

METODOLOGIA PARA ESCOLHA DE PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES, ATRAVÉS DE ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE SOFTWARES

Pupo, R. T. (1); Scarazzato, P. S.(2); Delbin, S. (3)

Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Campinas

(1) e-mail: rpupo@fec.unicamp.br

(2) e-mail: paulosca@fec.unicamp.br.

(3) e-mail: sdelbin@yahoo.com.br

RESUMO

Normalmente, a preocupação de arquitetos, quando envolvidos em projetos de iluminação, é com aspectos quantitativos da iluminação interior, ao invés do conforto que a iluminação pode fornecer em ambientes fechados. Isso ocorre porque, comumente, os métodos utilizados para se fazer um projeto de iluminação são primordialmente cálculos matemáticos, os quais somente determinam a quantidade de luz recebida num ponto de uma superfície. O crescimento de tecnologias computacionais tem muito contribuído para o desenvolvimento de ferramentas eletrônicas de projeto. Arquitetos, designers e engenheiros estão cada vez mais utilizando o computador para auxílio em desenho, construção e análise de seus projetos. O principal objetivo do avanço da tecnologia da computação gráfica é o de transmitir mais facilmente as idéias do projeto ao cliente, e algumas vezes para que o arquiteto melhor entenda seus próprios projetos. No campo da iluminação natural e artificial a indústria da computação gráfica para a arquitetura, tem avançado muito rapidamente como ferramenta viável e quase indispensável para análises e simulações. No entanto muitas vezes os profissionais que elaboram projetos de iluminação ficam confusos na escolha da ferramenta adequada as suas necessidades. A pesquisa tem por objetivo apresentar aos projetistas que trabalham com análises de iluminação artificial de ambientes um método que os auxilie na escolha da ferramenta adequada as suas necessidades. Para isto as características analisadas pelas ferramentas de simulação de iluminação artificial são discutidas. É apresentada, uma lista de softwares disponíveis, hoje, no mercado mundial e feita uma comparação entre estas ferramentas. Com esta pesquisa um projetista que trabalha com cálculos de iluminação artificial, poderá facilmente escolher, entre as diversas ferramentas disponíveis, a mais adequada as suas necessidades.

Palavras-chave: iluminação artificial, simulação de desempenho, simulação computacional.

ABSTRACT

Architects when dedicated to lighting design are basically concerned to quantitative aspects of illumination project other than the comfort it will result in. A possible cause for that is the fact that only calculations methods are used in lighting design. The growth of computer technology can give architects graphic tools capable of transmitting the architect's ideas to clients in a very realistic manner. As are found too many tools available is very hard to decide which tool best fit its needs. This research aims to shown artificial light designers a method of choosing the adequate tool. Some simulations are analyzed and compared, helping designers in their decision for a tool.

1. INTRODUÇÃO

Normalmente, a preocupação de arquitetos, quando envolvidos em projetos de iluminação, é com aspectos quantitativos da iluminação interior, ao invés do conforto que a iluminação pode fornecer em ambientes fechados (THURNAUER, 2002). Isso ocorre porque, comumente, os métodos utilizados para se fazer um projeto de iluminação são primordialmente cálculos matemáticos, os quais somente determinam a quantidade de luz recebida num ponto de uma superfície.

Foi no meio do século passado que exemplos de estudos do papel da iluminação como criadores de formas arquitetônicas começaram a emergir. LeCorbusier (APUD SHALABY) disse que “A Arquitetura é um jogo magistral, correto e magnífico agrupado pela luz”. Com o desenvolvimento da luz artificial, os níveis de iluminação de ambientes internos, poderiam ser mais perfeitamente controlados. Uma iluminação deficiente, pobre em intensidade ou ofuscamento, pode provocar deficiências irreparáveis ao ser humano (STARCK, 1977).

A acuidade visual (qualidade de observar os mínimos trabalhos) aumenta com a qualidade da iluminação. Starck (1977) cita que uma boa iluminação depende de vários fatores, entre eles a quantidade e a qualidade de luz. Em conjunto ou separados, exercem significativos efeitos na capacidade de ver com facilidade, precisão e rapidez. Com isso, o uso correto da luz no ambiente construído, como afirma Millet (1996), está ligado também à questões psicológicas, que podem levar uma mensagem visual transformadora de uma realidade desconfortável à ambientes com qualidade. E ainda completa que a luz obtém significado na arquitetura de forma relacional, porque parte de uma seqüência de relacionamentos luminosos, revelando detalhes, a edificação em si, suas intenções, seus espaços, suas formas e seus significados.

A luz na arquitetura tem o poder de estabelecer uma relação direta e importante com o espaço construído, revelando, segundo Millet (1996), uma percepção do espaço ao nosso redor que conecta o interior com o exterior, unificando ou diferenciando espaços que poderiam passar sem a devida importância se não fosse o uso correto da iluminação. Esta percepção pode ser prevista e controlada através de simulações, efetuadas anteriormente à construção, durante o processo projetual, e podem garantir um controle das diversas variáveis tão importantes para o conforto humano.

