ljubljana, 2003.

TOLE, P. P. **Two algorithms for progressive computation of accurate global illumination**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Cornell University, 2003.

TOLE, P.; PELLACINI, F.; WALTER, B.; GREENBERG, D. P. Interactive Global Illumination in Dynamic Scenes. In: ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES. 29th, **Proceedings...** San Antonio, Texas: ACM; New York, USA, 2002. p. 537-546.

TORRES, S. Dynamic daylight simulations for façade optimization (and some other applications). In: INTERNATIONAL RADIANCE WORKSHOP, 7th, Fribourg, Suíça, 2008. **Proceedings...**

UNGER, J.; GUSTAVSSON, S.; OLLILA, M.; JOHANNESSON, M. A Real Time Light Probe. In: EUROGRAPHICS ANNUAL CONFERENCE, 25th, 2004. **Proceedings...** vol. Short Papers and Interactive Demos, p. 17-21.

VELHO, L.; MATOS, A.; GOMES, J.; PARENTE A.; SIFERT, A. O sistema Visorama: um novo ambiente de multimídia e realidade virtual. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 4., 2000. Rio de Janeiro: UFRJ/Proureb, v. 1, 2000. p. 257-260. **Anais...**

VENTURELLI, S. **Arte: espaço_tempo_imagem**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2004.

VIRILIO, P. A Imagem Virtual Mental e Instrumental. In: PARENTE, A. (Org.). **Imagem-máquina: A era das tecnologias do virtual**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1999. p. 127-132.

WALTER, B.; DRETTAKIS, G.; PARKER, S. Interactive rendering using the Render Cache. In: EUROGRAPHICS WORKSHOP ON RENDERING, 10th, 1999. **Proceedings...** New York: ACM, v. 10, 1999. p. 235-246.

WALTER, B.; DRETTAKIS, G.; GREENBERG D. Enhancing and optimizing the Render Cache. In: EUROGRAPHICS WORKSHOP OF RENDERING, 13th 2002. **Proceedings...** UE: ACM, p. 37-43.

WARD, G.; SIMMONS, M. The Holodeck Interactive ray cache. **Siggraph 99**. Los Angeles, 1999.

WARD, G. **Radiance**. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance>> 2002.

WARD, G. L. The Radiance Lighting Simulation and Rendering System - Computer Graphics. In: **Proceedings 94 Siggraph Conference**. 1994. p. 459-472.

WARD, G. L. **Making Global Illumination User-friendly**. Berkley, USA: Lawrence Berkley laboratory, 1995.

WARD, G. L. Tools for Lighting Design and Analysis: Global Illumination in Architecture and Theater. **Siggraph 1996**. Course notes. 1996.

WARD, G. L. **High Dynamic Range Image Encodings**. (Anywhere Software). Disponível em: <http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/hdr_encodings.html acessado em 20/07/2004>.

WARD, G. L.; RUSHMEIER, H.; PIATKO C. **A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes**. LBNL, 1997. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/papers>> Acesso em: jan. 2006.

WARD, G. L.; SHAKSPEARE, R. **Rendering with Radiance – The Art and Science of Lighting Visualization**. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1998. 663 p.

WATT, A.; POLICARPO, F. **3D games-animation and advanced real – time rendering**. Edinburgh: Pearson Education Limited-Addison Wesley, 2003.

WHITTED, T. An improved illumination model for shaded display. **Communications of the ACM**, p. 343-349, 1980.

ZEVI, B. **Saber ver a arquitetura**. 5ª.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1984. 286 p.

ZHU, T.; WANG, R.; LUEBKE, D. A GPU-Accelerated Render Cache. **Pacific Graphics**. Virginia, 2005. (Short Paper)

8

Apêndice I

Parâmetros do RADIANCE utilizados no Experimento

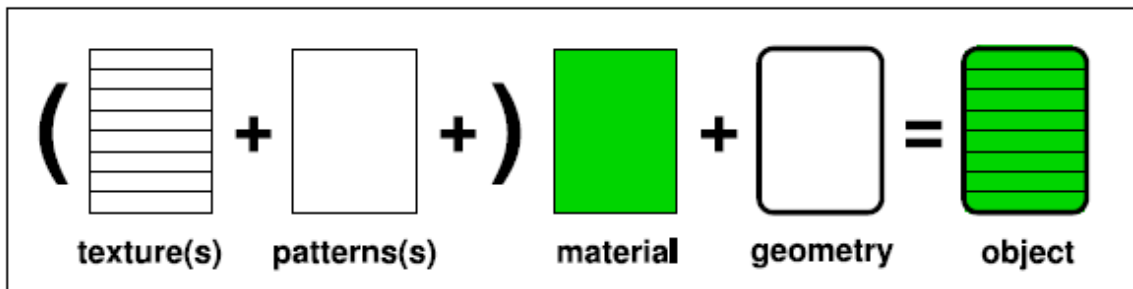


Figura que explica como é dada a entrada de parâmetros óticos do materiais e texturas no RADIANCE

-
- **Paredes:**
- `void plastic Framed_Plasterboard_Partition`
- `0`
- `0`
- `5 0.518 0.549 0.004 0.00000 0.00000`
- **Teto:**
- `void plastic Plaster_Insulation_Suspended`
- `0`
- `0`
- `5 0.698 0.698 0.698 0.00000 0.00000`
- **Piso:**
- `void plastic ConcSlab_OnGround`
- `0`
- `0`
- `5 0.196 0.196 0.196 0.00000 0.00000`
- **vidros:**
- `void glass vidroSimples90`
- `0`
- `0`
- `3 0.588 0.763 0.763`

prateleira de luz:

`void plastic Prateleira_espelhada`

0

0

- 5 0.518 0.549 0.004 0.00000 0.00000

Propriedades do céu para cálculo da IG no RADIANCE:

definição do céu.

- *!gensky 6 21 9:00 -a -15.900 -o 47.900 -m 45.000 -c | xform -rz -180.000*
- *skyfunc glow sky_mat*
- 0
- 0
- 4
- 1 1 1 0
- *sky_mat source sky*
- 0
- 0
- 4
- 0 0 1 180
- *skyfunc glow ground_glow*
- 0
- 0
- 4
- 1 .8 .5 0
- *ground_glow source ground*
- 0
- 0
- 4
- 0 0 -1 180

As imagens das figuras 31 a 33 foram geradas com os seguintes comandos e parâmetros correspondentes:

EXPOSURE: 0.0997

VIEW: -v tv -vp 6 9 1.5 -vd -6 -8.2 0 -vu 0 0 1 -vh 40 -vv 25 -vo 0 -va 0 -vs 0 -vl 0

RESOLUTION: -Y 390 +X 640

COMMANDS:

```
oconv tese_final_01nov_inverno_9_sky.rad tese_final_01nov_inverno_9.rad
```

```
rpict -t 120 -vtv -vp 6.000 9.000 1.500 -vd -6.000 -8.200 0.000 -vu 0 0 1 -vh 40 -vv 25 -vs 0 -vl 0 -x 1280 -y /  
960 -ps 6 -pt .08 -dp 512 -ar 38 -ms 0.21 -ds .3 -dt .1 -dc .5 -dr 1 -sj .7 -st .1 -ab 2 -af RCP.amb -aa .1 -ad /  
1536 -as 392 -av 0.01 0.01 0.01 -lr 8 -lw .002
```

```
pfilt -r .6 -x /2 -y /2
```

O ultimo comando *pfilt* executa a redução tonal, também conhecida como mapeamento tonal, para transformar a imagem gerada pelo RADIANCE em condições de ser exibida em tela do monitor ou impressora.

[fonte: CHRISTAKOU 2004]

Agente

Um agente é uma entidade real ou virtual, capaz de agir num ambiente, de se comunicar com outros agentes, que é movida por um conjunto de inclinações (sejam objetivos individuais a atingir ou uma função de satisfação a otimizar); que possui recursos próprios; que é capaz de perceber seu ambiente (de modo limitado); que dispõe (eventualmente) de uma representação parcial deste ambiente; que possui competência e oferece serviços; que pode eventualmente se reproduzir e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando as competências e os recursos que dispõe e levando em conta os resultados de suas funções de percepção e comunicação, bem como suas representações internas. (REZENDE, S. O. Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações. - Baueri, SP: Manole. 2005. p. 273 – 274).

Agentes inteligentes

(ver agentes)

Algoritmo

Conjunto das regras e procedimentos lógicos perfeitamente definidos que levam à solução de um problema em um número finito de etapas.

Altitude Solar

É a distância angular entre o sol e o horizonte do ponto de vista de um observador.

