

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**UMA JANELA TROPICAL: Análise do desempenho luminoso
de ambientes com aberturas sombreadas para o clima de Natal/RN**

JULIANA DE SÁ ARAÚJO

Natal/RN, 2012

Juliana de Sá Araújo

UMA JANELA TROPICAL: Análise do desempenho luminoso de ambientes com aberturas sombreadas para o clima de Natal/RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, com vistas à obtenção do título de mestre.

Orientador: Aldomar Pedrini, Ph.D.

Natal/RN, 2012

Catálogo da publicação na fonte. UFRN/Biblioteca Central Zila Mamede

Divisão de Processos Técnicos

Araújo, Juliana de Sá.

Uma janela tropical: análise do desempenho luminoso de ambientes com aberturas sombreadas para o clima de Natal/RN / Juliana de Sá Araújo. – Natal, RN, 2012.

135 f. : il.

Orientador: Aldomar Pedrini.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

1. Edificação comercial – Iluminação natural – Dissertação. 2. Iluminação natural – Escritórios – Dissertação. 3. Luz na arquitetura – Dissertação. 4. Eficiência energética – Dissertação. 5. Conforto ambiental – Dissertação. 6. Arquitetura e clima – Natal(RN) – Dissertação. I. Pedrini, Aldomar. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 725.2: 628.92 (043.3)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, aos meus pais pelo apoio financeiro, físico e mental.

A Stênio Farias pelo incentivo a participar de um programa de pós graduação e sua paciência e companheirismo nos momentos mais difíceis.

Ao professor Aldomar Pedrini pela competente orientação e confiança no desenvolvimento deste trabalho.

A professora Solange Leder pelo acompanhamento e conselhos importantes para o alcance de bons resultados

Ao professor Ricardo Cabús pela sempre disposição nas dúvidas relacionadas ao software Troplux.

A todos colegas pessoais e de mestrado pela amizade.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

A pesquisa propõe procedimentos de análise do desempenho de iluminação natural em salas de escritório com aberturas sombreadas, para características de céu de Natal/RN (Latitude 05,47' S, Longitude 35,11' W). Os estudos partem da premissa que aberturas em edificações localizadas em clima quente e úmido devem ser sombreadas. As características de céu se baseiam em tratamento estatístico dos registros da estação climatológica e de iluminação natural do INPE-CRN, em Natal/RN. As análises se baseiam no comportamento luminoso dos modelos entre 08h00 e 16h00, com características de pé direito de 2,8 m, largura de 6,0m e com profundidades de 4,0 m, 6,0 m e 8,0 m, com uma abertura única com três frações de tamanho (20%, 40% e 60% de Paf). Foram desenvolvidos dois métodos de simulação dinâmica no programa Troplux (versão 3.12 e versão 5.0), sendo o primeiro com dados monitorados de céu e outro com dados da IES presentes no sistema do programa. São considerados, para o primeiro método de simulação, três níveis de iluminâncias (300, 500 e 1000 lux), quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste), e duas condições de céus (claro e parcial). Para as simulações com dados da IES são considerados os três níveis de iluminâncias (300, 500 e 1000 lux), duas orientações (Norte e Sul), e três condições de céus (claro, parcial e encoberto). São gerados 72 modelos e 18 modelos respectivamente. Os resultados das simulações foram analisados por meio de um parâmetro de quantificação do aproveitamento de luz natural no ambiente construído denominado percentual útil de luz natural (PULN), que corresponde à fração de tempo com luz suficiente para atender uma determinada iluminância de projeto. A caracterização da profundidade da zona passiva de iluminação natural se baseia no PULN para atendimento das iluminâncias de projeto. Os resultados entre os dois métodos de simulação foram comparados sendo identificado que os dados monitorados de céu coletados na estação solarimétrica apresentam falhas operacionais que limitam a caracterização do tipo de céu. A proposta gráfica de determinação de recomendações empregou os dados de simulação troplux/IES. As variáveis mais influentes no desempenho luminoso são o tamanho da abertura e o nível de iluminância de projeto, enquanto que a orientação da abertura pouco influenciou.

Palavras-chave: Iluminação natural, eficiência energética, tipo de céu.

ABSTRACT

This master thesis introduces assessment procedures of daylighting performance in office rooms with shaded opening, recommendations for Natal-RN (Latitude 05,47' S, Longitude 35,11' W). The studies assume the need of window exterior shading in hot and humid climate buildings. The daylighting performance analyses are based on simulated results for three levels of illuminance (300, 500 e 1000 lux) between 08h00 e 16h00, in rooms with 2,80 m height, 6 m large and 4 m, 6 m e 8 m depths, with a centered single opening, window wall ratio (20%, 40% e 60%), four orientations (North, East, South and West), and two types of sky (clear and partially cloudy). The sky characteristics were statistically determined based on hourly data from INPE-CRN solar and daylighting weather station. The lighting performance is resulted from dynamic computer simulation of 72 models using Troplux 3.12. The simulation results were assessed using a new parameter to quantify the use of interior daylighting, the useful percentage of daylight (PULN), which corresponds to the time fraction with satisfactory light, in accordance with the illuminance design. The passive zone depths are defined based on the PULN. Despite the failures of illuminance data from the weather station, the analyses ratified the high potential of daylighting for shaded rooms. The most influential variables on the lighting performance are the opening size and the illuminance of design, while the orientation is a little influential.

Key-word: daylighting, energy efficiency, sky type.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 - Setores brasileiros de Consumo de energia elétrica.....	20
Figura 1-2 - Comparação do uso final da energia elétrica brasileira no setor comercial.	20
Figura 1-3 – Classificação dos 15 modelos de céus da CIE.	25
Figura 1-4 - Distribuição de luminâncias de céu claro	26
Figura 1-5 - Distribuição de luminâncias do céu encoberto.....	26
Figura 1-6. Dimensões das salas de escritórios propostas para a cidade de Maceió.....	29
Figura 1-7. Volumetria das atividades comerciais levantadas no Brasil.....	29
Figura 1-9 - Brises horizontais.	32
Figura 1-8 - Brises verticais.....	32
Figura 1-10 - Diagrama de Waldram.....	34
Figura 1-11 - Diagrama de Pleijel.	34
Figura 1-12 - Conceito de Zona Passiva.....	38
Figura 1-13 - Desempenho luminoso de uma janela unilateral.	41
Figura 1-14 - Diferentes versões de regras para iluminação natural (Daylight Rules of Thumb) baseadas na relação da altura da janela como a profundidade de iluminação do ambiente.	43
Figura 1-15 - Gráficos da variação da distribuição luminosa ao longo da profundidade do ambiente “daylit área” em relação a: a) Iluminância mínima, b) transmitância do vidro, c) presença de peitoril e d) a orientação da fachada.....	45
Figura 1-16 - Determinação do Ângulo efetivo do céu.	46
Figura 1-17 - Determinação do Daylight Factor.	46
Figura 1-19- Profundidade de alcance da luz natural com prateleiras de luz.....	48
Figura 1-18- Profundidade de alcance da luz natural sem proteção solar.	48
Figura 1-20 - Effective Aperture com WWR iguais e VT diferentes.	49
Figura 2-1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	57
Figura 2-2 - Gráfico das características do vidro transparente de 6mm da biblioteca do TropLux.	60
Figura 2-3 - Dimensões do pé-direito e largura das salas	61
Figura 2-4 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 20%.....	63

Figura 2-5 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 40%.....	63
Figura 2-6 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 60%.....	63
Figura 2-7 - Dimensões (largura e profundidade) das salas.....	65
Figura 2-8 - Modelos adotados.	65
Figura 2-9 - Diagrama de combinações de variáveis.....	66
Figura 2-10 - Determinação dos pontos de medição de iluminância para as salas de 4,00m, 6,00m e 8,00m, respectivamente.	66
Figura 2-11 - Distanciamento entre os pontos de medição no interior do ambiente.	67
Figura 2-12 - Janela do Troplux 3.12 dos dados de saída de iluminância.	68
Figura 2-13 - Janela <i>Daylight</i> Data do Troplux.	69
Figura 2-14 - Etapas para a determinação do PULN.....	74
Figura 2-15 - Procedimentos para obtenção do PULN mensal.	75
Figura 2-16 - Procedimentos para obtenção do PULN anual.	75
Figura 2-17 - Identificação dos modelos.	76
Figura 2-18 - Gráfico de comportamento da zona passiva segundo o PULN.	77
Figura 2-19 - Zonas dos modelos 01, 02 e 03.	77
Figura 3-1 - Gráfico de frequência da ocorrência dos tipos de céu claro e parcialmente encoberto para os anos de 2007, 2008 e 2009.....	80
Figura 3-2 - Gráfico de frequência de ocorrência dos tipos de céu claro e parcialmente encoberto, horariamente, para os anos de 2007, 2008 e 2009.	80
Figura 3-3 - Gráfico do comportamento das iluminâncias difusas externa (sobre céu claro-Cc- e parcialmente encoberto-Cpe) pelos dados do INPE e da IES.....	82
Figura 3-4 - Gráfico do comportamento da iluminância global interna para 21/03 (para o Modelo 1, 20% de Paf e sobre condições de céu claro) através dos dados do INPE e da IES.....	83
Figura 3-5 - Gráfico do comportamento da iluminância global interna para 21/09 (para o Modelo 1, 20% de PaF e sobre condições de céu claro) através dos dados do INPE e da IES.	83
Figura 3-6. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 20% de Paf para céu claro.	85
Figura 3-7. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 20% de Paf para céu parcial.	86
Figura 3-8. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 40% de Paf para céu claro.	87
Figura 3-9. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 40% de Paf para céu parcial.	88

Figura 3-10. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 60% de Paf para céu claro e parcial.	88
Figura 3-11. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 20% de Paf para céu claro.	89
Figura 3-12. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 20% de Paf para céu parcial.	90
Figura 3-13. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 40% de Paf para céu claro.	91
Figura 3-14. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 40% de Paf para céu parcial.	92
Figura 3-15. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 60% de Paf para céu claro.	92
Figura 3-16. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 60% de Paf para céu parcial.	93
Figura 3-17. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 20% de Paf para céu claro.	94
Figura 3-18. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 20% de Paf para céu parcial.	95
Figura 3-19. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 40% de Paf para céu claro.	96
Figura 3-20. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 40% de Paf para céu parcial.	97
Figura 3-21. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 60% de Paf para céu claro.	97
Figura 3-22. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 60% de Paf para céu parcial.	98
Figura 3-23. Ocorrência mensal de radiação e iluminância difusa e global.	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-1. Componentes de iluminância configuradas no TropLux 3.12.	37
Quadro 1-2 - Regras para Iluminação natural (Daylight rules of thumb) a partir da relação de parâmetros físicos arquitetônicos.....	43
Quadro 2-1 - Relação dos dados de simulação com dados monitorados de céu.	70
Quadro 2-2 - Relação dos dados de simulação com dados do Troplux/IES.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Limites dos índices de Brilho e Claridade para a classificação dos tipos de céus por Robledo e Soler.....	27
Tabela 1-2. Classificação das condições de céu segundo Amaral (1999) e Souza (2004).	28
Tabela 1-3. Área mínima de janela para garantir vista para o exterior.....	50
Tabela 1-4. Limites mínimos de fator de proteção em relação ao fator solar e a área de janela (PJF), para fachadas Norte, Sul e Leste, presentes no Código de Obras da cidade de Salvador.	54
Tabela 2-1 - Caracterização dos tipos de sombreamento (S), considerando a orientação e o percentual de abertura e sombreamento (PS).....	62
Tabela 2-2 - Comparação entre os Pafs propostos e a fração de 1/6 presente nas regulamentações edíficias.....	64
Tabela 3-1 - Relação entre frequências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2007. ..	81
Tabela 3-2 - Relação entre frequências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2008. ..	81
Tabela 3-3 - Relação entre frequências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2009. ..	82
Tabela 3-4. Variação do PULN (%) médio anual dos modelos 01, 02 e 03 sobre condições de céu parcial em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.....	99
Tabela 3-5. Variação do PULN (%) médio anual dos modelos 01, 02 e 03, sobre condições de céu claro, em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.....	100
Tabela 3-6 - Variação do PULN (%) anual sem tolerância para céu claro.	102
Tabela 3-7 - Variação do PULN (%) anual sem tolerância para céu parcialmente encoberto.	103
Tabela 3-8 - Variação do PULN (%) anual com tolerância de 30% para céu claro.....	105
Tabela 3-9 - Variação do PULN (%) anual com tolerância de 30% para céu parcialmente encoberto.	106
Tabela 3-10. Recomendações para o Modelo 01 sobre condições de céu claro.....	107
Tabela 3-11. Recomendações para o Modelo 01 sobre condições de céu parcial.	109
Tabela 3-12. Recomendações para o Modelo 02 sobre condições de céu claro.....	110
Tabela 3-13. Recomendações para o Modelo 02 sobre condições de céu parcial.....	111
Tabela 3-14. Recomendações para o Modelo 03 sobre condições de céu claro.....	112
Tabela 3-15. Recomendações para o Modelo 03 sobre condições de céu parcial.....	113

Tabela 3-16. Variação do PULN (%) médio anual do modelo 03, sobre condições de céu claro, parcial e encoberto em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.	114
Tabela 3-17. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu claro.	116
Tabela 3-18. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu parcial.	117
Tabela 3-19. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu encoberto.	118
Tabela 3-20. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu claro pelos dados da IES.	120
Tabela 3-21. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu parcial pelos dados da IES.	121
Tabela 3-22. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu encoberto pelos dados da IES.	122

GLOSSÁRIO

Albedo: medida relativa da quantidade de luz refletida, sendo uma medida de refletividade da superfície de um corpo.

ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers

Carga térmica solar: A radiação eletromagnética provinda do Sol é composta, além dos raios visíveis e os ultravioletas, de raios infravermelhos responsáveis pelo aquecimento na superfície terrestre.

CIBSE: Chartered Institution of Building Services Engineers.

C.I.E: Commission Internationale de l'Éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

Coeficiente de luz natural: proposto por Treguensa e Waters, 1983, relaciona a iluminância de um determinado ponto a partir de uma dada subdivisão do céu e a iluminância normal em um plano desobstruído, partindo desta mesma subdivisão. (Cabús, 2005)

Contraste: no sentido perceptivo “é a avaliação da diferença de aspecto de duas ou mais partes do campo observado, justapostos no espaço ou no tempo”. E no sentido psicofísico “é uma grandeza associada à diferença de luminosidade percebida” (ABNT – NBR 5461, 1991).

I.E.S.: Institute for Environment and Sustainability

Iluminância: é a densidade de fluxo luminoso que chega a uma superfície tendo como medida o lumens por metro quadrado (lm/m^2) ou lux (lx) (CORBELLA e YANNAS, 2009).

INPE-CRN: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro Regional do Nordeste

Luminância: é a energia luminosa recebida em uma direção dentro de um ângulo sólido, por metro quadrado (m^2) de superfície radiante, tendo como medida a candela por metro quadrado (cd/m^2) (CORBELLA e YANNAS, 2009).

Ofuscamento: é uma “condição de visão na qual há desconforto ou redução da capacidade de distinguir detalhes ou objetos, devidos a uma distribuição desfavorável das luminâncias, ou a contraste excessivo” (ABNT - NBR 5461, 1991).

Paft: Percentual de abertura na fachada

PULN: Percentual Útil de Luz Natural

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE QUADROS	8
Lista de tabelas	9
GLOSSÁRIO.....	11
INTRODUÇÃO.....	14
1 Revisão Bibliográfica	17
1.1 O processo projetual e o uso da iluminação natural	17
1.2 Iluminação natural em Edifícios comerciais e a eficiência energética	20
1.3 Disponibilidade de luz natural	21
1.3.1 Classificação das condições de céu.	24
1.4 Modelo representativo de espaços não residenciais	28
1.5 Sistemas de iluminação natural	30
1.6 Sombreamentos das aberturas laterais	31
1.7 Métodos de previsão da iluminação natural	33
1.7.1 Método gráfico.....	33
1.7.2 Método de cálculo	34
1.7.3 Método em modelos de escala reduzida.....	35
1.7.4 Métodos em simulações computacionais.....	36
1.8 Critérios de avaliação do desempenho da iluminação natural	37
1.8.1 O conceito de zona passiva	38
1.8.2 Índices de avaliação do nível de iluminação natural.....	39
1.9 Recomendações	41
1.10 Prescrições sobre luz natural.....	51
1.10.1 Programa brasileiro de etiquetagem de edificações comerciais, de serviço e públicos	51
1.10.2 Normas	52
1.10.3 Código de Obras	53
1.10.4 Considerações Finais	55
2 Método.....	57
2.1 Caracterização das condições de céu	58
2.1.1 Frequência dos tipos de céus	58
2.2 Caracterização dos modelos analisados	60
2.2.1 Parâmetros arquitetônicos	60
2.2.2 Seleção dos modelos	65

2.2.3	Determinação dos pontos de iluminância simuladas do plano de trabalho	66
2.3	Caracterização da simulação	67
2.3.1	Simulação com dados monitorados	68
2.3.2	Simulação com dados do Troplux/IES	71
2.4	Critérios de análise dos resultados	72
2.4.1	Determinação do percentual útil de luz natural (PULN).....	72
2.4.2	Caracterização da zona passiva de luz natural	76
2.5	Representação gráfica para recomendações	77
3	Análise dos Resultados	79
3.1	Caracterização do céu de Natal/RN.....	79
3.1.1	Frequência de ocorrência dos tipos de céu	79
3.1.2	Níveis de iluminância horizontal externa dos tipos de céus identificados	81
3.2	Comparação preliminar dos dados monitorados com os dados do Troplux/IES.....	82
3.3	Simulação com dados monitorados de céu	84
3.3.1	Determinação do percentual útil de luz natural (puln).....	84
3.3.2	Caracterização da zona passiva de iluminação natural.....	100
3.3.3	Representação gráfica para recomendações	107
3.4	Simulação com dados do Troplux/IES.....	114
3.4.1	Determinação do percentual útil de luz natural (puln).....	114
3.4.2	Caracterização da zona passiva de iluminação natural.....	116
3.4.3	Representação gráfica para recomendações	119
3.5	Comparações de resultados com dados monitorados e com dados do Troplux/IES	123
4	Conclusões	126
4.1	Limitações do trabalho	127
4.2	Recomendações para futuros trabalhos	128
5	Referências Bibliográficas	129
	Apêndice A – Planilha eletrônica de determinação da frequência de céus em Natal/RN	134
	Apêndice B – Análise dos meses representativos do ano de 2009	135

INTRODUÇÃO

O aproveitamento da luz natural proporciona benefícios à ocupação humana e redução do impacto ambiental das edificações. A luz natural promove melhores condições de iluminação interna, ambientes mais saudáveis e agradáveis para a permanência humana por meio da integração do interior com o exterior através das aberturas, assim como humaniza o ambiente, produzindo efeitos de luz e sombra, transmitindo às pessoas a sensação de bem-estar e de temporalidade. Quanto à sustentabilidade, reduz o uso e o consumo de sistemas artificiais de iluminação e, se bem elaborado, até mesmo o consumo do sistema de condicionamento de ar.

O potencial de uso da iluminação natural no Brasil é notório devido às características dos climas e latitudes no território nacional, pois a iluminância externa é abundante. “Ao considerar o uso final da energia elétrica destinado à iluminação artificial em ambientes de escritórios, de 12% a 54% (2008b), e as estimativas de economia, de 30% a 70%” (GONÇALVES e VIANNA, 2001), a iluminação natural ganha um destaque como estratégia de eficiência energética.

Da mesma forma que há grande disponibilidade de luz natural nas cidades brasileiras, há muita radiação solar, a qual contribui para o aumento da carga térmica dos ambientes. Embora se estimule o sombreamento das aberturas das edificações das zonas bioclimáticas 7 e 8 por meio de normas e regulamentos de eficiência energética, não se discute o aproveitamento da luz natural. Dessa forma, intui-se que aberturas sombreadas devem ser redimensionadas para aproveitar a luz difusa, partindo da hipótese de que é possível obter iluminação natural mesmo que as aberturas sejam sombreadas em relação à radiação solar.

O objetivo principal deste trabalho é propor procedimentos para analisar o desempenho da iluminação natural de aberturas sombreadas em ambientes de salas de escritórios para o clima luminoso da cidade de Natal/RN.

Os objetivos específicos são:

- Comparar os dados monitorados na análise do desempenho luminoso e verificar sua veracidade;
- Caracterização do PULN como parâmetro de quantificação do aproveitamento de luz natural no ambiente construído;
- Determinação do alcance da zona passiva de iluminação natural de cada modelo,
- Propor forma gráfica de representar os resultados de simulações para o entendimento do projetista.

