Iluminando Objetos 3D: Iluminação Tradicional versus Iluminação Realista

F. Andaló[a,b], M. L. H. Vieira[b], E. Merino[b]

[a]fla2@uol.com.br

[b]Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Exp. Gráfica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

Resumo

Este trabalho procura apresentar os principais pontos que devem ser considerados quando se pretende obter uma iluminação realista ao renderizar uma cena 3D utilizando o método de raytracing. Alguns pontos de relevância em uma iluminação tradicional em 3D, como o cálculo apenas da luz direta, o uso de luzes com intensidades arbitrárias e de tamanho infinitamente pequenos, são apresentados para então acrescentar fenômenos da vida real, como o decaimento da luz. O trabalho segue então para os pontos necessários para uma iluminação realista, aquela que represente os fenômenos que ocorrem com a luz na vida real e, para isso, demonstra a utilização do cálculo da iluminação global, o uso de luzes com intensidade em escala real, tamanho físico e temperatura de cor, bem como da iluminação baseada em imagem, sistemas de luzes diurna, controles de exposição e correção de gama. Cada abordagem de iluminação é apresentada de forma prática em uma cena de estudo simples que facilite sua aplicação e compreensão.

Palavras Chave: computação gráfica; iluminação global; raytracing; iluminação baseada em imagem.

Illuminating 3D objects: traditional lighting versus realistic lighting

Abstract

This paper aims to present the main points that should be considered when aiming a realistic lighting in 3D rendering using raytracing. Some relevant points in a traditional lighting in 3D, like calculating only the direct light, and the use of light with arbitrary intensity and infinitely small sizes, are all presented for after adding some real life phenomena like light decay. The paper moves on to the facts needed for a realistic lighting, when representing how the light behaves in real life and, therefore, demonstrating the usage of global illumination, lights with real world intensity, size and color temperature, and also the usage of image based lighting, daylight illumination systems, exposure control and gamma correction. Each illumination approach is presented in a practical way with a simple scene that helps the readers implementing and understanding this study.

Keywords: computer graphics; global illumination; Raytracing; image based lighting.

1. INTRODUÇÃO

As imagens geradas em computador a partir de ambientes virtuais em 3D sempre buscaram, entre um de seus objetivos, reproduzir o mundo real. Porém, a reprodução do mundo real se defrontou constantemente com um dos fatores limitantes, a capacidade do hardware disponível ao longo do tempo, fazendo com que inicialmente fossem criadas imagens sem relação com o mundo real para depois seguir com uma simplificação do que pode ser observado no dia-a-dia.

Com o desenvolvimento do *hardware* e sua conseqüente redução de custo, aos poucos as imagens 3D puderam se aproximar do mundo real, especialmente no que se refere à iluminação. Além disso, os softwares disponíveis para tal também evoluíram muito, e tornaram-se acessíveis ao usuário comum. A computação gráfica saiu de um tempo em que eram necessários computadores e softwares de custo elevado, com estações de trabalho dedicadas rodando em sistema *Unix*, para chegar aos dias de hoje em que praticamente qualquer computador é capaz de executar um programa de modelagem e animação 3D e o custo do software está acessível, incluindo softwares gratuitos. A evolução da tecnologia e a popularização de computadores com múltiplas unidades de processamento tornaram os computadores comuns perfeitamente capazes de processar uma iluminação realista, visto que estes computadores possuem capacidade de processamento superior a supercomputadores de 20 anos atrás [7].

Apesar de hoje haver disponibilidade de diversas ferramentas que permitem trabalhar com iluminação realista em ambientes 3D, diversos profissionais ainda trabalham iluminando suas cenas da forma tradicional, muitas vezes por desconhecerem as possibilidades de se utilizar uma iluminação realista. Porém, vale ressaltar que, ainda hoje, o cálculo de uma iluminação foto realista para uma cena complexa pode levar diversas horas para ser calculada em um computador comum, portando é fundamental um bom conhecimento do funcionamento do software para poder otimizar o tempo de render.

O presente trabalho apresenta algumas formas de trabalho com iluminação realista em um software 3D, comparando a iluminação tradicional em 3D com os elementos que podem compor uma iluminação realista; busca também apresentar alguns fatores que afetam a qualidade da imagem levando em consideração o tempo de renderização, processo que executa os cálculos de iluminação a partir de uma cena com polígonos em 3D para uma imagem final 2D.

1.1. Aplicações

Este conhecimento pode ser aplicado tanto para designers que trabalham com 3D como também servir de base para que gestores de design entendam o processo de iluminação realista ao coordenar suas equipes de trabalho.

1.2. Software utilizado

O software escolhido para o estudo foi o *3dsMax* da *Autodesk*, pois foi levado em consideração o fato de o mesmo possuir uma ampla base de usuários e muitos materiais para pesquisa, além de ser de utilização ampla, passando por diversos mercados e voltado para diferentes aplicações que vão de simples vinhetas até a produção de jogos e de filmes. Apesar de seu nome oficial ser *3dsMax*, trata-se de um software ainda conhecido por muitos como 3D *Studio* ou 3D *Studio MAX*, pois este último foi o nome do software quando lançado em 1996 como 3D *Studio MAX* para windows, uma evolução do antigo 3D Studio que fora lançado em 1990 para *DOS*. O nome foi trocado para *3dsmax* na versão 4 lançada em 2000 [7].

O *3dsMax* também é conhecido pela disponibilidade de diversos *plugins*, programas externos que expandem sua funcionalidade, incluindo alguns pagos e outros gratuitos. Porém o presente artigo busca trabalhar apenas com o *3dsMax* e as ferramentas e as limitações do software como ele é vendido. Vale citar que, desde seu lançamento em 1996, a *Autodesk*, sua fabricante, vem desenvolvendo novos recursos a cada versão do software, mas também incorporando *plugins* criados por outras empresas e que eram vendidos separadamente. Graças a isso está disponível desde a versão 6.0, lançada em 2003, o renderizador *MentalRay*, criado pela empresa *Mental Images*, escolhido como render padrão para esse artigo. Tal escolha se deu pelo fato de tratar-se de um software que também se encontra disponível em outras plataformas (está incorporado a programas como *Maya*, *Softimage* e *AutoCAD*, por exemplo), facilitando a aplicação em outros softwares dos conceitos aqui apresentados. Além disso, é um renderizador cuja arquitetura é baseada em *raytracing*, que consiste em traçar raios a partir do ponto de vista do observador até atingir os objetos da cena, e na correta representação do comportamento da luz, incluindo o cálculo da iluminação global.

1.3. Revisão da literatura

O presente trabalho foi desenvolvido partindo dos artigos que definiram o desenvolvimento dos renderizadores modernos baseados em *raytrace* para definir o estado da arte neste método de renderização ao criar uma iluminação realista. Iniciado por Kajiya em 1986 com a equação da renderização [6], diversos pesquisadores buscaram implementar métodos para o cálculo da iluminação global que é utilizado atualmente por diversos softwares, sendo o método da irradiância, apresentado por Ward em 1994 [10], apontado como referência para *raytracers* populares como o *MentalRay* [8],[9] e *VRay* [7].

Já o método de iluminação baseada em imagem tornou-se mais conhecido com os trabalhos de Debevec em 1997 para a construção de imagens de alto alcance dinâmico a partir de fotos [3], e em 1998 com seu trabalho que busca inserir objetos sintéticos em cenas reais usando a iluminação baseada em imagem [4].

Entre livros publicados, Brooker [2] faz um trabalho abrangente sobre diversos pontos a se considerar em uma iluminação em computação gráfica utilizando o software *3dsMax*, e, por este ser o software escolhido, faz-se necessário um conhecimento profundo do seu funcionamento, sendo o seu manual a melhor fonte de informações [1].

1.4. Metodologia

Este trabalho foi dividido em revisão da bibliografia, levantada no item 1.3, necessária para conhecer a ferramenta a ser utilizada, bem como os estudos que deram origem às implementações utilizadas nos softwares.

Com esse levantamento e um profundo conhecimento do software utilizado, foi criada uma cena de estudo simples, apresentada a seguir, onde foram executados testes para demonstrar cada ponto levantado e as diversas iluminações utilizadas. A intenção de uma cena simples é a facilidade para sua reprodução e compreensão do presente estudo. Cada método resultou em uma imagem renderizada para assim poder comparar o resultado de cada um de forma didática. Durante o processo algumas imagens do software foram capturadas para demonstrar os parâmetros utilizados, facilitando a reprodução deste estudo por parte dos leitores.