Artefatos

Na Computação Gráfica diz respeito às perturbações na imagem sintética, geradas pelo algoritmo.

Azimute

Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS, é o ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado.

Aplicabilidade

A facilidade na qual o usuário pode aprender a operar, preparar entrada de dados e interpretar as saídas de um programa computacional.

Buffer

(ver “cache”)

Cache

Memória de dados temporários usados mais recentemente

CAD - computer aided design

Ferramenta de auxílio ao desenho/projeto. O uso de computadores para projetar produtos. O software CAD é utilizado para projetos genéricos ou especializado, tais como arquitetura, engenharia elétrica e mecânica.

Câmera Sintética

(ver “cena”)

Câmera Virtual

(ver “cena”)

Cena

Em computação gráfica, “Cena” diz respeito a um conjunto de elementos tais como: a geometria do modelo, os atributos dos materiais, as fontes de luz e os parâmetros de câmera sintética. É um conjunto de dados composto de:

- Geometria: define a forma dos objetos a serem renderizados;
- Atributos: define as propriedades dos materiais, dos quais os objetos são formados, tais como cor, propriedades reflexivas e refrativas;
- Luz: define as fontes de luz do modelo, a intensidade, distribuição espacial da

iluminação;

- Câmera Sintética ou Virtual: parâmetro de visualização que decide qual fragmento do modelo renderizado aparecerá na imagem.

Color bleeding

(ver “inter-reflexão difusa”)

Discretização

Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS: constituído por unidades distintas (diz-se de uma grandeza); descontínuo. Sujeito a variações descontínuas; capaz de assumir exclusivamente valores inteiros (diz-se de valor). Diz respeito ao ato de transformar uma grandeza analógica em digital.

Eficiência Luminosa

Ou Eficácia Luminosa é a relação entre o fluxo luminoso em lúmen emitido por uma fonte e seu fluxo energético (potência) consumido para produzi-lo. É também conhecido como rendimento. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, apresentam uma eficácia luminosa de 5 a 30 lm/W, as fluorescentes de 20 a 100 lm/W, e a luz natural (média sol/céu) 115 lm/W. (VIANNA, 2001).

Equação do Rendering

$$I_r(x, y, z) = \int_{t=-\infty}^{\infty} \int_{\lambda=400}^{700} \int_{\varphi=0}^{\pi/2} \int_{\theta=0}^{\pi} L(t, x, y, z, \varphi, \theta, \lambda) R(t, \varphi, \theta, \lambda) d\theta d\varphi d\lambda dt$$

onde:

x, y, z = as coordenadas do ponto na superfície

t = tempo

λ = comprimento de onda

φ = azimute (ângulo do eixo Z)

Θ = ângulo do eixo Z

Esta é a equação do rendering proposta por J. Kajiya. The Rendering Equation. Proc. of SIGGRAPH '86 (Dallas, TX, Aug. 18-22). *Computer Graphics*, 20(4):143-150, Ago. 1986.

Flat shaded

Representação que utiliza as superfícies limites dos sólidos para descrever os seus contornos.

Fotograma

Em gravação ou reprodução de filme ou vídeo, fotograma é uma imagem do conjunto que compõe uma sequência de imagens que são reproduzidas ou gravadas

Fotometria

Parte da física óptica que trata da medição das propriedades e grandezas associadas à luz. A fotometria lida com a percepção que um observador humano normalizado tem da energia radiante. Uma vez que as quantidades fotométricas podem ser obtidas a partir das quantidades radiométricas, a maioria dos algoritmos de iluminação global lida com estas últimas.

Frames

(ver “fotograma”)

Front-end

Aplicativo que atua na comunicação interface/usuário com o software.

Glare

(ver “ofuscamento”)

Hardware

Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS: conjunto dos componentes físicos (material eletrônico, placas, monitor, equipamentos periféricos etc.) de um computador.

HDR

High dynamic range – diz respeito à imagem com altíssima faixa de densidade dinâmica. A faixa dinâmica de uma cena é a proporção entre o contraste da área mais brilhante e a mais escura.

Uma imagem HDR com alta faixa dinâmica, tem propriedades que impendem sua exibição em um monitor de vídeo tradicional ou a captura por uma câmera fotográfica com apenas uma exposição. De fato em qualquer cena, na qual as fontes de luz podem ser vistas diretamente é uma imagem HDR.

Iluminância

É o total de luz visível iluminando um ponto na superfície. A unidade padrão da Iluminância é: *Lúmens por metro quadrado (lm/m²) também denominada Lux (lx)*.

Segundo o IES, os valores típicos de Iluminâncias são:

0,25 a 1 lx	Lua cheia
10 lx	Iluminação vias públicas
100-1000 lx	Iluminação em ambiente de trabalho
10000 lx	Iluminação mesa cirúrgica
100000 lx	Sol brilhante

Imagem Sintética

Imagem produzida por procedimentos computacionais a partir de uma cena. Pode-se usar também, imagem renderizada, imagem texturizada.

Input

Informação que é inserida para um software.

Interatividade/interação

Modo de operação no qual cada *input* do usuário gera uma resposta ou ação do sistema, em contraste aos sistemas em lote (batch-mode) que são gerados em modo “*off-line*”. Os comandos em

cartões perfurados para que o computador realizar as tarefas foi a primeira forma de interação entre seres humanos e computadores.

Interface

É a fronteira compartilhada por dois dispositivos, sistemas ou programas que trocam dados e sinais. Ou o meio pelo qual o usuário interage com um programa ou sistema operacional (p.ex., DOS, Windows).

“Consiste em um conjunto de teclas, botões, comandos de sistema operacional, formatos de exibição gráfica e outros dispositivos fornecidos por um programa para permitir que o usuário se comunique e o utilize”. (Dicionário de Tecnologia, 2003, página 432).

Interface Gráfica

“Se notabilizam por seus abundantes recursos técnicos e visuais, no modo de como o programa se apresenta ao usuário – facilitando sobremaneira os trabalhos relativos a editoração eletrônica e à computação gráfica de um modo geral.” (FILHO, 2003).

Inter-reflexão Difusa

A luz que é refletida por uma superfície é atenuada pela refletividade da mesma e associada com a sua cor. Em geral a energia refletida é colorida por uma pequena parcela da cor da superfície da qual foi refletida.

Esta reflexão da energia luminosa em um ambiente produz um fenômeno conhecido por "*color bleeding*". Uma superfície colorida de forma brilhante tornará esta cor presente nas superfícies adjacentes.

Lei de Lambert

Se uma superfície é definida para ser refletora difusa da luz e se esta superfície é atingida por esta, será refletida em todas as direções, dependendo somente do ângulo entre a normal da superfície e o

vetor do raio de luz. Esta relação é conhecida como a Lei de Lambert.

Light-probe

(ver “sonda de luz”)

Linux

Sistema Operacional criado por LINUS TORVALDS em 1992, totalmente compatível com as definições do sistema UNIX. Estes sistemas operacionais compatíveis também são denominados POSIX.

Luminância

Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS: é o quociente entre a intensidade do fluxo luminoso emitido por uma superfície em uma dada direção e a área dessa superfície projetada ortogonalmente sobre um plano perpendicular àquela direção; brilhância, brilhância fotométrica, brilho.

É a quantidade de luz visível que deixa um ponto de uma superfície em uma dada direção. A sensação luminosa é decorrente desta reflexão, pois os raios luminosos não são visíveis. Como as superfícies do mundo real não são refletoras perfeitas, uma iluminância pode produzir diferentes valores de luminâncias dependendo da capacidade de reflexão da superfície.

A unidade padrão da Luminância é candela por metro quadrado (cd/m^2), nos Estados Unidos é denominada *NITS*.

Segundo o IES os valores típicos de luminâncias são:

$1.6 * 10^9 \text{ cd}/\text{m}^2$	Disco Solar ao meio dia
$600000 \text{ cd}/\text{m}^2$	Disco Solar no horizonte
$8000 \text{ cd}/\text{m}^2$	Céu claro
$2500 \text{ cd}/\text{m}^2$	Superfície da Lua
$2000 \text{ cd}/\text{m}^2$	Céu nublado

Luz direta e indireta

Toda superfície em um dado ambiente está iluminada por uma combinação de luz direta e luz refletida.

- A luz direta é a energia luminosa que vem diretamente de uma ou mais fontes, atenuadas pelo meio onde trafega. (poluição, fumaça, poeira etc.)
- A luz refletida é a energia luminosa que depois de ser emitida por uma ou mais fontes, é refletida de uma ou mais superfícies do ambiente. Esta energia luminosa é atenuada pela refletividade da superfície, já que alguma energia será absorvida pela superfície e alguma outra passará através desta. A refletividade de uma superfície é geralmente definida como a sua cor.