O trabalho está estruturado em Revisão Bibliográfica, Método, Análise dos Resultados, Conclusões e Referências Bibliográficas. A Revisão Bibliográfica discute os principais temas sobre

iluminação natural, como importância do assunto, normas e recomendações, caracterização de céu, métodos de predição e critérios de análise de desempenho.

O capítulo Método descreve os procedimentos adotados para desenvolvimento da proposta para avaliar o comportamento da luz natural. São identificados modelos virtuais para representar o ambiente construído. Através do software Troplux (versão 3.12 e 5.0), propõe-se simplificações para a simulação dinâmica através de simulações com dados monitorados de céu e dados do Troplux/IES. São propostos como critérios de análise dos resultados o PULN e determinação da zona passiva de iluminação natural no ambiente construído e representações gráficas para recomendações.

O capítulo Análise dos Resultados apresenta os resultados das simulações computacionais quantificando o aproveitamento anual da iluminação natural para cada modelo e a profundidade de alcance da luz natural dentro do ambiente construído em comparação com o Código de Obras da cidade de Natal/RN. É feito para os dois métodos de simulação e após comparados.

No capítulo 6 apresenta as principais conclusões e discussões produzidas nessa dissertação.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada neste capítulo aborda os principais assuntos que estruturam o desenvolvimento do método do trabalho. Primeiramente é apresentada uma fundamentação teórica relacionada ao tema da iluminação natural vinculando a sua importância ao processo projetual e a eficiência energética.

Em seguida, é apresentado o entendimento sobre a disponibilidade de luz natural e o processo de caracterização das condições de céus.

Em um terceiro momento, busca-se apresentar padrões arquitetônicos de ambientes comerciais desenvolvidos em estudos anteriores e mostrar métodos de se prever a iluminação natural dentro dos ambientes, tendo-se em destaque as simulações computacionais.

Por fim, será visto alguns critérios para avaliação do desempenho da luz natural, as recomendações para obtenção da iluminação natural – Daylight rules of thumb – e prescrições sobre iluminação natural, finalizando com algumas considerações pessoais sobre o referente sub-capítulo.

1.1 O PROCESSO PROJETUAL E O USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Dentre as etapas do processo projetual, é na fase de concepção do projeto arquitetônico onde se consegue melhores resultados de adequação da arquitetura ao clima, do ponto de vista de soluções construtivas, a fim de proporcionar ao homem melhores condições de conforto e redução do consumo de energia.

No que diz respeito ao aproveitamento da luz natural nos edifícios, é papel do arquiteto bem relacionar as variáveis climáticas, as exigências humanas de conforto visual, aliadas a boas soluções arquitetônicas, mas não de maneira acidental, e sim na tentativa de tornar a relação Arquitetura - Clima - Homem inseparável na prática de projetar.

O clima é composto por elementos climáticos que afetam diretamente o conforto do homem e são determinantes da arquitetura local, assim, devido às diversidades de climas torna-se essencial levar em consideração a necessidade em se projetar tendo conhecimento do comportamento climático local.

Do ponto de vista de se projetar fazendo uso da iluminação natural, entender a climatologia local é fundamental, pois o seu aproveitamento no ambiente construído dependerá da quantidade de radiação solar que atinge as aberturas, da nebulosidade do céu e do clima luminoso externo, sendo essas características variáveis em latitudes diferentes.

O conforto visual é um determinante de projeto que para se obter uma boa iluminação no ambiente construído é importante que se saiba qual a tarefa visual desempenhada no espaço para assim especificar a intensidade de luz suficiente, boa definição de cores, sendo essencial a ausência de ofuscamento e fadiga visual.

“(…). Conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com o menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidente. (...)” (LAMBERTS *et al.*, 1997, p.44).

Em nosso clima, onde a radiação solar é intensa e o céu se apresenta com bastante brilho luminoso, é aconselhável proteger o espaço interno da radiação direta solar, responsável pelo aquecimento e ofuscamento, para melhor atender as exigências humanas de conforto térmico e visual.

Hopkinson *et al.* (1966/1975, p.635) distingue dois tipos principais de clima tropical: o quente e seco e o quente e úmido, onde “o primeiro requisito dum projecto de luz natural tropical é adquirir uma idéia clara das condições climáticas em função da iluminação disponível, da distribuição da iluminância do céu e da freqüência da insolação”.

Por sua vez, as variáveis arquitetônicas devem ser estudadas para responderem adequadamente ao clima local e atender as necessidades do homem, onde em uma região quente e úmida, com radiação solar muito intensa, uma maior preocupação deve-se ter com o edifício e seu desempenho perante os elementos climáticos, tendo como objetivo criar uma arquitetura habitável filtrando os elementos desejáveis e bloqueando os maléficis ao homem.

“O primeiro passo para obter uma edificação condicionada passivamente está no cuidado com a sua forma”, segundo o arquiteto Yeang, em 1999 (apud LAMBERTS e PEDRINI, 2003, p. 209). A forma arquitetônica pode exercer bastante influência sobre o conforto do usuário onde o clima local deve ser explorado para se conseguir melhores resultados e menores gastos de energia. Outra parte muito importante no trabalho arquitetônico consiste na determinação da orientação do edifício, porque através de seu posicionamento que se determina a quantidade de radiação que atinge as fachadas e se há aproveitamento do movimento natural da iluminação natural.

Determinadas a forma e a orientação, o envoltório assume grande responsabilidade no desempenho interno da edificação. A pele do edifício funciona como um filtro absorvendo ou bloqueando as condições externas para o interior, onde no estudo da elaboração deste envelope deve se considerar, principalmente, a radiação solar, diante da qual os elementos construtivos se comportam de forma diferente.

Nesse sentido, no que diz respeito ao aproveitamento da iluminação natural, as aberturas são um importante parâmetro construtivo relacionado à envoltória, pois influenciam diretamente nos ganhos térmicos e lumínicos devendo ser projetadas com cautela.

A luz natural apresenta uma série de vantagens para que esta seja considerada como um condicionante de projeto, mas a escolha correta do tamanho das aberturas e o uso ou não de protetores solares exige estudos sobre a disponibilidade de luz natural e o movimento aparente do Sol em cada localidade.

Desta maneira, mesmo tendo o conhecimento sobre o comportamento climático do local e das necessidades humanas específicas para cada ambiente, é necessário interpretá-los segundo princípios arquitetônicos. Segundo Romero (2007, p.28), “o impacto negativo ao qual a população é submetida quando o construído transforma-se em indutor de alterações climáticas pode ser evitado com um desenho adequado”.

Nos dias atuais, a urbanização excessiva tem colocado para segundo plano as questões ecológicas, tendo a arquitetura, assim como tantas outras áreas de conhecimento, o dever de buscar soluções que dêem respostas exequíveis as novas exigências. É neste contexto que surge a Arquitetura Bioclimática.

Conforme Braga e Amorim (2009), o termo bioclimatismo foi utilizado pela primeira vez por Victor Olgay, na década de 60, quando estudava os princípios de adaptação das edificações ao clima e ao homem. Romero (2007) classifica arquitetura bioclimática como “uma etapa atual do movimento climático-energético, é uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio”.

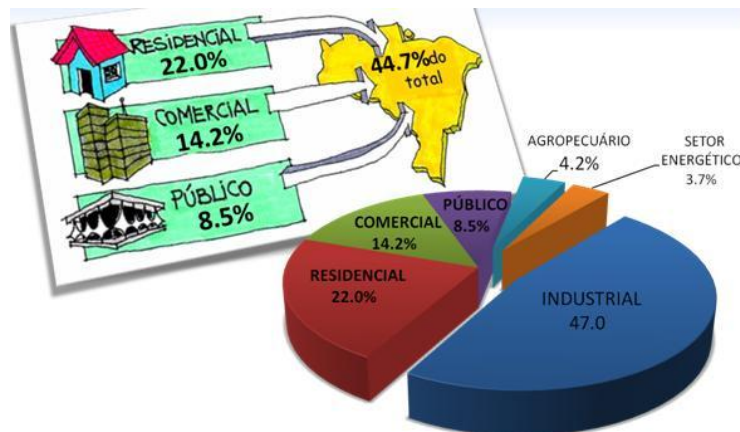
E ainda, de acordo com a ANTAC arquitetura bioclimática é aquela em que a qualidade ambiental e a eficiência energética são obtidas por meio do aproveitamento racional dos recursos da natureza, de modo a contribuir com o equilíbrio do ecossistema no qual está inserida. Suas principais características são: adequação do espaço construído ao meio climático e às necessidades humanas, racionalização do consumo de energia e conforto ambiental proporcionado pelo uso otimizado de recursos renováveis. (BRAGA e AMORIM, 2009).

O grande desafio hoje, da arquitetura bioclimática, é torná-la “o ponto de partida” de qualquer projeto arquitetônico colocando em prática todo o conhecimento acadêmico já desenvolvido nessa área, aplicando estratégias no início da atividade projetual, visto que, os arquitetos concentram-se mais nos aspectos formais, enquanto que propostas bioclimáticas são deixadas para uma segunda opção.

1.2 ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A forte influência tecnológica e a alienação com questões energéticas acarretaram uma atual realidade de graves impactos ambientais e altos valores de consumo de energia, onde 44,7% do total da energia consumida no país são destinados às edificações residenciais, comerciais e públicas (Figura 1-1).

Figura 1-1 - Setores brasileiros de Consumo de energia elétrica.



Fonte: BEN, 2007 apud Lamberts e Carlo, 2008.

De acordo com Lamberts (1997), foi constatado que maior parte da energia consumida em residências destina-se ao uso de geladeiras e chuveiros enquanto que a iluminação e o ar condicionado são os grandes usos finais de energia no setor comercial, estando estes sistemas relacionados ao aumento do consumo energético nestes setores, conforme Figura 1-2.

Figura 1-2 - Comparação do uso final da energia elétrica brasileira no setor comercial.



Fonte: Procel-Eletróbrás, 2007 apud Lamberts e Carlo (2008)

Os edifícios comerciais de salas de escritórios possuem seu maior período de funcionamento durante os horários em que há uma grande disponibilidade de luz natural, onde, segundo Amorim e Fanchiotti (2001), o uso desta energia para iluminação interna de tais edificações pode promover um

melhoramento do ambiente quando se tenta elevar a qualidade ambiental e a eficiência energética, porque estes setores consomem uma alta energia em resposta a promoção de um ambiente confortável, porém o consumo de energia não significa um indicador de grau de conforto.

Analisando por este contexto, o trabalho de dissertação a ser desenvolvido aqui se baseia na utilização da iluminação natural para ambientes internos de salas comerciais para o clima luminoso de Natal/RN, visto que estas possuem seu maior consumo de energia devido ao uso de equipamentos de climatização e iluminação artificiais e em período diurno, momento em que há luz natural em abundância

Nesta ótica, trabalhos acadêmicos nas Universidades de Arquitetura e Urbanismo têm-se direcionado aos estudos sobre questões energéticas e ao desenvolvimento de diretrizes arquitetônicas que façam uso de estratégias passivas, além do mais, arquitetos estão recebendo uma crescente pressão em produzir edificações mais comprometidas com o ambiente e com a racionalização de energia. Assim, é urgente a necessidade de estabelecer orientações, recomendações, dicas ou diretrizes arquitetônicas para o uso de estratégias passivas, dentre elas a luz natural, apropriadas a prática projetual e que limitem o uso de lâmpadas elétricas apenas nos períodos quando aquela é insuficiente.

Obter a eficiência energética através de sistemas de iluminação artificial no interior do ambiente construído depende fundamentalmente da ação integrada entre o uso adequado da iluminação natural junto a sistemas de iluminação artificial eficientes, onde a utilização do segundo deve ser de forma complementar, ou seja, apenas ser acionado no momento em que a iluminação natural não conseguir mais suprir os níveis de iluminação necessários.

1.3 DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

Há uma necessidade em se trabalhar com iluminação natural do ponto de vista do conforto do usuário e para minimizar o uso dos sistemas elétricos de iluminação durante o horário diurno, contudo, conforme Souza (2003), para se determinar os níveis internos de iluminação proporcionados pelo uso da iluminação natural deve-se ter em mente que estes dependem essencialmente de dois fatores: das características do ambiente construído, tais como a geometria dos espaços, tamanho e orientação das aberturas e refletância das superfícies, assim como na quantidade de luz natural disponível no ambiente externo, ou seja, a disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz proveniente do Sol e do céu específicas para uma localidade, data e hora, sendo a altura solar e as condições de céu responsáveis pela caracterização do clima luminoso externo.

Scarazzato (1995, apud BRANDÃO, 2003), dá o primeiro passo para a avaliação da disponibilidade de luz natural nas principais cidades brasileiras, aplicando o modelo da IES através do software DLN, que fornece, dia a dia, as curvas de iluminância, tanto em plano horizontal quanto para

oito principais orientações verticais, para os tipos de céu claro, parcialmente encoberto (50% de cobertura de nuvens) e encoberto. No entanto, o programa não apresenta o tipo de céu típico para cada dia, ficando a escolha de qual curva tomar a cargo do usuário. Ou seja, só é possível calcular a frequência de ocorrência considerando-se todos os dias com mesmo tipo do céu, o que não corresponde à realidade.

Ao se trabalhar com iluminação natural em edificações deve-se entender que a natureza desta luz é de uma fonte variável e que a avaliação do nível de iluminação interno encontrado é altamente depende do comportamento luminoso externo. Nesse contexto, a variabilidade da luz natural é o que a torna difícil de ser aplicada, onde mesmo com o movimento aparente do Sol na abóboda celeste, segundo Toledo (2008), produzir um padrão previsível de quantidade e direção da luz natural disponível a uma relativa localidade, considerando as condições atmosféricas, a latitude do local, a posição do Sol no céu e a quantidade de nuvens e poeira no céu geram um padrão imprevisível afetando a avaliação da disponibilidade de luz natural.

A natureza dinâmica da luz natural dificulta a predição de luminosidade, onde se acredita que através de medições periódicas das condições de luminosidade externa consegue-se conhecer a disponibilidade de luz natural em uma determinada localidade e assim auxiliar o desenvolvimento de projetos energeticamente otimizados devido a utilização adequada da luz natural. Por isso, Souza (2004, p.12) diz que para caracterização da disponibilidade de luz natural “não haverá grande certeza na predição de valores instantâneos, mas com dados medidos de longo prazo, adequadamente tratados”.

Conforme Araújo (2006), a nebulosidade local, que está relacionada ao clima da cidade, influencia na disponibilidade de luz natural porque determina o tipo de céu mais freqüente sendo este dado importante de ser estudado, pois ajuda a definir a melhor estratégia para o aproveitamento luminoso. Sob condições de céu encoberto, a nebulosidade aumenta a difusão da luz e a iluminância solar direta não está presente. No entanto, nas condições dos trópicos, onde predomina o céu do tipo claro e parcialmente encoberto, com nebulosidade baixa e moderada respectivamente, a radiação direta do Sol é intensa e freqüente, sendo necessária a indicação de uso de protetores solares.

A dificuldade em caracterizar a disponibilidade de luz natural em território tropical brasileiro, de clima quente e úmido, está no fato da presença de céus parcialmente encobertos onde a movimentação desordenada das massas de nuvens impossibilita a predição de valores fixos de iluminância em um plano horizontal e vertical externo, sendo necessárias medições constantes para tal caracterização.

Assim, acredita-se que tais medições é a forma mais concreta de se caracterizar o comportamento real do fenômeno da iluminação natural em nosso país, visto que, de acordo com Pereira, Pereira e Souza (2003), estudos mostram que o comportamento da luz natural em países de clima tropical e subtropical se difere bastante daqueles países de clima temperado e de céu

encoberto, fazendo com que o uso de modelos de predição de iluminação natural desenvolvidos pela Europa e América do Norte não correspondam à realidade brasileira. “Parecia claro que a falta de informações sobre o “clima luminoso externo” impedia a avaliação do desempenho dos sistemas de iluminação natural em ambientes internos”. (SOUZA, 2004, p.15).

De acordo com Souza (2004), até pouco tempo atrás, poucas informações havia sobre a disponibilidade de luz natural na maior parte do mundo, sendo esta prevista pela da conversão de dados de irradiância solar em iluminância através de “coeficientes de eficácia luminosa” poucos precisos. Segundo Pereira e Souza (2004), são recentes os esforços para quantificar, de forma adequada, a disponibilidade de luz natural através do mundo, onde com a criação do Programa Internacional de Medição de Iluminação Natural (IDMP) em 1985, a CIE iniciou a implantação de estações de medição pela Europa, América do Norte e América do Sul, havendo apenas duas estações de medição (Classe Geral) em território brasileiro: Florianópolis e Belo Horizonte.

De acordo com a CIE 108:1994 (apud PEREIRA et.al, 2003b), para uma Estação de Medição de Classe Geral devem ser medidas: iluminância global (E_g) e difusa (E_d) horizontal (em klux), irradiância global (I_g) e difusa (I_d) horizontal em W/m^2 ; iluminância e irradiância nas superfícies verticais para Norte, Leste, Sul e Oeste (E_n , E_e , E_s , E_w e I_n , I_e , I_s , I_w respectivamente) e luminância do zênite (L_z) em lm/m^2 .

Em Dezembro de 2001 entrou em operação a primeira Estação de Medição de Iluminação Natural brasileira (EMIN-Floripa), localizada em Florianópolis, estabelecida de acordo com as normas do International Daylighting Measurement Programme – IDMP - (Programa Internacional de Medição de Iluminação Natural), sendo, suas medições feitas de acordo com as recomendações da Comissão Internacioal de Iluminação (Comission Internacionale de l'Eclairage - CIE) e do Guide to recommended practice of daylight measurement (Guia para a prática de medições de iluminação natural), aprovado em 1994 sendo adotado pela CIE 108:1994. Em 2006 foram feitas as primeiras medições da segunda Estação de Medição de Iluminação Natural (EMIN-BH), localizada em Belo Horizonte, onde esta, da mesma maneira da anterior, segue as normas do IDMP e as recomendações da CIE.

Deste o ano de 2006, foi criado no INPE-CRN o Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais - LAVAT -. A partir daí, foi instalada, em 2007, a estação solarimétrica, a qual monitora variáveis de luminosidade e radiação, tanto difusa como global, essenciais para caracterizar o comportamento do céu da cidade de Natal-RN. Destaca-se que a estação solarimétrica está compatível tanto com a configuração básica do Projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) como com a configuração de medição de iluminação natural básica do IDMP (International Daylight Measurement Programme).

Mesmo com as duas primeiras estações de medição de iluminação natural no território nacional, ainda são poucos os estudos sobre o comportamento da iluminação natural o que propicia uma

dificuldade em se propor recomendações projetuais para penetração da luz natural no interior edificado. Além do mais, há uma deficiência de integração entre as informações sobre a disponibilidade de luz natural e a prática profissional do arquiteto.

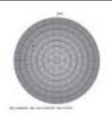
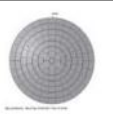
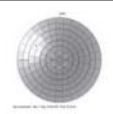
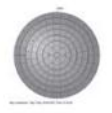
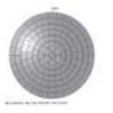
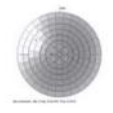
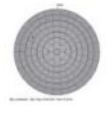
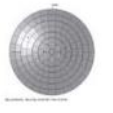
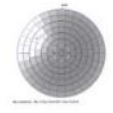
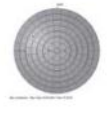
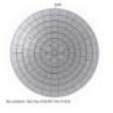
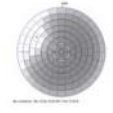
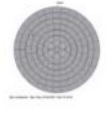
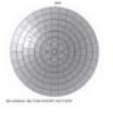
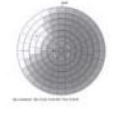
1.3.1 Classificação das condições de céu.

De acordo com a NBR 15215-2 (ABNT, 2005c), condições de céu “é a aparência da abóbada celeste quando vista por um observador situado na superfície terrestre, que está relacionada à distribuição espacial da sua emissão de luz”. Tais condições de céu, bastante influenciadas por elementos atmosféricos, são responsáveis pela disponibilidade de luz natural do sol e do céu, sendo elas classificadas como tipologias de céu.