1.5. Cena de estudo

A figura 1 mostra um exemplo da cena criada para o artigo, feita de forma simplificada para fácil reprodução. Trata-se de um plano com uma chaleira (conhecida como *teapot*, uma primitiva básica do 3dsmax). O plano poderá ser substituído mais adiante por um cubo em alguns testes para demonstrar o rebatimento da luz. Define-se inicialmente um plano para obter uma cena aberta e utiliza-se a chaleira por ser uma primitiva do 3dsmax com diversas superfícies côncavas e convexas que permitem demonstrar a forma como a luz incide nessas diversas superfícies em um único objeto.

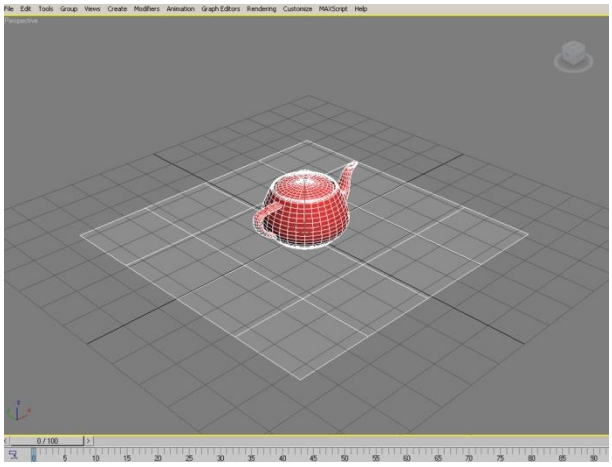


Figura 1: tela do 3dsMax mostrando a cena inicial com uma chaleira sobre um plano.

2. A ILUMINAÇÃO TRADICIONAL EM 3D

Pode-se considerar como iluminação tradicional aquela que compute apenas a iluminação direta, sem considerar a luz que reflete dos objetos de volta à cena, bem como o uso de intensidade arbitrária para as luzes sem relação com intensidades reais de fontes de luzes do mundo real.

Tendo como referência o software utilizado, pode-se considerar a iluminação tradicional aquela que é gerada utilizando ferramentas disponíveis antes da versão 5.0 do 3dsMax, quando foi incorporada a iluminação global, e sem usos de plugins. Cada fonte de luz possui uma intensidade com valor arbitrário (em geral entre 0 e 1) que, ao incidir sobre uma superfície, retorna a cor do objeto (determinada por seu material) multiplicada pela intensidade da luz. Esta intensidade está ligada ao ângulo de incidência da luz em

cada ponto da superfície, sendo multiplicada pelo ângulo em graus dividido por 90.

As luzes na iluminação tradicional são sempre emitidas por um ponto de luz infinitamente pequeno, pois dessa forma o cálculo de luz e sombra é rápido.

Inicialmente foi utilizada uma luz pontual, chamada no *3dsMax* de *omni*, abreviação de *omnidirectional,* de intensidade 1 e sempre com sombras do tipo *Ray Traced*. Nesse ponto foi aplicado nos objetos um material de cor 100% branca, do tipo *Standard*. Como referência, foi posicionada uma esfera branca no local onde está a luz, para indicar na imagem renderizada de onde parte a iluminação. Esta esfera possui como propriedade não influenciar na iluminação. O resultado deste primeiro render pode ser visto na figura 2.

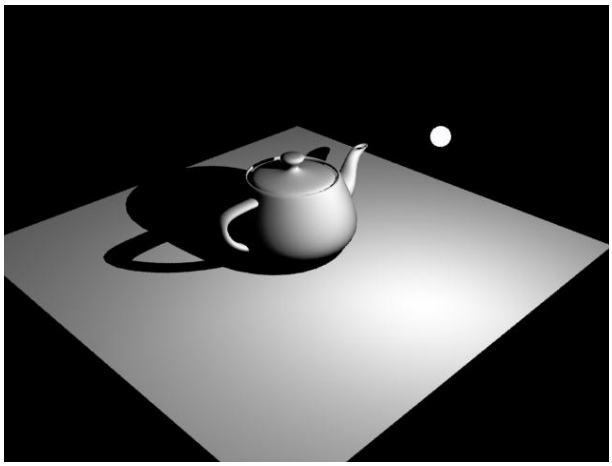


Figura 2: renderização utilizando uma luz pontual (omni) para iluminar a cena.

A cor resultante é definida pelo ângulo de incidência da luz, ficando em branco 100% apenas nos pontos em que a luz incide com ângulo de 90˚ em relação à superfície, passando para tons de cinza conforme o ângulo fica menor até passar paralelamente à superfície, onde resultaria em preto, assim como nas partes em sombra onde a cor resultante também é totalmente preta até que outra luz ilumine essa área.

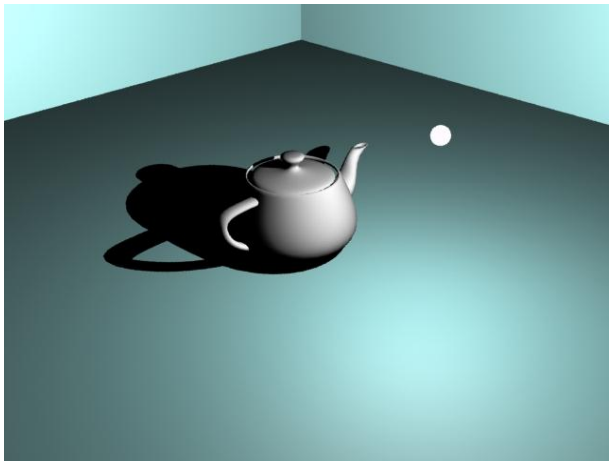


Figura 3: substituindo o plano por um cubo no entorno do objeto com a mesma iluminação pontual (omni).

Trocando o plano do chão por um cubo no entorno da cena, observa-se na figura 3 que, além de a luz ser emitida para todas as direções, ela não perde intensidade com a distância.

Em uma tentativa de aproximar esta luz da forma como as luzes se comportam no mundo real, pode-se adicionar a propriedade de perda de intensidade proporcional à distância, chamada em inglês de *decay* ou decaimento, um enfraquecimento natural da luz que pode ser observado na figura 4 ao ligarmos esta opção.

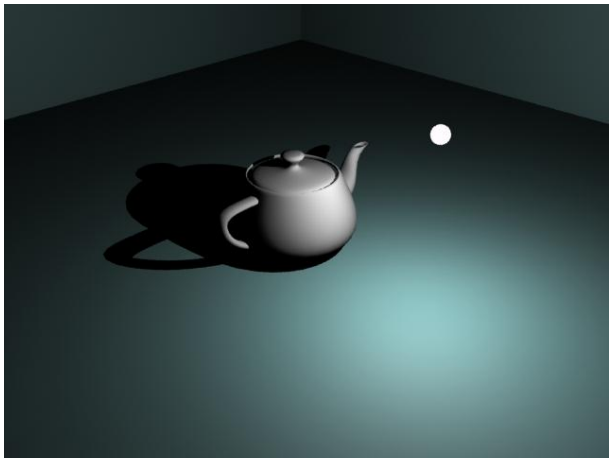


Figura 4: cena com luz pontual com perda de intensidade pela distância.

É possível observar, ao comparar as imagens 3 e 4, a perda de intensidade da luz pela distância: permanece inalterada a parte da chaleira mais próxima da luz, enquanto a parede ao fundo está mais escura. Trata-se de uma luz com a mesma intensidade nas duas imagens, porém nesta última foi ativada a propriedade de decaimento da luz.

A perda de intensidade da luz pode ser definida de forma linear (*inverse*), com a intensidade dividida pela distância, ou logarítmica (*inverse square*), com a intensidade dividida pela distância ao quadrado. Esta última é como ocorre na vida real, uma perda bem mais rápida do que ocorre em relação à linear, como se pode observar na figura 5, em comparação com a figura 4, é notável a diferença de perda de intensidade.