Mainframe.

Termo usado para descrever computadores de grande porte.

Material

Atribuído a determinadas entidades do modelo que informa ao software dados referentes à cor, refletância e textura.

Modelo

É a representação (matemática) de propriedades relevantes de qualquer objeto, mapeado em um meio particular.

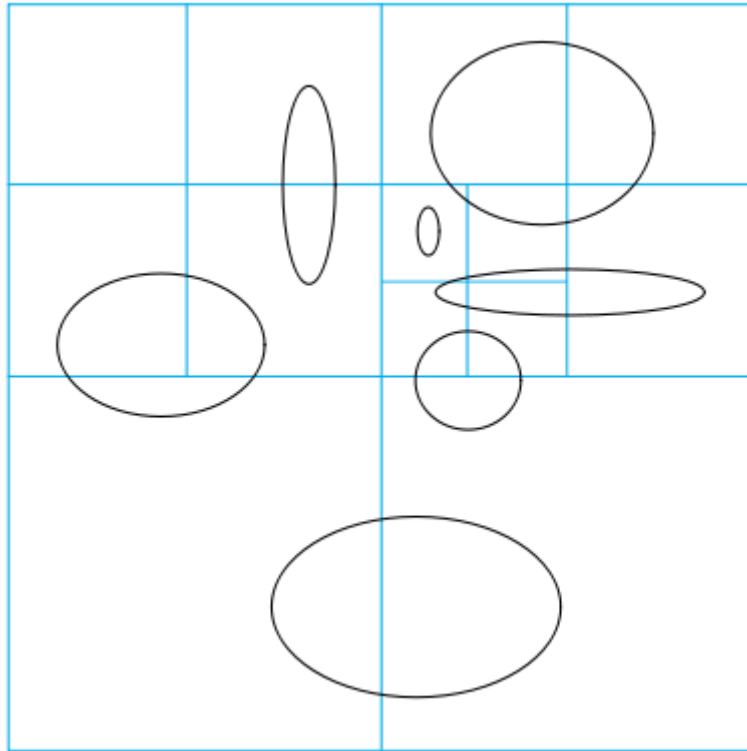
Modelagem

Na computação gráfica, refere-se à construção de modelos, em geral, tridimensionais.

Objeto 3D

Refere-se às entidades com uma base tridimensional, X,Y,Z criadas em software apropriado.

Octree



Processo de teste se há interseção entre o raio lançado e os objetos da cena. **Octree** (arvore com oito filhos) é um processo recursivo que “decompõem” a cena em objetos muito menores quando aplicado pelos algoritmos de Traçado de raios visa a aceleração do cálculo . No RADIANCE os dados são computados pelo programa *Oconv* que produz um arquivo binário com a descrição de todos os componentes da cena.

Ofuscamento

Entre os aspectos mais importantes da qualidade da luz em um ambiente, destacam-se aqueles que dizem respeito ao desconforto por ofuscamento e velamento.

- Ofuscamento – quando as luminâncias causam desconforto no campo visual, sem interferir na visão do observador, esta sensação é conhecida por ofuscamento. Geralmente é causado por ofuscamento direto de fontes luminosas ou luminárias que são extremamente brilhantes, irregularmente dimensionadas. Também pode ser causado por reflexões indiretas em superfícies especulares. Por exemplo, o reflexo da

luz do sol em um pára-brisa de automóvel, pode ser extremamente desconfortável.

- Velamento pode realmente prejudicar o desempenho da visão, e não apenas causar desconforto.

Output

Número ou valor que resulta de um processo.

Plataforma

O *hardware* e o *software* que precisam estar presentes para que um programa aplicativo possa funcionar. Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS: É o padrão de um processo operacional ou de um computador; a tecnologia fundamental em que se assenta um sistema de computador.

Pixel

É o acrônimo de “*picture element*” representa a menor porção de uma imagem digital que é exibida em uma matriz de pontos retangulares ou quadrados.

Pixel Shader

(Ver “Shaders”)

POSIX

(Ver “LINUX”, “UNIX”)

Plug-in

Módulo adicionado ao software principal que adiciona capacidades a este.

Radiometria

É a disciplina que estuda a quantificação da energia eletromagnética no espectro ótico infravermelho, visível e ultravioleta.

Radiância

Emitância luminosa

Rendering

É um processo de representação bidimensional, uma vista específica de um determinado modelo tridimensional.

Representação

Representação e simulação estão intimamente relacionadas. Do ponto de vista computacional, a simulação pode ser interpretada como uma espécie de representação que inclui a descrição de um objeto e algoritmos preditivos que mimetizam o comportamento de certos aspectos daquele objeto.

Shaders

Os shaders são programas incluídos nos jogos recentes, que executam operações específicas dentro das imagens, criando efeitos diversos. Eles oferecem uma flexibilidade muito grande aos desenvolvedores e por isso passaram a ser usados exaustivamente nos jogos atuais, a ponto de eles simplesmente não rodarem em placas antigas, sem suporte ao recurso.

Os shaders são úteis sobretudo em situações onde é necessário mover um grande número de polígonos, adicionar um grande número de detalhes ou mudar a forma de objetos, efeitos que não ficariam satisfatórios simplesmente utilizando texturas, ou seriam complexos demais para serem criados diretamente, da forma tradicional.

Existem dois tipos de shaders: os *vertex shaders* e os *pixel shaders*. Os *vertex shaders* trabalham na estrutura dos objetos 3D que compõe a imagem, adicionando efeitos e criando animações, como grama ou cabelos, por exemplo.

Os *pixel shaders* atuam na etapa de renderização da imagem, analisando a estrutura dos objetos, as fontes de luz, cores e outras variáveis e usando estas informações para criar efeitos de luz e sombra, realce de cores, reflexos e outros efeitos. Esta é considerada a parte mais importante do trabalho, já que determina a qualidade das imagens que serão finalmente mostradas no monitor e

é também a parte que consome mais processamento.

Simulação

Em geral entende-se o termo “simulação computacional” como referente a *qualquer* algoritmo que mimetiza um processo físico. (HITCHCOCK, 1995)

Sistema Operacional

Software que controla a execução de programas e provê serviços de controle e gerenciamento de dados. Usualmente o sistema operacional é predominantemente *software*, mas implementações parciais ou completas por *hardware* são possíveis.

Software

Programas, procedimentos, regras e qualquer documentação pertinente ao sistema operacional. Complementar ao *hardware*.

Sonda de luz

São fotografias onidirecionais, isto é, para cada direção de luz incidente, existe um *pixel* correspondente na imagem e um sistema que opera a aquisição das referências luminosas da LN do céu do sitio através de lente *fish-eye* 11 mm acoplada a máquina fotográfica digital.

Stand-alone

Termo que classifica um software como autônomo, não dependendo de nenhum outro para funcionar, exceto o sistema operacional.

Tutorial

Material didático que mostra passo a passo como utilizar um determinado software, em geral está acompanhando o manual.

UNIX

Sistema Operacional, multitarefa, multi-usuário desenvolvido nos laboratórios Bell Labs, para

criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de pesquisas científicas.

(ver LINUX)

User's guide

(ver “manual do usuário”)

Usuário

Uma pessoa que usa um sistema computacional com o propósito de troca de informações de dados.

Validação

Segundo o Dicionário Eletrônico HOUAISS: teste que comprova a validade, a correção ou concordância com padrões etc., de dados introduzidos num sistema de computador. Geralmente determina a correção do resultado final de um programa computacional, comparativamente a um parâmetro do mundo real.

Vertex Shaders

(Ver “Shaders”)

WalkThrough

Termo que designa a ação de caminhar dentro ou através de um espaço arquitetônico, utilizando animação computacional e uma câmera sintética animada que se movimenta ao longo da cena.

Wireframe

É um método rápido de visualização, no qual os objetos são exibidos como se fossem feitos em telas de arame, mostrando todas as suas arestas.

Wizard

É um recurso que o software proporciona através da sua interface com o usuário, para auxiliar de forma muito simples, em geral com apenas uma caixa de diálogo, os inúmeros ajustes a serem feitos

para a execução de determinadas tarefas.