De acordo com Kittler (apud SOUZA, 2004), historicamente, vários modelos de céu padrão foram desenvolvidos para representar a distribuição das luminâncias do céu, sendo no século XVIII e XIX, a hemisfera uniforme de Lambert, com luminância unitária, o modelo simplificado, que permitiu o primeiro método de cálculo de iluminação natural. Posteriormente, século XX, o modelo de céu encoberto foi testado e apenas recentemente, com equipamentos de medição de irradiância e iluminância de céu que foi possível desenvolver novos modelos de classificação de céus

Baseando-se nos trabalhos de Kittler, Perez e Darula, desenvolvidos em 1997, adotaram-se um conjunto de 15 modelos de céu para serem usados nos cálculos de iluminação natural, sendo eles divididos em três grandes grupos de cinco, (Figura 1-3), onde nestes modelos de céu as diferentes luminâncias são definidas em relação à luminância do zênite, ou em unidades absolutas relacionadas a turbidez da atmosfera, ou ainda, relacionados a iluminância difusa horizontal. A distribuição de luminância dos modelos é simétrica em relação ao meridiano que passa pelo Sol e adaptada a posição momentânea deste. (CIE 1999 apud ARAÚJO 2006).

Figura 1-3 – Classificação dos 15 modelos de céus da CIE.

	Nº	Exemplo		Nº	Exemplo		Nº	Exemplo
Céu encoberto	1		Céu parcialmente nublado	6		Céu claro	11	
	2			7			12	
	3			8			13	
	4			9			14	
	5			10			15	

Fonte: CABÚS apud ARAÚJO, 2006.

Entretanto, de acordo com Pereira e Souza (2004), são os céus claro, encoberto e o céu parcialmente encoberto que se encontra em grande parte da literatura científica, pois se acredita que sejam suficientes para caracterizar as condições de céu de determinada localidade.

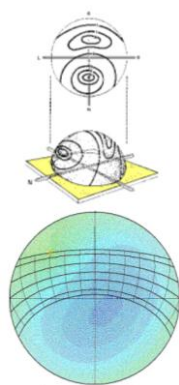
No Brasil, a ABNT (ABNT, 2005d), em sua recente normalização para Conforto Ambiental, - Iluminação natural – Parte 02: Procedimento de cálculo para estimativa da disponibilidade de luz natural – faz referência a três tipos de céu, sendo eles o céu claro, o céu encoberto e o céu parcialmente encoberto ou intermediário, desconsiderando o céu uniforme devido a sua inexistência em condições reais. Nela se encontra descrito:

- Céu claro: caracteriza-se pela inexistência de nuvens e baixa nebulosidade, onde as reduzidas partículas de água são responsáveis pela cor azul característica do céu. Apresenta-se mais brilhante próximo ao Sol e nas regiões próximas a linha do horizonte e mais escuros a 90° do Sol. A luminância de qualquer ponto da abóboda celeste é relacionada à luminância do zênite e a altura solar. (Figura 1-4)
- Céu encoberto: caracteriza-se pelas nuvens ocuparem toda a superfície da abóboda celeste, onde as grandes partículas de água suspensas na atmosfera são responsáveis pelas reflexões, refrações e pela sua cor cinza-claro. A luminância do zênite é três vezes

maior do que a da área próxima a linha do horizonte e a luminância em qualquer ponto da abóboda celeste é correlacionada a luminância do zênite. (Figura 1-5)

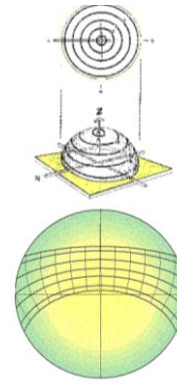
- Céu parcialmente encoberto: caracterizado por ser a condição climática intermediária que ocorre entre os céus padronizados como céu claro e totalmente encoberto, onde a luminância de qualquer ponto da abóboda depende da altura solar. O Sol e a sua auréola ao redor são excluídos na distribuição das luminâncias.

Figura 1-4 - Distribuição de luminâncias de céu claro



Fonte: Souza, 2004.

Figura 1-5 - Distribuição de luminâncias do céu encoberto.



Fonte: Souza, 2004.

No entanto, seguindo este contexto, Cabús (apud ARAÚJO 2006), baseado em um método simplificado, analisando uma pequena amostra de dados de luminância do céu e iluminância horizontal simultânea, coletados entre os meses de junho e agosto, sugeriu que os modelos de céu da CIE de número 5 (encoberto), 10 (parcialmente encoberto) e 14 (claro) poderiam ser utilizados para o estudo de iluminação natural em Maceió, sendo esta metodologia também utilizada nesta dissertação.

“Uma classificação de céu não deve apenas determinar os tipos de céu, mas também a faixa e a frequência de ocorrência de iluminâncias em dado local, tipos de céu que não são esperados na localidade, tipos de céu mais raros e mais frequentes, tipos de céu de frequência de ocorrência mais provável”. (KITTLER et. al., 1997 apud SOUZA, 2004, p.18). Onde, conforme Toledo (2008), dados de frequência de ocorrência de tipos de céu pode auxiliar a indicar períodos do ano em que haverá maior disponibilidade de luz natural.

Para que possa propor modelos de caracterização das condições de céu é necessário conhecer os principais condicionantes climáticos que afetam a ocorrência de tipos de céu. Assim, para isso, diversos autores propõem índices que funcionam como variáveis na implementação de modelos matemáticos. Perez (1990 apud SOUZA, 2004) propõe o uso de dois índices para a avaliação das condições de céu: o Índice de Claridade (ϵ') e o Índice de Brilho (Δ), onde estes juntamente com a

altura solar parametrizam as condições de céu, do encoberto ao claro. Tais índices, também são utilizados por Robledo e Soler mais tarde. (SOUZA, 2004).

Segundo Pereira, Pereira e Souza (2003a), o Índice de Claridade (ϵ') e o Índice de Brilho (Δ) são calculados para a média de cada meia hora dos dados medidos onde, o primeiro expressa a transição de um céu encoberto a um céu claro de baixo turvamento, enquanto que o segundo reflete o grau de opacidade/espessura das nuvens. Conforme Equação 1-1 e Equação 1-2.

Equação 1-1 - Índice de Claridade.

$$\epsilon' = \frac{(I_d + I_n) + 1,041 Z^3}{I_d + 1,041 Z^3}$$

Onde: I_d - irradiância difusa.
 I_n - Irradiância normal
 Z - ângulo zenital do sol (radianos)

Fonte: Pereira; Pereira e Souza, 2003.

Equação 1-2 - Índice de Brilho.

$$\Delta = \frac{I_d m}{I_e}$$

Onde: I_e - irradiância extraterrestre

Fonte: Pereira; Pereira e Souza, 2003.

Inicialmente, Perez (1990 apud PEREIRA, PEREIRA e SOUZA, 2003a) adotou valores de (ϵ') > 6,00 e (Δ) < 1,23, para caracterizar as condições de céu claro e límpido. No entanto, Robledo e Soler (2000 apud PEREIRA, PEREIRA e SOUZA, 2003a) decidiram adotar a classificação que indica condições de céu claro para (ϵ') a partir de 5,00 e (Δ) < 1,2, sendo esta utilizada na presente dissertação. De acordo com a Tabela 1-1 a classificação ficou a seguinte:

Tabela 1-1 - Limites dos índices de Brilho e Claridade para a classificação dos tipos de céus por Robledo e Soler.

Categorias de céu	ϵ	Δ
Céu encoberto	1 – 1,20	>0,30
Céu intermediário	1,20 – 5,00	0,12 – 0,30
Céu claro	$\geq 5,00$	< 0,12

Fonte: Pereira; Pereira e Souza, 2003

Amaral, em 1999, e Souza, em 2004, fizeram uso destes índices em sua dissertação e tese, respectivamente, para a caracterização dos tipos de céu de Florianópolis. Porém, os dados estatísticos apresentados por Souza, que analisou os anos de 2002 e 2003, diferem dos de Amaral, que analisou de 1994 a 1997, pois a partir de representações gráficas das medidas de iluminâncias global e difusa conjugadas com fotografias do céu que fornecem indicativo para o estabelecimento dos limites adotados para os índices, Souza resolveu adotar os valores de céu claro proposto por Robledo e Soler (SOUZA, 2004). Tabela 1-2.

Tabela 1-2. Classificação das condições de céu segundo Amaral (1999) e Souza (2004).

Céu	Amaral		Souza	
	ϵ'	frequência (%)	ϵ'	frequência (%)
Claro	$\geq 6,00$	11,0	$\geq 5,0$	26,8
Intermediário	1,25 - 6,00	37,6	1,2 - 5,0	34,9
Encoberto	1 - 1,25	51,3	1 - 1,2	38,3

Fonte: Souza, 2004.

A partir desta definição, pode-se analisar a frequência de ocorrência dos tipos de céu para cada época do ano. Essa informação é bastante importante para a análise de desempenho dos sistemas de iluminação natural e em projetos de conservação de energia, já que cada tipo de céu implica diferentes características de projeto e de desempenho luminoso do ambiente. (PEREIRA e SOUZA, 2004).

Pode-se ainda, de acordo com Souza (2003), para a caracterização das condições de céu adotar o método da cobertura do céu preconizado pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EUA), onde estima visualmente a cobertura de nuvens no céu em uma escala percentual de 0 a 100%. Seguindo este método, NBR 15215-2 (ABNT, 2005d), apresenta as seguintes condições de céu:

Céu claro : 0% a 35%

Céu parcialmente encoberto : 35% a 75%

Céu encoberto : 75% a 100%

1.4 MODELO REPRESENTATIVO DE ESPAÇOS NÃO RESIDENCIAIS

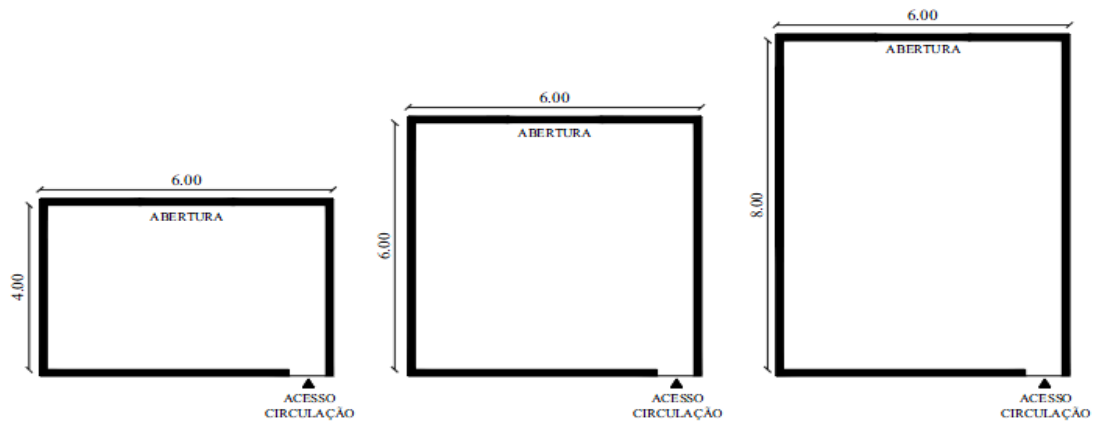
No ano de 2004 foi realizada uma pesquisa nacional, financiada pelo CNPQ, denominada "Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios do Brasil", onde, para tal pesquisa, foi feito um levantamento dos edifícios de escritórios existentes na cidade de Maceió com o objetivo de identificar a quantidade e as características construtivas de edifícios de escritórios de mais de cinco pavimentos

Primeiramente, foi feito um levantamento descritivo e fotográfico de todas as edificações comerciais de escritórios e, em seguida, foi efetuado um agrupamento das principais características encontradas em tais modelos de edificação com a finalidade de permitir a elaboração de tipologias padronizadas, em se tratando de Maceió, para clima quente e úmido.

Assim, Cardoso (2006), em sua dissertação de mestrado, para a elaboração das tipologias de estudo, adotou como base o resultado de tal pesquisa, onde, de acordo com o levantamento dos edifícios de escritórios localizados em Maceió, foram selecionados os dois tipos de edifícios de

escritórios mais recorrentes na cidade, sendo o primeiro apresentando um corredor central com 05 salas distribuídas em ambos os lados, e o segundo, apresentando um corredor lateral, com a mesma quantidade de salas, porém distribuídas em apenas um lado. As salas de escritórios, por sua vez, possuem um pé-direito de 2.80m, largura constante de 6.00m e comprimentos variáveis de 4.00m, 6.00m e 8.00m, conforme Figura 1-6.

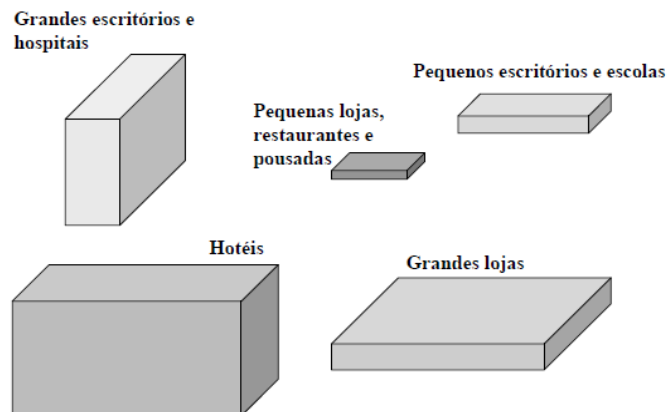
Figura 1-6. Dimensões das salas de escritórios propostas para a cidade de Maceió.



Fonte: Cardoso, 2006.

Carlo (2008a), em sua tese de doutorado, fez um levantamento fotográfico de 1103 edificações não residenciais e de uso exclusivo em cinco capitais brasileiras, Florianópolis; São Paulo; Salvador; Recife e Belo Horizonte, a fim de caracterizar o mercado construtivo nacional e gerar modelos representativos para 10 atividades comerciais e institucionais. Assim, primeiramente, foram identificadas volumetrias diferenciadas e consideradas típicas para cada atividade comercial, conforme Figura 1-7.

Figura 1-7. Volumetria das atividades comerciais levantadas no Brasil.



Fonte: Carlo, 2008.

As características adicionais, como percentuais de abertura na fachada (Paf), ângulos de sombreamento, número de pavimentos e forma, coletadas no levantamento fotográfico, foram determinadas em função de cinco atividades comerciais, como as grandes e pequenas lojas, grandes e pequenos escritórios e hotéis em virtude do número de amostras e a facilidade em se encontrar aparelhos de ar condicionado em tais setores.

Dentre as cinco atividades amostradas, a maioria das edificações apresenta o Paf entre 21% e 40%, exceto os grandes escritórios, com um Paf entre 41% e 60%. Estas ainda apresentam em predominância o vidro incolor, com exceção dos grandes escritórios onde a cor cinza predomina em 70%, e a pouca ocorrência de Ângulos Verticais de Sombreamento, com limite de 25°, sendo menos comum ainda a freqüência de Ângulos Horizontais de Sombreamento.

Desta forma, após o levantamento fotográfico e um levantamento in loco, responsável pela caracterização de ocupação da edificação, determinou-se um modelo representativo para cada atividade comercial, sendo as dimensões adotadas para o modelo de grandes escritórios a retangular de 27m x 7,8m e com Paf de 46%, resumidamente.

1.5 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL

O aproveitamento da iluminação natural nas edificações de forma satisfatória, em termos quantitativos e qualitativos, está relacionado principalmente ao momento de concepção arquitetônica, pois variáveis como o revestimento das superfícies, altura do pé-direito, profundidade das salas além da forma, orientação e disposição das aberturas na superfície regulam o comportamento da luz natural no interior dos ambientes.

No que se refere às aberturas sobre as superfícies (laterais e zenitais), segundo a NBR 15215-1 (ABNT, 2005c), estas são sistemas de iluminação natural classificadas em componentes de passagem, pois são elementos que permitem a passagem de luz natural de um ambiente para outro e assumem grande responsabilidade no desempenho luminoso interior, sendo as aberturas laterais (janelas) objeto de estudo desta dissertação.

Em cada período, o desenho da janela esteve determinado, por considerações sociais, tecnológicas e econômicas, além dos requisitos estritamente luminotécnicos. Responsáveis pela determinação da forma, caráter e estilo dos edifícios, as janelas que, inicialmente, deixavam perceber a estreita relação entre arquitetura e o clima, gradualmente foram aumentando de dimensões e hoje estão presentes ora em pequenas aberturas ou em forma de grandes “peles” de vidro.

Conforme Hopkinson et al. (1966/1975) a principal função de uma janela é proporcionar uma visão do exterior e permitir que a luz penetre no interior resultando em uma iluminação satisfatória a uma atividade. Porém as janelas ao serem projetadas devem limitar suas dimensões por várias

outras razões divergentes da iluminação, pois as principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nos fechamentos transparentes, como as janelas.

Assim, para se obter uma adequada iluminação natural junto a um conforto térmico em um clima quente e úmido como o da cidade de Natal, o projeto arquitetônico deve levar em consideração a orientação, o tamanho das aberturas e o uso de protetores solares. “A eliminação do desconforto térmico solar é provavelmente o factor dominante que regula o projeto da fenestração nos edifícios em zonas tropicais”. (HOPKINSON et. al., 1966/1975, p.635).

“Janelas amplas podem proporcionar níveis mais altos de iluminação natural e melhor vista para o exterior, mas também podem permitir maiores ganhos ou perdas de calor, o que refletirá no consumo de energia de edificações condicionadas artificialmente.”(GHISI; IBRAHIM; TINKER, 2005, p.81).

1.6 SOMBREAMENTOS DAS ABERTURAS LATERAIS

Preocupações com o sombreamento já existiam na arquitetura vernacular, porém foi na arquitetura moderna brasileira que muitos elementos de proteção solar foram assimilados por arquitetos em resposta a necessidade de proteção a radiação solar excessiva e controle da luz, onde, ao mesmo tempo em que, os brises começaram a ser utilizados no Rio de Janeiro, os cobogós tiveram suas primeiras utilizações no Nordeste (BITTENCOURT, 2004). Atualmente, o sombreamento das aberturas é recomendável pela norma nacional NBR 15220-3 (ABNT, 2005a) – a qual determina o zoneamento bioclimático brasileiro, onde como diretriz construtiva para a zona bioclimática 8, que reúne parte da região Norte e litoral Nordestino, está presente o uso de aberturas grandes e sombreadas.

Para o Brasil, país tropical situado entre as latitudes de 5° N a 34° S, tendo a maior parte de seu território localizado entre o equador e o trópico de capricórnio, a influência da radiação solar sobre as edificações é crítica assim, os elementos de proteção solar apresentam como função primordial impedir a incidência da radiação direta sobre as superfícies verticais das edificações, principalmente as transparentes e translúcidas, e como função secundária o controle do excesso de luminosidade (GUTIERREZ e LABAKI, 2005) que, segundo Hopkinson et al. (1966/1975), em clima quente e úmido é necessário proteger as pessoas que estão no interior do edifício de céus excessivamente brilhantes, onde a escolha de dispositivos adequados de proteção é o melhor caminho.

De acordo com Hopkinson et al. (1966/1975, p.646), “o único método realmente satisfatório de proteção contra o calor, até agora acessível, é o emprego de dispositivos exteriores adequados tipo <brise-soleil>”.

O uso de protetores solares sobre aberturas laterais devem ser cuidadosamente planejados para melhor garantir a habitabilidade do ambiente construído, pois atenuam o desconforto ambiental promovido pelo Sol além da redução do consumo de energia tanto por ar-condicionado como por iluminação artificial. Entretanto, conforme Dutra; Lamberts; Pereira (1997), deve-se ter cuidado em não prejudicar a penetração de iluminação natural.

A adição de obstáculos junto a abertura, como os elementos de controle solar, modificam a trajetória da luz natural transmitida, assim como sua quantidade, afetando a iluminação natural no interior das edificações. Esta influência ocorre devido ao bloqueio/filtração parcial da luz natural incidente na abertura e a variação da direção da luz para o ambiente interno devido aos múltiplos processos de reflexões entre os elementos de controle solar. (BOGO; CLARO e PEREIRA, 2007).

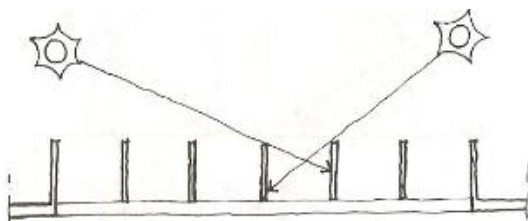
Hopkinson et al. (1966/1975), em seu livro, ao falar sobre a luz natural e luz solar em regiões tropicais afirma que:

Além disso, nestes climas, a iluminação de edifícios pode ser necessariamente subordinada ao ambiente térmico e os requisitos de proteção solar e ventilação podem influenciar materialmente o projeto das janelas e a totalidade do edifício. Assim, a iluminação natural interior pode depender mais da luz solar refletida do que da luz natural direta e as aberturas podem não ser projetadas fundamentalmente para a admissão da luz. (HOPKINSON et. al., 1966/1975, p.633, tradução nossa).