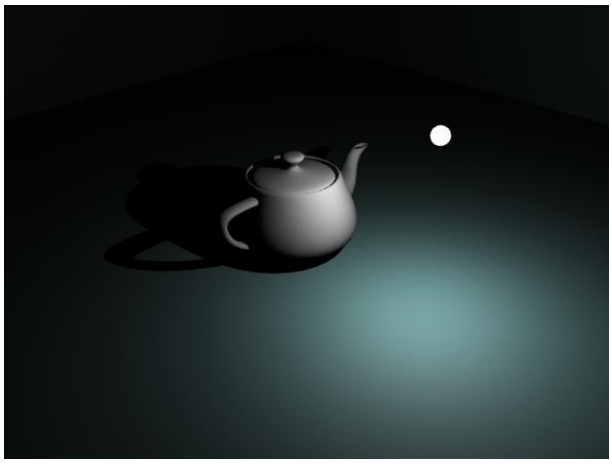


Figura 5: luz pontual com intensidade dividida pela distância ao quadrado

3. ILUMINAÇÃO GLOBAL (GI)

O primeiro passo em busca de uma iluminação mais realista, sem a necessidade de luzes adicionais, é o cálculo da Iluminação Global, chamada comumente de GI, do termo em

inglês *Global Illumination*. Entende-se por este o cálculo, além da luz direta, da luz indireta que é rebatida pelos objetos por toda a cena.

Ao simular a forma como a luz se comporta na vida real, esbarra-se no problema da complexidade de representar esse comportamento, tendo sido adotada duas formas, chamadas de exata e aproximada. A exata aplica a mesma amostragem para cada pixel da imagem, enquanto na aproximada a amostragem vai trabalhando de forma progressiva, partindo inicialmente com grupos de pixels e podendo chegar ao nível do sub-pixel nas áreas em que se considerar necessário mais detalhes.

J.T. Kajiya cria em 1986 a "equação de renderização" [6][5], a base para os renderizadores que trabalham com iluminação global, e propõe o método de Monte Carlo para a sua solução. Esta equação nunca pode ser resolvida exatamente em um tempo finito, resultando em erros que aparecem na forma de ruído na imagem final, mas que pode ser reduzido até tornar-se imperceptível conforme um maior tempo de cálculo.

Neste ponto surge a primeira variável a ser avaliada no cálculo de iluminação global: a relação entre qualidade da imagem e o tempo de renderização. Esse é o principal fator que separa o método exato do aproximado: no método exato atinge-se mais qualidade de imagem aumentando o número de amostragem por pixel para toda a imagem. Por outro lado, o método aproximado, por adicionar detalhes apenas nos pontos necessários, pode ocasionar erros de iluminação, mas otimiza o cálculo.

Outro ponto a ser considerado no cálculo do GI é a forma como ele calcula a luz rebatida pela cena, podendo ser através de disparos (*shooting*) ou de recuperação (*gathering*). No método de disparos, o cálculo é feito a partir dos pontos de luz que são emitidos e rebatidos pela cena, calculando a cena como um todo. No método de recuperação, o cálculo parte do ponto de vista do observador (geralmente a câmera da cena) para então construir a imagem traçando raios que, ao atingir os pontos de luz, retornam iluminando a cena. A vantagem desse método é que ele calcula apenas os elementos visíveis na cena, seja diretamente ou indiretamente. Tanto os métodos aproximados como os exatos podem se utilizar dos disparos ou da recuperação. Em geral, nos métodos de recuperação define-se quantas vezes o raio de luz vai rebater cada vez que incidir em um objeto, enquanto no método de disparo a luz emitida será rebatida infinitas vezes até perder toda sua intensidade.

Além de dispor de diversos renderizadores que podem ser comprados e incorporados como *plugins*, o *3dsMax* dispõe em seu pacote básico do *MentalRay* que, embora seja nativamente baseado em *raytracing,* ele também pode trabalhar de forma híbrida, calculando a luz direta por métodos como *scanline* ou rasterização, enquanto a iluminação indireta, a reflexão e refração dos objetos continua sendo calculada via *raytracing* [8]. Para o cálculo da iluminação global estão disponíveis duas formas: a primeira, apenas chamada de *Global Illumination (GI)*, é um método aproximado e que trabalha com disparos, que se utiliza de fótons emitidos a partir das luzes. Cada fóton é rebatido pela cena até perder sua energia, criando um mapa de fótons. O segundo método, chamado de *Final Gather* (FG), é de recuperação e pode trabalhar tanto de forma aproximada, como exata. Trabalha disparando raios a partir da câmera, atingindo e refletindo os raios nas superfícies, calculando assim a sua irradiância. Esse método é usado em diversos outros renderizadores que trabalham com GI chamado comumente de mapa de irradiância [7] tendo sido apresentado pela primeira vez por Ward em 1994 com o software *Radiance* [10].

Ao trabalhar com o GI em conjunto com o FG, o *mentalray* pode trabalhar de modo híbrido, unindo o método de disparo com o de recuperação, podendo também unir o método exato com o aproximado. Porém o método de cálculo com fótons não é eficiente por disparar os fótons para todos os lados, inclusive nas áreas não visíveis pela câmera. Por outro lado, o *Final Gather* e outros métodos que trabalham com recuperação são mais otimizados por calcularem apenas o que está visível para a câmera, além de, por trabalharem na escala do pixel final, adicionam detalhes nos elementos mais próximos.

Por questões didáticas, para o presente estudo será utilizado apenas o *Final Gather* para o cálculo da iluminação global, dada a sua simplicidade de configuração e por seguir o padrão de mapa de irradiância apresentado por Ward em 1994 [10] e usado em diversos softwares. O *Final Gather* funciona da seguinte forma: define uma densidade inicial de raios que serão traçados a partir da câmera; essa densidade é baseada em pixels e é automaticamente ajustada para traçar mais raios em áreas onde é detectada a necessidade de mais detalhes. Cada raio traçado, ao atingir uma superfície difusa, cria um ponto de onde partirão novos raios para determinar a irradiância de luz que contribuirá para a iluminação da cena. Por fim os pontos são interpolados e pode-se efetuar um novo cálculo de *Final Gather* para sucessivos rebatimentos de luz. Suas opções de configurações atuais (*3dsMax* 2011) podem ser vistas na figura 6, onde se pode ver algumas opções de qualidade pré-configuradas (*FG Precision Presets*) que fazem o balanço entre qualidade e tempo de render, bem como dos parâmetros disponíveis para ajuste personalizado. Estas configurações pré-definidas trabalham com dois parâmetros básicos: *Initial FG Point Density*, que define a densidade inicial de raios a serem traçados a partir da câmera, e *Rays per FG Point Density*, que define quantos raios serão traçados a partir da superfície para os pontos definidos pelos raios que saíram da câmera.

As configurações pré-definidas também alteram o parâmetro que controla a interpolação dos pontos do *Final Gather* (*Interpolate Over Num. FG Points*), responsável pela redução do ruído ao mesclar os pontos de iluminação calculados, podendo resultar em perda de detalhe se houver valores altos.

É possível ajustar manualmente cada parâmetro, porém recomenda-se o uso dos padrões pré-definidos por fazerem um balanço entre a densidade inicial e o número de raios disparados da superfície. Já a interpolação dos pontos pode ser aumentada manualmente para redução de ruído como citado, mas também quando seu valor é zero; neste caso, o cálculo da iluminação global passa a ser pelo método exato, sem um pré-cálculo para determinar os pontos que necessitam de mais detalhes, com conseqüente aumento de tempo de render, chamado também de método força bruta. Neste método não existe o cálculo dos pontos do *Final Gather* nem sua interpolação, portanto, enquanto o render normal do *Final Gather* ocorre antes do cálculo da imagem final, neste o cálculo do GI ocorre simultaneamente ao da imagem final e assim sua qualidade está ligada aos parâmetros que controlam a qualidade final da imagem e não mais exclusivamente aos parâmetros do *Final Gather*. Neste caso o parâmetro de densidade inicial não possui influência na qualidade, apenas no número de raios traçados a partir da superfície. Este método de força bruta, um cálculo de GI por método exato, é usado quando se deseja obter o máximo de detalhe na iluminação global, visto que cada pixel é calculado

individualmente sem interpolação, evitando-se também problemas que podem ocorrer nos métodos aproximados como manchas e ruído durante animações. Por outro lado, trata-se de um cálculo consideravelmente mais lento e que pode gerar uma granulação na imagem, problema que pode ser resolvido traçando-se mais raios, mas aumentando-se ainda mais o tempo de render.