10.1. Programas auxiliares utilizados pelo RADIANCE

Arquivos com sufixo *.cal referem-se a padrões procedurais, texturas e coordenadas de mapeamento

adobe.cal	Texture for cracked adobe surface
ball.cal	Coordinate mapping for spheres
bark.cal	Procedural pattern for tree bark
brick.cal	Procedural pattern for brick
carpet.cal	Procedural pattern for carpeting
covelight.cal	Calculation of reflected fluorescent light
cyl.cal	Coordinate mapping for cylinders
dirt.cal	Fractal dirt function
fish-eye.cal	Coordinate mapping for fisheye patterns
glazing.cal	BRTDfunc definitions for coated glazings
globe.cal	Coordinate mapping for Earth.pic
gloss.cal	Texture for glossy reflections
jigglepic.cal	Coordinate jiggle for irregular natural patterns
marble.cal	Procedural marble pattern
orange.cal	Procedural orange texture
picture.cal	Common coordinate mapping for patterns
plink.cal	Definitions needed by materials in lib/material.rad
rayinit.cal	Initialization file and common definitions
rev.cal	Surface normal interpolation for genrev
skybright.cal	Sky brightness calculation for gensky
slate.cal	Procedural texture for slate stone
source.cal	Common coordinate mappings for light sources (ies2rad)
speckle.cal	Procedural speckle patterns for sand or granite

surf.cal	Surface normal interpolation for gensurf
tilt.cal	Tilt correction used by ies2rad
weave.cal	Procedural weave pattern
winxmit.cal	Approximation to window transmittance for sec. Sources
woodpat.cal	Procedural woodgrain pattern
woodtex.cal	Procedural woodgrain texture

Arquivos com sufixo *.tab referem-se a tabelas com dados específicos:

lamp.tab	Table of lamp types and their CIE color coordinates
helvet.fnt	Helvetica font (from Hershey set)
hexbit4x1.fnt	4 by 1 hex bit font for creating bitmaps
n.150.oct	Spray of needles used by sapling.oct
sapling.oct	A small pine tree sapling
tree.oct	A larger pine tree built from sapling.oct
tree.mat	Exclude material list for tree.oct and sapling.oct
alberta.pic	A scanned vacation slide from Alberta, Canada
brick.pic	A scanned brick pattern (staggered layout) ($\rho=16.3\%$)
brickweave.pic	A scanned brick pattern (weave layout) ($\rho=19.8\%$)
cabin.pic	A rendering of the cabin during winter
Earth.pic	A picture of the Earth
forestfl.pic	A scanned forest floor pattern
oakfloor.pic	A scanned pattern of an oak floor
pine.pic	A rendering of a small pine-like bush
pinebark.pic	A scanned pattern of pine tree bark
richgrove.pic	A photograph from Richardson's Grove in California
shingle.pic	A scanned shake shingle pattern
tulips.pic	A rendering of a tulip sculpture
source/	Directory for light sources of different manufacturers

lib/arch.map	Default material mapping for arch2rad
lib/arch.mat	Default materials for arch2rad
lib/coord	Radiance description of a coordinate system
lib/gamma.pic	Picture for monitor gamma determination
lib/macbeth_spec.pic	Picture showing Macbeth color checker colors
lib/material.rad	Library of RADIANCE materials from ADELIN package
lib/rgbw.pic	Picture with red, green, blue and white for mon. calib.
lib/testimg.pic	Picture running through positive and negative primaries
lib/testroom	Small test room used by objpict and objview

meta/ Directory with library files for metafile 2-d graphics

11.1.1.1. Importando para o Blender

Iniciar e abrir o arquivo de cena. Para isso, pressionar a tecla F1 ou Abrir no menu Arquivo. Uma janela do navegador de arquivos será exibida. Selecionar o arquivo da lista com o botão do meio do mouse para carregar o arquivo.

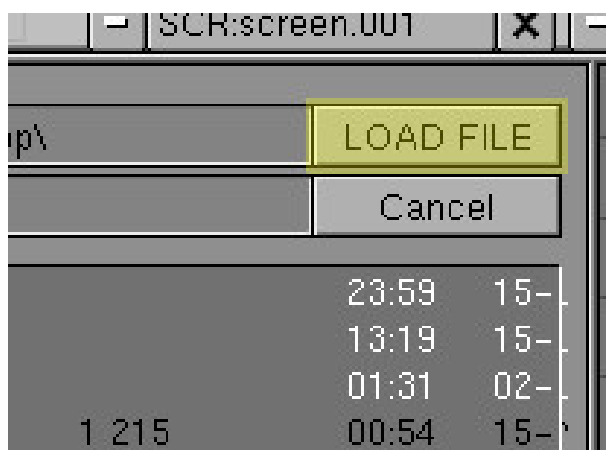


Figura 56: Blender Opção de carregar - Load file

Percebe-se uma janela 3D com alguns objetos em modo *wireframe* (tela de arame). O objeto identificado como *viewer* (observador) vai representar câmera virtual que caminha, “passeia” através do modelo. Importar o modelo correspondente ao projeto. Sugere-se o formato VRML, COLLADA ou DXF.

11.1.1.2. Arquivos formato VRML

Ao abrir um arquivo VRML ou DXF, o Blender irá acrescentar os dados do modelo para a cena atual, se não é possível visualizar o modelo pressione a tecla *Home* para estabelecer-se um ponto de vista que inclua toda a cena,

11.1.1.3. Orientação, dimensionamento e posicionamento do Modelo

Para o sistema de navegação funcionar corretamente, o modelo deve ter a correta orientação, escala e localização. Isto é realizado utilizando as vistas ortogonais disponíveis. As teclas de atalho estão localizados no teclado numérico do teclado (observar se NumLock esta ativa). Pressionar (num)7 para uma visão de cima, (num)3 para a vista lateral direita, e (num)1 para uma vista frontal.

Verifique se o modelo está selecionado. Os objetos podem ser selecionados com o botão direito do mouse. Segurando a tecla *Shift* permite a seleção de vários objetos. A tecla *A* seleciona ou desmarcar todos os objetos.

A tecla *S* é utilizada para dimensionamento. Inicialmente não é adotado nenhum padrão de unidades. Sugere-se que seja estabelecido que um metro no modelo deve ser igual a uma unidade no sistema do Blender Unit. A grade que fica visível na janela 3D mostra as unidades em relação ao modelo.

O modelo deve ser posicionado de modo que o observador se localize no interior do modelo para começar o “passeio”. O posicionamento não tem que ser preciso. A tecla *G* é usada para posicionar o ponto de vista. As vistas ortogonais permitem ajustes com mais clareza e precisão. A tecla *Control* irá restringir o movimento em incrementos de uma unidade. Ao pressionar o botão do meio do mouse durante o movimento irá mudar a restrição ortogonalmente.

11.1.4. Navegando na Game Engine

A tecla *0* no teclado numérico para visualizar a cena através da câmera. A tecla *P* para iniciar o motor de jogo. Para navegar através do modelo utiliza-se o mouse para virar à esquerda / direita e olhar para cima / baixo, e as teclas de setas para mover para a frente / atrás / esquerda / direita. A barra de espaço irá mudar o modo de voo (orbital). A tecla *Esc* para parar o motor de jogo.

12

Anexo III, - BRAD

Script BRAD (Blender + Radiance)

Aplicativo em linguagem Python que permite exportar modelos do Blender para Radiance, busca facilitar a complexa configuração dos parâmetros do RADIANCE de simulação, para calcular a luminância / valores de iluminação em pontos arbitrários.