O crescimento de tecnologias computacionais tem contribuído muito para o desenvolvimento de ferramentas eletrônicas de projeto. Arquitetos, designers e engenheiros estão cada vez mais utilizando o computador para auxílio em desenho, construção e análise de seus projetos. Além disso, simulações tridimensionais incluídas em softwares comumente utilizados por estes profissionais são incrementadas a cada versão lançada. Com isso, o avanço da computação gráfica com o desenvolvimento de técnicas avançadas de renderização e animação auxiliam na visualização e análise dos ambientes projetados por arquitetos que usam a simulação de imagens realísticas como forma de aprimoramento de seus ambientes.

O principal objetivo do avanço da tecnologia da computação gráfica é o de transmitir mais facilmente as idéias do projeto ao cliente, e algumas vezes para que o arquiteto melhor entenda seus próprios projetos. No campo da iluminação natural e artificial, Gallardo, em entrevista à CGArchitect.com, diz que a indústria da computação gráfica para a arquitetura, tem avançado muito rapidamente como ferramenta viável e quase indispensável para análises e simulações. Continua dizendo que, hoje, muitos fabricantes de luminárias fornecem dados em formato IES on-line juntamente com as peças tridimensionais disponíveis para download prontas para renderização, contribuindo para o crescimento da tecnologia computacional voltada para a arquitetura. Com isso, muitos arquitetos e designers estão utilizando novas formas de visualização como parte de seus processos decisórios.

A presente pesquisa mostra um panorama da utilização de ferramentas de simulação para iluminação artificial, como parte de um processo decisório de projeto, ilustrando uma gama de softwares disponíveis, hoje, no mercado mundial. Para isso, faz-se necessária uma discussão das diferentes maneiras da utilização consciente da computação gráfica para a arquitetura, com inserção e interpretação de dados, formas de visualização, manipulação de materiais e aplicações para simulações realísticas.

2. A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Sempre foi um sonho do arquiteto simular visualmente o espaço arquitetônico antes de sua construção. Hoje, com o desenvolvimento de técnicas de visualização de imagens sintetizadas, através de ferramentas computacionais, o arquiteto pode contar com ferramentas que contribuem diretamente à forma com que este profissional cria o espaço arquitetônico. As diversas formas de simulação, através

de softwares específicos, têm muito contribuído no campo da iluminação artificial, facilitando a compreensão de fatores pré e pós projetuais.

Para a simulação de espaços arquitetônicos, os softwares utilizam imagens sintetizadas, ou renderizadas, através de processamentos numéricos que garantem fidelidade ao espaço que se quer visualizar. Segundo Christakou (2004), sob o ponto de vista computacional, existe uma distinção entre representação e simulação, onde, na representação se constrói um modelo 3D que possui informações geométricas em forma de coordenadas cartesianas x , y e z , e, na simulação verifica-se a inclusão de uma descrição de um objeto e algoritmos preditivos que computam o comportamento de certos aspectos daquele objeto.

Um modelo 3D contém dados geométricos definidos por um sistema de coordenadas cartesianas tridimensional. O modelo também pode conter outras informações sobre os materiais de cada objeto da cena, além da iluminação. A imagem que aparece no monitor é composta de milhões de pontos iluminados, chamados de pixel. A tarefa de se criar uma imagem computadorizada de um modelo geométrico é a de determinar a cor de cada pixel na tela baseados nas informações do modelo num ponto de visualização específico. A cor de qualquer ponto específico na superfície do modelo é uma função das propriedades físicas do material desta superfície e da luz que a ilumina, como variáveis primárias.

A imagem renderizada é a mais comum das simulações para apresentações de iluminação. São de fácil execução e interpretação, pois tentam mostrar como o ambiente vai ficar. O grau de satisfação final vai depender do ambiente modelado, do software e do método de apresentação final escolhido. Segundo Christakou (2004), o processo de gerar uma imagem bidimensional de uma vista específica de uma descrição geométrica tridimensional é chamado de renderização. Não tem precisão, pois não foi gerada com base nos conceitos físicos da luz.

A maneira com que um software renderiza um modelo, por exemplo, está relacionada à forma de como é criada. Em relato da Lightscape Technological (apud SHALABY, 2002), a empresa criadora do software com o mesmo nome, explica que um modelo tridimensional contém dados geométricos que são definidos em relação ao sistema de coordenadas cartesianas. O software Lightscape usa dois algoritmos de sombreado – iluminação local e global – para determinar como as superfícies do modelo refletem e transmitem a luz. A iluminação local utiliza informações sobre a luz que chega na superfície, para calcular a intensidade e caracteres de espectro como cor e distribuição da luz que sai da superfície. A iluminação global usa dois algoritmos; uma é chamada de Ray Tracing, que traça raios no sentido oposto de cada pixel na tela no modelo tridimensional. O outro é o Radiosity, que calcula a intensidade de pontos discretos no ambiente. Ambos são detalhadamente explicados adiante.