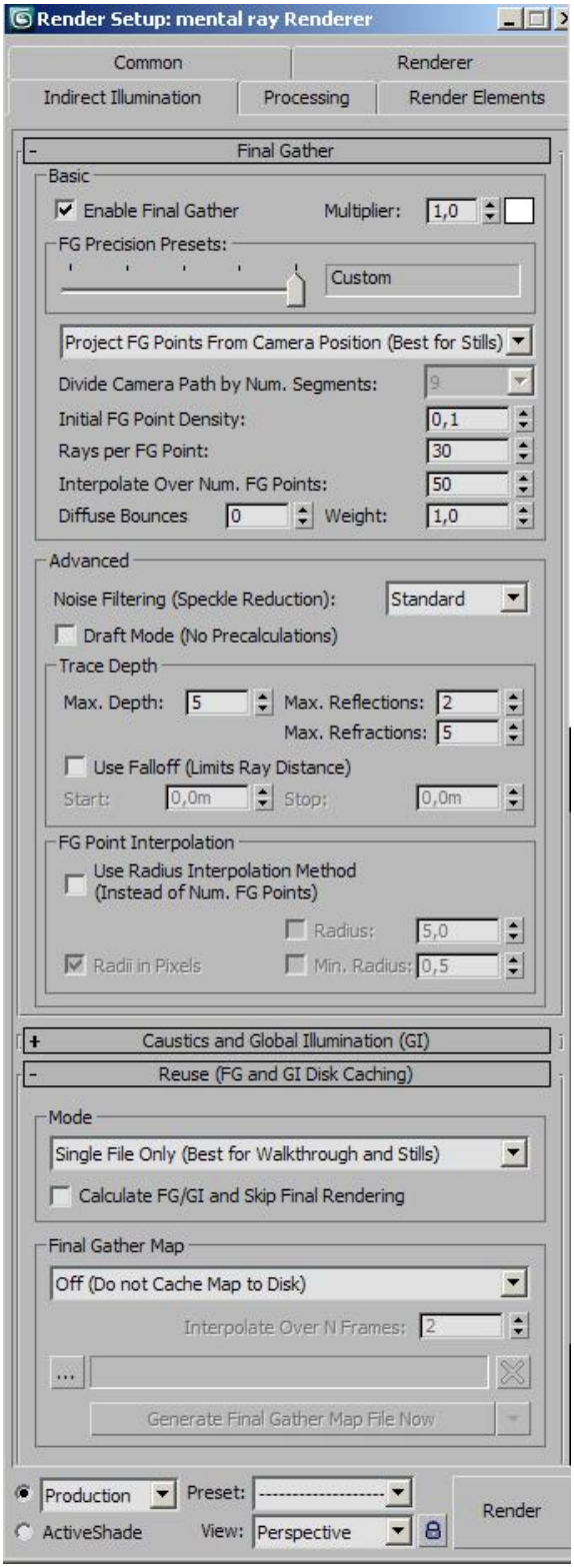


Figura 6: janela de opções do FinalGather.

O último parâmetro das configurações básicas do *Final Gather* é o número de rebatimentos adicionais da luz (*Diffuse Bounces*), que será feito após o primeiro rebatimento da luz que já é computado automaticamente. Por padrão, o FG vem configurado para não adicionar mais rebatimentos além do primeiro que sempre é calculado, vindo como zero este valor. Porém é fundamental ter um número maior de rebatimentos para uma distribuição melhor da luz ao se trabalhar exclusivamente com o *Final Gather.* As imagens 7 e 8 mostram as diferenças quanto ao rebatimento da luz, onde se pode notar que com apenas 2 rebatimentos (figura 7) o fundo da cena fica mais escuro em relação a uma cena com 6 rebatimentos de luz (figura 8). Vale citar que o comportamento da luz na vida real não é definido pelo número de rebatimentos já que a luz rebate infinitas vezes até perder sua intensidade; porém, novamente, trata-se de um processo de cálculo mais intensivo e, portanto, limita-se um número de rebatimentos para otimizar o cálculo da iluminação global. Além disso, a luz perde energia a cada rebatimento, tornando–se praticamente irrelevante sua contribuição para a iluminação total.

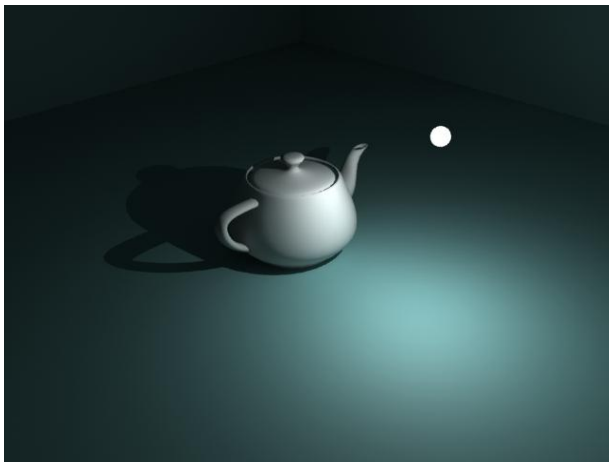


Figura 7 : iluminação com final gather com 2 rebatimentos de luz (bounces = 1).

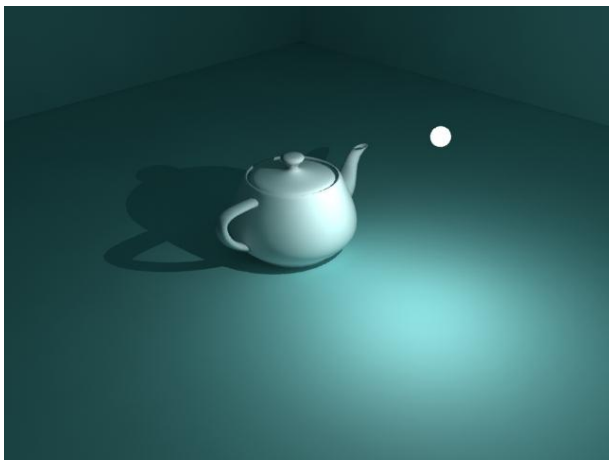


Figura 8: iluminação com Final Gather utilizando 6 rebatimentos de luz (bounces = 5) e qualidade média.

Como a iluminação global calcula a luz refletida pelos objetos de volta ao ambiente, um ponto fundamental para um correto cálculo de iluminação global é a utilização de materiais com propriedades fisicamente corretas, respeitando a lei da conservação de energia. Ou seja, o material deve funcionar de modo que a luz que incide no objeto deve ser em mesma quantidade que a luz que é

refletida, refratada ou absorvida pelo objeto, salvo em materiais que representem fontes luminosas.

Estas propriedades físicas podem ser verificadas no manual de cada software e, no caso do 3dsmax ao ser usado com o Mental Ray, o material de referência com propriedades físicas é chamado de Arch&Design (mia_material em softwares como Maya) e é o material que vem sendo utilizado neste trabalho com o padrão pré-definido chamado *matte finish,* em cor branca até então. Ao trocarmos a cor de branco para amarelo podemos notar a contribuição da cor na iluminação na figura 9, com o chão recebendo um pouco de luz amarela refletida pela chaleira.

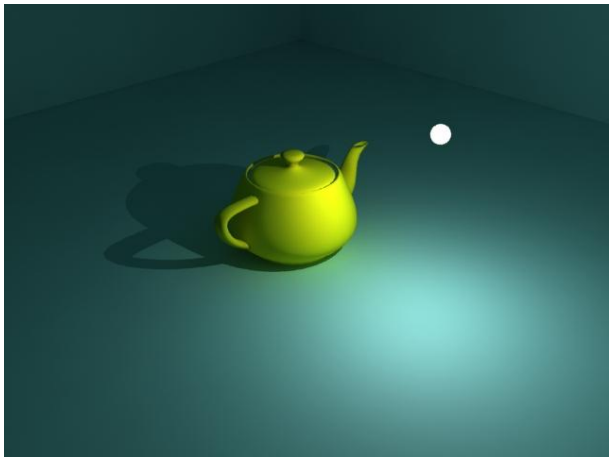


Figura 9: configuração de renderização igual à imagem 8 porém trocando a cor da chaleira para amarelo.

4. LUZES FOTOMÉTRICAS

Até o momento, embora utilizando a Iluminação Global e a perda de intensidade pelo quadrado da distância, a luz direta ainda era proveniente de uma fonte de luz tradicional, que parte de um ponto infinitamente pequeno, emitida para todos os lados (*omni*), com valores arbitrários e cores definidas pela mistura de vermelho, verde e azul (RGB). Estas propriedades não condizem com a realidade visto que as luzes do mundo real seguem as seguintes propriedades [2]:

a) Por menor que seja uma fonte de luz, ela sempre possui uma área emitindo luz, seja um pequeno filamento de lâmpada incandescente, seja pela superfície de uma luz fluorescente ou até a superfície de uma vela.

b) A intensidade de uma fonte luminosa possui uma padronização internacional (IS – *International Standards*) utilizando uma destas unidades: fluxo luminoso, medido em lumens; intensidade luminosa, medida em candelas; ou intensidade de iluminação (iluminância), medida em lux.

c) A cor de uma luz é definida pela forma como ela é produzida. Como padronização, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE – *Comission Internationale de l'Éclairage*) adotou a temperatura de cor na escala Kelvin, definindo o branco em 6500K, como mostra a figura 10.

