

# USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO INTERNA

Este trabalho analisa o uso da tecnologia computacional no desenvolvimento de projetos de iluminação, de forma a antever possíveis problemas e testar alternativas de solução visando a alcançar um melhor desempenho luminoso da edificação. Para isso, o estudo fundamentou-se na aplicação de ferramentas para a simulação de aspectos quantitativos e qualitativos dos efeitos da iluminação sobre o ambiente construído. Foram realizados testes em programas específicos para validar resultados, identificar limitações de uso das ferramentas, e ainda permitir uma análise comparativa dos mesmos sob seus vários aspectos. Como resultado desta pesquisa, apresenta-se um conjunto de procedimentos para a aplicação dessas ferramentas na projeção da iluminação e no ensino das disciplinas de Conforto Ambiental.

## Introdução

Esta pesquisa estuda o uso de tecnologias computacionais para a simulação da iluminação como ferramenta auxiliar na concepção e detalhamento de projetos, de modo a prever e minimizar possíveis problemas, relativos ao conforto luminoso.

As ferramentas específicas para simulação de projetos, nas diversas áreas da arquitetura, em particular aquelas voltadas à simulação do conforto luminoso, podem ajudar nas diretrizes e no desenvolvimento do projeto arquitetônico.

A partir dos resultados obtidos nas simulações, é possível observar o desempenho das decisões de projeto, do ponto de vista da iluminação, mesmo antes de sua execução, o que proporciona uma efetiva contribuição e uma maior consistência para as soluções a serem tomadas durante a fase de projeção arquitetônica.

Sendo a concepção do projeto arquitetônico a fase onde se definem as características essenciais do edifício, baseadas no programa de necessidades e na possibilidade de criar alternativas de solução para os problemas propostos, o uso da simulação computacional pode vir a ajudar na resolução do projeto e na comprovação de sua eficácia.

Um ponto a ser destacado é a possibilidade da aplicação da tecnologia de simulação no ensino das disciplinas de conforto ambiental, principalmente no que se refere aos estudos de iluminação natural e artificial, já que tais ferramentas permitem a visualização dos efeitos da luz sobre o ambiente projetado e fornecem a quantidade de iluminação do ambiente considerando as propriedades físicas dos materiais, lâmpadas e luminárias.

O presente trabalho vem contribuir para o desenvolvimento do tema, abordando a aplicação das ferramentas computacionais de simulação de iluminação no processo projetual.

## A iluminação no projeto de arquitetura

O projeto de arquitetura é dotado de inúmeras variáveis que vão definir uma adequada especificação e configuração do espaço, bem como o seu uso de forma

eficiente. Dentre essas, podemos destacar a iluminação, essencial para o bom funcionamento das atividades e o conforto daqueles que as exercem.

A iluminação de um ambiente deve garantir às pessoas a possibilidade de executar atividades visuais com segurança e precisão e com o menor esforço possível (LAMBERTS, 1997: 75), devendo ser econômica, de forma a buscar a conservação de energia, uma preocupação que tem se tornado constante e cada vez mais importante no ato de projetar. Assim, o projeto de iluminação visa a definir as características quantitativas e qualitativas da luz sobre determinado ambiente, de modo a avaliar as condições de luminosidade do local, bem como obter os efeitos luminosos desejados de forma eficiente e eficaz para atingir as exigências do conforto visual, efeitos cenográficos ou outros de natureza subjetiva.

Entende-se por projeto de iluminação o processo de definição, cálculo e representação dos sistemas de iluminação a serem utilizados em um determinado espaço, a partir de uma alternativa de solução, para atender às questões quantitativas, relacionadas ao nível de iluminação necessário para a execução das atividades a que o espaço se propõe, e às questões qualitativas, para uma melhor apreensão do espaço do ponto de vista do conforto visual, devendo ser entendido como a integração da iluminação natural e artificial.

Aqui serão definidas as etapas do projeto de iluminação, como: **conceituação ou definição, cálculo e avaliação** da proposta. Na etapa de conceituação ou definição, são determinadas as características do problema e as possíveis soluções. Na etapa de cálculo, são definidos os parâmetros quantitativos, através do cálculo da iluminação do ambiente, que possibilitam avaliações mais precisas das condições visuais a serem implementadas. Na etapa de avaliação, verifica-se se a solução proposta atende aos requisitos estabelecidos para o problema. Nessa etapa, os dados quantitativos podem ser comparados com as necessidades do projeto, e um estudo qualitativo pode ser realizado, principalmente com o uso das tecnologias computacionais e, em particular, o uso da simulação computacional aplicada ao projeto de iluminação.