Entender e considerar a geometria solar, por meio das Cartas Solares, nas primeiras fases de projeto, é a primeira iniciativa para se alcançar maiores êxitos no que diz respeito à construção de aberturas e dimensionar dispositivos de proteção solar, podendo ser por meio de programas computacionais como o Suntool, ou pela representação mais recorrente das máscaras de sombra produzidas manualmente. Sendo utilizada nesta dissertação a primeira opção.

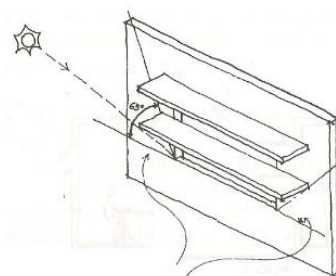
Os protetores verticais são mais eficientes para bloquear as incidências oblíqua nas fachadas (Figura 1-8) os protetores horizontais impedem a penetração de elevadas alturas do Sol (Figura 1-9), contudo, quando o Sol está a uma baixa altura sua proteção compromete a visibilidade. Por sua vez, as prateleiras de luz protegem os ocupantes da penetração direta da luz do sol ao mesmo tempo em que a redireciona por reflexão.

Figura 1-9 - Brises verticais.



Fonte: Bittencourt, 2004.

Figura 1-8 - Brises horizontais.



Fonte: Bittencourt, 2004.

(...) um <brise-soleil> horizontal sobre a janela, com um ângulo de corte relativamente elevado, protegeria efetivamente uma janela voltada para Norte ou para Sul contra a luz solar direta durante todo o ano. Um <brise-soleil> vertical seria pouco eficaz. (...) De fato, nenhum dispositivo fixo será inteiramente eficaz para uma janela voltada para Leste ou Oeste. Torna-se necessário qualquer tipo de persiana regulável, que possa ser manual ou automaticamente orientada de acordo com a posição do sol. (HOPKINSON et. al.,1966/1975, p.643)

Assim, os efeitos da elevada carga térmica e de ofuscamento são reconhecidos ao se trabalhar com iluminação natural em climas tropicais, porém estes não devem ser entendidos como um empecilho a bons resultados projetuais, pois fazer uso adequado de protetores solares promove efeitos satisfatórios, tanto do ponto de vista lumínico como térmico.

Neste sentido, levando em consideração a importância do uso de elementos de proteção solar para o clima quente e úmido, recomendação prescrita em norma brasileira (ABNT, 2005a), juntamente com a necessidade de caracterizar o potencial de luz difusa do céu da cidade de Natal/RN, o presente trabalho apresenta como proposta o uso de protetor solar sobre todas as janelas sem efeito de prateleira de luz, exemplificado posteriormente no capítulo 3 – O Método.

1.7 MÉTODOS DE PREDIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

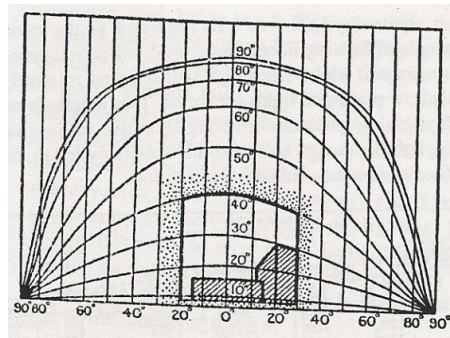
Os estudos e pesquisas na área da iluminação natural têm como objetivo na arquitetura gerar conhecimentos técnicos que sirvam na atividade projetual, assim métodos foram criados como ferramentas de estimativa de iluminação natural, podendo estes ser classificados conforme a sua tipologia, a qual se relaciona ao tipo de instrumento utilizado para se obter resultados.

Segundo Souza (2004 apud TOLEDO, 2008), os métodos utilizados para a avaliação de iluminação natural em ambientes internos são: os métodos gráficos, métodos de cálculo ou matemáticos, métodos com modelos em escalas reduzidas e os métodos em simulações computacionais, sendo apenas este último, simulações computacionais, utilizado nesta dissertação.

1.7.1 Método gráfico

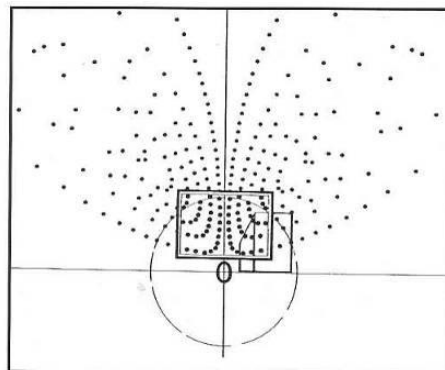
Este método destaca-se pelo uso de ferramentas gráficas e ábacos que se caracterizam por serem instrumentos de rápido e fácil uso, porém geram dados de iluminação para um único ponto de cada vez (SOUZA, 2004). Neste grupo estão inclusos o Diagrama de Waldram e o de Pleijel, utilizado por muitos anos anteriormente ao uso de computadores. (GONÇALVES e VIANNA, 2001).

Conforme Baker et al. (1993), o Diagrama de Waldram, inventado por P.J. e J.M. Waldram é utilizado para janelas verticais sobre o céu encoberto uniforme do padrão C.I.E., permitindo, de acordo com Hopkinson et al. (1966/1975), a partir de um ponto de referência, retirar todas as coordenadas angulares, em planta e em corte, dos contornos que determinam esse ponto e, a partir daí, são transferidos para o Diagrama, avaliando a contribuição da abóboda celeste. (Figura 1-10).

Figura 1-10 - Diagrama de Waldram.

Fonte: Baker et al., 1993.

De acordo com Hopkinson et al. (1966/1975), os diagramas de luz natural de Pleijel, desenvolvidos para a análise tanto no plano horizontal como no plano vertical, caracterizam-se por serem baseados em projeções estereográficas e o número de pontos, 1004 pontos, representando o trecho de céu visível onde cada ponto é 0,1% de fator de céu. (Figura 1-11).

Figura 1-11 - Diagrama de Pleijel.

Fonte: <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/322.pdf>, 2010.

1.7.2 Método de cálculo

Os métodos de cálculo ou matemático geram através de equações matemáticas dados pontuais de iluminância interna em função de determinada data, hora e condição de céu. Porém, para uma análise mais completa do desempenho da luz natural no ambiente interno é preciso calcular os níveis de iluminação em vários pontos, dias e horários, tornando-se um processo que demanda tempo e um obstáculo à prática profissional, caso não opte pelo uso de simulação computacional.

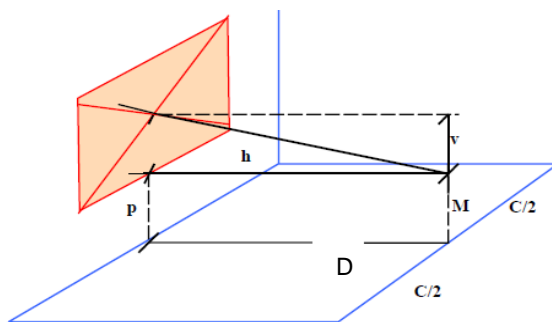
O Fator de Luz Natural – FLN – é o método mais comumente utilizado, onde a NBR 15215-1 (ABNT, 2005c) expressa que é a:

Razão entre a iluminação natural num determinado ponto num plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem (ABNT, 2005c).

A NBR 15215-3 (ABNT, 2005e) faz referência o Fator de Luz Natural, como uma medida de iluminação interna sendo recomendada pela CIE, mas por considerar apenas as condições de céu uniforme e encoberto, a NBR 15215-1 (ABNT, 2005c) nomeou a Contribuição de Iluminação Natural – CIN – “equivalente ao Fator de Luz Natural aplicado para quaisquer condições de céu com distribuição de luminâncias conhecida”.

Ainda sobre estudos de previsão de iluminação natural através de cálculos, Sá (apud LABAKI, 2001) direcionou seus trabalhos em fixar áreas de janelas em relação às áreas dos ambientes que elas deveriam iluminar, admitindo que a janela apresente uma luminância constante, desenvolveu-se um modelo bastante simplificado para a cidade do Rio de Janeiro, conforme Equação 1-3.

Equação 1-3 - Equação de iluminância interna por Paulo Sá.



Onde: A: área da janela.
L: luminância total da janela
D: dist. da parte central da janela ao ponto M
v: dist. vertical entre M e o centro da janela
h: dist. horizontal,
M: ponto da parede oposta a janela.

$$E = \frac{AL}{D^2} \times \frac{vh}{DD} = \frac{ALvh}{D^4} \Rightarrow A = \frac{E}{L} \times \frac{D^4}{vh}$$

Fonte: Scarazzato e Labaki, 2001.

1.7.3 Método em modelos de escala reduzida

Os modelos em escala reduzida, ou maquetes físicas, podem ser utilizados tanto para uma análise da insolação nas fachadas ou ainda para avaliar quantitativamente e qualitativamente a iluminação natural nos espaços internos a partir de uma solução arquitetônica, tendo como vantagem a possibilidade de explorar diferentes composições de projeto.

De acordo com a NBR 15215-4 (ABNT, 2005b), para o estudo da iluminação natural nos espaços internos, o uso dos modelos em escala é sugerido por estes não sofrerem distorções por efeito da escala reduzida, pois o comprimento de onda da luz visível é extremamente pequeno em comparação ao tamanho dos modelos, não precisando de compensações.

“Um modelo arquitetônico que represente com fidelidade um espaço real, exposto as mesmas condições de céu e mantendo a mesma geometria e as mesmas características das superfícies, apresenta um padrão de distribuição da iluminação interna idêntico”. (NBR 15215-4, ABNT, 2005b, p.04).

Os modelos podem ser expostos tanto as condições de luz de um céu artificial ou ser observado sob a luz do sol, utilizando como equipamento auxiliar o relógio de sol de Pleijel, conferindo uma maior confiabilidade da maquete em relação ao sol.

1.7.4 Métodos em simulações computacionais.

Os programas de simulação computacionais são ferramentas que incorporam, em seu sistema, algoritmos de cálculo para iluminação natural junto com modelos de distribuição de luminâncias do céu, sendo possível obter, após a simulação, dados quantitativos de iluminância e, podendo alguns programas visualizar os efeitos qualitativos da iluminação por meio de gráficos e imagens.

Trata-se de um método que apresenta rapidez e flexibilidade, fator este que se sobrepõe aos demais métodos, pois enquanto aqueles calculam níveis de iluminância para um ponto de cada vez e para uma orientação, data e hora, este, em alguns minutos, oferece dados de iluminância para vários pontos ao longo do ano, podendo rever soluções adotadas de partido arquitetônico, como orientação das aberturas, cores das superfícies verticais, dimensões dos ambientes sem perder uma grande quantidade de tempo. Por este motivo, o presente trabalho de dissertação se detém ao uso de simuladores computacionais, mais especificamente o programa TropLux 3.12 que após testes foi comprovado a validade do programa.

Conforme Cabús (2005a), autor do programa, o TropLux 3.12 é um programa voltado para a simulação do desempenho da iluminação natural no ambiente interno sendo desenvolvido para atender as características climáticas e arquitetônicas das regiões tropicais onde, até então, a maioria dos programas disponíveis não conseguia simular satisfatoriamente esta realidade da iluminação natural nos trópicos, quer seja por limitações dos padrões de distribuição de luminância de céu ou por ter dificuldades em simular complexas geometrias arquitetônicas.

Este programa utiliza a técnica do raio traçado para trás (Backward Raytracing), o método Monte Carlo e os Coeficientes de Luz Natural, permitindo calcular a iluminância em um ponto ou superfície interna em função da trajetória da luz entre a fonte e o alvo, separando as contribuições do sol e do céu em 12 componentes, ver Quadro 1-1.

Quadro 1-1. Componentes de iluminância configuradas no TropLux 3.12.

Ordem	Descrição da componente	Fonte de luz
1	Direta	Céu
2	Refletida internamente (apenas)	Céu
3	Refletida internamente e no solo	Céu
4	Refletida internamente e nas obstruções	Céu
5	Refletida nas obstruções	Céu
6	Refletida no solo	Céu
7	Direta	Sol
8	Refletida internamente (apenas)	Sol
9	Refletida internamente e no solo	Sol
10	Refletida internamente e nas obstruções	Sol
11	Refletida nas obstruções	Sol
12	Refletida no solo	Sol

Fonte: Cabús, 2005.

Dentre outros programas de simulação de iluminação natural tem-se o Apolux, Relux e o Radiance, por exemplo. O primeiro foi desenvolvido pelo professor Dr. Anderson Claro com colaboração do professor PhD Fernando Pereira, sendo responsável por realizar cálculos de iluminação natural pelo método da Radiosidade a partir da utilização de dois módulos: Fractal, que prepara um arquivo de desenho no formato DXF padronizado, e outro, FOTON, que processa os cálculos propriamente ditos. Como resultado, o programa apresenta imagens semi-realistas, gráficos de iluminância e de luminância, além de planilhas numéricas com vários dados para pós-processamento.

O segundo, por sua vez, o programa Relux foi desenvolvido pela empresa Informatik AG sendo uma ferramenta que possibilita o estudo da iluminação natural (através da especificação de dia, hora, tipo de céu, dimensionamento de plano de trabalho, latitude e longitude) e também da iluminação artificial tendo uma interface de rápida aprendizagem, com comandos de fácil assimilação e recursos para modelagem tridimensional com uma vasta biblioteca de materiais, objetos e luminárias.

O programa Radiance é um simulador de iluminação (natural e artificial) desenvolvido por Greg Ward em 1985 enquanto estava no Lawrence Berkeley National Laboratory o qual utiliza o conceito de Raio Traçado para o cálculo da iluminação, o método Monte Carlo para o cálculo da iluminação global e é o pioneiro em imagens foto realísticas.

1.8 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Neste capítulo são apresentados conceitos e índices de avaliação e comparação do desempenho da iluminação natural no interior construído.

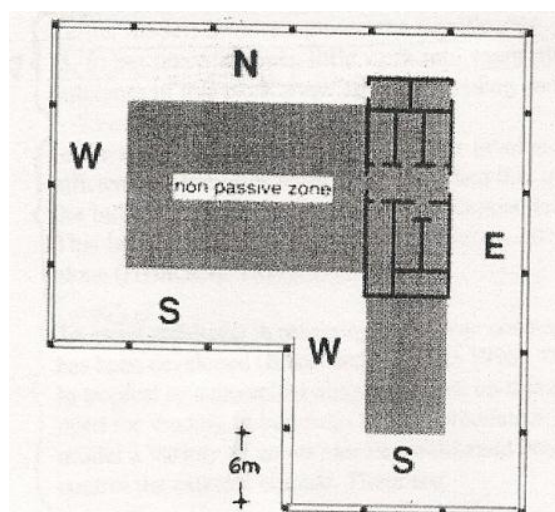
1.8.1 O conceito de zona passiva

O documento “Technical Design Guide - Energy and Environment in non-domestic buildings”, (BAKER, 1995) apresenta um formato de guia para edifícios não residenciais do Reino Unido, que tem como objetivo propor orientações projetuais para minimizar o uso de energia elétrica. Este indica que há três fatores que influenciam a desempenho energético nas edificações não residenciais, sendo eles o próprio edifício; os sistemas e os ocupantes. No “LT Method 3.0” (BAKER e STEEMERS, 1996), as três categorias têm igual impacto sobre o consumo de energia. Fixando-se nos fatores da edificação, como planta baixa, orientação, projeto de fachada, entre outro, o guia técnico enfatiza que as decisões projetuais devem ser tomadas no estágio de concepção do projeto, pois mudanças de tais parâmetros acarretam em maiores custos. Além do mais, ao se projetar tendo como princípio a utilização de estratégias passivas, os sistemas de iluminação artificial e ar condicionado são automaticamente reduzidos e os ocupantes mais comprometidos com a edificação.

“Existe também uma crescente evidência que edificações ganham um bom desempenho energético devido à adoção de soluções passivas de projeto, tais como ventilação e iluminação natural, apresentando uma maior satisfação do ocupante”. (BAKER, 1995, tradução nossa).

Além de abordar a iluminação natural e o controle da incidência solar, o guia técnico para edifícios não domésticos introduz o conceito de zona passiva. As grandes profundidades dos espaços internos das edificações atuais fazem necessário que certas zonas sejam iluminadas e ventiladas artificialmente deixando apenas que a zona perimetral do edifício se beneficie de iluminação e ventilação naturais, denominadas por isso de zona passiva. Para climas frios, onde foi desenvolvido o guia, a zona passiva tem uma profundidade de 6m ou duas vezes a altura do pé-direito, conforme Figura 1-12, podendo ser reduzida com a presença de obstruções externas, como protetores solares, (BAKER, 1995).

Figura 1-12 - Conceito de Zona Passiva.



Fonte: adaptado de Hyde e Pedrini (HYDE e PEDRINI, 2002).

Uma adaptação do método para climas tropicais foi desenvolvida por Hyde e Pedrini (2002), em que se propõe uma ferramenta para quantificar o consumo de energia de edificações quando empregando ventilação e iluminação naturais, denominada de LTV (Lighting Thermal and Ventilation) Architectural Design Tool. Essa ferramenta e o LT Method 2.0 (BAKER, 1994), ambas baseadas no Technical Design Guide, destacam que as decisões tomadas nas primeiras etapas do projeto são as mais significativas para otimizar o desempenho energético. Simples decisões de projeto, como definições de dimensões dos espaços (profundidade e pé direito) e orientação, podem proporcionar grandes impactos no consumo de energia. Os autores também mostram que modelos anteriores desenvolvidos para o clima frio reconheceram a eficiência da luz natural para a redução do consumo energético das edificações, mas poucos são os estudos desenvolvidos para os climas tropicais e subtropicais.

Desenvolvida para o clima tropical da Austrália, com maiores níveis de iluminação natural do que climas temperados e frios, a LTV se concentra em otimizar a volumetria, layout e aberturas para aumentar a área de zonas passivas. O uso da ferramenta também confirma que há um aumento da profundidade da zona passiva em relação aos estudos anteriores para outros climas, atingindo 8,0 metros para um pé-direito de 3,0 metros. Entretanto, protetores solares não são considerados no estudo.

1.8.2 Índices de avaliação do nível de iluminação natural

A avaliação do comportamento da luz natural dentro da edificação, normalmente, deve considerar as variáveis do edifício que interferem na distribuição da luz no espaço, assim como sua variabilidade externa ao longo do tempo devido às condições de céu e pelo próprio movimento solar, que causam incertezas de medição. De acordo com Heschong, Lee e Mardaljevic (2009), embora haja uma grande tentativa em oferecer espaços bem iluminados naturalmente, indicadores que descrevam tal qualidade não evoluíram muito nas últimas décadas. Neste sentido, segundo Mardaljevic e Nabil (2006a), há três índices de avaliação usados para caracterizar o comportamento da iluminância da luz natural dentro do ambiente por todo o ano e para determinados pontos selecionados do espaço. São eles o Fator de Luz Natural (FLN), o Daylight Autonomy e o Useful Daylight Illuminances (UDI).

O Fator de Luz Natural (FLN) corresponde à razão entre a iluminância interna no plano horizontal e externa sob as condições dos céus encobertos, sendo uma medida estática do comportamento da luz natural. Predomina-se o seu uso devido à simplicidade de aplicação e compreensão (MARDALJEVIC *et al.*, 2006),

O Fator de Luz Natural não considera os outros tipos de céus nem o Sol, sendo seu valor constante para qualquer ponto interno porque não considera as variações do céu real. “Com o daylight factor é impossível reproduzir a variação natural da quantidade e distribuição interna dos níveis de iluminação natural”. (MARDALJEVIC, 2001, p.118, tradução nossa).

O Fator de Luz Natural (FLN) é o mais recomendado em guias e normas mundiais. Como apenas inclui a contribuição do céu encoberto, projetistas recorrem a diagramas e simulações para obter um entendimento da luz proveniente do sol. (HESCHONG *et al.*, 2009) No entanto, os índices mais recentes empregam a avaliação dinâmica do comportamento da luz natural, que considera a quantidade e a variação dos níveis de iluminação natural, por meio de análise do clima luminoso externo local, como condições reais diárias do céu e do sol. (MARDALJEVIC, 2006b). Destacam-se a Autonomia de Luz Natural (DA, que corresponde ao termo original Daylight Autonomy) e a Iluminância de Luz Natural Útil (UDI, que corresponde ao termo original Useful Daylight Illuminance), pela fidelidade ao fenômeno real, representam o comportamento da iluminação natural dentro do ambiente construído, ao longo de um ano inteiro, por meio de valores de iluminâncias derivadas das reais condições de céu.