Para lidar com essas propriedades reais das luzes, é necessário trabalhar com as luzes do tipo fotométricas, que podem funcionar inicialmente como as luzes padrão, emitindo a partir de um ponto. Porém, ao contrário destas, com as luzes fotométricas sempre ocorre perda de intensidade pelo quadrado da distância, sua cor é baseada na escala de temperatura e sua intensidade utiliza valores reais.

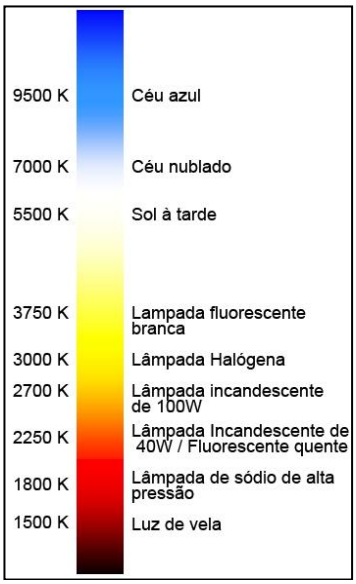


Figura 10: Escala de temperatura de cor e algumas correspondências com fontes de iluminação reais.

A sombra produzida por luzes reais sempre desfocam ao se afastarem dos objetos pelo fato de serem emitidas por uma área, enquanto uma luz partindo de um ponto infinitamente pequeno produz a sombra vista na iluminação tradicional, perfeitamente definida ou totalmente desfocada. A forma como a sombra desfoca depende do formato e tamanho da fonte luz, e para isso as luzes fotométricas possuem diversas formas, tanto 2D (um ponto, uma linha, um disco e um plano) como 3D (uma esfera e um cilindro), cada uma gerando uma iluminação diferente. Para exemplificar, tem-se na figura 11 uma luz fotométrica emitindo luz a partir de uma esfera de 4cm de diâmetro e temperatura de cor de 2800 Kelvin.

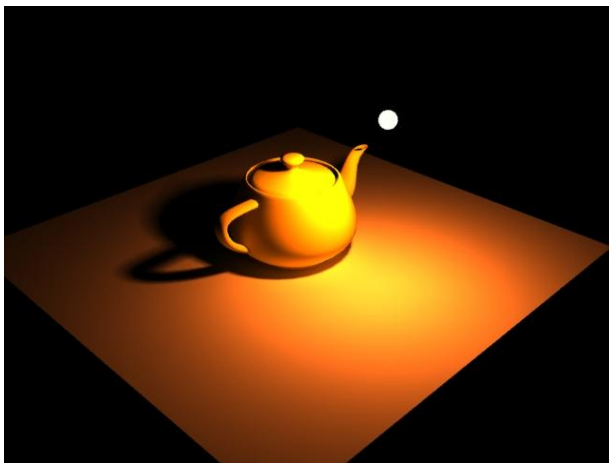


Figura 11: cena iluminada por luz fotométrica esférica com temperatura de 2800K.

Para entender melhor o desfoque da sombra, efetuou-se a substituição da chaleira por um cilindro e o formato da luz para retangular, mostrada na figura 12, sendo este fenômeno explicado na figura 13 com o surgimento de uma sombra suave conhecida como *soft shadow*. A utilização de uma luz fotométrica com uma forma definida, permitiu visualizar esta forma no render final, como se pode ver

também na figura 13: o plano de luz sem a necessidade de criar objetos 3D que representem a fonte de luz.

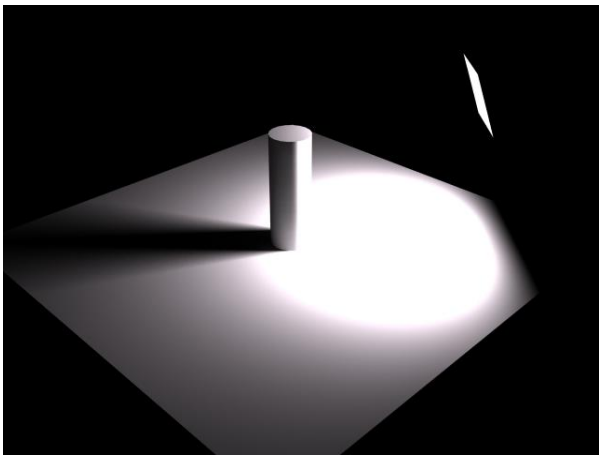


Figura 12: luz fotométrica com temperatura de cor de 6500K, intensidade de 4000 candelas e com o formato de um retângulo. Nota-se a fonte de luz visível na cena, bem como a luz emitida por essa forma e a conseqüente sombra que se desfoca ao se afastar do objeto.

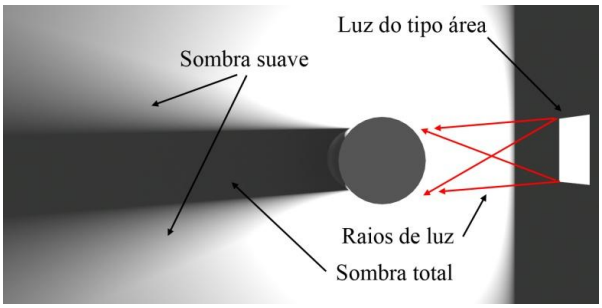


Figura 13: gráfico mostrando a formação da sombra suave a partir de uma luz do tipo área.

Além das propriedades que se pode definir para as luzes fotométricas, existe também a possibilidade de utilizar um arquivo que contém todas as informações de como a luz é emitida, desde a intensidade até como ela se distribui espacialmente. Esse arquivo é padronizado e utiliza, entre outras, a extensão IES, por ser definido pela *Iluminating Engineering Society* (Sociedade de Engenharia da Iluminação). Pode representar tanto uma fonte de luz primária, como uma lâmpada, bem como uma fonte de luz secundária, como uma luminária, e em geral é criado e distribuído por seus fabricantes. Um exemplo de luz fotométrica utilizando um arquivo IES pode ser visto na figura 14, ao mostrar a mesma cena inicial iluminada por uma luz fotométrica em forma de disco, que utiliza um arquivo referente a uma luminária do tipo spot, que utiliza uma luz halógena, também chamada de luz dicróica, dentro de um projetor cônico. Nesse caso a luz representa a composição da luz emitida pela lâmpada (luz primária) com a luz refletida pelo projetor (luz secundária).

Um ponto importante para o trabalho com luzes fotométricas está relacionado com a escala da cena. Trata-se de um ponto de extrema importância pelo fato de serem usadas intensidades reais e a perda de intensidade também segue o comportamento de uma luz real, ou seja, sua intensidade ao atingir o objeto é resultante da intensidade inicial dividida pela distância ao quadrado. Portanto, se houver uma distância muito grande, a perda também será nessa mesma grandeza elevada ao quadrado. Tem sido possível observar que alguns estudantes e até mesmo profissionais que trabalham com softwares 3D reclamam que, ao usar luzes fotométricas, a cena fica completamente escura ou com luz em excesso.

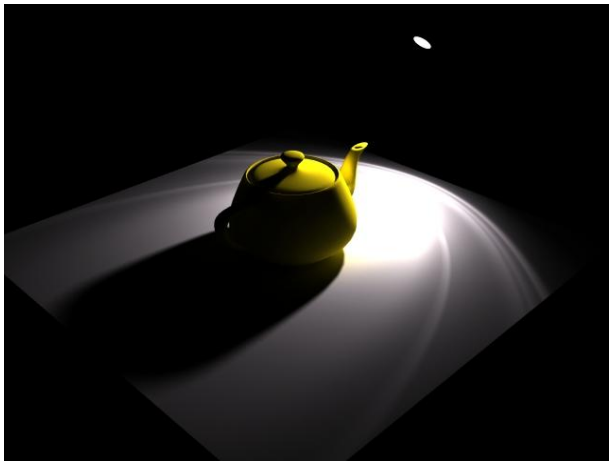


Figura 14: luz fotométrica em forma de disco com temperatura de cor de 6500K utilizando um arquivo IES que representa uma luminária dicróica.