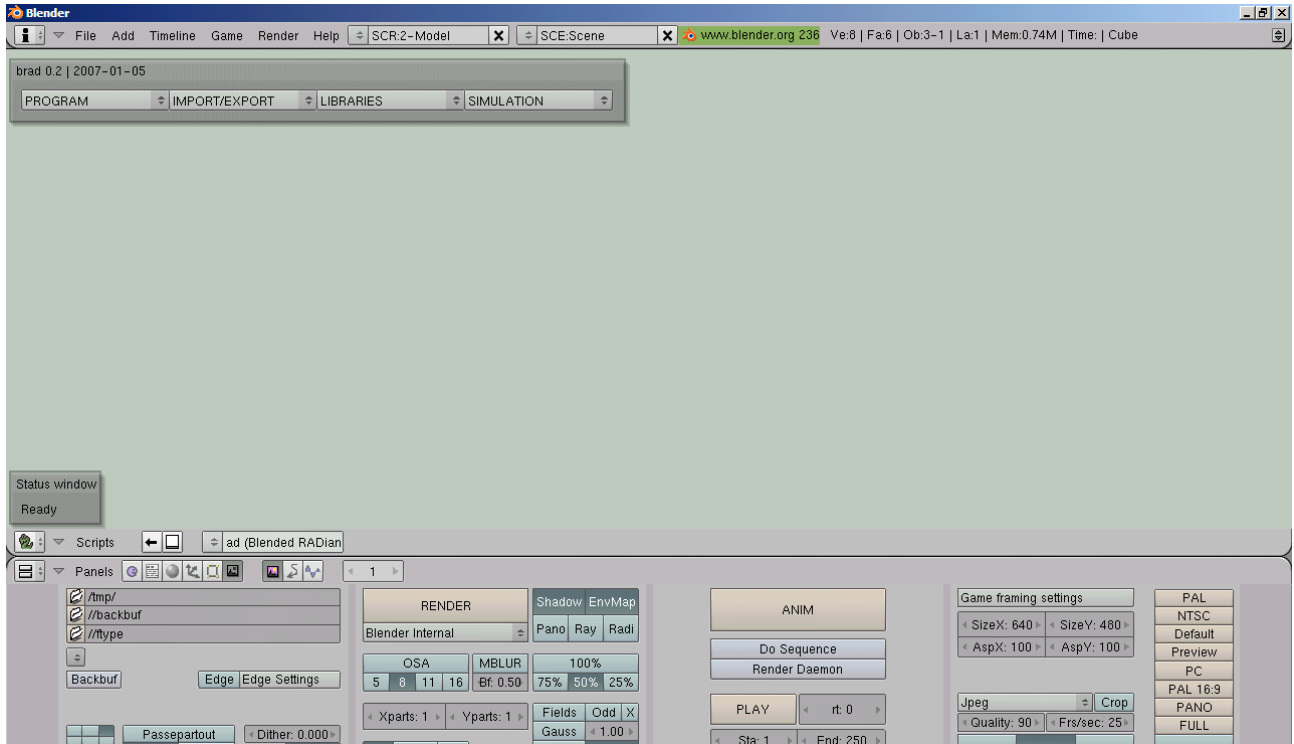


Figura 57: Aplicativo BRAD sendo executado no Blender 2.3

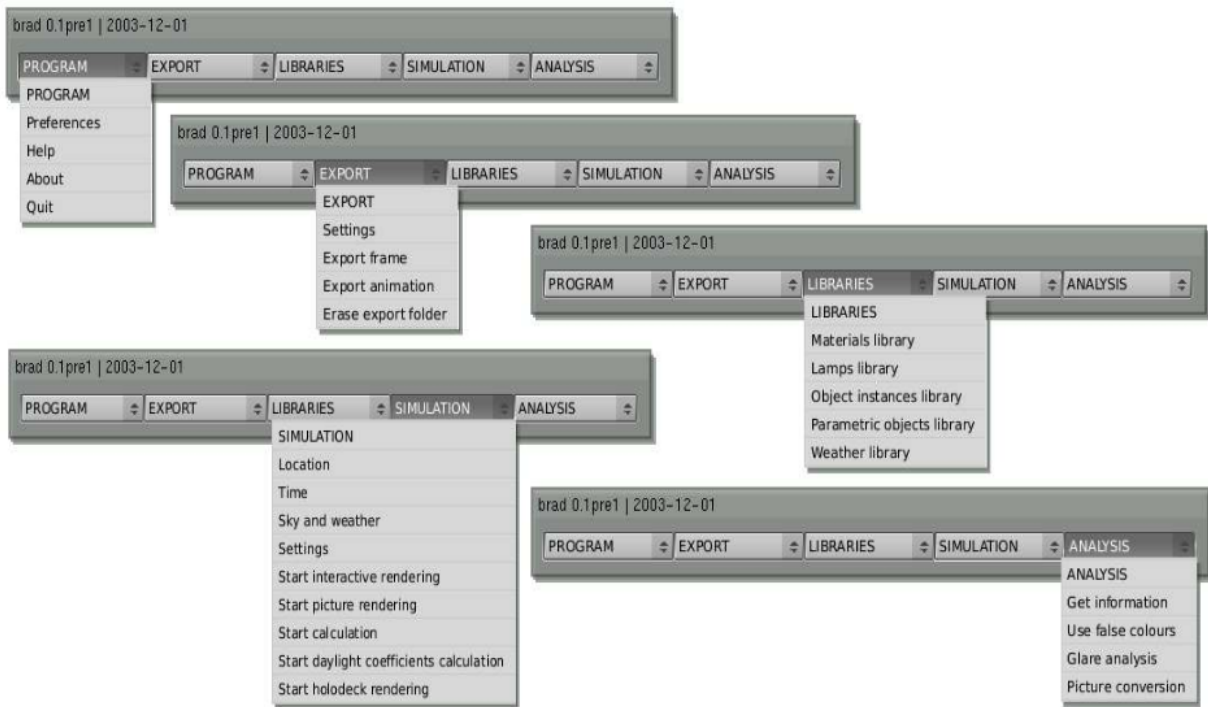


Figura 58: Interface do BRAD e suas opções

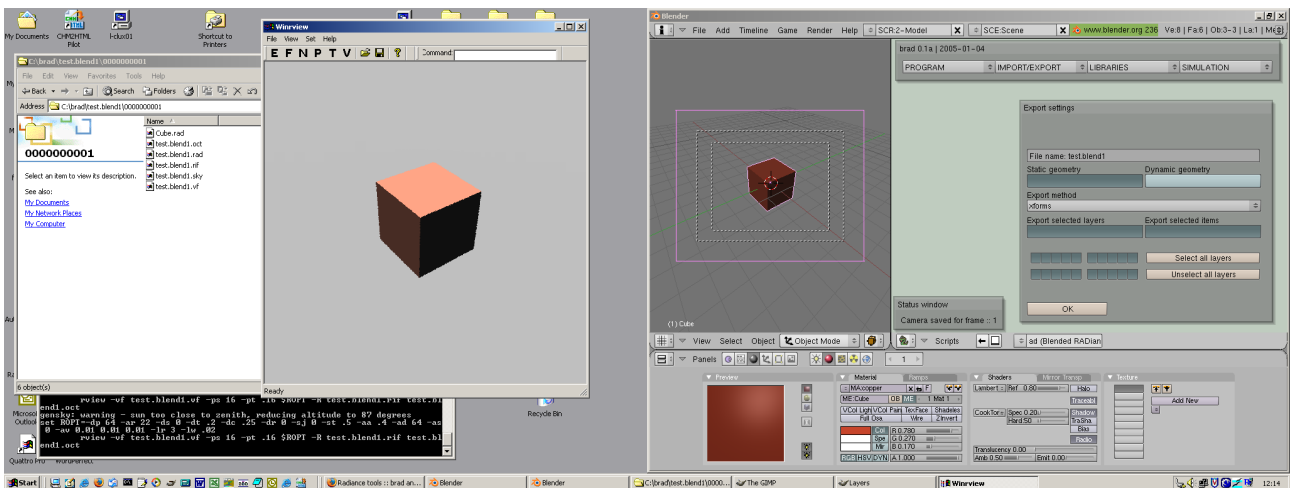


Figura 59: BRAD executado Blender versão Windows

Fonte: Anselmo (SD)

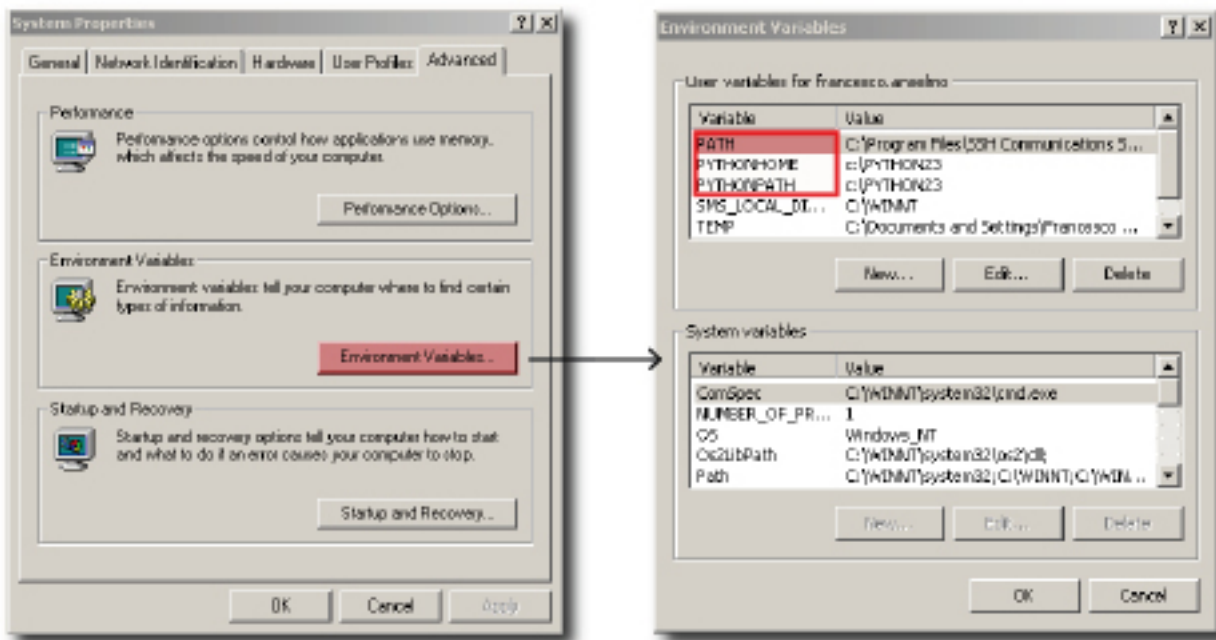


Figura 60: Ajustes das variáveis de ambiente do Windows para o Python, necessárias para executar o BRAD

Fonte: Anselmo (sd)

O método de abertura de meridianos (*Method for Aperture Meridians - MAM*) foi elaborado por DARULA e KITTLER da Academia Eslovaca de Ciências. Este método foi proposto para calcular a luminância do céu visto através de uma abertura (janela do edifício) retangular (orientada verticalmente) para qualquer posição solar específica, orientação da abertura (ver figura 61) de acordo com a posição do observador e segundo o modelo de céu pré-estabelecido.