O UDI (MARDALJEVIC *et al.*, 2006), é empregado para avaliar o potencial da iluminação natural na edificação, preservando muito da simplicidade de interpretação do FLN. Em comparação com o FLN, o UDI é fundamentado em uma análise anual de valores absolutos de iluminância interna sob condições de céu real, podendo ser do claro ao encoberto, onde os dados de disponibilidade de luz externa são obtidos em arquivos climáticos, frequentemente disponíveis na internet, os quais apresentam valores de iluminância e irradiância para determinadas localidades ao longo de anos sendo empregados em programas de simulação, como o Tropilux.

O UDI é aceitável quando os níveis de iluminâncias apresentam-se entre 100 lux a 2000 lux, limite este determinado através de pesquisa de campo relacionada ao comportamento de ocupantes sobre condições de luz natural (MARDALJEVIC, 2006a). A contribuição de luz natural no espaço não é considerada útil para iluminâncias inferior a 100 lux, enquanto que iluminâncias superiores a 2000 lux causará desconforto térmico e visual. De acordo com Mardaljevic e Nabil (2006a), o UDI é um método que permite, através do armazenamento anual dos valores de iluminâncias, medidos ou simulados dentro do ambiente, fornecer uma real caracterização do desempenho da iluminação natural dentro da edificação. Ou seja, estabelecidos os valores de iluminâncias de um determinado espaço, ao longo do ano, é definido a ocorrência em percentual do UDI no plano de trabalho.

O DA (Autonomia de Luz Natural) corresponde à frequência ao longo do ano em que a iluminância mínima é atingida em um plano de trabalho por iluminação natural durante o período de ocupação do espaço, sendo esta iluminância mínima determinada em função de valores padrões da atividade exercida no local. No entanto, o DA não contabiliza os valores inferiores e superiores a iluminância limite determinada, restringindo valores de iluminância que possuem um potencial de promover uma adequada iluminação natural ao longo do ano porque, até pela própria variabilidade da luz natural, não há um valor padrão fixo de iluminância, mas um intervalo de iluminâncias que deve ser proposto.

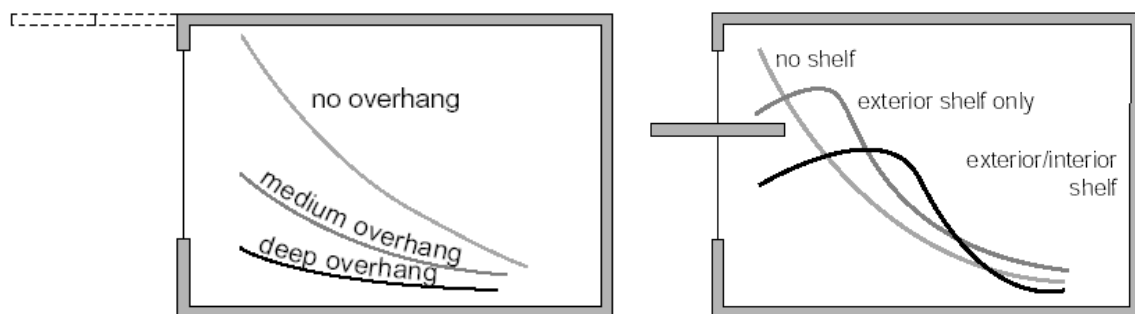
Além dos critérios de análise da iluminação natural apresentadas, Souza (2003) desenvolveu o critério denominado de percentual de aproveitamento da luz natural (PALN) como método de análise do comportamento da luz natural. É um critério utilizado para estabelecer o período no qual a iluminação natural poderá substituir ou complementar a iluminação artificial durante o período de utilização do ambiente a partir de uma iluminância de projeto determinada através da NBR 5413.

1.9 RECOMENDAÇÕES

As recomendações são orientações respaldadas em estudos ou na vida profissional que facilitam o desenvolvimento de um trabalho, evitando o desperdício de tempo. As recomendações podem ser muito úteis para o projetista porque geralmente consistem de formas simples e rápidas de fundamentação para tomada de decisão, e podem ser muito úteis quando aplicadas adequadamente nas primeiras fases do processo de projeto (Pedrini, 2003). Como as recomendações têm caráter genérico, sua aplicação apresenta limitações que devem ser consideradas.

Em relação ao uso adequado da luz natural, uma das recomendações qualitativas mais recorrentes é a curva de decaimento da luz natural em relação à profundidade de sala, ortogonalmente à abertura (Figura 1-13), onde estas duas componentes arquitetônicas assumem um papel de grande importância para o comportamento e níveis de iluminação natural no interior do espaço, onde propor parâmetros projetuais que forneça uma resposta rápida ao projetista é necessário, pois este muitas vezes por falta de tempo adota decisões infelizes.

Figura 1-13 - Desempenho luminoso de uma janela unilateral.



Fonte: O'Connor, 1997.

Conforme Reinhart e LoVerso (2010), de acordo com uma recente pesquisa com 400 profissionais, a experiência profissional e as regras para iluminação natural (Daylight rules of thumb) são as duas ferramentas mais comumente utilizadas nas primeiras fases do projeto de iluminação natural. Além do mais, conforme Hayman, Ibrahim e Lukman (2002), mesmo havendo cem anos de pesquisas formais na área de iluminação natural, é uma prática comum se confiar, ainda nos dias

atuais, em antigas regras de aproveitamento de luz natural desenvolvida através da manipulação de parâmetros físicos do espaço.

Conhecidas como regras para iluminação natural (Daylight rules of thumb), podendo ser também chamadas como dicas, parâmetros ou recomendações estas são desenvolvidas na tentativa de aplicar um conhecimento, muitas vezes complexo, de maneira prática e ágil.

Gonçalves e Vianna (2001), apresentam recomendações sobre o uso das janelas laterais, onde já afirmam que ao se propor o uso de janelas laterais é importante observar que os peitoris envidraçados a baixo do plano de trabalho não contribuem para a iluminação do local, e que janelas mais baixas propiciam uma alta iluminação mais próxima dela, enquanto que janelas altas promovem uma maior profundidade na distribuição da luz natural além de melhorar na uniformidade.

Nesse contexto da iluminação natural, tais regras existem há dois mil anos onde uma das mais antigas foi desenvolvida por Vitruvius o qual fornece uma sugestão para se obter uma iluminação natural adequada para um ponto do espaço:

No lado o qual a luz deve ser obtida, estende-se uma linha do topo do muro que parece obstruir a luz até o ponto onde deveria ser introduzido, e se um considerável espaço do céu pode ser visto quando se olha por cima da linha, não haverá obstrução de luz nesta situação. (VITRUVIO apud HAYMAN et.al, 2002, p.01, tradução nossa).

De acordo Hayman, Ibrahim e Lukman (2002), os quais fizeram um levantamento das regras em iluminação natural (Daylight rules of thumb) até então desenvolvidas, dentre as mais usuais relações entre variáveis físicas da edificação que servem de base para o desenvolvimento de tais regras estão às seguintes:

- A relação entre altura da janela e profundidade do espaço: aplicada apenas em ambientes com janelas unilaterais relacionando a altura da janela com a profundidade máxima de alcance da luz natural dentro do espaço;
- A relação entre a área da janela e a área do piso: relação bastante encontrada, principalmente nas regulamentações edilícias locais, onde de acordo com a área do piso do ambiente determina-se o percentual de área de abertura e
- A relação entre percentual de área de janela e área de parede, relação esta que limita a área da abertura a partir da área de parede onde está inserida.

Porém, para cada relação existente, apresentada por Hayman, Ibrahim e Lukman (2002), há um grande elenco de regras (Daylight rules of thumb) desenvolvidas por diferentes pesquisadores em diferentes localidades. Tais estudos estão dispostos no Quadro 1-2.

Quadro 1-2 - Regras para Iluminação natural (Daylight rules of thumb) a partir da relação de parâmetros físicos arquitetônicos.

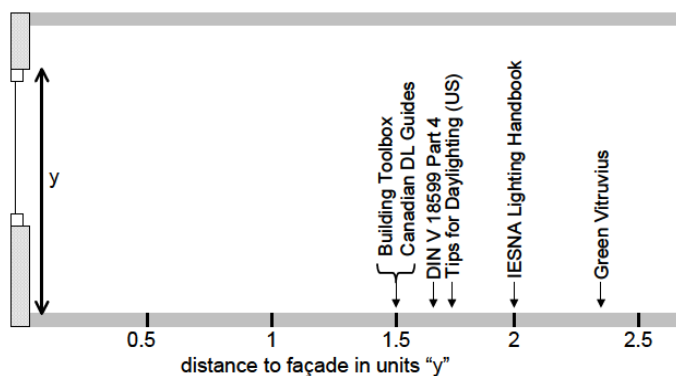
PARÂMETROS FÍSICOS RELACIONADOS	REGRAS PARA ILUMINAÇÃO NATURAL Daylight Rules of Thumb (a partir de diversos autores)
Relação entre a altura da janela e a profundidade do ambiente	2,0 a 2,5 vezes a altura da janela para abertura contínuas e construções com “cortinas de vidro” onde a parte mais alta da janela encontra-se no teto
	2,5 vezes a altura da janela para céu encoberto e 3,0 a 3,5 vezes para céu claro. Para janelas contínuas
	2,0 vezes para aberturas contínuas e de vidro claro e “cortinas de vidro”.
	2,0 a 2,5 vezes para fachadas Sul com prateleiras de luz 1,5 vezes para escritórios e 2,5 vezes para residências
Relação entre área de janela e área de piso	Entre 8% a 20% da área do piso. Sendo para climas quente e úmido 6%.
Relação entre área de janela e área de parede (WWR)	Entre 20% e 30%, porém foi percebido que 20% são insuficientes para a iluminação alcançar o fundo da sala. (BRS)
	25% é o mínimo valor aceitável, mas 32% fornece 85% de aceitação. (Ne’eman e Hopkinson)
	27,4% como valor médio (pesquisa em Hong Kong)

Fonte: Hayman, Ibrahim e Lukman, 2002.

A primeira relação apresentada, altura da janela versus profundidade do ambiente iluminado, é a mais comum delas atualmente, sendo citada largamente em livros e trabalhos acadêmicos, onde sua maior característica está em sua simplicidade.

Contudo, para tal relação, diferentes regras foram elaboradas estando citadas tanto em guias como em normas de iluminação natural, que, conforme Reinhart (2005), apesar da presença de tais regras em documentos importantes, Figura 1-14, nunca foi encontrado qualquer documento científico que dê suporte a tais regras (Daylight rules of thumb) sendo ainda aplicadas arbitrariamente em relação a orientações de fachadas e climas regionais.

Figura 1-14 - Diferentes versões de regras para iluminação natural (Daylight Rules of Thumb) baseadas na relação da altura da janela como a profundidade de iluminação do ambiente.



Fonte: Reinhart, 2005

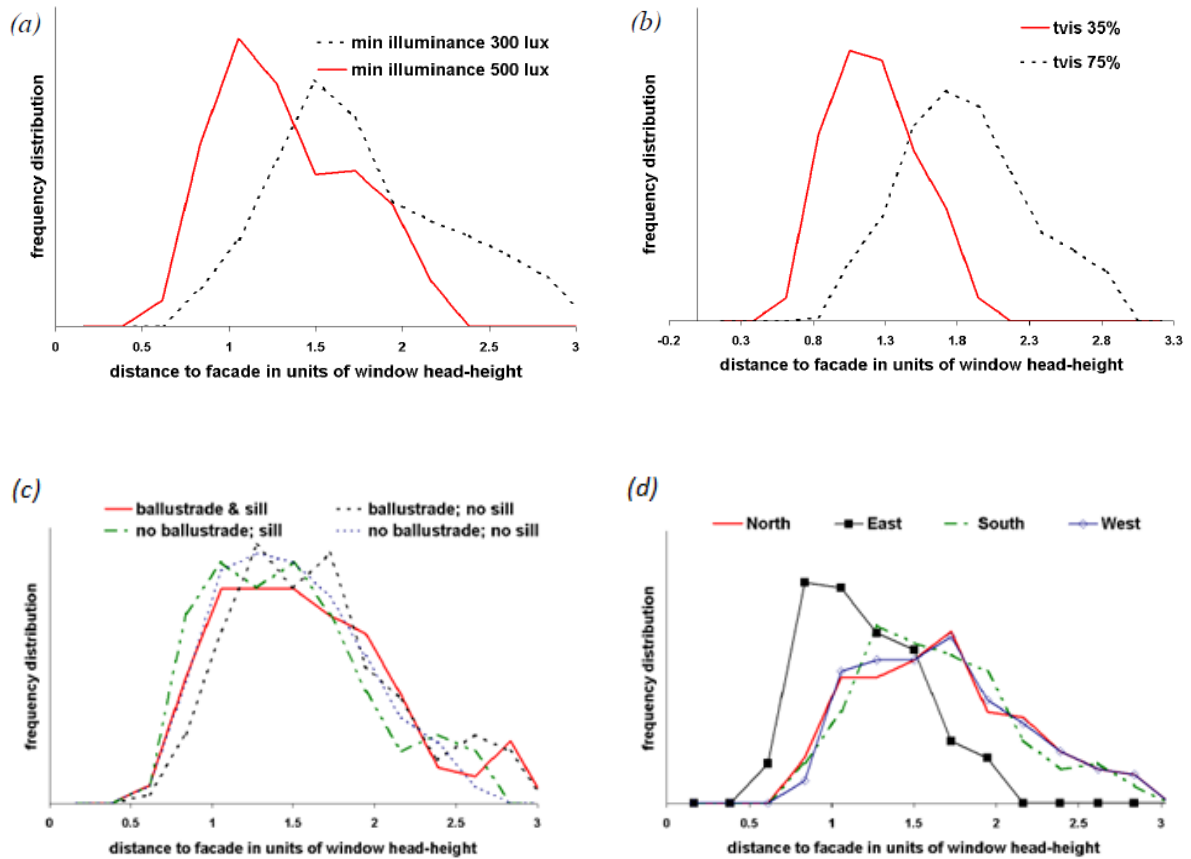
Entretanto, Reinhart (2005) em um dos seus estudos sobre as regras de iluminação natural (daylight rules of thumb), apresentou a necessidade de ferramentas de simulação para o desenvolvimento destas regras e demonstrou, através de simulações, que a profundidade de alcance da luz natural dentro de um espaço é fortemente influenciada pela transmitância do vidro, pelo nível de iluminância exigido pelo espaço, pelos protetores solares e pela orientação das fachadas. (Figura 1-15).

Reinhart (2005) comprovou ainda que a quantidade de luz natural que penetra no ambiente pela parte inferior do plano de trabalho não contribui na quantidade de luz natural dentro do espaço e conceituou a área iluminada naturalmente dentro de um espaço – “daylit area”- como sendo a área a qual o nível mínimo de iluminação natural é mantido por uma significativa porção do ano quando esta se encontra ocupada.

A “daylit area” dentro de um espaço corresponde a área a qual um nível mínimo de iluminância de tarefa é mantido por uma proporção significativa do ano em que a área é ocupada. Esta proporção é também chamada de “daylight autonomy” e pode ser calculada através de simulação de computadores. Dependendo da intenção de uso do espaço, o uso de protetores de sombreamento deve ser considerado no cálculo do daylight autonomy ou não. (REINHART, 2005, p.04, tradução nossa).

As regras para iluminação natural (Daylight rules of thumb), mesmo com sua grande diversidade e largamente utilizadas, são vagamente definidas, onde o seu princípio tem uma larga aplicação, mas a sua utilização deve ser particular para cada situação onde questões como orientação e clima devem ser considerados, ou seja, uma regra de iluminação natural (daylight rules of thumb) é altamente específica, pois o comportamento da iluminação natural dentro do espaço é dinâmico e dependente da forma e orientação da edificação, do contexto externo e principalmente do clima da cidade.

Figura 1-15 - Gráficos da variação da distribuição luminosa ao longo da profundidade do ambiente “daylit área” em relação a: a) Iluminância mínima, b) transmitância do vidro, c) presença de peitoril e d) a orientação da fachada.



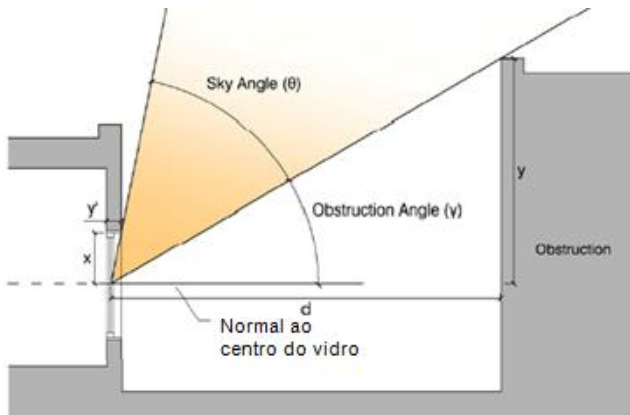
Fonte: Reinhart, 2005.

De acordo com LoVerso e Reinhart (2010), “o Daylighting Rules of Thumb - a design sequence for a diffuse daylighting” é um recente estudo que apresenta uma seqüência de simples equações, estas divididas em cinco etapas e cada uma delas denominadas de regras (Rules of thumb), as quais podem ser utilizadas para identificar as zonas potencialmente iluminadas na edificação e atribuir dimensões para estas e para as áreas envidraçadas.

Entretanto, esse novo método se baseia no Daylight Factor (DF) e apenas pode ser aplicado em edificações que recebam luz natural difusa, ou seja, localizadas sobre a condição de céu encoberto, onde os efeitos da luz natural direta são ignorados neste estudo.

Segundo Otis e Reinhart (2009), dentre as cinco sucessivas etapas que correspondem ao método, a primeira etapa se identifica a quantidade de luz natural que o espaço recebe através do cálculo do ângulo efetivo do céu – Effective Sky Angle –, conforme Figura 1-16 e Equação 1-4.

Figura 1-16 - Determinação do Ângulo efetivo do céu.



Equação 1-4 - Ângulo efetivo do céu.

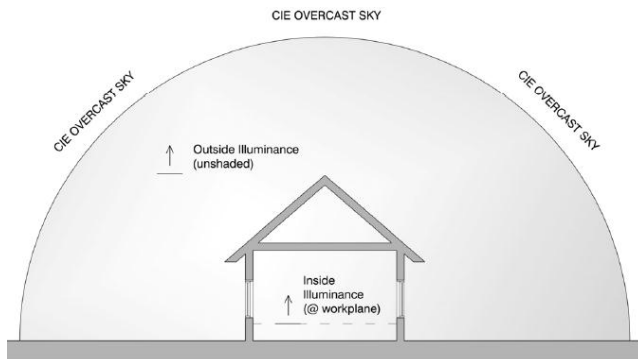
$$\text{Sky angle } (\theta) = 90^\circ - \arctan(y'/x) - \arctan(y/d)$$

Fonte: Otis e Reinhart, 2009

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

A segunda etapa determina o quanto de luz o espaço precisa através de um valor médio de Daylight Factor medido em todo o ambiente na altura do plano de trabalho, estando este valor entre 2% a 5% de acordo com British Standards Institution, conforme Figura 1-17 e Equação 1-5.

Figura 1-17 - Determinação do Daylight Factor.



Equação 1-5 - Daylight factor.

$$\text{Daylight Factor} = \frac{\text{Inside Illuminance}}{\text{Outside Illuminance}} \times 100$$

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

A terceira etapa analisa se o espaço tem potencial para ser iluminado naturalmente através do cálculo do Daylight Feasibility Test, onde o WWR deve ser abaixo de 80% para indicar que o espaço é potencialmente iluminado, conforme Equação 1-6.

Equação 1-6 - Daylight Feasibility test.

$$\text{WWR} > \frac{0.088 \cdot \text{DF}}{\tau_{\text{vis}}} \cdot \frac{90^\circ}{\theta}$$

DF Daylight Factor (%)
 θ : Sky Angle (°)
 τ_{vis} Transmitância do vidro

OBS: WWR = área de abertura (envidraçado)/ área de parede

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

A quarta etapa calcula a adequada profundidade que a luz natural alcança dentro do espaço, através de três fatores os quais geram quatro equações (Equação 1-7, Equação 1-8, Equação 1-9), onde, considerando os três fatores, a profundidade mais adequada para o uso da iluminação natural ocorre com o menor valor encontrado.