Para entender melhor a situação ao explicá-la tanto para alunos como para equipes de trabalho, pode-se fazer uma analogia com a vida real ao se tomar uma luz fotométrica com intensidade de 120 candelas, a mesma de uma lâmpada incandescente de 100W. Imagine-se a iluminação de um quarto feito em 3D: se a escala estiver errada e o quarto, que deveria possuir 2 metros em uma dimensão sair com 20 centímetros, seria como colocar esta lâmpada em uma caixa de sapatos, ou seja, uma luz muito intensa para um ambiente tão pequeno. No outro extremo de uma escala incorreta, a sala viria com 200 metros, e seria como tentar iluminar um estádio com uma simples lâmpada comum, por isso tudo fica preto.

A última questão de escala está ligada à intensidade real das luzes, e faz-se necessário uma verificação com fabricantes das lâmpadas ou luminárias que se pretende utilizar para se obter uma iluminação que reflita o que haverá no mundo real. Como mencionado, uma lâmpada incandescente de 100W possui um intensidade em torno de 120 candelas, porém ao se criar uma luz fotométrica pela primeira vez no 3dsmax, essa luz vem com intensidade de 1500 candelas; portanto, é necessário verificar qual luz se deseja reproduzir no ambiente virtual, a fim de simular uma luz existente no mundo real. Além de consultar os fabricantes de luzes e luminárias, outra fonte de consulta é a documentação do *software 3dsMax* [1] pois nela se encontra uma tabela com diversas luzes e suas propriedades como intensidade, temperatura de cor e distribuição. Por fim, as luzes fotométricas presentes no *3dsMax* possuem parâmetros pré-definidos com diversos tipos de luzes.

5. SISTEMAS DE SIMULAÇÃO DA LUZ DIURNA

Outro tipo de luz fisicamente correta aparece em um sistema chamado *Daylight System*, que busca representar a iluminação vinda do sol em conjunto com a vinda do céu. Esse sistema se baseia na posição geográfica além do dia, mês e hora desejada, criando as mais variadas condições de iluminação que inclui não só a posição do sol, mas também as cores conforme o horário do dia. É possível também utilizar um arquivo que contém as informações de iluminação

baseadas em condições climáticas; neste caso o arquivo é do tipo EPW e contém informações climáticas para um determinado período e para uma determinada localidade. Ao contrário das luzes fotométricas, o sistema *daylight* necessita do *Final Gather* ligado, pois sem ele apenas a luz direta do sol será computada.

Um ponto positivo a ser considerado nesse sistema é que ele permite também criar uma imagem de fundo que aparecerá no render e será refletida em objetos com material reflexivo, aumentando o realismo da cena ao acompanhar a variação das cores do céu de acordo com a hora do dia e o mês do ano do sistema *daylight.* Para as imagens 15 e 16, houve a substituição do material da chaleira por um cromado, utilizando o material *arch & design* com a pré-definição *chrome*, onde se pode visualizar o céu gerado pelo sistema *daylight* em dois horários diferentes. Estas imagens, como se verá mais adiante, foram geradas utilizando controle de exposição da iluminação, necessário diante da alta intensidade da luz gerada pelo sol.

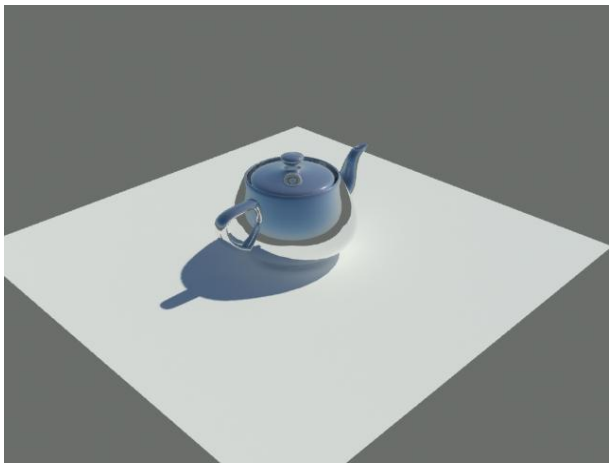


Figura 15: cena iluminada pelo daylight system representando a luz do céu de Florianópolis, Santa Catarina, no dia 1º de janeiro de 2009, às 9 horas da manhã.

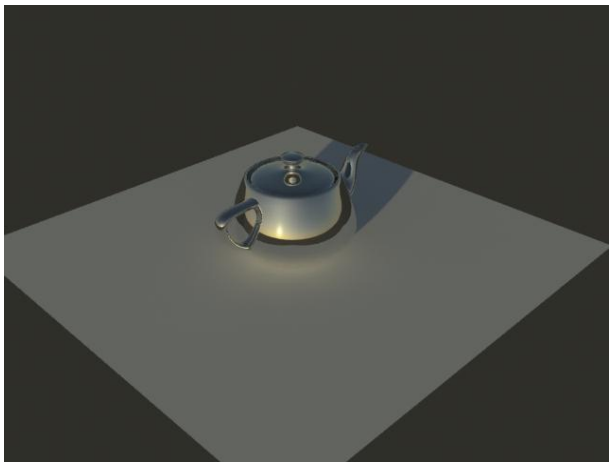


Figura 16: Idem figura 15, porém às 18h30m do mesmo dia.

Vale observar que esta iluminação representa corretamente apenas os horários em que o sol está visível, por isso se trata de um sistema de iluminação da luz diurna. Este sistema provém de diversos artigos de pesquisa sobre a luz diurna, porém um sistema de iluminação da luz noturna ainda não foi implementado nos softwares comerciais, embora uma ampla pesquisa sobre o tema tenha sido apresentada em 2001 [5].

6. ILUMINAÇÃO BASEADA EM IMAGEM (IBL)

Este método dispensa a criação de fontes de luzes sintéticas ao se basear em uma imagem para iluminar a cena. Para tanto é necessária a utilização de uma imagem de alto alcance dinâmico (HDRI – *High Dynamic Range Image*), obtida através de diversas fotos comuns do mesmo lugar variando a exposição [3]. Dessa forma, toda a variação de brilho da cena é registrada em uma imagem, chamada de mapa de brilho (*irradiance map*), que não é possível de ser registrada em uma foto comum. Além disso, para capturar a iluminação de todo o ambiente, a imagem deve ser onidirecional, que pode ser obtida combinando várias fotos de ângulos diferentes, bem como pela utilização de lentes de grande abertura conhecidas como olho de peixe, e ainda, pela forma mais comum, fotografando uma esfera espelhada.

Ao capturar a iluminação presente em um ambiente real, é possível reproduzi-la nos aplicativos 3D aplicando a imagem HDR como fonte de luz. Este método serve principalmente para a inserção de objetos 3D em fotos ou filmagens e, por isso, é muito utilizada em filmes e propagandas [4]. Nessas situações, a iluminação é um ponto crucial para fazer as pessoas que estão assistindo crerem que aquele objeto é real e que fazia parte da cena original, sendo uma tarefa extremamente complexa reproduzir todas às nuances de uma iluminação de um ambiente real utilizando apenas luzes sintéticas.



Figura 16: cena iluminada por uma imagem HDR mostrada na figura 19.

No *3dsMax* é preciso criar uma luz do tipo *skylight* e nela aplicar a imagem HDR de onde se deseja reproduzir a iluminação. Apesar de ser uma luz *standard* do 3dsMax, é através dela, com o *Final Gather* ligado, que será criada a iluminação baseada em imagem, que pode ser considerada uma iluminação realista ao reproduzir a luz de um ambiente real. Por ser uma luz gerada pelo *Final Gather*, é necessário aumentar o número de raios disparados para captar toda a variação de luz presente na imagem, especialmente se a imagem contiver pontos concentrados de luz e grande contraste entre claro e escuro. Se, ao contrário, poucos raios forem traçados, haverá um render final com ruído, que poderá ser contornado com o aumento da interpolação, mas com perda de detalhes de luz e sombra. Também é comum a utilização da imagem HDR como ambiente esférico, como pode ser visto na figura 16. A imagem aplicada aparece na figura 17, na qual se colocou novamente a chaleira com

material cromado para ver a imagem no reflexo.

Buscando uma otimização do tempo de render e redução de ruído da imagem, pode-se utilizar uma outra versão da mesma imagem HDR original, porém com menos resolução e um desfoque aplicado. Esta alteração na imagem deve ser feita em programas que manipulem imagens HDR para que não ocorra a perda do alcance dinâmico. Dessa forma será necessário disparar uma menor quantidade de raios sem necessidade de aumentar a interpolação, porém haverá aqui também uma perda de detalhe da iluminação que pode ser complementada com luzes sintéticas posicionadas de acordo com a imagem HDR, gerando uma sombra mais definida. Neste caso, aplica-se esta imagem com menos resolução diretamente no *skylight* e a imagem em alta resolução como ambiente para aparecer nos reflexos.