3. MÉTODOS DE CÁLCULO

O algoritmo de iluminação local descreve como superfícies individuais refletem ou transmitem a luz. Depois de identificar a descrição da luz que chega à superfície, estes algoritmos matemáticos podem prever a intensidade, a cor e a distribuição de luz que sai daquela superfície. A próxima tarefa é a de determinar onde se origina a luz que chega na superfície. Em um algoritmo simples de renderização, somente a luz que vem direto da fonte é considerada no sombreado. Para imagens mais precisas, entretanto, é importante levar em consideração não somente as fontes de luz, mas também como todas as superfícies e objetos do ambiente interagem com a luz. Por exemplo, algumas superfícies bloqueiam a luz, impedindo a iluminação de objetos posicionados atrás dela; algumas superfícies são brilhantes, o que nos faz ver o reflexo de outras superfícies ou outros objetos nelas; algumas superfícies são transparentes, o que nos permite ver outros objetos através delas; e algumas superfícies refletem a luz em outras superfícies.

Algoritmo de renderização que levam em conta as maneiras de como a luz é transferida entre as superfícies em um modelo, são chamados de algoritmos de iluminação global. É importante que se conheça como a luz é distribuída em um espaço físico.

A maneira em que os fótons são refletidos de uma superfície depende principalmente da suavidade desta superfície. Superfícies ásperas tendem a refletir os fótons em todas as direções. Estas são as conhecidas como superfícies difusas e este tipo de reflexão é conhecida como reflexão difusa.

Superfícies que são muito lisas refletem os fótons em uma direção, em um ângulo igual ao ângulo que ela chega à superfície (ângulo de incidência). Estas superfícies são conhecidas como especulares, e este tipo de reflexão é conhecida como reflexão especular. Um espelho é um bom exemplo de uma superfície especular. Alguns materiais, ainda, têm graus de ambas as reflexões, especular e difusa.

A iluminação final de um ambiente é determinada pela interação entre as superfícies e os bilhões de fótons emitidos pela fonte de luz. Um dos objetivos da iluminação global é recriar, com a maior precisão, o que o observador veria se estivesse dentro do ambiente real. Outro objetivo é o de finalização desta tarefa que deve ser efetuado o mais rápido possível, em tempo real (30 imagens por segundo). Geralmente, nenhum algoritmo de iluminação global pode juntar os dois.

Existem três classes interligadas de dados que são importantes para a iluminação global: a geometria, os materiais e a fotometria (WARD, 2003). A geometria é a mais comum entre os usuários de softwares para modelagem, mas é através do uso de materiais apropriados que se descreve como a luz reflete e é transmitida através das superfícies, e da fotometria que elucida como a luz emana das fontes. Existem dois tipos de iluminação global, *ray-tracing* e *radiosity* (radiosidade), que são utilizados em softwares como, por exemplo, o Lightscape.

Um dos primeiros algoritmos desenvolvidos da iluminação global é chamado de *ray tracing*. Este algoritmo reconhece que, embora bilhões de fótons possam estar distribuídos pelo ambiente, os fótons que primeiramente importam para quem está renderizando a cena, são aqueles captados pelo olho humano. O algoritmo trabalha traçando raios no sentido inverso de cada pixel da tela dentro do modelo 3D. Desta forma, somente as informações necessárias para construir a imagem são computadas. Para se criar uma imagem usando *ray tracing*, os seguintes procedimentos são efetuados por cada pixel na tela do computador.

O algoritmo de *ray tracing* é muito versátil pelo grande número de efeitos de luz que pode gerar. Pode acrescentar à iluminação global características de iluminação direta, sombras, reflexões especulares (espelhos) e refração através de materiais transparentes. A principal desvantagem do *ray tracing* é que requer computadores rápidos e preparados, mesmo para ambientes de moderada complexidade, pois requer um processo para cada visualização. Outra desvantagem do *ray tracing* é que não leva em conta uma característica muito importante da iluminação global: as inter-reflexões difusas. Com o *ray tracing* tradicional, somente a luz que chega diretamente da fonte é corretamente calculada.

Imagens com *ray tracing*, geralmente, aparecem muito planas, particularmente renderizações de ambientes de arquitetura, que tipicamente contém superfícies difusas.

A fim de resolver algumas falhas pertinentes ao algoritmo *ray tracing*, pesquisadores começaram a investigar técnicas alternativas para cálculo da iluminação global apostando em pesquisas de desempenho térmico. No início dos anos 60 foram desenvolvidos métodos para simulação de transferência de calor radioativo entre superfícies para determinar como o design poderia interferir em aplicações como fornos e motores. Já na década de 80, pesquisadores em computação gráfica investigavam a aplicação destas técnicas para a simulação da propagação da luz. *Radiosity* (ou radiosidade, em português) é fundamentalmente diferente do *ray tracing*. Ao invés de determinar a cor de cada pixel na tela, a radiosidade calcula a intensidade de pequenos pontos no ambiente. Isto é possível, primeiramente, dividindo a superfície original em uma malha de pequenas superfícies conhecidas como elementos. O algoritmo da radiosidade calcula a quantidade de luz distribuída de cada elemento da malha para cada outro elemento, e os valores da radiosidade final são armazenados para cada elemento da malha.