1ª equação-Daylight Uniformity

Equação 1-7 - Daylight uniformity

$$\text{Limiting depth} = \frac{2}{1 - R_{\text{mean}}} \left/ \frac{1}{w} + \frac{1}{h_{\text{window-head-height}}} \right.$$

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

2ª equação-No Sky line depth

Equação 1-8 - No sky line depth

$$\text{Limiting Depth} = (\text{window head height} - \text{workplane height}) \cdot \tan(\alpha)$$

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

3ª equação-Depth of daylight area

Equação 1-9 - Depth of daylight area.

$$\text{Limiting depth} = 2.0 \cdot h_{\text{window-head height}}$$

$$\text{Limiting depth} = 2.5 \cdot h_{\text{window-head height}}$$

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

A quinta e última etapa determina a área da abertura necessária para o espaço, através da Equação 1-10.

Equação 1-10 - Equação de determinação da área de abertura.

$$A_{\text{glazing}} = \frac{DF \cdot 2A_{\text{total}}(1 - R_{\text{mean}})}{\tau_{\text{vis}} \cdot \theta}$$

A_{total} : Área total das superfícies internas

R_{mean} : Média da refletância das superfícies

Fonte: Otis e Reinhart, 2009.

Como já comentado anteriormente, o Fator de Luz Natural (FLN) baseia-se apenas nas condições de céu encoberto, ou seja, na luz difusa. Contudo, mesmo com estas deficiências, os autores aconselham o uso deste novo método e enfatizam a necessidade de preencher a lacuna entre a prática e a pesquisa em simulação computacional.

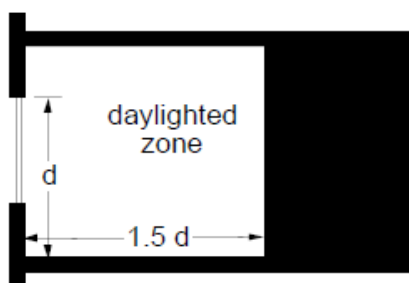
Além dos diversos estudos desenvolvidos nessa área, como já demonstrados, o *Tips for Daylighting with Windows* (O'CONNOR *et al.*, 1997), proposto pelo Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, é um guia aplicado principalmente em edifícios novos e de atividade comercial o qual fornece informações práticas sobre questões projetuais através de dicas básicas (rules of thumb).

Com o objetivo de proporcionar o alto desempenho de iluminação natural no interior da edificação, tal documento enfatiza que as decisões projetuais devem ser feitas considerando o edifício como um sistema único onde as variáveis arquitetônicas e os sistemas que interferem no comportamento da iluminação natural devem ser trabalhadas de forma integrada, pois uma interfere no adequado funcionamento das demais.

Em se tratando das aberturas laterais, o guia – *Tips for Daylighting with Windows* (O'CONNOR *et al.*, 1997) - apresenta regras básicas “key ideas” que facilitam a escolha das janelas para potencializar a eficiência energética e o uso da luz natural no espaço interno. Dentre elas pode-se citar:

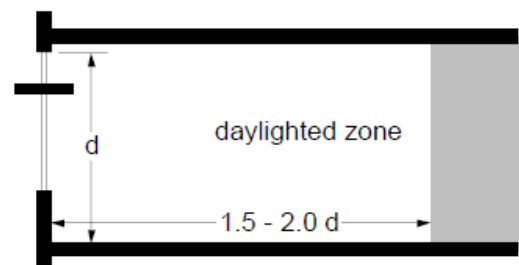
Quanto mais alta estiver a janela, mais profunda será a zona de iluminação natural:
na prática, a profundidade da zona de iluminação é de 1,5 vezes a altura da verga da janela, porém se esta estiver com prateleiras de luz, a zona de iluminação pode se estender para 2,5 vezes a altura da verga da janela, de acordo com a Figura 1-19 e Figura 1-18;

Figura 1-19- Profundidade de alcance da luz natural sem proteção solar.



Fonte: O'Connor, 1997.

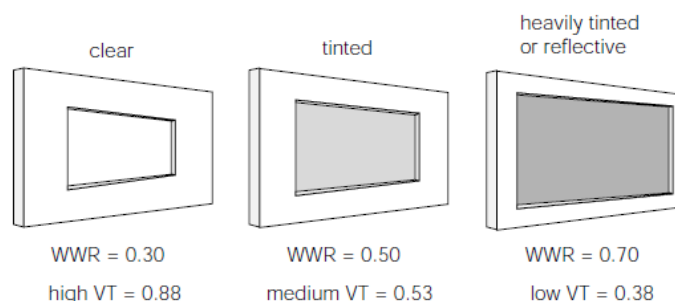
Figura 1-18- Profundidade de alcance da luz natural com prateleiras de luz.



Fonte: O'Connor, 1997.

- Janelas horizontais promovem uma melhor uniformidade: as janelas podem ser horizontais e contínuas, porém se esta for fragmentada por gerar áreas de contraste;
- Largas janelas necessitam de maior controle: quanto maiores forem as dimensões das janelas, maior importância deve ser dada a questões de sombreamento e escolha do vidro para o controle dos ganhos de brilho e calor;
- Aberturas destinadas a visão e iluminação devem ser separadas: janelas altas com vidros claros devem ser usadas para transmissão de iluminação natural enquanto as janelas destinadas à visão exterior devem possuir controle de brilho;
- Para uma boa distribuição: as janelas devem ser elevadas, os tetos os mais altos possíveis e as superfícies de cores claras;
- Adicionar elementos de sombreamento nas janelas: elimina o aquecimento proporcionado pelo Sol, bloqueando a radiação direta e suaviza os contrastes;
- Para cada orientação as janelas proporcionam uma iluminação natural útil: mas cada uma deve ser tratada diferentemente para melhores resultados: janelas voltadas para Norte e Sul geram menores problemas, entretanto janelas orientadas para Leste e Oeste possuem dificuldades em sombreamento;
- Effective Aperture (EA): é a relação entre a transmitância do vidro (VT) e o percentual de área de janela na parede (WWR) onde o resultado deve estar entre 0.20 a 0.30, ou seja, $(VT) \times (WWR) = 0.20$ a 0.30 . (Figura 1-20).

Figura 1-20 - Effective Aperture com WWR iguais e VT diferentes.



Fonte: O'Connor, 1997.

De forma bastante simplificada, a CIBSE (1998 apud GHISI *et al.*, 2005) diz que a área de janela, para minimizar o consumo de energia, deveria ser limitada em 30% da área de fachada.

Já Bell e Burt, em 1995, relatam que existe um limite mínimo de área de janela onde abaixo do qual não se tem vista suficiente para o exterior, dependendo da posição do usuário em relação à janela e sendo válidas para janelas localizadas em uma única parede, conforme a Tabela 1-3. Sendo estas mesmas áreas também recomendadas por Treguenza e Loe e pela norma inglesa Code of practice for daylighting - BS 8206-2. (GHISI *et al.*, 2005).

Tabela 1-3. Área mínima de janela para garantir vista para o exterior.

Profundidade máxima da sala – P (em relação a parede da janela)	Área mínima de janela na parede (vista do interior - %)
$P \leq 8\text{m}$	20
$8 < P \leq 11\text{m}$	25
$11 < P \leq 14\text{m}$	30
$P > 14\text{m}$	35

Fonte: Ghisi; Ibrahim e Tinker, 2005.

Baker, et. al. (1993), apresentam em seu livro: "Daylighting in Architecture – A European reference book -, algumas recomendações para o projeto da componente janela que a partir de suas características como de tipologia, tamanho, forma, posição e orientação estas são as seguintes:

- Tipologia: classificar a janela segundo sua tipologia significa determinar se seu uso será para iluminação, visão exterior ou ventilação onde esta definição é uma importante referência para se escolher o tamanho, a forma, a orientação e a posição. Os autores afirmam que se a função da janela for iluminar, então esta deve ser alta e de tamanho que otimize a entrada de luz.
- Tamanho: em se tratando da relação entre janela e espaço interno, uma grande abertura, entre 10% e 25%, promove problemas térmicos e de brilho, porém pequenas aberturas, entre 1% e 4%, produzem baixos níveis de iluminação. E se existir uma grande janela e varias pequenas janelas com a mesma área de superfície, ambas admitirão a mesma quantidade de luz, contudo a distribuição será afetada.
- Forma: sendo basicamente horizontais e verticais, a forma da janela influencia principalmente na distribuição de luz dentro do espaço, na qualidade da visão para o exterior e no potencial de ventilação natural.
- Posição: classificadas como altas, baixas ou intermediárias, ou ainda, central ou lateral, é a janela alta a que melhor permite a penetração da luz natural na parte mais ao fundo do ambiente além de melhor distribuição juntamente a janela central a qual melhor distribui a luz dentro do interior.
- Orientação: as janelas sobre fachadas orientadas para Leste ou Oeste apresentarão problemas de controle solar.

É importante ressaltar a ampla diversidade de regras para iluminação natural (Daylight Rules of thumb) existentes, sendo difícil avaliar a validade que tais regras oferecem. Além do mais, diversos são os fatores que podem contribuir de forma significativa na variação dos valores obtidos, como por exemplo, as características das superfícies internas, o tipo de vidro utilizado e também os fatores locais de clima. Assim, muitas vezes, as regras já existentes apenas se aplicam a determinadas realidades locais.

1.10 PRESCRIÇÕES SOBRE LUZ NATURAL

A elaboração de prescrições técnicas em normas ou códigos de obras para o bom aproveitamento da iluminação natural em edificações proporcionam parâmetros para o projeto de aberturas. O objetivo de tais prescrições é promover a eficiência energética das edificações e gerar procedimentos construtivos eficazes no aproveitamento da luz natural, entretanto nem sempre são adequadas às condições climáticas da localidade e frequentemente se desconhece a fundamentação teórica de sua elaboração.

1.10.1 Programa brasileiro de etiquetagem de edificações comerciais, de serviço e públicos

No Brasil, o setor energético desenvolve diversos programas voltados ao combate do desperdício e ao uso racional de energia, sendo o PROCEL o responsável pelo setor elétrico.

Um grupo de pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (Labeee) da Universidade Federal de Santa Catarina, através do PROCEL/ELETOBRÁS (Programa Nacional de Energia Elétrica) formulou as bases da regulamentação para a etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (PROCEL, 2008). Com a perspectiva de alcançar a eficiência energética nas edificações, a partir da Standard 90.1 da ASHRAE

A regulamentação trabalha três requisitos principais: o desenvolvimento térmico da envoltória, a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e a eficiência do condicionamento de ar, onde através destes parâmetros as edificações são avaliadas e classificadas em categorias que variam de menor (nível E) a maior (nível A) nível de eficiência energética.

Segundo Toledo (2008), a iniciativa é válida em relação ao incentivo a construção de edificações mais eficientes, mas a forma como a regulamentação foi elaborada deixa a desejar, pois valoriza o uso de equipamentos eficientes ao invés de estratégias passivas como iluminação e ventilação. Além do mais, a regulamentação possui um sistema contraditório de distribuição de pesos o qual apresenta 40% para sistemas de ar condicionado e 30% para os sistemas de iluminação e envoltória, onde se o arquiteto alcançar bons resultados no projeto da envoltória através de materiais e áreas de aberturas adequadas, conseqüentemente terá eficiência energética pelo menor uso do ar condicionado e iluminação artificial, ou seja, devendo ser o maior peso para envoltória.

No que se refere ao uso da iluminação natural, a regulamentação pouca referência faz a sua utilização apenas citando que esta deve contribuir como pré-requisito específico para sistemas de iluminação artificial, deixando vago como pode ser feita tal contribuição. O procedimento de determinação da eficiência para sistemas de iluminação é feito através de um limite de potência

interno para cada ambiente onde, segundo Toledo (2008), tal procedimento não parece ser o mais aconselhado visto que tal parâmetro não reflete o consumo de energia do sistema.

Um aspecto relativo a todo o corpo da regulamentação é de se tratar de um documento de difícil entendimento pelas variáveis pouco conhecidas pelos profissionais e que exige uma grande quantidade de tempo para sua utilização devido aos cálculos que devem ser desenvolvidos para se saber em qual nível de eficiência energética a edificação está inserida.

1.10.2 Normas

Em regra, as normas relacionadas à eficiência energética das edificações buscam restringir determinadas práticas inadequadas de projeto e promover construções com alto desempenho energético. Apesar do alto grau de desenvolvimento destas normas em certos países, no Brasil, e em outros continentes, não há uma norma específica que regule o gasto desnecessário de energia elétrica das edificações, sendo elas comerciais ou residências, em reforma ou novas.

“Com a recente constatação da fragilidade de nossos recursos, que impôs racionamento de energia a toda a população, criou-se um panorama favorável à criação de Normas Técnicas Brasileiras, que estabeleçam diretrizes visando o uso racional de energia”. (AMORIM E GRILLO, 2004, p.13).

Em 2005, após anos de discussões e debates, entraram em vigor algumas normas relacionadas ao projeto de normalização em Conforto Ambiental, tendo em vista que grande parte da energia elétrica consumida nas edificações é para geração deste fim. Assim, sobre o desempenho térmico das edificações, a ABNT, em 2005, lançou a NBR 15220 e sobre Iluminação Natural, lançou a NBR 15215 estando estruturada em quatro partes:

- Parte 1: Conceitos básicos e definições;
- Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural;
- Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos e
- Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição.

A NBR 15215 -1 (ABNT, 2005c) estabelece conceitos relacionados à iluminação natural e definições importantes para o início da atividade projetual. Tendo estabelecido os conceitos na primeira parte da norma, a NBR 15215-2 (ABNT, 2005d) trata-se dos “Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural” onde esta se concentra em calcular, através de expressões matemáticas, a quantidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos sobre as condições de céu claro, encoberto e parcialmente encoberto.

Por sua vez, a NBR 15215-3 (ABNT, 2005e) “Procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos” descreve procedimentos de cálculo baseados em métodos gráficos (diagramas) que quantificam a incidência de luz natural em um ponto do ambiente interno sobre um plano horizontal através de aberturas.

Finalizando, a NBR 15215-4 (ABNT, 2005b) é a última norma referente à iluminação natural e diz respeito a “Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medições” que prescreve métodos de verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos

Positivamente, a implantação desta norma determina regras, conceitos, apresenta diagramas e procedimentos de cálculos para iluminação natural baseada nas características climáticas do território brasileiro, pois ela insere no contexto na NBR 15215-2 (ABNT, 2005d) o céu parcialmente encoberto no cálculo da disponibilidade de luz natural onde até então havia uma presença mais marcante apenas do céu encoberto e claro pela maior facilidade em sua caracterização. Propõe ainda o CIN como equivalente do Fator de Luz Natural (FLN) sendo aplicado para qualquer condição de céu com distribuição de luminâncias conhecida, porém como instrumento para projetistas, a norma é de pouca praticidade para as primeiras etapas do projeto arquitetônico.

A NBR 5413 (ABNT, 1992): Iluminância de interiores, referência normativa para a elaboração da NBR 15215, estabelece os valores de iluminância para interiores para atividades diversas, tendo em vista que algumas atividades para serem praticadas exigem maiores níveis de iluminação sobre o campo de trabalho que outras, sendo analisados critérios como a idade, nível de velocidade e precisão e refletância do fundo da tarefa. Porém esta norma limita-se a dados quantitativos de iluminância.

1.10.3 Código de Obras

Em conseqüência a crise energética de 2001, a primeira iniciativa no âmbito de legislação efetivamente instituída para promover a eficiência energética no país foi a Lei de nº10.295 sancionada em 17 de outubro de 2001, que há muito tempo tramitava no congresso, estabelecendo, entre outras medidas, em seu Art. 4: “O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país”.

Esta Lei alavancou uma série de iniciativas que visam implementar parâmetros de eficiência energética nas edificações, onde a cidade de Salvador, capital do Estado da Bahia, por exemplo, adiantou-se ao resto do país e propôs indicações de eficiência energética em seu Código de Obras através de parâmetros para envoltória, sistemas de iluminação e de aquecimento de água.

Conforme Carlo et al. (2003), tendo sua origem no formato da Standard 90.1 da ASHRAE, no código de Obras de Salvador o tamanho das áreas referentes aos elementos transparentes ou

translúcidos presentes nas fachadas é uma relação entre o Fator solar (FS ou SHGC), o Fator de proteção (FP) e o percentual de área de aberturas na fachada (PJF ou PAF). Diferentemente da Standard 90.1 da ASHRAE que limita a área de janela ao máximo de 50% da área da fachada onde está inserida, o Código de Obras de Salvador estende essa medida para 100%, conforme Tabela 1-4.

Em relação ao Código de Obras da cidade de Natal (NATAL/RN, 2004), capital do Estado do Rio Grande do Norte, mesmo não apresentando parâmetros de eficiência energética, no Título III - Capítulo IV: insolação, iluminação e ventilação, este faz referência a orientação das edificações para o aproveitamento de iluminação e ventilação e expõe que não são considerados iluminados os compartimentos que possuem a profundidade maior que três vezes o seu pé-direito. Tendo em vista a forma resumida como são apresentados as atuais regulamentações edilícias nacionais esses dois apontamentos são considerados um avanço.

Tabela 1-4. Limites mínimos de fator de proteção em relação ao fator solar e a área de janela (PJF), para fachadas Norte, Sul e Leste, presentes no Código de Obras da cidade de Salvador.

Fator Solar	PJF			
	0 a 40%	40,01 a 60%	60,01 a 80%	80,01 a 100%
0,86	0	0,48	0,77	0,96
0,82	0	0,44	0,74	0,94
0,77	0	0,40	0,71	0,92
0,73	0	0,36	0,68	0,90
0,69	0	0,32	0,65	0,87
0,65	0	0,28	0,61	0,84
0,60	0	0,23	0,57	0,81
0,56	0	0,18	0,53	0,78
0,52	0	0,12	0,49	0,75
0,47	0	0,06	0,44	0,71
0,43	0	0	0,39	0,67
0,39	0	0	0,33	0,63
0,34	0	0	0,26	0,58
0,30	0	0	0,19	0,52
0,26	0	0	0,11	0,46
0,22	0	0	0	0,38
0,17	0	0	0	0,29

Fonte: Carlo et. al., 2003

Segundo Cabús, Gazzaneo e Laranja (2009), assim como no Código de obras de Natal, nas regulamentações edilícias as relações mais comumente encontradas para a iluminação natural está nas áreas de aberturas em função da área do piso, porém o caráter simplificador de tais instrumentos de configuração das edificações leva a ignorar questões importantes para o dimensionamento das aberturas, como as características climáticas do local, características da abóboda celeste, conhecimento da trajetória solar e da disponibilidade de luz natural e não apresentar nenhuma integração com o entorno. Vale ressaltar ainda que o Código de Obras de Natal após citar as dimensões das aberturas, as quais variam de 1/6 a 1/8 da área do compartimento, não faz nenhuma referência ao uso de protetores solares.

Cabús et al. (2009) ainda cita que em 1997 foi elaborado o “Modelo para o Código de Obras” que se caracterizava em dar auxílio na elaboração e reformulação dos códigos de obra além de propor abordagens sobre eficiência energética e conforto ambiental, dentre elas a iluminação natural.

1.10.4 Considerações Finais

Na regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos, no que se refere ao uso da iluminação natural, pouca referência se faz, onde a determinação da eficiência dos sistemas de iluminação é estabelecida através de um limite de potência interno, onde, melhor seria, primeiramente, propor estratégias arquitetônicas para o uso da iluminação natural, em seguida, associar a uma iluminação artificial complementar de baixa potência de instalação junto a sistemas de controle, e não o contrário.

A mesma regulamentação classifica o nível de eficiência das edificações através de três requisitos: envoltória, sistemas de iluminação e sistemas de ar condicionado, onde na seção referente ao desempenho das envoltórias, esta apresenta valores de transmitância térmica, absorvância e cores para as superfícies para cada zona bioclimática como pré-requisito. Na seção seguinte, referente aos sistemas de iluminação, o mesmo procedimento poderia ser proposto, por exemplo, determinar percentuais de áreas de aberturas em fachadas (PAF), dispositivos de proteção solar de acordo com a orientação geográfica e seguindo as divisões das zonas bioclimáticas.