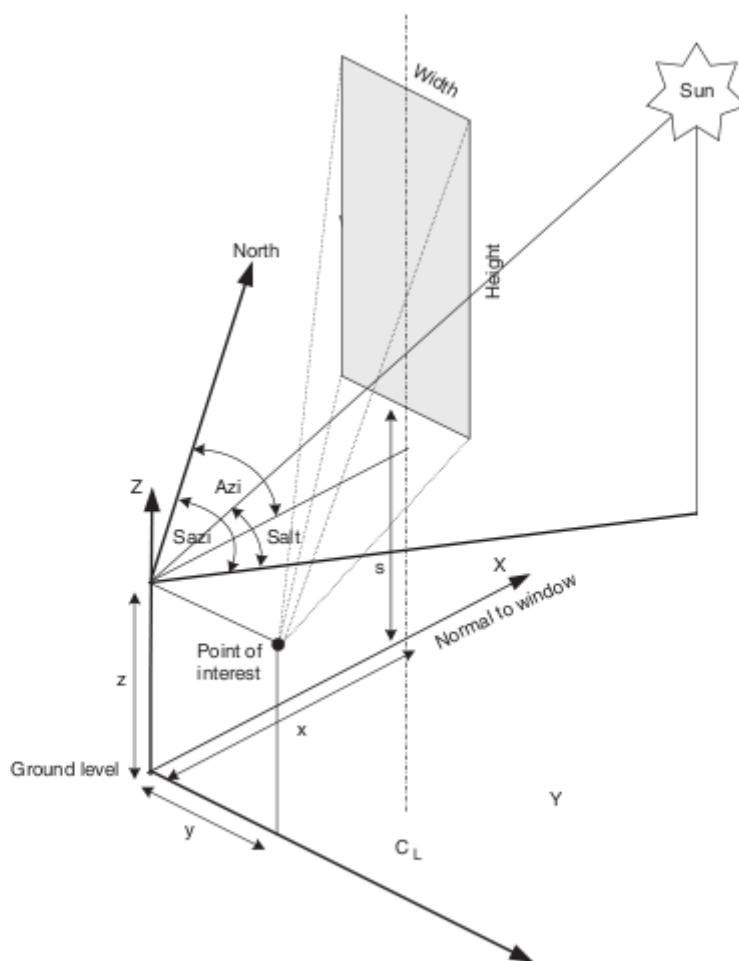


Figura 61: Parâmetros de entrada da geometria para ajustes de simulação

Fonte: Roy, Kittler e Darula, 2007

Tópicos importantes para ajuste são: Ponto de interesse (observador), dimensões e orientação da abertura.

O programa *MAMmodeller* foi desenvolvido a partir das técnicas acima por Geoffrey G Roy. E as instruções a seguir foram adaptadas do manual do usuário. Os parâmetros de entrada (*input*) na ordem exigidos pela interface do software são descritos a seguir:

The screenshot shows the MAM Modeller software interface with the following settings:

- Time and Location Settings:**
 - Site: Lat(deg) = -15, Lat(min) = 51, Long(deg) = -47, Long(min) = 55, RefLong = -45, Choose City dropdown.
 - Time: Month = 6, Day = 22, Hour = 9, Minute = 0, Enter button.
- Window Geometry:**
 - Height (m) = 3
 - Width (m) = 6
 - Sill Height (m) = 0.60
 - Window Azimuth (deg) = 0.0
 - Distance from Window (m) = 2.0
 - Point Offset (m) = 0.0
 - Point Height (m) = 0.75
 - Ext. Obstruction Alt (deg) = 0.0
 - Depth of Blind (m) = 0.0
 - Blind Transmission (%) = 100
- Sky Information:**
 - SSLD No. = 11, Sun Shaded checkbox (unchecked).
 - Solar Azi (deg) = 51.31, Dv/Ev = 0.2
 - Solar Alt (deg) = 28.54, Tv = 4.0
- Display Settings:**
 - Relative Values (radio button), Absolute Values (radio button selected).
 - Smooth Surface (radio button selected), Contoured Surface (radio button).
 - Shaded checkbox (checked), Retain Samples checkbox (unchecked).
 - Linear Scaling (radio button selected), Log Scaling (radio button).
 - Fixed Range (max) = 10.0, checkbox (unchecked).
 - Show Sun checkbox (checked), True View checkbox (checked).
 - Display Width (pixels) = 1000

Buttons: Quit, Display.

Figura 62: Ajustes dos parâmetros de simulação no MAMmodeller

Ajustes de Hora e Local:

	Descrição
Lat (deg)	A latitude do local (deg = graus), negativo para hemisfério sul
Lat (min)	O componente minutos da latitude
Long (deg)	A longitude do local (grau), negativo para oeste de Greenwich.
Long (min)	O componente minutos da longitude
Ref Long	A longitude de referência para a hora local da região (grau), negativo para oeste de Greenwich.
Choose City	Não habilitado na versão utilizada.

Month	O mês do ano
Day	O dia do ano
Hour	A hora do dia (relógio de 24 horas)
Minute	O minuto da hora
Enter Button	Inicia o cálculo da altitude e azimute do sol, e transfere estes valores para a altitude solar e campos de azimute na seção de informações do céu

Sky Information

	<i>Descrição</i>
SSLD No	Seleção do modelo de céu (1 to 15) ver tabela 2
Solar Azimuth	O azimute do sol medido no sentido horário desde o norte (graus) no intervalo -180 a +180
Solar Altitude	A altitude do sol medida a partir do horizonte (graus) no intervalo de 0 a 180
Use Dv/Ev	Usado para céu encoberto (SSLD 1 a 6), se verificado o valor especificado, caso contrário, utilizar o valor sugerido de 0,2
Use Tv	Usado para céu encoberto (SSLD 7 a 15), se verificado o valor especificado, caso contrário, utilizar o valor sugerido de 4,0
Sun Shaded	Se selecionado, o sol se presume sombreado para todos os modelos SSLD. Neste caso, o conjunto, ou padrão, Dv/EV <i>ratio</i> é usada. Esta seleção substitui o comportamento padrão, conforme determinado acima.

Geometria da Janela (ver figura 61)

	<i>Descrição</i>
Height	A altura da abertura da janela (m)
Width	A largura da abertura da janela (m)
Sill Height	A altura do parapeito da janela acima do nível do solo (m)
Window Azimuth	A direção da abertura normal da janela (para fora) medida no sentido horário desde o Norte (grau)
Distance from window	A distância do ponto de interesse (ponto de vista) até a abertura.
Point offset	A distância do ponto de interesse em relação ao eixo principal da abertura.

Point Height	A altura do ponto de interesse (plano de trabalho) acima do piso do ambiente.
Ext Obstruction Alt	Refere-se ao ângulo entre o ponto de interesse e o limite do objeto que faz a obstrução em relação da normal da abertura (janela)
Blind height	Medida referente a altura de uma veneziana semi transparente
Blind Transmission	Transmitância de luz visível por uma veneziana (0% significa totalmente opaca, 100% significa totalmente transparente).

