



1º SIMPÓSIO DE PESQUISA DO PPGAU-UFRN – DOUTORADO, MESTRADO ACADÊMICO e MESTRADO PROFISSIONAL

## DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR PARA NATAL/RN

Juliana Portela Vilar de Carvalho

Contato: juliportela@gmail.com

Conforto ambiental e eficiência energética

### Introdução

Um projeto de arquitetura escolar humanizado proporciona bem estar aos usuários e facilita o processo de aprendizagem.

Um espaço iluminado naturalmente torna-se mais agradável e confortável, melhorando a autossatisfação dos usuários e reduzindo o absenteísmo dos trabalhadores. Espaços bem iluminados reduzem o consumo energético ao longo da vida útil do prédio. A eficiência energética prevê um alto retorno para o investidor, além de reduzir os impactos ambientais, contribui para a sustentabilidade. Sabe-se que sistemas de iluminação e resfriamento contribuem para um projeto mais sustentável (O'connor, Lee *et al.*, 1997, s.p.).

Para cada tipo de ambiente deve ser prevista uma iluminação específica, no caso de escolas há a necessidade de uma iluminação adequada para o desempenho da tarefa visual com boas condições para a leitura e aprendizagem, sendo indispensável o atendimento ao critério de uniformidade na distribuição espacial da iluminação com o

controle de caracteres como luminância e contraste.

Devido a variabilidade do comportamento da luz é preciso escolher um método de cálculo que analise mais variáveis em um menor intervalo de tempo. Os métodos manuais de cálculo além de tratarem os dados com lentidão, limitam-se a calcular a Iluminância média do ambiente, não levando em consideração variáveis como a autonomia da luz do dia (DA), contrastes e ofuscamento. Os métodos computacionais com métricas estáticas, restringem-se a uma simulação por hora analisada, já as métricas dinâmicas avaliam em uma só simulação todos os dias de um mesmo arquivo climático, além de poder inserir várias categorias de análise por simulação.

### Objetivos

Objetivo geral:

Avaliação da iluminação de acordo com profundidade de sala, dimensões de abertura e sistema de proteção solar que proporcionam conforto luminoso no ambiente escolar.

Objetivos específicos:

Compreender a distribuição da luz natural no ambiente construído com o elemento de sombreamento.

Identificar um procedimento de simulação de desempenho luminoso rápido e confiável com aplicabilidade em arquitetura.

Elaboração de uma avaliação quantitativa e qualitativa da distribuição da iluminação natural.

### Método

O método de análise é fundamentado no procedimento experimental, estando presentes as seguintes etapas: modelagem, simulação, tabulação dos dados e análise dos dados. Cada uma dessas quatro etapas é composta por procedimentos, que possuem uma fonte bibliográfica específica. O processo de modelagem é caracterizado pelos seguintes procedimentos e fontes:

1. Determinação da dimensão de sala de aula por meio de recomendações técnicas presentes na publicações do Fundescola (Educação, 2002, p.48);
2. Determinação dos pontos de medição da iluminação natural através da NBR 15215-4 (Abnt, 2004, p.6 e 7);
3. Determinação da iluminância do ambiente através da NBR 5413 (Abnt, 1992, p.4), com o valor de 500 lux;
4. Desenho do modelo de sala e da malha de medição, no programa Autocad;
5. Seleção do tipo de proteção solar de acordo com a orientação, através do aplicativo Solar Tool presente no programa Ecotect Analysis;
6. Modelagem da volumetria no programa Sketchup .

O processo de simulação computacional é dividido nas seguintes etapas:

1. Seleção dos dados de entrada para o programa simulador:
  - a. Arquivo climático em formato .epw, disponível nos sites do Labeee (Goulart) e Roriz bioclimática(Roriz);
  - b. Programação dos sensores de medição, através do programa Text Pad.