A radiosidade de refinamento progressivo funciona da seguinte forma: 1) as superfícies são transformadas em malhas de elementos relativamente grandes. Os elementos iniciais podem ser subdivididos automaticamente em elementos menores em áreas onde uma diferença significativa de intensidade é detectada entre elementos adjacentes à malha (por exemplo, nas bordas das sombras).

A luz é distribuída de cada luminária para todas as superfícies da cena. Neste cálculo, as superfícies podem bloquear outras superfícies, formando as sombras; 2) Dependendo das características do material da superfície, uma parte da energia que alcança um elemento qualquer da malha é absorvida, e o restante é refletido no ambiente. Um fato importante da radiosidade é que todas as superfícies são difusas, isto é, elas refletem a luz por igual em todas as direções; 3) Depois de distribuir a energia de cada fonte de luz (iluminação direta), a radiosidade de refinamento progressivo verifica todas as superfícies e determina qual delas tem maior energia para ser refletida. Esta superfície é então tratada como uma área de fonte de luz que emite a energia refletida para todas as outras superfícies do ambiente (iluminação indireta); 4) O processo continua até que a maioria da energia do ambiente seja absorvida (equilíbrio de energia) e a simulação atinja um estado de convergência.

Além de ter soluções rápidas por gerar vistas independentes, a radiosidade proporciona resultados visuais imediatos com precisão e qualidade. A radiosidade, por sua excelência em renderizações difusas de inter-reflexões, e o *ray tracing* pelas renderizações especulares de reflexão, como já explicado, podem ser usados simultaneamente, como em alguns softwares. Mesclando estas duas

técnicas, é possível combinar um pós processamento de *ray tracing* com uma vista específica de radiosidade para adicionar reflexões especulares e efeitos de transparência. Nesta situação, a solução de radiosidade repõe a imprecisão constante de uma luz ambiente utilizada em muitos softwares, levando a uma imagem muito mais realística. Além disso, como a luz direta pode ser calculada na radiosidade, o *ray tracing* não precisa criar nenhum raio de sombra, e sim os refletidos e os transmitidos, reduzindo consideravelmente o tempo de renderização de uma imagem, com qualidade e realismo.

Imagens sintetizadas realísticas são de grande importância para áreas como arquitetura, design, efeitos especiais e filmes, visto que existe uma tendência comum entre estas áreas de requisitar imagens mais realísticas em modelos cada vez mais complicados (ARVO, 2003). Ainda segundo Arvo, as técnicas baseadas no método *Ray Tracing Monte Carlo* são as únicas que conseguem manipular tal complexidade. Trata-se de um método numérico para resolver problemas utilizando amostragem estatística, que consiste em um método matemático de simulação que incorpora variáveis aleatórias no processo. O mesmo problema pode gerar resultados diferentes ao se repetir a simulação.

Estes métodos têm provado grande eficiência em equações integrais-diferenciais, definindo campos de radiação, muito utilizados em simulações de iluminação global produzindo imagens foto-realísticas virtuais de modelos tridimensionais, especialmente para aquelas com imagens mais “soltas”, como água. Segundo Christakou (2004), o algoritmo *Ray Tracing Monte Carlo* é totalmente adequado às aplicações técnicas, interessadas basicamente nos resultados numéricos da simulação. Com ele, pode-se destacar o fato de que dispõe de modelos de refletância de maior alcance, permitindo controlar a precisão da simulação e uma visualização de resultados intermediários a qualquer momento. Khoudulev (Apud CHRISTAKOU, 2004) afirma que todos estes são argumentos fortes para considerar como principal método para a análise da iluminação global.

Existem inúmeras teorias que descrevem a natureza da luz. A mais comum, segundo a Sociedade de engenharia da iluminação da América do Norte (IES), é definida como “uma energia radiante capaz de produzir uma sensação visual em um observador humano”. Afirma ainda que “a fotometria foi desenvolvida para a medição da luz, levando em consideração aspectos psicofísicos do sistema visual e cerebral humano”. Quando um arquiteto cria um sistema de iluminação, a principal preocupação a ser considerada é a avaliação dos efeitos obtidos pelo ser humano, como já discutido anteriormente.

A fotometria permite controlar o conforto visual através de quatro itens para uma perfeita simulação da iluminação. São eles: 1)fluxo luminoso; 2)iluminância; 3)luminância; 4)intensidade luminosa.