Ajustes de exibição

	<i>Descrição</i>
Display Width	A largura (maximum) da imagem de luminâncias (pixels) sua altura é determinada em proporção à altura da abertura da janela. A largura real pode ser menor que o máximo se a opção <i>True View</i> estiver selecionada. A largura especificada significa que a tela será maior ou mais comprida que a tela, escalonada para ajustar o seu tamanho.
Relative/Absolute values	Seleciona valores de luminância em relação ao zênite (quando normalizados para 1.0), ou valores absolutos estimados.
Smooth/Contoured surface	Seleciona uma trama de contornos para representar as luminâncias
Linear/Log Scaling	Seleciona uma escala linear ou logarítmica para o sombreamento da superfície
Fixed Range	Corrige o alcance máximo dos valores de luminosidade para um valor definido.
True View	Se selecionado, a largura da janela é dimensionada para refletir o ângulo de visão do ponto de interesse.
Show Sun	Mostra a posição do sol (se for visível através da janela), como uma mancha amarela para céu claro ou um círculo preto para o céu nublado.



Figura 63: Saída em imagem representando as luminâncias (mapa de luminâncias) do céu visto pelo observador no ponto de interesse

Tutorial

1. Iniciar o programa e ajustar os parâmetros necessários:
2. O azimute e altitude solar podem ser inseridos diretamente na seção *Sky Information*, ou os dados geográficos – latitude e longitude – na opção *Location*, ao concluir com *Enter* os dados são computados e inseridos na seção *Sky Information*.
3. Clicar no botão *Display* – uma janela mostrará a distribuição de luminância no plano da abertura (janela) como vista do ponto de vista.
4. Para exibir os valores de luminância em qualquer ponto da imagem, clique com o botão esquerdo do *mouse*.
5. Para limpar a exibição dos valores, escolha “*Clear*” menu *File*.
6. To print the display chose "Print" from the file menu. Para imprimir a tela escolha “*Print*” do menu *File*.
7. Para salvar a apresentação como um arquivo JPEG, escolha “*Save*” no menu *File* (apenas na versão aplicação)

8. Para observar um resumo dos parâmetros de cálculo, escolha a opção "*Statistics*" no menu *File*.

9. Salvar os dados para simulações paramétricas.

Tabela 2: Parâmetros padrão SSLD (Standard Sky Luminance Distribution)

<i>Tipo</i>	<i>Gradação</i>	<i>Descrição da distribuição de luminância</i>
<i>1</i>	<i>I</i>	<i>CIE Padrão de céu nublado, forma alternativa. Gradação abrupta de luminância rumo ao zênite, uniformidade azimutal</i>
<i>2</i>	<i>I</i>	<i>Nublado, com gradação abrupta de luminância e brilho leve rumo ao sol</i>
<i>3</i>	<i>II</i>	<i>Nublado, moderadamente classificado com uniformidade azimutal</i>
<i>4</i>	<i>II</i>	<i>Nublado, moderadamente classificado e brilho leve rumo ao sol</i>
<i>5</i>	<i>III</i>	<i>Céu de luminância uniforme</i>
<i>6</i>	<i>III</i>	<i>Céu parcialmente nublado, sem gradação rumo ao zênite, brilho leve rumo ao sol</i>
<i>7</i>	<i>III</i>	<i>Céu parcialmente nublado, sem gradação rumo ao zênite, região circunsolar brilhante</i>
<i>8</i>	<i>III</i>	<i>Céu parcialmente nublado, sem gradação rumo ao zênite, corona solar distinta</i>
<i>9</i>	<i>IV</i>	<i>Parcialmente nublado, com sol obscuro</i>
<i>10</i>	<i>IV</i>	<i>Parcialmente nublado, com região circunsolar brilhante</i>
<i>11</i>	<i>IV</i>	<i>Céu branco-azul com corona solar distinta (aplicado no experimento da pesquisa)</i>
<i>12</i>	<i>V</i>	<i>CIE Padrão céu claro, turbidez de baixa iluminância</i>
<i>13</i>	<i>V</i>	<i>CIE Padrão céu claro, atmosfera poluída</i>
<i>14</i>	<i>VI</i>	<i>Céu sem nuvens turvo com corona solar ampla</i>
<i>15</i>	<i>VI</i>	<i>Céu branco-azul turvo com corona solar ampla</i>

Bracket é um software gerenciador e gerador de imagens high-dynamic-range (HDR) suporta os tipos de arquivos RGBE, EXR, TIFF (LogLuv encoding). Também pode gerar imagens em baixa faixa dinâmica (com mapeamento tonal) com suporte para os arquivos JPEG e TIFF. Compatível com as plataformas (Windows, Mac, and Linux).

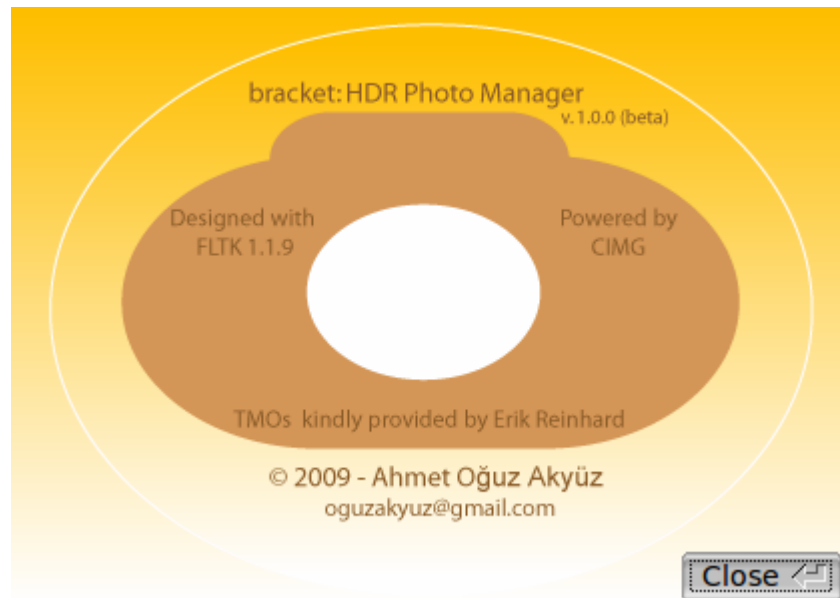


Figura 64: Tela inicial do software

Início do procedimento para gerar as imagens HDR, ajuste das preferencias do usuario

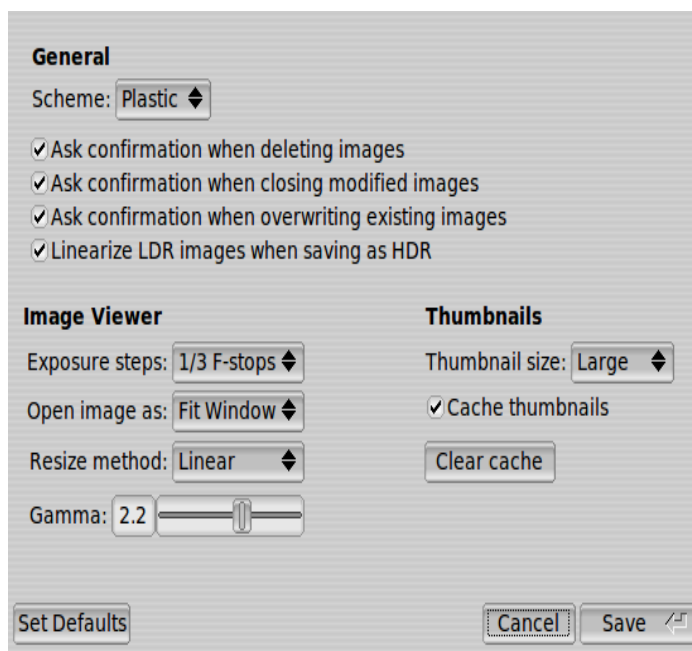


Figura 65: BRACKET - preferencias ajustes do software pelo usuário

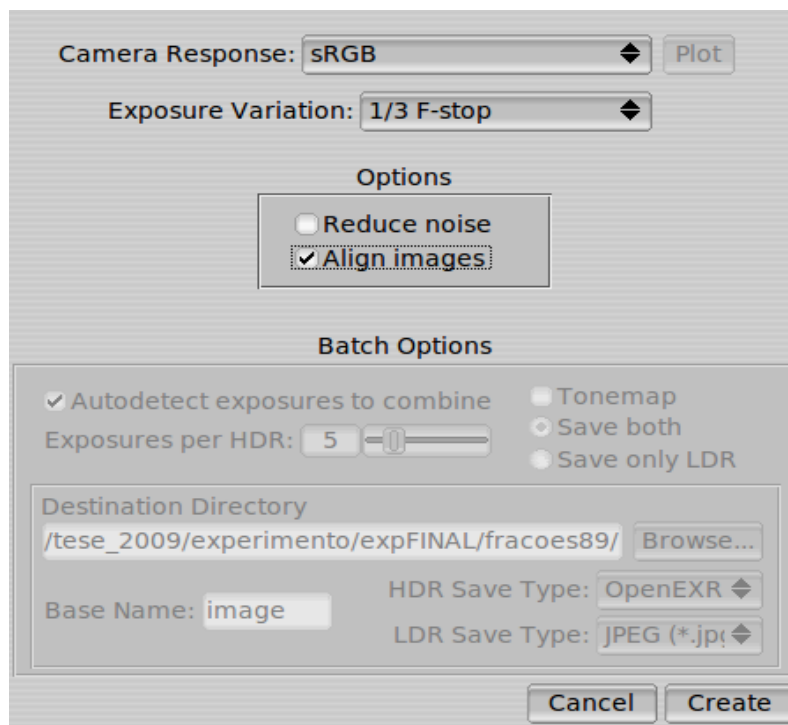


Figura 66: Depois de selecionar as imagens - inserir os parâmetros de abertura de diafragma