Figura 17: representação da imagem HDR utilizada para iluminar a cena na figura 18.

7. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO

Ao lidar com iluminação realista, especialmente as geradas por luzes fotométricas e iluminação diurna, faz-se necessário um controle de exposição das luzes para adequar a imagem final de acordo com a iluminação presente, ou seja, uma conversão das intensidades reais contidas em cada pixel, que pode ser da intensidade de milhares, para o padrão de cores RGB utilizado nas imagens, que representam as variações entre o preto o branco em 256 tons para cada cor. Este processo também é conhecido pelo termo *tone mapping* [4]. O 3dsMax possui algumas opções de controle de exposição, tendo como opção mais realista, ao se trabalhar com o *MentalRay*, do *mr Photographic Exposure Control*, que pode ser visto na figura 18.

Esse processo de ajuste de exposição trabalha na simulação de uma máquina fotográfica ou uma câmera de vídeo comum, com ajuste de tempo de exposição, abertura do diafragma e sensibilidade do filme, cuja combinação desses itens resulta em um valor de exposição (EV) que se usará como referência para demonstrar as diferenças de exposição para uma mesma fonte de luz. Como mostram as figuras 19, 20 e 21 quanto maior o valor de exposição, menos luz é captada na imagem final e, portanto, obtém-se uma imagem mais escura, chamada na fotografia de subexposta. O caso oposto é com EV baixo, resultando em muita luz captada e em uma imagem superexposta.

Da mesma forma que em uma fotografia, corre-se o risco de ter de escolher entre os pontos onde há uma exposição adequada como, por exemplo, uma imagem de uma sala com a luz do sol entrando diretamente por uma abertura. Neste caso, é preciso escolher entre regular a exposição com um EV mais alto, para dar visibilidade à parte iluminada pela luz direta, mas tendo como conseqüência o resto do ambiente escuro, ou regular com um EV mais baixo para se visualizar o ambiente, porém com uma área superexposta na região que recebe luz direta do sol. Da mesma forma que na fotografia, pode-se acrescentar outras luzes ou rebatedores para preencher com iluminação o espaço que ficaria escuro. Assim, é recomendável a alunos e profissionais um conhecimento básico sobre fotografia, pois algumas situações que podem parecer como erro de iluminação, como as descritas acima, são na verdade a representação do que ocorre em fotografia e é preciso lidar com isso da mesma forma.

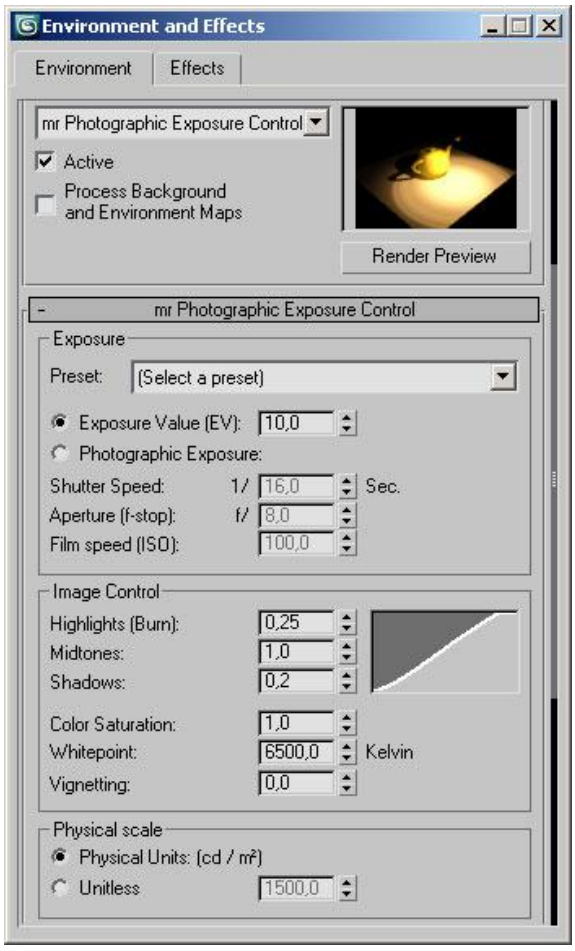


Figura 18: opções do controle de exposição utilizado.

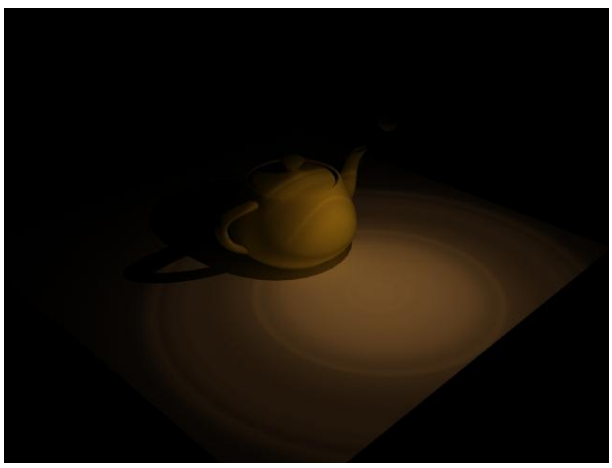


Figura 19: luz fotométrica com EV = 15.

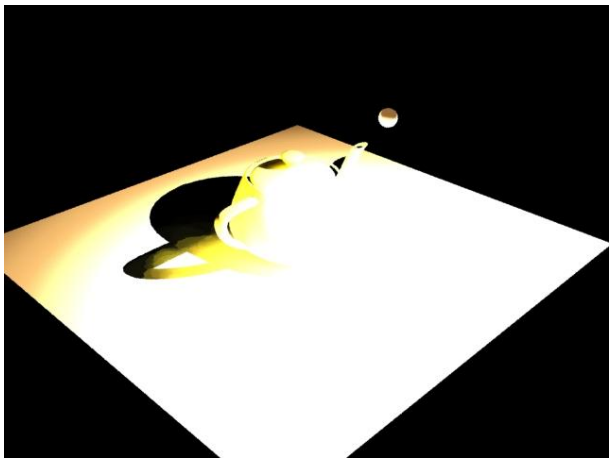


Figura 20: luz fotométrica com EV = 2.

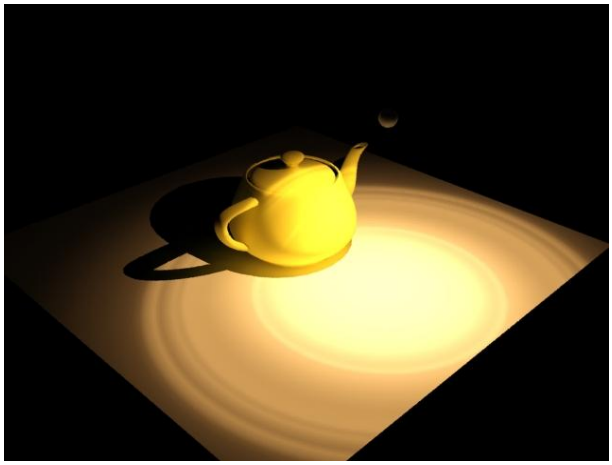


Figura 21: mesma iluminação utilizada nas figuras 21 e 22, porém com EV = 10.

8. CORREÇÃO DE GAMA E MÉTODO DE TRABALHO LINEAR.

Este último ponto trata de uma questão complexa em todas as áreas que trabalham com imagens digitais, pois é fundamentado no fato de os monitores não representarem as cores de forma linear entre o branco e o preto. Por conta disso, as imagens digitais possuem uma correção, chamada de correção de gama (o grau de contraste entre tons claros e escuros), que aplica uma curva na representação das cores para compensar essa forma não linear de representação das cores nos monitores, mostrada no gráfico da figura 22. Nele está representada a linha que iria do preto (0) até o branco (1), e abaixo dela a curva de representação típica dos monitores. Acima, em tracejado, está a curva de correção aplicada nas imagens. A princípio essa correção não era levada muito em consideração na iluminação tradicional [8], porém ao lidar com iluminação e materiais realistas, a intensidade da cor representa o brilho e o quanto de iluminação um material vai retornar ao ambiente. Nesse caso surge um problema, por exemplo, quando há na mesma cena dois objetos iluminados com material cinza com 50% de branco, correspondente ao valor 0,5 no gráfico. Porém, embora se esteja vendo esta cor no monitor, na verdade o que se vê é o valor corrigido pela curva de correção, como se constata no gráfico: o valor que se vê como 0,5, em escala linear é de apenas 0,218. Ignorando a correção de gama, se tivermos uma situação em que a cor dos dois objetos é somada resultando em branco, teremos um erro grave de cálculo de 0,218 + 0,218 = 1.