4. BARREIRAS À SIMULAÇÃO

Com a crescente variedade de softwares com aplicações específicas para a indústria da iluminação, surge o problema de compatibilidade de formato de dados entre os sistemas existentes. A questão se refere às informações fotométricas contidas nas especificações de luminárias que estão disponíveis eletronicamente pelos fabricantes. Segundo Ashdown (1994), estas considerações foram especificadas pelo Comitê da Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte, em 1986, através da norma IES LM-63, determinando que cada fabricante de luminária tenha o formato de arquivo específico, o IES “*Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data*”, e que se tornou padrão entre estes produtos originados nos Estados Unidos. Com isso, a transferência de arquivos eletrônicos entre os fabricantes de luminárias e os usuários, tornou-se mais fácil devido ao padrão de dados fotométricos que foi estabelecido. A norma foi revisada em 1991 e depois em 1995, mas com dados totalmente compatíveis com a versão original.

Paralelamente, na Europa, foi desenvolvido por Axel Stockmar da LCI *Software Engineering*, em Berlin, um formato de arquivo fotométrico, o EULUMDAT, para ser utilizado sob sistemas DOS, que se tornou padrão entre os fabricantes europeus. De acordo com Ashdown (1994), o formato EULUMDAT, é um arquivo bem estruturado que armazena valores de intensidade luminosa, em candelas, pelo total de quilolumens instalados na luminária. Este processo permite o cálculo de luminárias compostas de vários tipos de lâmpadas muito próximas, o que não é possível com o formato IES.

5. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO

Os softwares listados a seguir foram obtidos em pesquisas na internet, em teses relacionadas ao tema e na experiência dos pesquisadores. A seguir, serão mostradas algumas características e exemplos dos principais softwares para iluminação artificial encontrados no mercado:

O software ADELIN (Advanced Day and Electric Lighting Integrated New Environment) é uma ferramenta computacional de design de iluminação desenvolvida pela Agência Internacional de Energia (IEA - International Energy Agency) na Suíça voltado para fases iniciais de projeto até sua finalização por ser eficiente e completo de informações precisas sobre o comportamento de sistemas de iluminação, natural e artificial. Trabalha com o SCRIBE MODELLER que é um sistema CAD para modelagem e avaliação de projetos com desenhos detalhados em duas ou três dimensões, além de importar arquivos do tipo DXF de outros sistemas CAD. Cada componente do modelo a ser analisado pode ter atributos associados tais como absorção, refletância, entre outros, ligados direta ou indiretamente, os quais podem ser utilizados posteriormente para cálculos e simulações. Produz resultados confiáveis de uma variedade de dados que incluem geometria, aspectos fotométricos do espaço arquitetônico e clima, para simulações com informações numéricas e gráficas. Ainda utiliza as ferramentas SUPERLITE e RADIANCE para luz natural e o RADLINK para simulação de energia. Sua versatilidade se completa com uma biblioteca básica de mobiliário e a importação de luminárias dos tipos IES ou ELUMDAT.

O AGI 32 é um programa computacional que trabalha com cálculos numéricos ponto a ponto de luz incidente direta ou refletida em superfícies. Criado e comercializado pela Lighting Analysts, Inc., nos Estados Unidos, esta ferramenta é utilizada para simular ou quantificar a distribuição da luz natural ou artificial em ambientes arquitetônicos. Possui um modelador 3D com capacidade de criar modelos complexos como domus, curvas e rampas, em *wireframe* e posteriormente renderizados, além de permitir a importação de arquivos procedentes de outros programas CAD, em formatos DWG (AutoCAD) ou DXF.

Possui dois módulos de cálculos, onde o cálculo direto considera o efeito da sombra dos objetos na cena e produz iluminância ponto a ponto em superfícies ou pontos de um espaço e o cálculo total que aplica a interação entre a luz e a superfície utilizando-se da radiosidade. Outros recursos oferecidos pelo AGI32 são uma biblioteca de mobiliário, renderização com técnica de radiosidade, aplicação de texturas bitmap em qualquer superfície, percepção de luminância e iluminância com sistema de pseudocor, imagens realísticas com a utilização do *ray tracing* e posterior conversão em imagens do tipo JPG, e, finalmente, um estudo visualizador da luz natural com simulações em diversas horas do dia.

O ECOTECT, produzido pela Square One, foi totalmente escrito e desenhado por arquitetos, o que muito facilita a interface com o usuário. Com isso, busca a integração dos processos de projeção, principalmente nos estágios iniciais de concepção, ajudando como fator decisório em cada etapa. Nesta fase, seus criadores entendem que não é necessário que se produza uma geometria detalhada para um espaço onde se quer somente avaliar o potencial da distribuição da luz. Por isso não é considerado como um software de acabamento do processo projetual onde se importa um desenho complexo e simplesmente se tem o resultado da iluminação. Além da interface amigável, o ECOTECT importa arquivos IES, tem módulo de distribuição de luminárias com espaçamento e efetua cálculos e visualização dos vetores de luz. Os resultados da modelagem e dados de materiais podem ser exportados para softwares mais específicos, direcionados a este fim, com excelentes resultados, como o Radiance, por exemplo.