Uma vez iniciado o processo de projeto e a etapa de conceituação ou definição, o conjunto de requisitos a serem atendidos deve especificar detalhes sobre o uso dos espaços e critérios de performance para a iluminação, tais como quantidade de luz, orientação da edificação, necessidade de elementos de controle e redirecionamento, definição da forma de integração da luz natural ao projeto de iluminação artificial.

Após a definição do programa arquitetônico, o sítio deve ser avaliado através do estudo do clima, incidência solar e sombreamento por parte das edificações vizinhas, vegetação e terreno, de forma a se definir a posição e o dimensionamento das aberturas, o uso de elementos de controle e a especificação dos materiais a serem empregados. A partir daí, seguem-se as decisões quanto à forma arquitetônica, que é determinada pela combinação do programa de necessidades, do sítio e do clima, que é o contexto no qual a integração do edifício com os objetivos de conforto visual deve ser considerada (LAM, 1986).

Nos estágios iniciais do projeto, a forma da edificação determina o desempenho da iluminação natural sobre os ambientes, já que a orientação do espaço favorece a

maior ou menor entrada de luz solar durante as horas do dia e durante os dias do ano, influenciando no desenho dos controles da luz solar e no ganho de calor, devido ao movimento aparente do sol. Após a etapa de conceituação, e já com a definição das principais características da edificação, pode-se calcular os níveis de iluminação natural para a alternativa escolhida e sua integração com o projeto de iluminação artificial. Este é desenvolvido mais adequadamente após a definição das especificações gerais do espaço, tais como os materiais a serem aplicados nas paredes, piso e teto, e a atividade a ser executada em cada ambiente proposto.

## **Simulação computacional**

A simulação por computador permite reproduzir fenômenos ou sistemas de forma a testar seus comportamentos sob as mais diferentes situações (AMORIM, 2003). Ao simular um objeto ou fenômeno, busca-se atribuir ao modelo simulado propriedades e (ou) capacidades do modelo real e não mais somente “copiar” sua aparência visual, o que irá depender da finalidade da simulação (MACHADO, 2001).

Existem três tarefas que envolvem o processo de simulação em iluminação: a primeira se refere à obtenção de entrada precisa de dados; a segunda está relacionada à simulação precisa e eficiente da interação da luz no ambiente; e a terceira refere-se ao mapeamento dos resultados para os dispositivos de saída. Um objetivo da simulação é a criação de imagens geradas em computador, que, muitas vezes, é a maneira mais fácil, menos dispendiosa e mais eficaz de visualizar preliminarmente resultados de projeto, ao contrário de modelos construídos e protótipos, além de permitir a consideração de alternativas adicionais de projeto, a partir da interação do projetista com a imagem exibida (FOLEY, 1997).

Para a aplicação da simulação, uma tarefa importante a ser realizada é a validação do modelo de simulação, que se refere ao grau de confiabilidade com que o modelo representa o sistema em estudo, sob o enfoque considerado. A validação deve ser feita pelo projetista do sistema, no momento da sua implementação, e pelo usuário desse sistema, de forma a garantir que os resultados encontrados no processo de simulação estejam corretos e possam ser utilizados para os estudos enfocados. Para o estudo em questão, a validação foi feita através de estudos comparativos entre os resultados obtidos através dos programas de simulação e as medições feitas em ambientes reais.

## **As ferramentas empregadas para simulação de iluminação**

O estudo das ferramentas computacionais para simulação da iluminação não envolve somente a simulação da aparência do espaço, ou seja, as condições qualitativas para a representação precisa do projeto de iluminação, mas envolve também as questões quantitativas, referentes aos níveis de iluminação das superfícies, para a determinação da melhor solução de projeto. Além disso, as ferramentas propiciam a visualização dos efeitos de lâmpadas e luminárias, a distribuição luminosa, a iluminação natural e seu comportamento durante os períodos do dia e do ano, e o estudo da influência dos materiais nas condições de iluminação no espaço projetado.

O estudo da aplicação do programa de simulação da iluminação pode ser dividido em 4 critérios principais, segundo Inanici (2002: 2), utilizados como base para a avaliação dos programas empregados neste trabalho:

#### • **Dados de entrada**

O passo inicial para a simulação em projeto de iluminação é a construção do modelo geométrico e a definição das características dos materiais e das fontes luminosas, que constituem dados de entrada para a simulação.