Após a simulação computacional, o programa Daysim gera um relatório de dados, com uma tabela relacionando os pontos de mediação pré-estabelecidos no programa Text Pad, com as métricas dinâmicas como Daylight Autonomy (DA), Continuous Daylight Autonomy (DA<sub>con</sub>), Useful Daylight Illuminance (UDI) e Daylight Saturation Potencial (DSP). Para a parte de tabulação dos dados é preciso escolher qual métrica será empregada para a análise, no caso deste trabalho se optou pela análise de duas métricas:

1. Análise qualitativa, com o uso do Daylight Autonomy, por meio do programa Surfer, que cria um mapa com isolinhas, que pode ser exportado para o Autocad, oferecendo assim a possibilidade de medir a profundidade de vão iluminado atingido pelo DA;
2. Análise quantitativa, com o emprego do Useful Daylight (UDI), com criação de gráfico de superfície em 3D no programa Excel;
3. Comparação entre os modelos com bandeira de luz e sem bandeira de luz.

Ao final da tabulação dos dados a análise dos resultados que caracteriza as zonas de iluminação, recurso útil para a integração da iluminação artificial com a luz natural possibilitando a sua otimização. Além do estabelecimento de uma relação projetual simplificada para a iluminação natural, entre a

profundidade de vão iluminado e a altura da verga da janela.

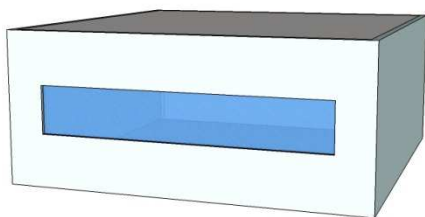
#### Procedimentos:

##### Simulação computacional: programa Daysim.

A simulação no Daysim tem como dados de entrada o modelo 3D da sala, o arquivo climático do ano de 1954, e o arquivo pontos dos sensores do Text pad.

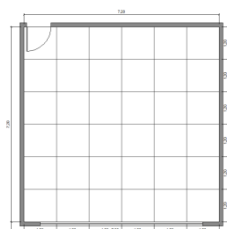
O modelo das sala foi elaborado no Sketchup, tendo como base a dimensão de sala de aula estabelecida pelo Fundescola (Educação, 2002, p.48) de 7,20mx7,20m (). Optou-se por uma janela com um percentual de abertura de fachada total (PAF<sub>T</sub>) de 80% (Figura 1)

**Figura 1: Modelo de sala de aula sem proteção**



A malha para medição dos pontos de sensores foi determinada a partir da norma NBR 15215-4 (Abnt, 2004, p.6 e 7), cujo o resultado obtido foi de 25 pontos de medição para o ambiente. A partir disso foi elaborado o arquivo de sensores no Text Pad e feita sua distribuição no Autocad (Figura 2).

**Figura 2: malha de medição**



Cada orientação teve um dispositivo de controle solar específico escolhido de acordo com as análises do aplicativo Solar Tool.

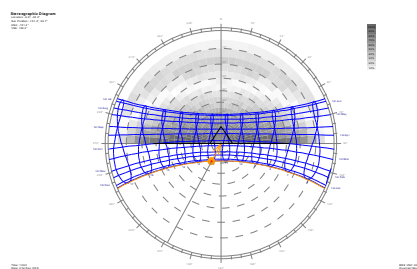
#### Seleção das proteções do Solar Tool:

A determinação da latitude e longitude, mostram a posição global da cidade analisada e o desenho da parede e janela sombreada com a orientação de fachada no modelo 3D, apresentam o diagrama de máscara de sombra com o percentual de sombreamento e o horário de maior incidência solar na fachada estudada.

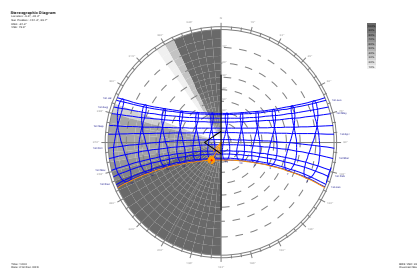
Os estudos foram realizados para as quatro orientações (N, S, L e O), para o dia do solstício de verão (21/12), com quatro elementos de controle solar: beiral, beiral com proteção lateral, pérgola e proteção vertical.