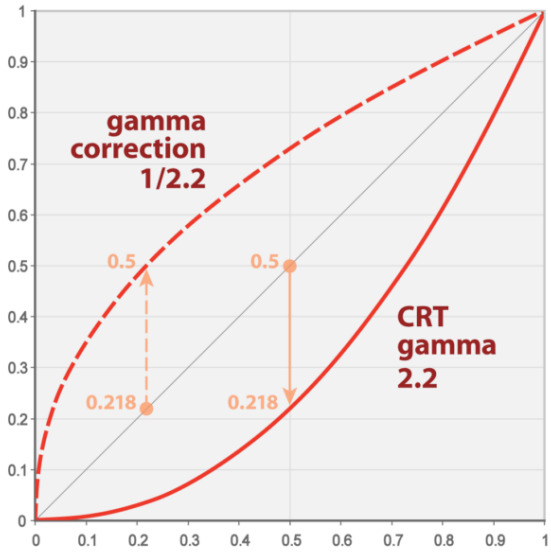


Figura 22: Representação das cores de forma linear, de um monitor CRT, a curva de correção e os valores correspondentes. Imagem: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Gamma06_600.png

O resultado dessa conta feita da forma errada é uma iluminação incorreta se comparada com a existente no mundo real, em especial pela perda de iluminação dos pontos mais escuros da cena devido à queda rápida que ocorre no gráfico ao chegar próximo de zero. Para se obter uma fiel representação da iluminação, deve-se adotar o método de trabalho linear, conhecido como LWF (*Linear WorkFlow*), ao indicar no *3dsMax* que se trabalha com um monitor com gama 2,2 (valor médio aplicado nos monitores), tendo o cuidado de, ao se utilizarem imagens para textura, mapa de relevo, etc., indicar sempre se trata-se de uma imagem com correção de gama ou linear. Pode-se comparar o resultado de uma renderização ignorando a correção de gama na figura 23 com a mesma, adotando o método de trabalho linear, na figura 24. . Nota-se a queda abruta para o preto na primeira imagem, causada pela curva de correção de gama.

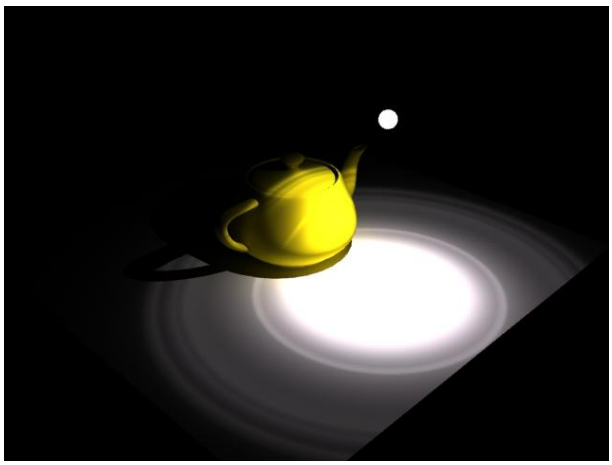


Figura 23: cena iluminada com luz fotométrica sem correção de gama.

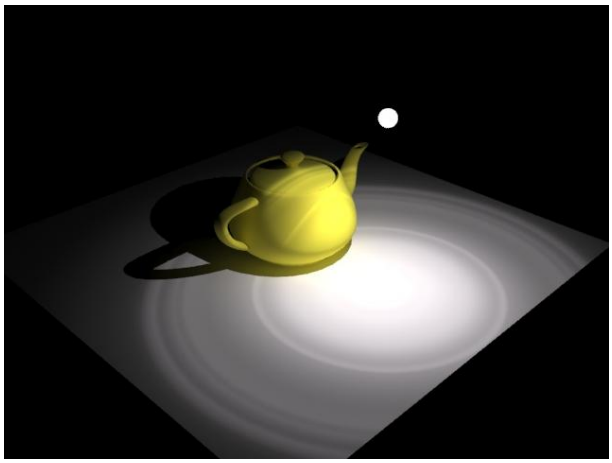


Figura 24: cena iluminada com luz fotométrica com correção de gama.

9. CONCLUSÃO

Entender os processos envolvendo uma iluminação realista pode favorecer tanto o profissional que trabalha com produção de imagens e animação 3D, como aquele gestor de uma equipe que produz imagens realistas em 3D ou um professor que deseja passar a seus alunos um correto funcionamento de luzes reais em ambientes 3D.

O presente trabalho buscou mostrar os aspectos referentes à iluminação na obtenção de imagens realistas, buscando, através de exemplos simples de serem reproduzidos, quebrar alguns costumes utilizados na iluminação de objetos 3D, utilizando como base o *software 3dsMax* e o renderizador *MentalRay*. Com isso foi possível definir alguns procedimentos básicos para se obter uma iluminação realista:

- Trabalhar com luzes realistas, tanto na forma como ela é emitida, como na intensidade e na cor representadas em escala real. Pode ser uma luz fotométrica, luz diurna ou luz baseada em imagem.
- Trabalhar com a cena em escala real, visto que as luzes reais se comportam no espaço respeitando as leis da física quanto à intensidade e a perda de intensidade no espaço.
- Utilizar um sistema de iluminação global, sempre tentando balancear o tempo de renderização com a qualidade da imagem.
- Utilizar materiais com propriedades físicas de conservação de energia, para um correto cálculo da iluminação global.
- Adotar um controle de exposição, para poder utilizar os valores reais de intensidade das luzes.
- Adotar o método de trabalho linear para as cores.

10. FUTUROS TRABALHOS

O presente trabalho buscou abordar a questão da iluminação realista utilizando o *3dsMax* e o renderizador *MentalRay*. Como futuro trabalho, pretende-se abordar mais a fundo os métodos de cálculo de luz global do *MentalRay* em comparação com outros renderizadores disponíveis. Também merece um futuro trabalho a criação de materiais realistas bem como a modelagem e a animação realista, que se compõem, junto da iluminação, na criação de uma imagem foto realista em 3D.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

[1]. AUTODESK. Autodesk 3ds Max 2011 Help. EUA, 2010. http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/ENU/Autodesk%203ds%20Max%202011%20Help/index.html

[2]. BROOKER, D. Essential CG Lighting Techniques with 3ds Max. 3.ed. Oxford: Ed. Focal Press, 2008.

[3]. DEBEVEC, P. E., MALIK, J. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. In SIGGRAPH, 24, em Los Angeles, 3 a 8 ago. 1997. Anais do 24th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques. New York: ACM, 1997. p. 369-378. http://ict.debevec.org/~debevec/Research/HDR/debevec-siggraph97.pdf

[4]. DEBEVEC, P. Rendering synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. In SIGGRAPH, 25, em Orlando, 19 a 24 jul. 1998. Anais do 25th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques. New York: ACM, 1998. p. 189-198. http://ict.debevec.org/~debevec/Research/IBL/debevec-siggraph98.pdf

[5]. JENSEN, H. W., DURAND, F., DORSEY, J., STARK, M. M., SHIRLEY, P., PREMOŽE, S. A physically-based night sky model. In SIGGRAPH, 28, em Los Angeles, 12 a 17 ago. 2001. Anais do 28th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques. New York: ACM, 2001. p. 399-408.

[6]. KAJIYA, J. T. The Rendering Equation. Computer Graphics, Vol. 20, No. 4, Agosto 1986. ACM Press, New York, NY, 1986, p. 143-150.

[7]. LEGRENZI, F. V-Ray – The Complete Guide. 2.ed. Itália: Ed. Legrenzi, 2010.

[8]. LIVNY, B. Mental Ray for Maya, 3ds Max and XSI. Indianapolis: Ed. Wiley Publishing, 2008.

[9]. STEEN, J. V. der. Rendering with mental ray & 3ds Max. Burlington, EUA: Ed. Focal Press, 2007.

[10]. WARD, G. J. The Radiance Lighting Simulation and Rendering System. In SIGGRAPH, 21, em Orlando, 24 a 29 jul. 1994. Anais do 21th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques. New York: ACM, 1994. p. 459-472.