A geometria do modelo deve ser construída de maneira a representar as superfícies do espaço, principalmente aquelas que interagem com as fontes de luz. Os materiais devem ser especificados quanto a cor, refletância e transmissão luminosa, para que o modelo seja fisicamente fundamentado. As fontes luminosas devem ser especificadas através das suas grandezas fotométricas.

#### • **Algoritmos**

Os programas de simulação da iluminação são ditos fisicamente fundamentados, pois utilizam os algoritmos de iluminação global para descrever a interação da luz na cena e simular seus efeitos sobre as superfícies dos objetos. Os algoritmos utilizados são o de radiosidade, para o cálculo da propagação da luz difusa do ambiente, e o *ray tracing*, que calcula as contribuições da reflexão especular.

#### • **Saída dos resultados**

Os resultados do processo de simulação podem ser dados por meio da exibição de relatórios numéricos, que descrevem os níveis de iluminação do ambiente, imagens estáticas, formas mais utilizadas, ou através de animação e *walkthrough*.

#### • **Ferramentas de análise**

A maioria dos programas disponibilizam ferramentas de análise quantitativa, tais como gráficos isolux e imagens em falsa cor (técnica *pseudo-color*), em que faixas de cor entre azul e vermelho são atribuídas aos valores de distribuição de iluminamento ou luminância, emulando as linhas de isolux, o que facilita a análise da distribuição luminosa no ambiente.

Foram avaliados os programas: **Lightscape Visualization System** da Autodesk, **Lumen Micro** da *Lighting Technologies Inc* e **Desktop Radiance** da *Environmental Energy Technology Division, Building Technologies Program at Lawrence Berkeley National Laboratory*.

O **Lightscape** é um aplicativo para o estudo de iluminação e texturização, que simula as propriedades das fontes luminosas e dos materiais, gerando imagens fotorealísticas. O processo de simulação se dá em três etapas: a primeira é a configuração dos parâmetros de simulação, a segunda é a subdivisão das superfícies numa malha de elementos finitos e a terceira, o processamento propriamente dito, quando o modelo de radiosidade de refinamento progressivo é aplicado para o cálculo da iluminação. Após a simulação, os resultados numéricos podem ser

visualizados graficamente em imagens de falsa cor ou escala de cinza, ou através da análise de pontos simples ou em um *grid*. A análise qualitativa é feita através da visualização do modelo simulado sob vários pontos de vista ou em imagens texturizadas, com o uso do modelo de iluminação *ray tracing*.

O **Lumen Micro** é um programa para análise da iluminação que permite a visualização dos ambientes e a análise do seu desempenho. O modelo é definido no próprio programa, com a restrição de modelar apenas ambientes ortogonais, não sendo possível utilizar elementos inclinados ou curvos. A simulação no programa é feita a partir do cálculo da radiosidade e do *ray tracing*, tendo como resultados a visualização de imagens texturizadas, coloridas ou em escala de cinza, diagramas isolux e relatórios numéricos com os valores dos níveis de iluminação.

O **Desktop Radiance** é um aplicativo que auxilia o projeto e análise da iluminação de edificações, criado a partir do original **Radiance Synthetic Imaging System**. Opera no sistema **Windows**, como um *plug-in* do **AutoCAD**, o que possibilita a utilização de seus recursos para o modelamento tridimensional. A simulação é processada com o uso do modelo de *ray tracing*. Os resultados obtidos podem ser analisados através de pontos de referência únicos, *grid* de pontos, imagens texturizadas, imagens em falsa cor ou com curvas isolux, oferecendo ainda uma análise humana sensitiva, traduzida numa emulação da visão humana.

## Experimentação, análise e discussão

Os experimentos realizados foram definidos de forma a avaliar os programas em estudo quanto às suas facilidades de uso, interface com o usuário, modos de utilização e algoritmos de cálculo da iluminação para o uso na simulação da iluminação natural e artificial em ambientes internos. Como etapa inicial, foram feitos ensaios para a validação das ferramentas, utilizando-se dois processos de análise:

- quantitativa e qualitativa, entre os dados simulados nos programas e os dados coletados em uma situação real, de forma a verificar quão coerentes e precisos seriam os resultados obtidos na simulação computacional; e
- entre os dados simulados com os dados obtidos a partir dos cálculos tradicionais utilizados no projeto de iluminação, disponibilizando, portanto, apenas uma avaliação quantitativa.