Dispositivos de controle como pérgola e proteção vertical não são eficazes para a latitude da cidade de Natal. No primeiro caso o elemento não proporciona um sombreamento uniforme (Figura 3), no segundo caso há trechos com sombreamento total, impedido a entrada da radiação difusa e outros trechos com incidência direta de radiação solar (Figura 4):

**Figura 3: Leste com pérgola**



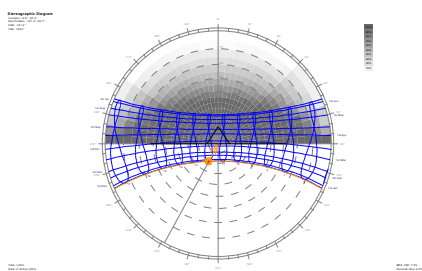
**Figura 4: Oeste com proteção vertical**



Para a orientação norte o beiral com proteções laterais demonstrou ser a solução mais apropriada, visto que protege da radiação solar proveniente das laterais em

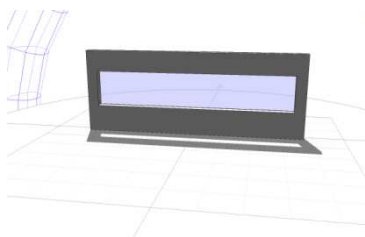
função do percurso diário leste-oeste do sol (Figura 5):

**Figura 5: Norte com beiral e proteções laterais**



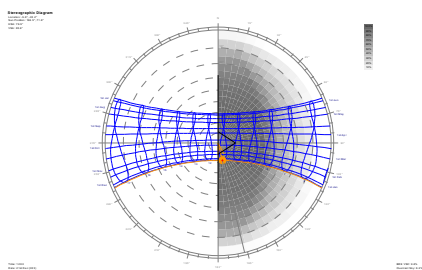
A orientação sul não necessita de controle solar, visto que para a nossa latitude está fachada realiza um auto sombreamento (Figura 6):

**Figura 6: Sul sem dispositivo de controle**

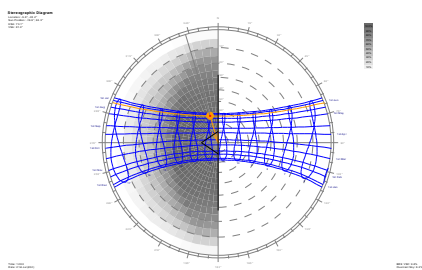


As orientações leste e oeste apresentam um comportamento semelhante em relação à incidência da radiação solar, diferenciando-se apenas quanto ao horário do sol. O beiral demonstrou ser o recurso mais eficiente para estas fachadas (Figura 7 e Figura 8):

**Figura 7: Leste com beiral**

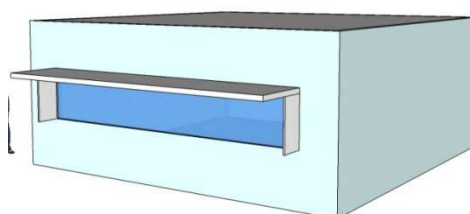


**Figura 8: Oeste com beiral**

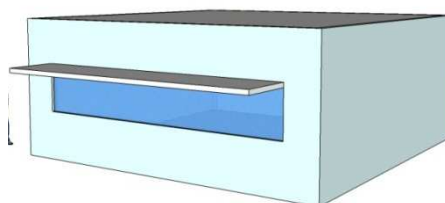


Com as análises do Solar Tool foi possível reduzir o número de modelos simulados, a partir da vinculação da orientação de fachada com o dispositivo de sombreamento específico (Figura 9, Figura 10, Figura 11 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**):

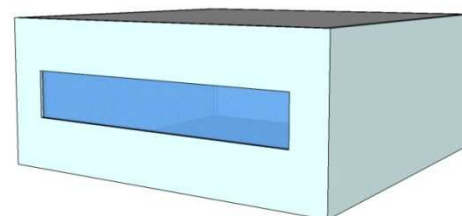
**Figura 9: Fachada norte, beiral com proteções laterais**



**Figura 10: Fachadas leste e oeste com beiral.**



**Figura 11: Fachada sul, sem controle solar.**



Estes mesmo modelos foram simulados com a presença da bandeira de luz.