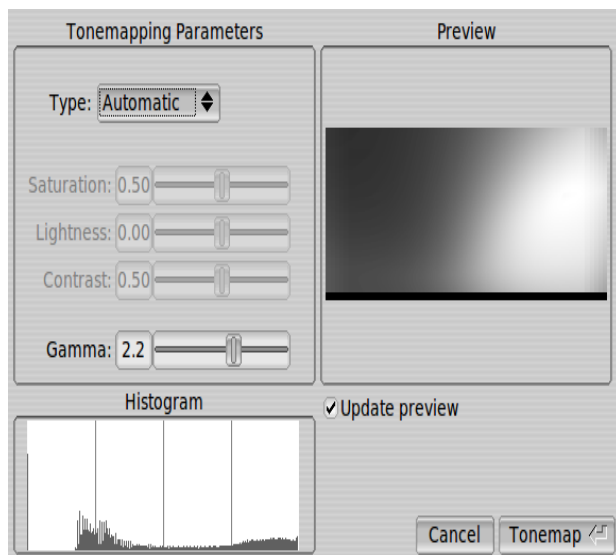


Figura 67: Mapeamento tonal - redução da imagem HDR para as condições convencionais de vídeo/impressão

15

Anexo VI, -. CLUSTER

Para ampliar as possibilidades de rendering paralelo, ou seja utilizando diversas CPU associadas, foi elaborado projeto de um aglomerado de computadores denominado como mini-cluster segundo as figuras abaixo.

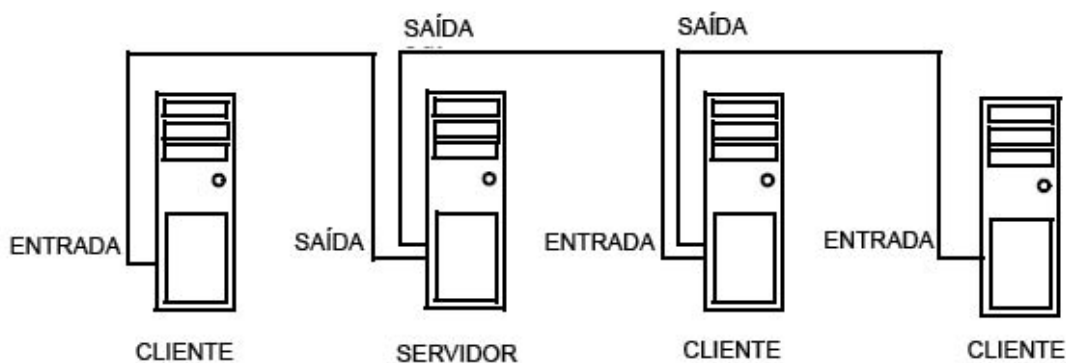


Figura 68: Mini-cluster - O sistema compõe-se de três CPU associadas que são gerenciadas por um servidor

Listagem dos componentes do Cluster

Qtde	Especificação do Material
4	CORE 2 QUAD Q9400 2.66ghz 4M, 1333 O&M
4	COOLER 775
4	MB P5 - 775 ASUS P5KPL-C 1600M
8	2 GB DDR2 667 PC 5300 KINGSTON
4	FONTE ATX 500W REAL SERVENTEAM
4	PLACA DE REDE 10/100/1000 INTEL PRO PCI EXPRESS NIC
1	SWITCH 8 PORTAS 10/100/1000
1	HD 500GB SATA2 SAMSUNG 7200 RPM 16MB
1	GRAVADORA DVD SAMSUNG SATA
3	VGA 512MB PCI-E EXPRESS 9800GT GE-FORCE
1	TECLADO COM FIO MICROSOFT KEYBORD 2000
1	MOUSE MICROSOFT BASIC OPTICAL
4	NOBREAK SMS 1300 VA
1	HUB USB 4 PORTAS 2.0 MULTILASER
3	MONITOR LCD SAMSUNG 22 MOD: T220

Este aglomerado de computadores (mini-cluster) projeta as imagens sintéticas em três monitores de 22" de cristal líquido LCD, dispostos em "U" para gerar no observador a percepção de efeitos tridimensionais a partir de conceitos de estereoscopia.

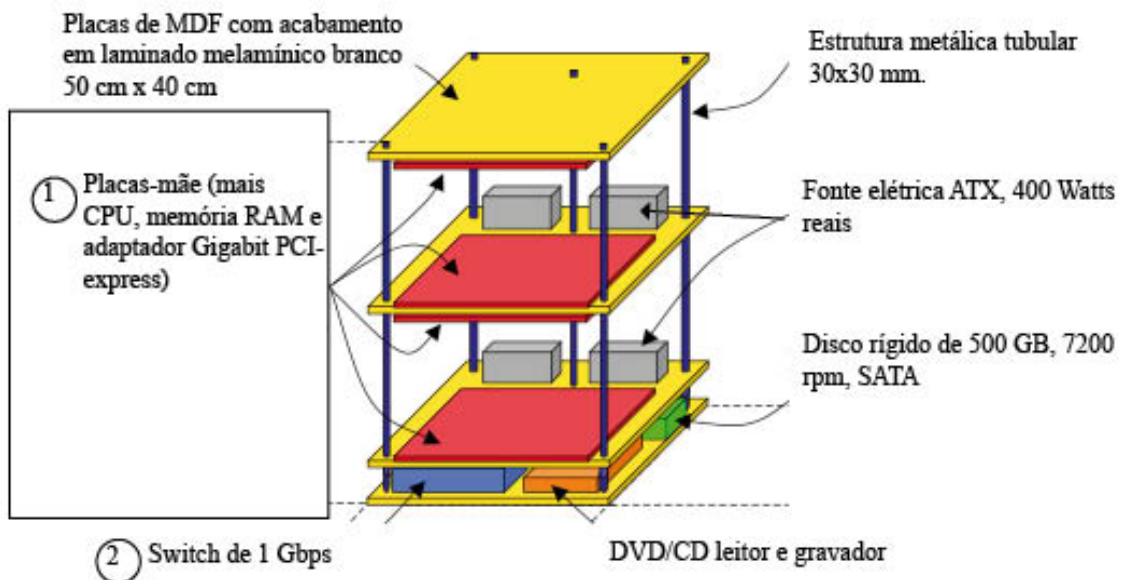
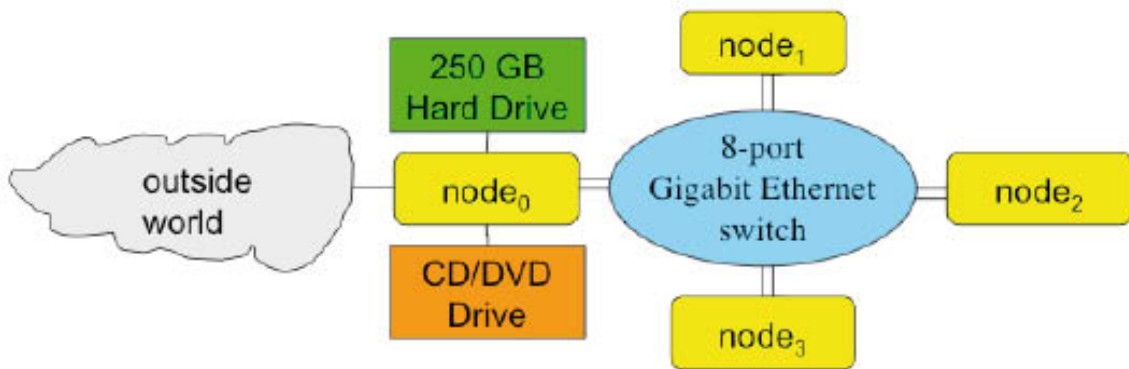


Figura 69: Mini-cluster - Os componentes e montagem em gabinete especial
 Fonte: Adams, 2007

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)