A partir daí, foram desenvolvidos novos experimentos que possibilitaram a verificação do uso da simulação computacional no desenvolvimento de projetos de iluminação, através de estudos sobre: a **interferência da iluminação no ambiente**; as características da iluminação natural com a **modificação das dimensões, posicionamento e tipo das aberturas**; as conseqüências da especificação **de materiais com diferentes atributos** para um mesmo espaço; e o **uso integrado da iluminação natural e artificial** em ambientes internos.

Dessa forma, foi possível verificar os resultados obtidos e compará-los com os valores encontrados nos ambientes reais ou nos cálculos tradicionais, de forma a avaliar o uso dos programas de simulação do ponto de vista da sua aplicação no processo projetual de iluminação, descrevendo as possibilidades, vantagens e desvantagens das ferramentas analisadas no decorrer da pesquisa, bem como a sua

perspectiva de uso como ferramenta auxiliar para o ensino das disciplinas de conforto luminoso.

Os resultados dos cálculos das simulações permitiram avaliar a qualidade da iluminação para o espaço proposto, no que se refere à visualização do ambiente e a consequente análise subjetiva da iluminação resultante. Porém ainda não é possível, ao menos com os recursos utilizados, avaliar as condições em relação às sensações causadas pela ocupação efetiva do espaço e os efeitos da iluminação sobre o conforto dos ocupantes.

As imagens simuladas e as fotos tomadas mostram diferenças, o que já era esperado devido às características dos programas com relação aos algoritmos implementados e à forma de definição dos materiais a serem aplicados. Por isso, tornou-se difícil criar imagens semelhantes nos diferentes programas utilizados.

Pode-se fazer uma avaliação dessas diferenças a partir da comparação entre as imagens a seguir (figura 1), resultantes das simulações entre os diversos programas e da fotografia tomada no local.



**Figura 1**– Foto do ambiente e simulações nos programas Lightscape, Lumen Micro e Desktop Radiance, respectivamente

Com relação à distribuição da iluminação, podem-se perceber diferenças no resultado final quanto aos contrastes existentes e à uniformidade da distribuição luminosa, assim como à geração de sombras, reflexões especulares e transparência (figura 2).



**Figura 2** –Simulações do ambiente nos programas Lightscape, Lumen Micro e Desktop Radiance, respectivamente

Os recursos das ferramentas, em particular aqueles voltados para a simulação fotorealística do espaço, tal como o programa **Lightscape**, possibilitam a criação de imagens virtuais capazes de retratar, com uma boa aproximação, o ambiente tal como ele seria ao ser construído. É possível que ocorram algumas diferenças, visto que os *software* ainda não são capazes de retratar a adaptabilidade do olho humano aos níveis de iluminação, gerando uma imagem simulada mais escura do que o ambiente real (figura 3).



Figura 3 – Foto do ambiente e simulação no Lightscape

Quanto aos aspectos quantitativos, os estudos indicam a possibilidade do uso dessas ferramentas para o cálculo dos projetos de iluminação artificial. Existem diferenças entre os resultados obtidos, em decorrência das aproximações feitas nos cálculos, que sempre consideram valores médios de iluminação.

Os resultados obtidos com as simulações da iluminação natural demonstraram uma diferença em relação aos valores obtidos no ambiente real, tendo uma diferença maior no programa **Lumen Micro** e menor no **Lightscape**, levando-nos a crer na necessidade de estudos mais aprofundados acerca do tipo de cálculo utilizado pelos programas, a fim de estabelecer critérios comparativos.

### Avaliação das ferramentas

O programa **Lightscape** permite criar imagens mais realistas, além de facilitar o estudo quantitativo da proposta projetual avaliada. Os resultados qualitativos se mostraram de grande valia para a percepção visual do ambiente, assim como os valores numéricos obtidos, mesmo apresentando discordâncias nos resultados em relação aos valores medidos da iluminação natural, mas permitindo uma avaliação da distribuição luminosa do ambiente.

O aplicativo **Lumen Micro** é melhor utilizado para ambientes de geometria simples e com superfícies ortogonais, permitindo a utilização de arquivos fotométricos fornecidos pelos fabricantes de luminárias. Mas as imagens só podem ser geradas no modo de representação perspectiva, não sendo fotorealísticas.