## Desenvolvimento

### Tomada de decisões arquitetônicas no processo projetual

As boas práticas projetuais estão diretamente relacionadas com a forma de projetar clara e consciente dos condicionantes ambientais e dilemas de projeto que se apresentam durante o início do processo projetual.

As fases iniciais de projeção são referentes ao estudo preliminar e anteprojeto são

imprescindíveis para a determinação da parte conceitual e qualitativa do projeto. Após essas fases iniciais qualquer deslize dificilmente será reparado, principalmente se for relativo a parte de conforto ambiental cuja correção envolveria um alto dispêndio econômico (Vianna e Gonçalves, 2001, p.230 e 231).

As decisões de projeto devem se tomadas de acordo com as especificidades de cada sítio, características como topografia, relevo, clima, entorno e latitude influem diretamente no conforto ambiental da edificação.

Locais de baixas latitudes possuem luz natural em abundância, entretanto a entrada de luz natural excessiva na edificação pode não ser a melhor solução, devido ao aumento de carga térmica na edificação, bem como do ofuscamento. É imprescindível o emprego de aberturas sombreadas adequadas de forma proporcionar uma iluminação natural adequada e eficiente.

### Métricas para análise

Para a análise do processo de simulação computacional deste artigo foram escolhidas duas métricas: Useful Daylight (UDI) e Daylight Autonomy (DA).

O Useful Daylight Autonomy (UDI) é um parâmetro que mede se os níveis de iluminância são eficientes para os usuários, “nem muito escuro (<100lx) nem muito brilhante (>2000lx)” (Reinhart, Mardaljevic *et al.*, 2006, p.10). “O limite superior é destinado a detectar as horas em que um excesso de luz pode levar ao desconforto visual ou térmico” (Reinhart, 2010, p.12).

Daylight Autonomy indica se há iluminação natural suficiente em um espaço de modo que o usuário possa desenvolver sua tarefa visual apenas com a luz natural. Reinhart e Walkenhorst redefiniram a autonomia de luz natural como um percentual de horas ocupadas ao ano com um nível de iluminância mínimo requerido (Reinhart, Mardaljevic *et al.*, 2006, p.10). Trata-se do “percentual de

ocupação de horas por ano, quando o nível de iluminância mínimo pode ser mantido somente pela iluminação natural” (Reinhart, 2010, p.10).

### Análises e resultados

Nos gráficos com isolinhas gerados pelo Surfer com a métrica DA, empregou-se para a avaliação a relação entre a profundidade de vão iluminado e a altura da verga da janela, adotou-se a seguinte fórmula (Cintra, 2011, p.62):

$$P = \text{PLN} / H$$

Onde:

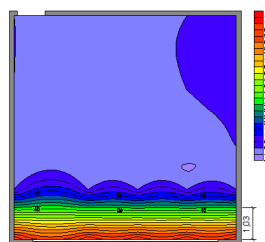
P=profundidade (adimensional)

P = Profundidade alcançada no ambiente pela Luz Natural com a iluminância de projeto e Autonomia de Luz Natural (DA) definidos (em metros)

H = Altura da verga da janela, que em todos os modelos foi de 2,10m

Foi observado na fachada norte que a inserção do beiral com as proteções laterais ocasionou uma redução da profundidade de vão iluminado, para um percentual de DA equivalente a 60%, a 500lux, a profundidade de vão iluminado chega a 0,71m, o que é um valor baixo, a relação entre altura de janela e profundidade de vão iluminado fica em torno de 0,33.Figura 12().

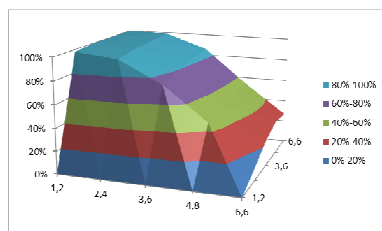
**Figura 12: Gráfico com isolinhas gerado pelo Surfer com os valores de DA fachada norte**



O gráfico do Excel foi gerado a partir dos dados de UDI, observou-se que a iluminância útil do ambiente sofreu uma redução à

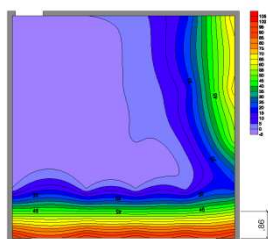
medida com o aumento da profundidade (Figura 13).