O INSPIRER é um sistema de simulação de iluminação e renderização de imagens empregando a mais recente tecnologia descoberta. A maior capacidade do INSPIRER é a simulação da iluminação fisicamente correta, pois, engloba todo o processo de iluminação: as fontes de luz e os objetos de cena que refletem e transmitem, com resultados de visualização quase que imediatos. As imagens podem ser renderizadas em pseudocor para análise de dados físicos, obtendo-se valores exatos de luminância e iluminância em pontos específicos ou em todo o ambiente. Importa modelos geométricos de modeladores externos em vários formatos como, por exemplo, IGES, DXF, VRML, ARRIS, Intergraph e Softimage, e exporta nos formatos IGES, DXF, VRML, além de possuir um modelador geométrico interno. Compõe cenas com materiais e mapas de texturas, com a possibilidade de ajuste de câmeras e iluminação, onde o mesmo modelo pode ser mostrado em diversas situações.

O software Lightscape 3.2 é um aplicativo avançado de iluminação e visualização para renderizações mais precisas de modelos 3D. Combinando a Radiosity e *Ray-Tracing* com uma interface fisicamente voltada para especificações de iluminação e materiais, o programa oferece muitas vantagens que incluem o refinamento progressivo permitindo um controle da qualidade da visualização do modelo. Originalmente, produzido pela Autodesk, foi desenvolvido para a plataforma UNIX, posteriormente

adaptada para PC, podendo ser incorporado parcialmente ao 3D VIZ 4.0. Importa muitos formatos de geometria 3D, inclusive DWG (AutoCAD 2002 e anteriores), e formatos fotométricos.

O LightSketch (desenvolvido pela *School of Architecture* da Carnegie Mellon University, em Pittsburgh, nos EUA) é um programa baseado em modelagem Sketch (croquis), para análise de iluminação. Permite que o usuário desenhe símbolos arquitetônicos e de iluminação os quais são convertidos em um modelo 3D para visualização de iluminação. É utilizado para ilustrar cenários arquitetônicos.

O LightStudio, foi desenvolvido na Alemanha e é considerado um plug-in High-End de renderização fotorealística para o 3D Studio Max 3.x ou 6.x, pela completa integração entre os dois. Importa arquivos fotométricos do tipo IES ou Eulumdat direto da biblioteca dos fabricantes e é completamente compatível com o Radiance. Ainda conta com dois módulos de interatividade, o Simple, que simplifica o controle da renderização, e o Expert, que permite ao usuário mais experiente utilizar as funções do Radiance no 3D Studio.

O Lumen Designer 2004 é a nova versão do Lumen Micro 2000, da Lighting Technologies Inc, no estado do Colorado, EUA, e atua no mercado de soluções computadorizadas para iluminação natural e artificial, catálogos digitais, design de luminárias, etc, desde 1982. Este módulo possui um modelador CAD interno, com alguns comandos básicos de visualização (pan e 3d-orbit) e suporta formatos de arquivos fotométricos IESNA, EULUMDAT, CIBSE, entre outros, e ainda conta com uma biblioteca interna de luminárias. A Iluminação real garante cálculos precisos e renderizações realísticas, com cálculos baseados em *ray-tracing* e *radiosity*. A reflexão especular pode ser analisada juntamente à mudanças de cores dos modelos e das luminárias, garantido uma gama de opções para o usuário. Possui uma biblioteca de mobiliário inserida na cena pelo sistema drag-and-drop com pré-teste de aplicação de materiais.

O DESKTOP RADIANCE é destinado para uso em plataforma Windows 95/98/NT e integra o sistema RADIANCE com a plataforma AutoCAD. Funciona como um plug-in inserido ao ambiente AutoCAD R14 e 2000 com um menu extra. Inclui biblioteca de materiais, vidros, luminárias e mobiliário.

Seu objetivo é integrar uma ferramenta de iluminação a um software de CAD popular para facilitar as estratégias de eficiência energética no processo de projeto. Foi desenvolvido pelo Laboratório Lawrence Berkeley National, da Universidade de Berkeley, na Califórnia, nos EUA, com apoio da Companhia Elétrica e de gás do Pacífico e do Instituto para Eficiência Energética daquele estado americano.

Paralelamente ao Desktop Radiance, o Sistema de Imagem Sintética RADIANCE é um sistema *Ray tracing* para análise e visualização da luz, altamente preciso, voltado para a plataforma UNIX, de uso comercial livre. Cria texturas e materiais com precisão, com resultados de simulações com valores espectrais de radiância (luminância + cor) e irradiância (iluminância + cor). Também desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* em Berkeley, Califórnia, EUA.

O Rayfront é uma plataforma independente que proporciona uma interface gráfica ao software de simulação de iluminação, o Radiance. Pode ser operado como uma extensão do AutoCAD ou IntelliCAD, em conjunto ao 3Dsolar, um modelador, ou sozinho. Sendo o Radiance o padrão para aplicações *ray tracing*, para simulações de iluminação fisicamente corretas, o RAYFRONT faz com que esta plataforma possa ser utilizada em desktops mais comuns. Tem a capacidade de importar geometrias de programas CAD genéricos, além de luminárias em formato IES.