A NBR 15215 (ABNT, 2005) trata-se de uma boa iniciativa em direção a normalização em iluminação natural e como base para o desenvolvimento de ferramentas de análise do comportamento luminoso interno, contudo está bem distante de ser um material que proporcione o desenvolvimento de projetos que utilizem a luz natural nas primeiras etapas de projeto. A NBR 15215-2 (ABNT, 2005d) apresenta a vantagem da caracterização de céus parcialmente encobertos, porém há uma dificuldade de entendimento e aplicação de expressões matemáticas complexas presentes na norma, deixando o projetista optar por uma solução mais usual sem respaldo técnico por questões de tempo. Além do mais, a norma não faz nenhuma referência as Estações de Medição de Iluminação Natural que disponibilizam dados de iluminância medidos a cada minuto, sendo duas existentes no território brasileiro, Florianópolis e Belo Horizonte e ainda a estação solarimétrica do INPE-CRN que segue os padrões da IDMP.

A NBR 15215-3 introduz diagramas de iluminância interna de um ponto no espaço, para determinada hora e data, onde adotar este procedimento para analisar os níveis de iluminação natural em todo ambiente interno ao longo do ano, como propõe o Useful Daylight Illuminances, levaria uma grande quantidade de tempo, inviabilizando a sua aplicação.

Por sua vez, como instrumento incentivador ao desenvolvimento de mais regulamentações urbanas e edilícias, o Código de Obras de Salvador é um importante referencial para os demais estudos. Contudo, algumas observações devem ser feitas sobre o aproveitamento da luz natural,

onde repensar o valor para as áreas de aberturas, ao invés de 100%, seja válido. Outro aspecto está relacionado à ausência de Fator de Proteção (FP) onde o percentual de aberturas na fachada (PjF) está entre 0 a 40%, ou seja, este tamanho de abertura também permite a penetração da luz direta do sol, fato este que poderia ser solucionado com um pequeno estudo de proteção solar.

No entanto, tendo em vista que uma regulamentação, norma ou código deve ser desenvolvido como material útil aos profissionais, questões como a praticidade de tais documentos devem ser consideradas, assim a NBR 15220-3 - Desempenho térmico das edificações - apresenta-se como uma ferramenta favorável ao trabalho de Engenheiros e Arquitetos a qual levou em consideração os seguintes parâmetros para a formulação das diretrizes construtivas: tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedação externa e estratégias de condicionamento térmico passivo, estando já especificado que todas as aberturas pertencentes a zona bioclimática 8 devem ser grandes e sombreadas.

2 MÉTODO

O método consiste em desenvolver um procedimento para identificar ao final o potencial de uso de iluminação natural no ambiente interno. São realizadas simulações computacionais com dados reais de iluminância do céu, primeiramente, e com dados da IES a partir de modelos virtuais, sendo o parâmetro de análise o percentual útil de iluminação natural (PULN). O método está organizado em cinco etapas.

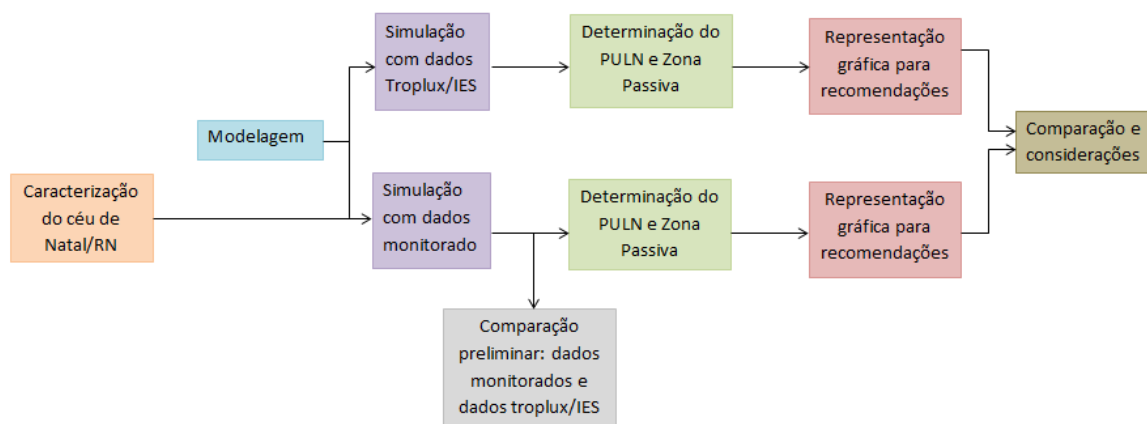
A primeira etapa consiste na caracterização do céu da cidade de Natal/RN por meio da análise de frequência dos três principais tipos de céus – encoberto, parcialmente encoberto e claro.

A segunda etapa compreende o desenvolvimento dos modelos a serem simulados, os quais correspondem ambientes de escritórios com janelas unilaterais protegidas da radiação solar direta para a cidade de Natal/RN, baseados em referências bibliográficas. São determinadas as características físicas dos modelos, orientação das aberturas, o período e os tipos de céu a serem simulados.

A terceira etapa aborda as simulações dos modelos, tanto com dados monitorados como com dados do Troplux/IES. É empregado duas versões do Troplux, que é um programa validado e adequado para reproduzir a iluminação nos trópicos.

A quarta e quinta etapas representam a comparação dos dados de iluminância interna dos modelos e o PULN e a zona passiva são determinados para classificar os desempenhos e para identificar tendências de representações gráficas para recomendações do uso adequado da iluminação natural. (Figura 2-1).

Figura 2-1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: produção do autor.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CÉU

Para a caracterização do céu de Natal/RN é utilizado como base deste desenvolvimento os dados de 2007 a 2009 de iluminância e irradiância global e difusa disponibilizados pela Estação Solarimétrica do INPE-CRN, localizada na cidade de Natal/RN.

Para caracterização da frequência dos céus são coletados valores de irradiância a cada meia hora, do período das 8h00 às 16h00, e com o auxílio dos Índices de Brilho e Claridade alcançou-se a determinação de ocorrência dos três principais tipos de céu (claro, parcialmente encoberto e encoberto).

Por sua vez, para a caracterização da iluminância horizontal difusa externa são coletados valores de iluminância a cada meia hora, do período das 8h00 às 16h00, com a finalidade de desenvolver uma relação entre a frequência de céus e a disponibilidade de luz natural externa.

Infelizmente, durante o período de desenvolvimento da dissertação, é observada uma ausência de dados medidos e na etapa de qualificação foi detectada a inconsistência dos dados disponibilizados pelo INPE/CRN, prejudicando todas as análises quantitativas.

2.1.1 Frequência dos tipos de céus

A caracterização das condições de céu utiliza o índice de claridade (ϵ') e o índice de brilho (Δ), propostos por Perez e utilizados por Robledo, Soler e Souza (apud SOUZA, 2004), que o classifica em três categorias:

- $\epsilon' \leq 1,2$ – céu completamente encoberto;
- $1,2 < \epsilon' < 5,0$ – céu intermediário;
- $\epsilon \geq 5,0$ e $\Delta \leq 0,12$ – céu claro e límpido.

O período de análise corresponde de janeiro a dezembro dos anos de 2007 a 2009, onde os índices apresentados são obtidos por meio de registros de irradiância monitorados pela Estação Solarimétrica do INPE-CRN¹, na cidade de Natal/RN, onde são armazenados os valores médios de cada meia hora de irradiância em suas componentes global e difusa

¹ Os dados são disponibilizados gratuitamente e em tempo real por meio de acesso à sítio eletrônico (<http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=graficosClimatologica>).

Porém, são coletados além dos dados de irradiância, os dados de iluminância, pois ambos passam por um controle de qualidade para que os valores espúrios sejam eliminados. Os critérios de validação seguem as recomendações da IDMP sendo os mesmos adotados por Souza (2004) em sua tese:

- eliminar registros de iluminância ou irradiância difusa horizontal maiores que os correspondentes de global horizontal;
- eliminar os registros de iluminância ou irradiância global horizontal maiores que 1,2 vezes a constante solar;
- eliminar registros de iluminância ou irradiância difusa horizontal maiores que 0,8 vezes a constante solar;
- eliminar valores de global horizontal menores ou iguais a 0,5 W/m² ou 0,2Klux, de irradiância e iluminância respectivamente;
- eliminar valores de componentes direta que excedam a razão de I_e/E_e (I =irradiância e E =Iluminância),;
- eliminar dados para alturas solares menores que 4°.

Nesse sentido, os procedimentos adotados para se alcançar a classificação das condições de céu foram as seguintes:

- Desenvolver uma planilha eletrônica no Microsoft Excel² afim que este programa seja uma ferramenta para se obter as freqüências de céus;
- Inserir na planilha eletrônica as fórmulas dos índices de brilho, de claridade e os critérios de validação;
- Coletar os dados médios de cada meia hora de irradiância e iluminância em suas componentes global e difusa e inseri-los na planilha a fim de serem processados e se alcançar os resultados das freqüências dos tipos de céus, sendo este procedimento feito para cada mês dos anos de 2007 a 2009.

A abordagem é complementada pela caracterização da disponibilidade de luz natural externa segundo a freqüência de ocorrência dos tipos de céus.

² A planilha foi desenvolvida em parceria com o doutorando Iuri Ávila e o orientador, e está exemplificada no Apêndice A.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS ANALISADOS

Nesta etapa, os modelos são desenvolvidos a partir da caracterização dos parâmetros arquitetônicos e da determinação da orientação e os tipos de céu propostos para simulação. São especificadas as dimensões físicas do modelo, das aberturas e dos elementos de proteção solar.

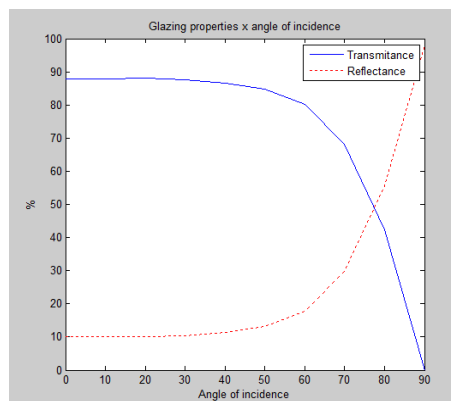
Os modelos são ambientes retangulares, compostos por piso, paredes, teto e janela (unilateral e situada apenas nas paredes), com uso do tipo escritório e plano de trabalho de 0,80m. As orientações das aberturas são Norte, Sul, Leste e a Oeste. A localização geográfica dos modelos corresponde à latitude é de -5.5° S e longitude de 35° W (referente a cidade de Natal/RN). Os tipos de céu simulados correspondem aos identificados nessa pesquisa.

2.2.1 Parâmetros arquitetônicos

Os parâmetros arquitetônicos adotados são baseados em referências descritas no capítulo de Revisão bibliográfica (item 1.4), descritos a seguir:

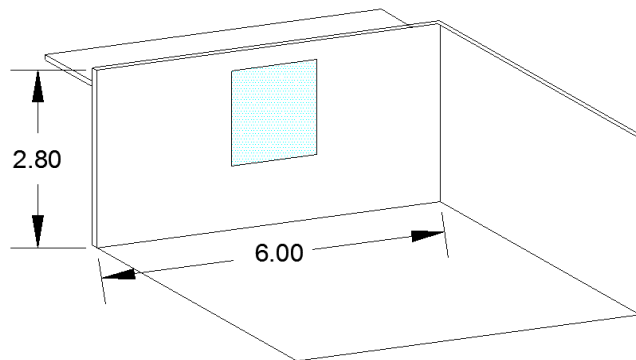
- Refletância dos materiais: todos os modelos apresentam superfícies opacas claras, sendo o teto branco gelo, de 0,73, paredes internas cor branco neve, de 0,87, e piso de 0,42 (CARDOSO, 2006).
- Tipo de vidro das aberturas: vidro transparente de 6mm para todos os modelos, conforme único tipo de vidro cadastrado no TropLux 3.12. (Figura 2-2).

Figura 2-2 - Gráfico das características do vidro transparente de 6mm da biblioteca do TropLux.



Fonte: Software TropLux.

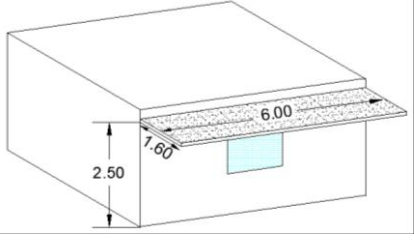
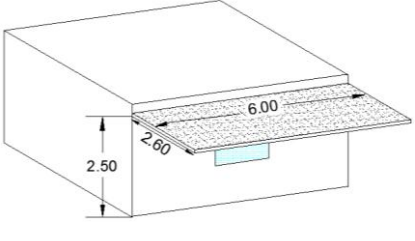
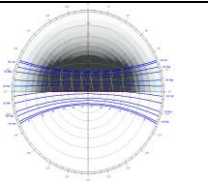
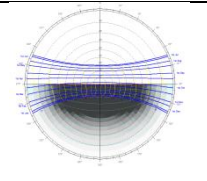
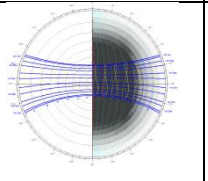
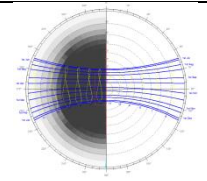
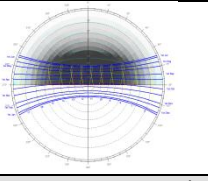
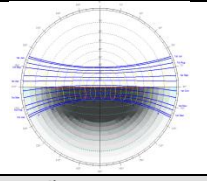
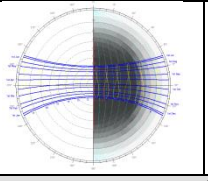
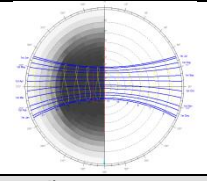
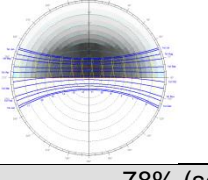
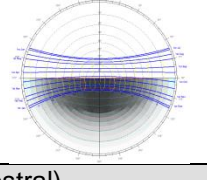
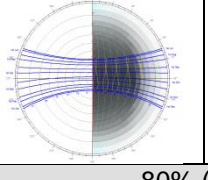
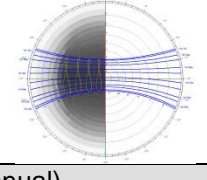
- Altura (pé direito) e largura dos modelos: altura (pé direito) de 2,80m e largura de 6,00m, sendo que a largura corresponde à parede frontal onde estará posicionada a janela, conforme a Figura 2-3, sendo comuns a todos os modelos.

Figura 2-3 - Dimensões do pé-direito e largura das salas

Fonte: produção do autor

- Elementos de proteção solar: Conforme a Tabela 2-1, todos os modelos apresentam elementos de proteção solar horizontais acima das aberturas e calculados para o período entre 8h00 16h00. Optou-se na utilização do programa computacional Suntool o qual disponibiliza a os percentuais de sombreamento promovido por elementos de proteção solar inseridos no programa através de dados numéricos. Assim, os percentuais de sombreamento (PS) são aproximadamente 80% para não comprometer excessivamente a penetração da luz difusa e os elementos de proteção propostos são os mais difundidos na prática arquitetônica (elementos horizontais). Contudo, há entrada de luz solar direta no ambiente interno, principalmente, no último horário analisado (16h00). As dimensões dos elementos com orientação Norte e Sul são 1,60m x 6,0m, e os com orientação Leste e Oeste são 2,60m x 6,0m.

Tabela 2-1 - Caracterização dos tipos de sombreamento (S), considerando a orientação e o percentual de abertura e sombreamento (PS).

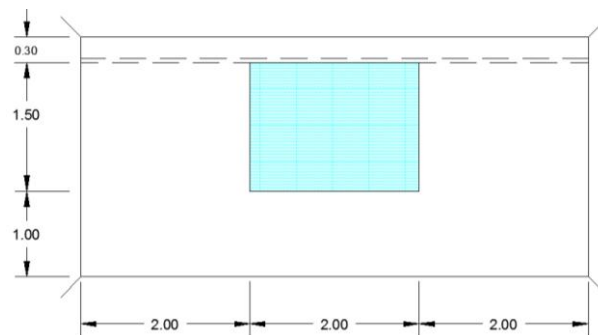
Aberturas	S1 (profundidade de 1,6m)		S2 (profundidade de 2,6m)	
	Norte	Sul	Leste	Oeste
				
20%				
PS	84% (semestral)		82% (anual)	
40%				
PS	81% (semestral)		82% (anual)	
60%				
PS	78% (semestral)		80% (anual)	

Fonte: produção do autor

- Aberturas laterais: todas as janelas são unilaterais, com um peitoril fixo de 1,00m e uma altura fixa de 1,50m tendo o elemento de proteção solar horizontal posicionado logo acima desta. A largura das janelas varia conforme o Paf, para aproximadamente 20%, 40% e 60%.

- Paf = 20%, com aberturas de 1,50m x 2,0m, conforme Figura 2-4.

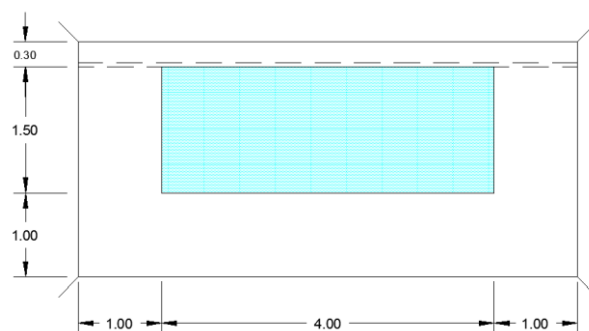
Figura 2-4 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 20%.



Fonte: produção do autor.

- Paf = 40%, com aberturas de 1,50m x 4,0m, conforme Figura 2-5.

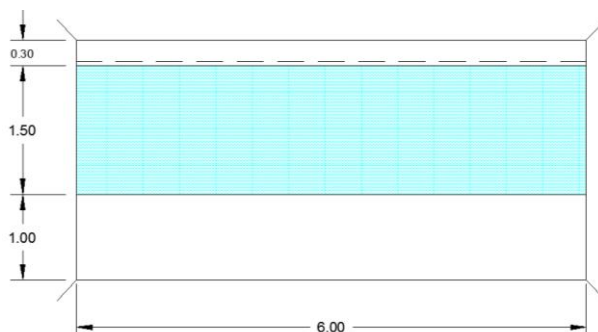
Figura 2-5 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 40%.



Fonte: produção do autor.

- Paf = 60%: com aberturas de 1,50m x 6,0m, conforme Figura 2-6

Figura 2-6 - Janela lateral com Paf de aproximadamente 60%.



Fonte: produção do autor.

A Tabela 2-2 destaca as janelas que atendem a fração de 1/6 e 1/8 da área do piso presente em muitas regulamentações edilícias.

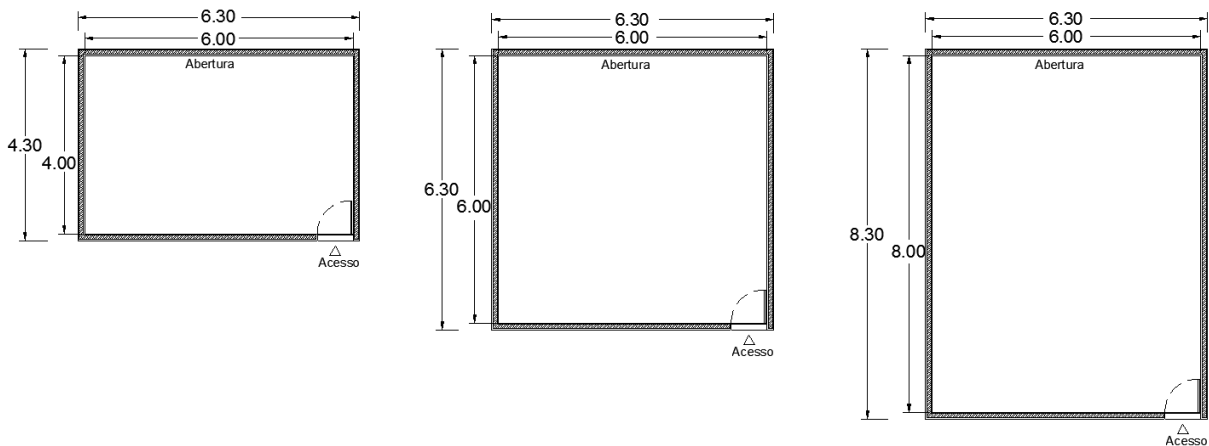
Tabela 2-2 - Comparação entre os Pafs propostos e a fração de 1/6 presente nas regulamentações edilícias.