**Figura 13: Gráfico 3D gerado pelo Excel com os valores de UDI fachada norte**



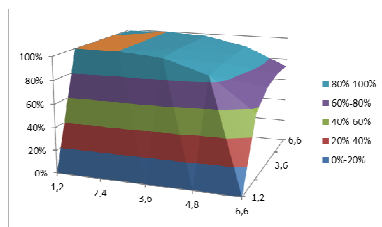
No caso da fachada sul, optou-se pela ausência de dispositivo de controle solar, houve um pequeno aumento da profundidade de vão iluminado (0,86m) para o percentual de 60%, sendo a relação resultante em 0,409m (Figura 14).

**Figura 14: Gráfico com isolinhas gerado pelo Surfer com os valores de DA fachada sul**



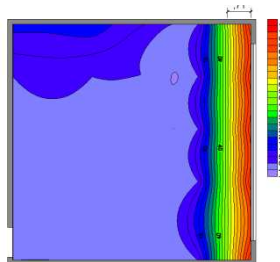
Entretanto houve um menor decaimento da iluminância útil do ambiente em relação à orientação norte, havendo uma maior uniformidade (Figura 15).

**Figura 15: Gráfico 3D gerado pelo Excel com os valores de UDI fachada sul**



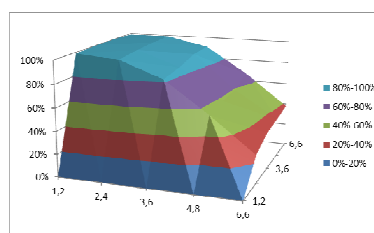
Na fachada leste o comportamento observado foi que para um percentual de DA de 60%, a profundidade de vão iluminado chega a 0,71m, sendo a relação entre altura de janela e profundidade de vão iluminado em torno de 0,33 (Figura 16).

**Figura 16: Gráfico com isolinhas gerado pelo Surfer com os valores de DA fachada leste e oeste**



Com a métrica do UDI observou-se um grande decaimento do percentual de iluminação útil para o ambiente, caracterizando uma falta de uniformidade da luz (Figura 17).

**Figura 17: Gráfico 3D gerado pelo Excel com os valores de UDI fachada leste**



A orientação oeste apresentou o mesmo comportamento de percursos da iluminação natural tanto para o DA como para o UDI.

Observou-se que o uso do sombreamento com uma altura de verga de janela baixa (2,10m) reduziu na profundidade de vão iluminado e no percentual de horas com iluminação natural.

**II etapa simulações:** comparação dos modelos com e sem o uso de bandeira de luz.

Com a inserção da bandeira de luz, observou-se que para todas as orientações houve um aumento da profundidade de vão iluminado e o percentual útil de iluminação teve índices bem maiores do que os anteriores, caso o nível de iluminância tivesse sido mais baixo o parâmetro do DA teria resultado em um melhor índice entre profundidade de vão iluminado e altura de verga de janela.

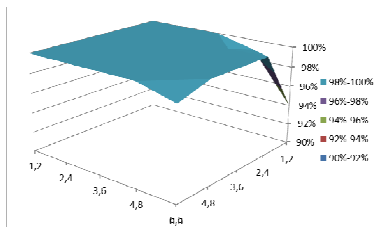
Para a fachada norte, o UDI apresentou em sua maioria percentuais próximos a 100%. Para o DA a relação projetual entre altura de



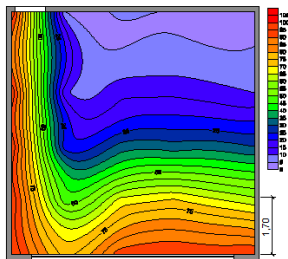
janela e profundidade de vão iluminado ficou em torno de 0,50.