Na versão Relux Professional 2005, o Relux é gratuito e produzido pela Relux Informatik na Suíça. Este software, para plataforma Windows NT, 2000 ou XP, contém um banco de dados de luminárias de 58 fabricantes internacionais, e ainda em mais de 15 línguas, inclusive o português. Todas as luminárias inseridas na cena podem ser visualizadas juntas, em 3D, com as curvas de distribuição, facilitando o posicionamento e alinhamento. O modo principal baseia-se em *radiosity*, com ajustes de câmeras sintetizadas de modo intuitivo. O cálculo de eficiência energética proporciona fácil acesso aos valores de luminância. Um módulo extra, o ReluxCAD, dá a possibilidade de modelagem e importação de arquivos em DXF, ou a estrutura 3D pode ser inserida no AutoCAD.

Desenvolvido pela empresa Dial GmbH, da Dinamarca, o DiaLux está na versão 4.0 e é destinado a cálculos e visualização de sistemas de iluminação artificial e natural. É um software gratuito,

disponível em 20 línguas, com a possibilidade de importar e exportar arquivos de outros programas de CAD, dispondo de visualização fotorealística com um *ray tracing* integrado. O DiaLux trabalha com formatos internacionais de todos os fabricantes de luminária, com catálogos eletrônicos, que podem ser inseridas na cena pelo sistema drag-and-drop, bem como texturas e mobiliário. A visualização 3D é interativa em fotorealismo com o uso de um módulo *ray tracing* integrado.

6. ESTUDOS DE CASO

O tipo de cálculo de iluminação global depende dos dados de entrada, do grau de precisão pretendido e da qualidade final requerida. Segundo Ward, funciona melhor quando se pensa no sentido oposto, ou seja, decide-se primeiro qual o grau de qualidade pretendido, com isso decide-se qual o tipo de simulação que se vai utilizar e, por último, procura-se reunir os dados necessários para tal. A simulação da iluminação pode ser pensada como um processo contínuo que começa com cálculos básicos e se direciona à perfeita representação da realidade.

O software Lúmen Micro se mostra hábil para cálculos simples, o Lightscape trabalha bem com nível intermediário de detalhes, e o Radiance para espaços com alto grau de detalhamento. Ward explica que o Lightscape oferece uma interface mais amigável, por isso sua curva se coloca um pouco acima das demais – demora um pouco menos para se obter a mesma qualidade. E conclui que o fato do gráfico mostrar curvas ao invés de linhas retas reflete que o usuário despende mais esforços na inclusão de dados.

Em estudo realizado na Universidade Victoria de Wellington, na Nova Zelândia, conduziu-se um teste de aplicabilidade de quatro softwares para simulação de iluminação: Inspirer, Rayfront, Lightscape e ArchiCAD (Maunder, apud SHALABY). Cada programa foi testado com geometrias simples e por fim classificados por ordem de precisão na representação da luz em ambientes fechados: 1) Inspirer, 2) Rayfront, 3) Lightscape e 4) ArchiCAD. Embora os softwares Inspirer e Lightscape sejam similares em muitos comandos, a maior diferença é a interface do sistema operacional; o primeiro é em plataforma DOS e o segundo em Windows. O software Rayfront produziu algumas complicações que retardaram o processo de renderização. Entretanto, na conclusão deste estudo, os pesquisadores decidiram que qualquer destes programas poderiam ser utilizados para reproduzir o ambiente construído e que poderiam apresentar imagens foto-realísticas.

Outro estudo que testou a precisão do software Lightscape quando representando um ambiente construído, aconteceu na Universidade de Miami, no atrium do Alumni Hall (Thurndauer, apud SHALABY). A proposta deste estudo foi a de identificar vantagens e limitações do software Lightscape. Análises comparativas foram obtidas através de imagens reais do espaço e imagens simuladas no software. Concluiu-se que “um dos maiores problemas do Lightscape foi a de produzir superfícies semi-reflexivas, pois o software considera todas as superfícies difusas para o processo de radiosidade, o que faz com que o espectro da superfície não tenha efeito no processo de radiosidade”. Outro problema existente foi como as superfícies apareciam; ou muito difusas ou muito reflexivas, em imagens muito contrastantes, com a mudança para *ray tracing*. Apesar disso, os processos de renderização do Lightscape criaram representações precisas do espaço, pois permitem que as cores do material influenciem a qualidade da luz do espaço. Este processo difere das análises físicas tradicionais da luz natural, por exemplo, onde as superfícies são geralmente brancas e a qualidade dos materiais não influencia os resultados. Tradicionalmente, mudar as cores das superfícies em modelos físicos poderia ser uma tarefa muito demorada, mas com o software em questão o material pode ser alterado em questão de segundos e uma nova solução gerada. Mais uma importante vantagem do Lightscape é a possibilidade de troca de luminárias num determinado espaço. Concluindo, Thurndauer (apud SHALABY) afirma que “o Lightscape provou ser exato o bastante com estes resultados para ser utilizado para projetos arquitetônicos”.