No programa **Desktop Radiance 1.0**, os dados numéricos obtidos nas simulações destoaram muito em relação aos outros programas, havendo dificuldade na definição dos materiais e das fontes luminosas.

Comparando-se os três programas analisados, o **Lightscape** se mostrou mais viável para o estudo da iluminação tanto qualitativa quanto quantitativa, apesar das distorções encontradas, o que não significa que seja mais eficiente e adequado para todas as situações.

## Considerações finais

Inicialmente, deve ficar claro o entendimento da necessidade de interação entre os projetos de iluminação natural e artificial e o projeto arquitetônico, uma vez que é durante a definição da forma do edifício e de sua implantação no sítio que são tomadas decisões projetuais fundamentais para o aproveitamento da luz natural na edificação.

Em relação aos recursos da simulação computacional, esses devem ser aplicados durante o desenvolvimento de projetos, desde a etapa inicial de análise do problema, até as etapas de síntese e avaliação da proposta, quando serão desenvolvidas as alternativas de solução e feita a escolha da proposta adequada para a resolução do problema.

As dificuldades encontradas referem-se ao tempo gasto no preparo e edição dos dados relativos à geometria e propriedades físicas da luz e dos materiais. O processo de simulação é mais fácil e interativo, permitindo que profissionais e estudantes possam utilizá-los para estudos e projetos, sendo que o tempo despendido é dependente da complexidade do modelo, do algoritmo de iluminação implementado e das características de processamento do equipamento utilizado.

A avaliação do desempenho com o uso dos simuladores de iluminação pode ser feita também durante a obra, para testar novas alternativas para os problemas projetuais gerados durante a execução. Ou numa avaliação pós-ocupação, para edificações já implantadas, que necessitem de uma análise quanto aos aspectos luminosos para a criação de recursos que otimizem o projeto.

Em se tratando de questões referentes ao conforto do espaço construído, é de essencial importância enfatizar esse tema relacionando-o ao ensino de Arquitetura e de Conforto Ambiental, principalmente nas questões referentes ao ato de projetar. Poucos são os cursos que utilizam as ferramentas informatizadas de simulação nas disciplinas de conforto, como parte do aprendizado dos aspectos da iluminação natural e artificial. Porém, mesmo nesses casos, o enfoque dado não considera o contexto do projeto como um todo, desenvolvendo estudos de ambientes definidos, sem relacioná-los ao exercício projetual desenvolvido pelos alunos nas disciplinas de projeto.

É necessário portanto, entender que o uso da tecnologia informatizada deve estar pautada na construção de uma metodologia de integração com o ato de projetar, de modo a permitir ao usuário desenvolver sua habilidade criativa e perceptiva ao lidar com os aspectos técnicos do projeto. A simulação acelera o amadurecimento profissional, pela possibilidade de experimentar vários casos, durante o processo de aprendizagem em âmbito acadêmico.

As dificuldades encontradas são muitas, mas só com investimento em pesquisa e com intercâmbio de experiências acerca do tema é possível desenvolver alternati-

vas pedagógicas capazes de modificar o “tradicional” enfoque metodológico e acompanhar a velocidade de transformação imposta pelo emprego das tecnologias informatizadas no pensar a Arquitetura.

**Thais Borges Sanches Lima** é arquiteta. Este artigo é baseado na sua dissertação de mestrado, defendida em 2002 no PPG-AU/FAUFBA, sob a orientação da prof. Arivaldo Leão de Amorim.

## Referências bibliográficas

AMORIM, Arivaldo Leão de. Simulação computacional em arquitetura e urbanismo. In: IV SEMINÁRIO DE LINGUAGEM, INFORMAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO, 2003. Salvador. Anais... Salvador: LCAD, 2003.

FOLEY, James D., et al. *Computer graphics: principles and practice*. 2. ed. in C. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1997.

INANICI, Mehlika N. Application of the state – of – the – art computer simulation and visualization in architectural lighting research. Disponível na Internet: <http://www-personal.umich.edu/~inanici/p117v2.pdf>. Acesso em: 04/07/02.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano, PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997. 192 p. il.

LAM, William M. C. *Sunlighting as formgiver for architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986. 464 p.

LIMA, Thais Borges Sanches. Uso da simulação computacional em projetos de iluminação interna. 2003. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

MACHADO, Arindo. *Máquina e imaginário: o desafio das poéticas tecnológicas*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 320 p.