Para a fachada sul o UDI apresentou em sua maioria percentuais de 100%. Já para DA a relação projetual entre altura de janela e profundidade de vão iluminado ficou em torno de 0,63 (Figura 18 e Figura 19).

**Figura 18:** Gráfico 3D gerado pelo Excel com os valores de UDI fachada sul

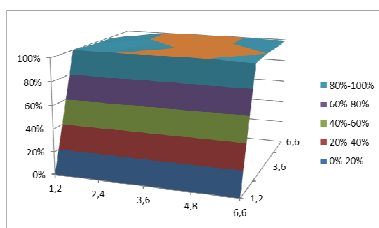


**Figura 19:** gráfico com isolinhas gerado pelo Surfer com os valores de DA fachada sul

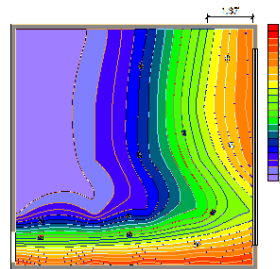


Para as fachadas leste e oeste o UDI obtido em sua maioria foi de 100%, ocorrendo um pequeno decaimento ao final da sala. Para o DA a relação projetual entre altura de janela e profundidade de vão iluminado ficou em torno de 0,50 (Figura 20 e Figura 21):

**Figura 20:** Gráfico 3D gerado pelo Excel com os valores de UDI fachada leste



**Figura 21:** Gráfico com isolinhas gerado pelo Surfer com os valores de DA fachada leste e oeste



## Considerações finais

A bandeira de luz aumenta a profundidade de vão iluminado entretanto é preciso reduzir o nível de iluminância da tarefa requerida para um valor intermediário de 300 lux, a fim de se ter um maior aproveitamento da iluminação útil e do percentual de horas iluminadas.

## Limitações do trabalho:

1. Fator tempo: para a realização das análises, optou-se pela simplificação das análises em relação ao número de modelos;
2. Carência de uma análise que faça o cruzamento entre os dados de Useful Daylight (UDI) com Daylight Autonomy (DA);

## Estudos futuros:

1. Investigar o uso de prateleiras de luz, conjuntamente com maiores alturas para verga de janela;
2. Fazer a avaliação das métricas dinâmicas com iluminância de 300 lux e um percentual de ocupação em torno de 60%
3. Estudo comparativo dos arquivos climáticos de 2009 e 1954
4. Inserir uma análise do entorno, em três classificações: baixa, média e alta obstrução.
5. Fazer a configuração de novos materiais e acrescentá-los à biblioteca da pasta Daysim for Sketchup.



1º SIMPÓSIO DE PESQUISA DO PPGAU-UFRN – DOUTORADO, MESTRADO ACADÊMICO e MESTRADO PROFISSIONAL

**Contribuição:**

O trabalho é parte da dissertação cuja finalidade é a identificação e elaboração de recomendações projetuais simplificadas para iluminação natural.

O'CONNOR, J. et al. **Tips for daylighting - with windows - the integrated approach.** Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory: The Regents of the University of California 1997.

**Agradecimentos**

Aos professores do PPGAU, em especial a Aldomar Pedrini pelas orientações esclarecedoras. Ao CNPQ pelo apoio financeiro.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Dayism Simulations for Sustainable Design.** Cambridge: Harvard University 2010.

**Referências bibliográficas**

ABNT. **NBR 5413 Iluminância de interiores.** ABNT. Rio de Janeiro 1992.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design.** Leukos. Ottawa. 3: 7-31 p. 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4. Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.** Rio de Janeiro: ABNT 2004.

RORIZ, R. **RN\_Natal.epw.** São Carlos Roriz Bioclimática.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural - A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais.** 2011. Universidade de Brasília, Brasília.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001.

EDUCAÇÃO, M. D. **Recomendações técnicas - EDIFICAÇÕES ambientes ESCOLARES,** C. D. P. E. I. Brasília: Fundaescola. Especificações 17 2002.

GOULART, S. **NatalTRY1954\_05CSV.epw.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Labeee.