7. CONCLUSÃO

As constatações deste trabalho estão diretamente ligadas àqueles profissionais da arquitetura que utiliza de ferramentas disponíveis para a obtenção de soluções criativas e inovadoras em todos os sentidos da criação projetual. As ferramentas de visualização, representação e simulação abordadas aqui, devem estar integradas à prática de projeção do arquiteto, pela inserção de dados de geometria via computador ou não. O processo de projeto integrado, através de ferramentas interativas e práticas,

trás benefícios quanto ao entendimento do profissional e do cliente frente às diversidades projetuais que podem criadas.

Fatores como percepção e conforto visual muito contribuem para uma perfeita integração de todos os estágios do processo de projeto arquitetônico.

Quanto aos softwares apresentados, Altman (2000) relata que os algoritmos utilizados pelo Radiance são superiores aos do LightScape, mesmo este último tendo uma interface mais amigável. O Radiance, com código aberto e permite o uso de diversos módulos externos, mais de 50, o que dá a ambos uma característica de altíssima qualidade para fins profissionais.

Quanto às técnicas de renderização, KHOUDULEV (1996) conclui que o algoritmo ray tracing Monte Carlo é totalmente adequado às aplicações técnicas, permitindo maior controle na precisão e na visualização da simulação, sendo o principal método para análise da Iluminação Global. Quanto à qualidade visual das imagens, o Radiosity tem maior suavidade nas imagens.

Em estudo comparativo dos softwares Radiance, Rayfront e Relux, Christakou (2004) identifica o Radiance SIS, criado por Greg Ward no início dos anos 90, como base para estes os 3 softwares, completando que “validado em diversos trabalhos científicos, pode ser considerado, hoje, um dos mais importantes e conhecidos simuladores de iluminação global”.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (2001) “Fundamentals Handbook”. American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA.
- ALTMAN, Kurt., APIAN-Benewitz, Peter. Report on an investigation of the application and limits of currently available programme types for photorealistic rendering of light and lighting in architecture – The Kimbell Art Museum as a case study for Lightscape, Radiance and 3D Studio Max. April, 2001.
- ARVO, J. Monte Carlo Ray Tracing. In: Sisgraph 2003.
- ASHDOWN, I. A Programmer's Perspective. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- BOSCOLI, Maria B. Simulações de edificações: Análise da situação atual e busca de uma estrutura para integrar as ferramentas de simulação. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/Dep. De Pós Graduação em Engenharia Civil, 2003.
- CHRISTAKOU, E., A simulação da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo, PPG-FAU Universidade de Brasília, 2004.
- COMPAGNON, R. RADIANCE: The simulation software in Architecture teaching context. In: Florence Int'l Conference for teachers of architecture. Firenze, 1997. Disponível em <http://radsite.lbl.gov/rediance/papers/rctia97.htm>.
- FERREIRA, Aurélio. Dicionário Aurélio Eletrônico século XXI. Versão 3.0 . São Paulo: Editora Nova Fronteira, 1999.
- Gallardo, A. (2001, August). Entrevista com Arnold Gallardo, Disponível em: http://www.cgarchitect.com/upclose/article1_AG.asp, acesso em julho 2005.
- GRAÇA, V. Otimização de Projetos Arquitetônicos Considerando Parâmetros de Conforto Ambiental : O Caso das Escolas da Rede Estadual de São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. 2002.
- HITCHCOK, R. Advancing lighting and a daylighting simulation: the transition from analysis to design aid tools. In: Building simulation-7th Int'l IBPSA Conference, Madison, USA, 1995.
- KHODOLEV, A . Comparison of two methods of global illumination analysis. 1996. Instituto Keldysh da Academia Russa de Ciências. Disponível em <http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/cmgia/index.htm>, acesso em junho 2005.
- LAM. W. Perception and Lighting as formgivers for architecture. New York: McGraw-Hill, 1977.

Lightscape 3.2: Concepts and Techniques in Computer-Generated Lighting Simulation. Autodesk, 2000.

MILLET, M. Light Revealing Architecture. New York: Van Nostrand Reinhold, 1996. A luz revelando a arquitetura. Tradução experimental de Prof. PhD. Fernando O. R. Pereira e Prof. Dr. Anderson Claro, departamento de conforto ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2003.

SHALABY, M. Evaluating Lightscape's Accuracy For Predicting Daylighting Illuminance Compared To An Actual Space. Dissertação de mestrado apresentada ao departamento de Interior Design da Universidade da Florida. 2002.

STARCK, R. A Importancia, Necessidade, Requisitos E Consequencia De Uma Iluminação Racional. Pontificia Unersidade Católica de Campinas, Campinas, SP. Junno 1977.

THURNAUER, M. Atrium Case Study, University of Miami, 2002: Disponível em: <http://www.muc.muohio.edu/%7Estudio/mark/html/Atrium.htm>. Acesso em julho de 2005.

WARD, G. Tools for Lighting Design and Analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA – USA.