Profundidade das salas	Regulamentações Edilícias		Propostas de aberturas		Regulamentação x Proposta	
	1/6 do piso	1/8 do piso	Pafs	Área (m ²)	Compatível (👍)	
					Incompatível (👎)	
					1/6	1/8
4m (Área do piso=24m ²)	4m ²	3m ²	20%	3m ² (Janela 1,5m x 2,0m)	👎	👍
			40%	6m ² (Janela 1,5m x 4,0m)	👍	👍
			60%	9m ² (Janela 1,5m x 6,0m)	👍	👍
6m (Área do piso=36m ²)	6m ²	4,5m ²	20%	3m ² (Janela 1,5m x 2,0m)	👎	👎
			40%	6m ² (Janela 1,5m x 4,0m)	👍	👍
			60%	9m ² (Janela 1,5m x 6,0m)	👍	👍
8m (Área do piso=48m ²)	8m ²	6m ²	20%	3m ² (Janela 1,5m x 2,0m)	👎	👎
			40%	6m ² (Janela 1,5m x 4,0m)	👎	👍
			60%	9m ² (Janela 1,5m x 6,0m)	👍	👍

Fonte: produção do autor

- Profundidade das salas: as profundidades variam em 4,00m, 6,00m e 8,00m, conforme Figura 2-7.

Figura 2-7 - Dimensões (largura e profundidade) das salas



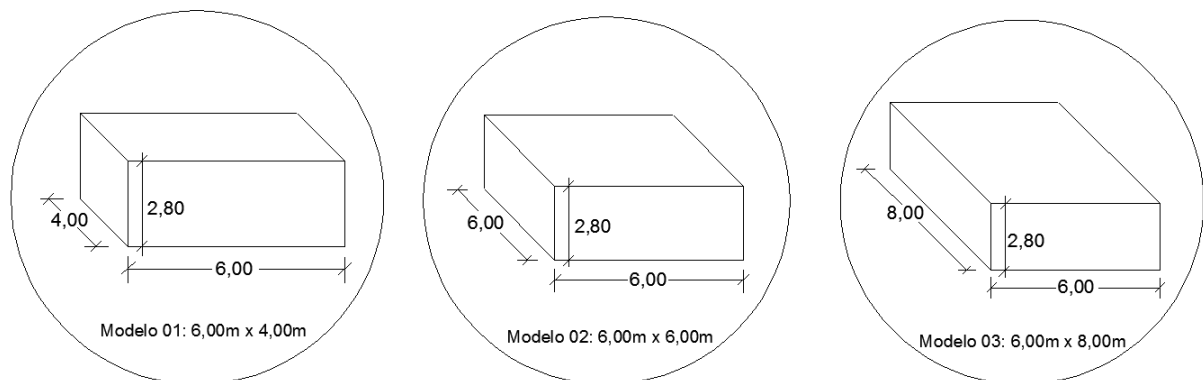
Fonte: produção do autor.

2.2.2 Seleção dos modelos

Os modelos foram estabelecidos através da combinação das aberturas, profundidades e orientações. Os parâmetros arquitetônicos de refletância, tipo do vidro, largura e pé-direito são comuns a todos os modelos.

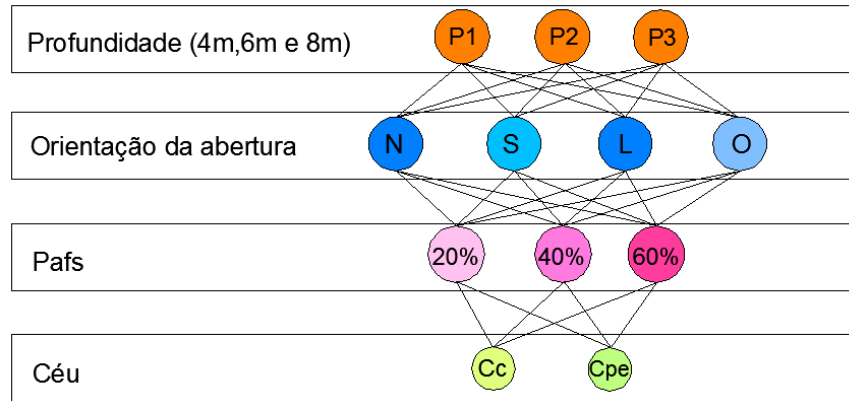
De acordo com a Figura 2-8, os modelos são representados por ambientes quadrangulares com profundidades variáveis (4,0m, 6,0m e 8,0m), combinados com três opções de áreas de aberturas ($P_{af}=20\%$, 40% e 60%), com quatro orientações (N, S, L e O) e simulados para as condições de céu existente na cidade de Natal/RN (céu claro e parcialmente encoberto), resultando em 72 modelos. (Figura 2-9).

Figura 2-8 - Modelos adotados.



Fonte: produção do autor.

Figura 2-9 - Diagrama de combinações de variáveis.

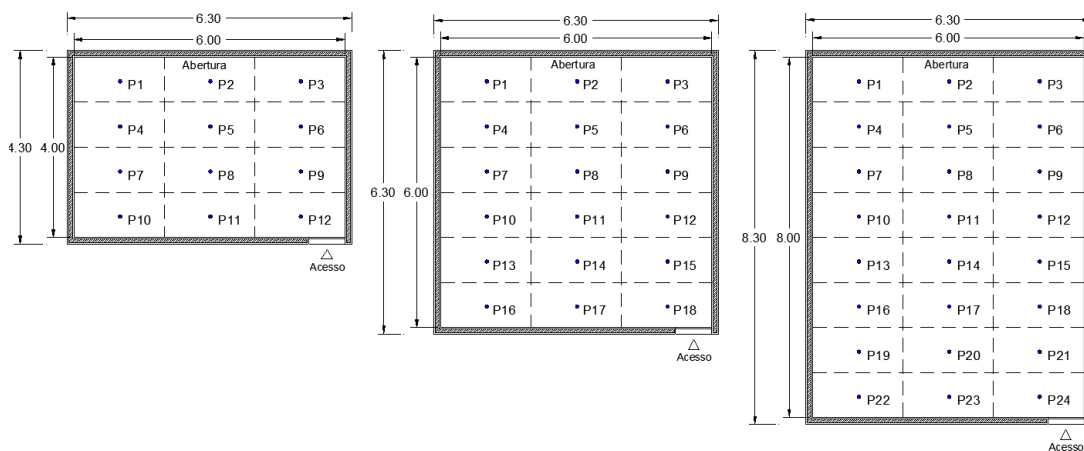


Fonte: produção do autor.

2.2.3 Determinação dos pontos de iluminância simuladas do plano de trabalho

São determinados pontos de referência para avaliar a distribuição de iluminância no plano de trabalho, que está a uma altura do piso de 0,80m. Esses pontos correspondem ao centro de subáreas de 2m² do plano de trabalho. O modelo 01 apresenta 12 pontos, o modelo 02 apresenta 18 e o modelo 03 apresenta 24, conforme a profundidade da sala. (Figura 2-10).

Figura 2-10 - Determinação dos pontos de medição de iluminância para as salas de 4,00m, 6,00m e 8,00m, respectivamente.

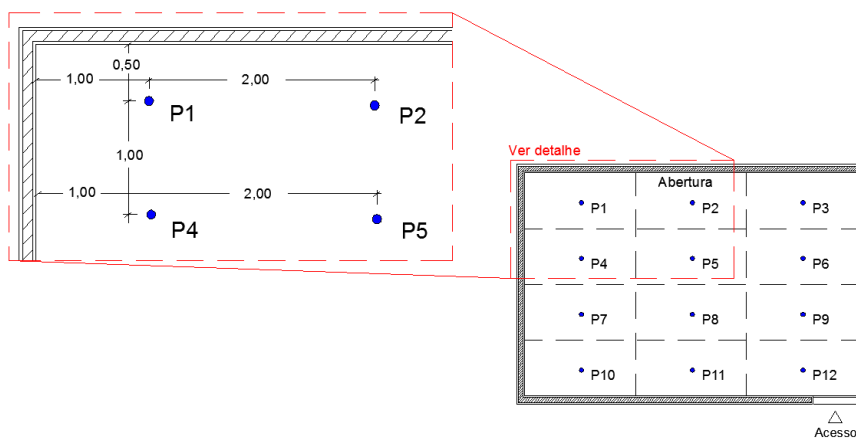


Fonte: produção do autor.

As distâncias entre os eixos dos pontos são 1,0m para os transversais e 2,0m para os longitudinais para todos os modelos e o menor afastamento entre os pontos e a parede é de 0,50m, conforme Figura 2-11.

De acordo com a NBR 15215-4 (ABNT, 2005b), o presente trabalho de dissertação atende a norma em todos os pontos relacionados a quantidade e a malha de pontos para medição, exceto na quantidade de pontos para o modelo 01 o qual apresenta 12 pontos, onde segundo o cálculo do índice do local (k) este deveria apresentar no mínimo 16 pontos. O aumento do número de pontos no modelo 01 acarretaria em um aumento nos demais modelos levando a um processo de simulação e extração dos dados mais demorados.

Figura 2-11 - Distanciamento entre os pontos de medição no interior do ambiente.



Fonte: produção do autor.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

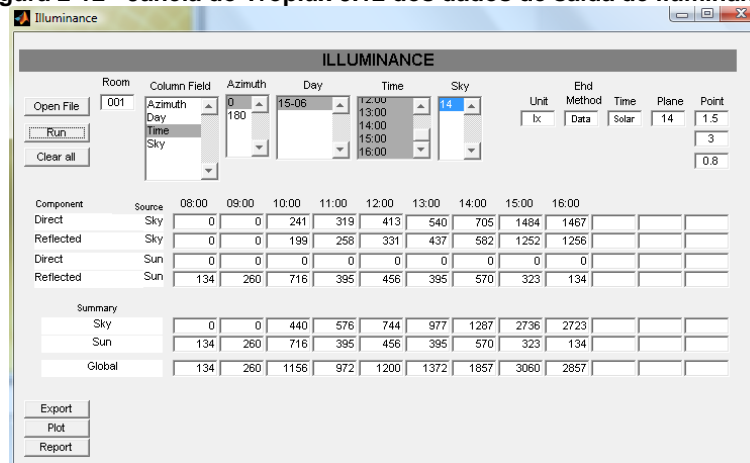
O programa de simulação computacional escolhido é o Troplux (CABÚS, 2005b). Trata-se de um programa desenvolvido e testado para simular o desempenho luminoso em edificações nos trópicos, e é um dos poucos aplicativos que possibilita a modelagem das condições de iluminância difusa externa real. Os cálculos das simulações são realizados rapidamente, empregando fundamentos do método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural.

De acordo com Araújo (2006), a divisão das iluminâncias em componentes no resultado final permite que se tenha além da iluminância global resultante em um ponto, a especificação da contribuição de diferentes fontes para esta iluminância, permitindo que se avalie o peso de cada uma na iluminância aferida no ponto em questão e assim avaliar a contribuição das componentes refletidas e diretas (Figura 2-12).

A modelagem consiste na reprodução de características como dimensões, refletância dos materiais, tipo de aberturas, elementos de proteção solar, latitude e longitude. A modelagem é por meio de declaração numérica ao invés de representação gráfica, embora seja possível visualizar o modelo em duas e três dimensões. A caracterização das condições de céu, da Iluminância horizontal difusa externa e o período da simulação são declarados pelo usuário do programa.

São as iluminâncias do ambiente interno e os resultados de dessas, por ponto do plano de trabalho, são apresentados na forma de números (Figura 2-12) ou de gráficos, podendo ser salvos em formatos compatíveis com a planilha eletrônica Microsoft Excel, como csv e xls, para fins de análise e representação gráfica.

Figura 2-12 - Janela do Troplux 3.12 dos dados de saída de iluminância.



Fonte: Programa Troplux 3.12

2.3.1 Simulação com dados monitorados

A primeira etapa da simulação é utilizado o software em sua versão mais antiga, Troplux 3.12 (CABÚS, 2005b), pois até então próxima versão ainda estava em construção.

Com a finalidade de comparar os dados ao término das simulações, a primeira simulação desenvolveu-se a partir da base de dados de iluminância difusa coletadas pela Estação Solarimétrica do INPE/CRN a fim de se obter resultados mais próximos da realidade.

Caracterização de Iluminância horizontal difusa externa

A caracterização da Iluminância horizontal difusa externa no software utiliza os registros de iluminância monitorados pela Estação Solarimétrica do INPE-CRN, onde são armazenados os valores médios de cada meia hora da componente difusa. Esses dados são declarados manualmente para cada ano, mês, dia e hora (exemplificado na Figura 2-13) no Troplux 3.12

no módulo “Input” na opção - *Daylight Data*. Como são empregados dois tipos de céu e como cada tipo de céu está relacionado a um padrão de iluminâncias externas, as iluminâncias horizontais difusas externas são baseadas em valores médios horários cadastrados para cada tipo de céu.

Figura 2-13 - Janela *Daylight Data* do Troplux.

Where		When						Data
City	Num	Year	Month	Day	Hour	Minutes	Seconds	Ehd
Natal-RN	1	2009	1	21	8	0	0	26000
	2	2009	1	21	9	0	0	33000
	3	2009	1	21	10	0	0	46000
	4	2009	1	21	11	0	0	56000
	5	2009	1	21	12	0	0	46000
	6	2009	1	21	13	0	0	25000
	7	2009	1	21	14	0	0	21000
	8	2009	1	21	15	0	0	2000
	9	2009	2	21	8	0	0	20000
	10	2009	2	21	9	0	0	30000
	11	2009	2	21	10	0	0	38000
	12	2009	2	21	11	0	0	54000

Fonte: Programa Troplux 3.12

Períodos simulados

A simulação de cada modelo é realizada rapidamente. Entretanto o cadastramento dos dados de entrada de Iluminância horizontal difusa externa e a extração e manipulação dos resultados exigem procedimentos manuais demorados, que limitam o número de casos analisados. Considerando que são 72 modelos e visando o máximo aproveitamento de luz natural, constatou-se a inviabilidade de simular os 12 meses dos anos de 2007 a 2009, considerando todas as horas e dias. Dessa forma, as medidas de operacionalização das simulações e análises consistiram em:

- definir um ano com maior número de registros;
- definir um dia médio do mês;
- determinar meses que sejam representativos para o ano;
- especificar um intervalo de hora.

A ausência de registros nos anos de 2007 e 2008 (por serem os primeiros anos de medição pela estação) motivou a adoção do ano de 2009 e, como dia representativo, devido as diferentes trajetórias solares ao ano, aquele referente ao período de mudança das estações, ou seja, dia 21.

Para a seleção dos meses, propõe-se uma simulação teste (para o Modelo 01, com Paf de 20%, para as condições de céu claro e parcial e para as orientações Norte e Sul) para avaliar os 12 meses do ano de 2009 e assim analisar a uniformidade nos níveis de luz encontrados e eliminar os meses que tenham comportamentos semelhantes. Dessa forma, os meses de março, junho, setembro e dezembro foram selecionados como representativos, conforme detalhamento no Apêndice B.

Determinado o ano, os meses, e o dia para simulação, a seleção das horas é baseada em horários em que há o aproveitamento da luz natural dentro do espaço interno e no intervalo de horas onde se exerça uma atividade de escritório, das 08h00 às 16h00, exceto para as condições do céu parcialmente encoberto, ficando das 08h00 às 15h00.

Dessa forma, os três modelos propostos são simulados para as condições de céu claro e parcialmente encoberto (exceto o céu encoberto devido a sua ausência, conforme item 3.1.1), para os meses de Equinócios e Solstícios, para o ano de 2009, no dia 21 de cada mês, das 8h00 às 16h00 ou das 08h00 às 15h00 (para as condições de céu parcialmente encoberto), conforme Quadro 2-1.

Quadro 2-1 - Relação dos dados de simulação com dados monitorados de céu.

Tipo de céu	Dados de simulação				
	Ano	Dia	Mês	Hora	Edh
Claro	2009	21	Março/ Setembro Junho/ Dezembro	8h00 às 16h00	Média horária de iluminância externa p/ céu claro
Parcial	2009	21	Março/ Setembro Junho/ Dezembro	8h00 às 15h00	Média horária de iluminância externa p/ céu parcial

Fonte: produção do autor.

Comparação preliminar: dados monitorados e dados Troplux/IES

Partindo do princípio que o programa de simulação para o cálculo de luz natural – Troplux 3.12 – encontra-se validado, optou-se em fazer comparação preliminar os valores de iluminância obtidos na base de dados do INPE-CRN com os valores da IES processados pelo programa.

O desenvolvimento desta análise dividiu-se em dois momentos, onde primeiro avalia os valores de iluminância difusa externa e, posteriormente, a avaliação dos valores de iluminância global interna, obtidos após simulação. Assim, a análise do primeiro momento se concentra no dia, meses e ano que foram selecionados para o desenvolvimento do estudo, ou seja, o dia 21; os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro e o ano de 2009.

No segundo momento, a análise de confiabilidade se faz com os dados da iluminância interna que ocorre com a escolha aleatória de um modelo, sendo este o modelo 01 (6m x4m), com uma abertura de 20% de Paf e sobre condições de céu claro, onde vale lembrar que este modelo está dividido em seu interior em 12 pontos (P1 à P12). A fim de viabilizar o tempo gasto para a extração dos dados do programa é apenas analisado o dia 21 dos meses de Março e Setembro e as orientações Norte e Sul.

2.3.2 Simulação com dados do Troplux/IES

A segunda etapa da simulação emprega o software Troplux 5.0 e os dados as IES, sendo que nesta versão existe a possibilidade dos dados serem analisados e extraídos do programa através do critério de UDI (Useful Daylight Illuminance).

As simulações utilizam somente o modelo de maior profundidade (M3), pois mesmo utilizando uma versão mais recente do programa, este ainda possui a extração dos dados muito lenta.

Assim como na simulação com dados monitorados INPE/CRN, optou-se em trabalhar apenas com o ano de 2009 e, como dia representativo, devido as diferentes trajetórias solares ao ano, aquele referente ao período de mudança das estações, ou seja, dia 21.

Para a seleção dos meses, ao contrário da simulação por dados monitorados, foram escolhidos os 12 meses do ano (de janeiro a dezembro), pois os dados necessários para esta simulação já estão presentes no sistema do programa (dados da IES), não sendo necessária a inserção manual de dados.

Determinado o ano, os meses, e o dia para simulação, a seleção das horas é baseada em horários em que há o aproveitamento da luz natural dentro do espaço interno e no intervalo de horas onde se exerça uma atividade de escritório, das 08h00 às 16h00.

Dessa forma, o modelo 03 (M3) proposto é simulado para as condições de céu claro, parcialmente encoberto e o céu encoberto, para o ano de 2009, no dia 21 de cada mês, das 8h00 às 16h00, conforme Quadro 2-1.

Quadro 2-2 - Relação dos dados de simulação com dados do Troplux/IES.

Tipo de céu	Dados de simulação				
	Ano	Dia	Mês	Hora	Edh
Claro	2009	21	Janeiro à Dezembro	8h00 às 16h00	Dados da IES
Parcial	2009	21	Janeiro à Dezembro	8h00 às 16h00	Dados da IES
Encoberto	2009	21	Janeiro à Dezembro	8h00 às 16h00	Dados da IES

Fonte: produção do autor.

2.4 CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

O critério de análise dos resultados é dado através de dois conceitos denominados de PULN e Zona Passiva, sendo ambos determinados após a etapa de simulação e obtidos através dos valores de iluminância interna aos modelos. O percentual útil de luz natural (PULN) significa quantas vezes ao ano o modelo simulado satisfaz os níveis de iluminância de projeto durante o período de ocupação do espaço simulado. Além do PULN, os resultados de iluminância obtidos pelas simulações também são analisados quanto ao alcance da luz natural (zona passiva) em termo de profundidade de sala. Analisa-se as relações entre aberturas, orientação, profundidade do ambiente, iluminância de projeto e tipos de céus.

Os valores mínimos de iluminância de projeto adotados no critério de atendimento de luz natural são 300 lux, 500 lux, e 1000 lux. Esses valores são baseados na NBR 5413 (ABNT, 1992).

2.4.1 Determinação do percentual útil de luz natural (PULN)

Nesta etapa são utilizados os dados de iluminância interna gerados pelo Troplux 3.12, estes são salvos em arquivos no formato xls e importados para o programa Microsoft Excel na forma de planilha de dados. Utilizando os recursos deste programa, os dados são agrupados e organizados para ser possível gerar gráficos que facilitem a análise dos números e a configuração do PULN.

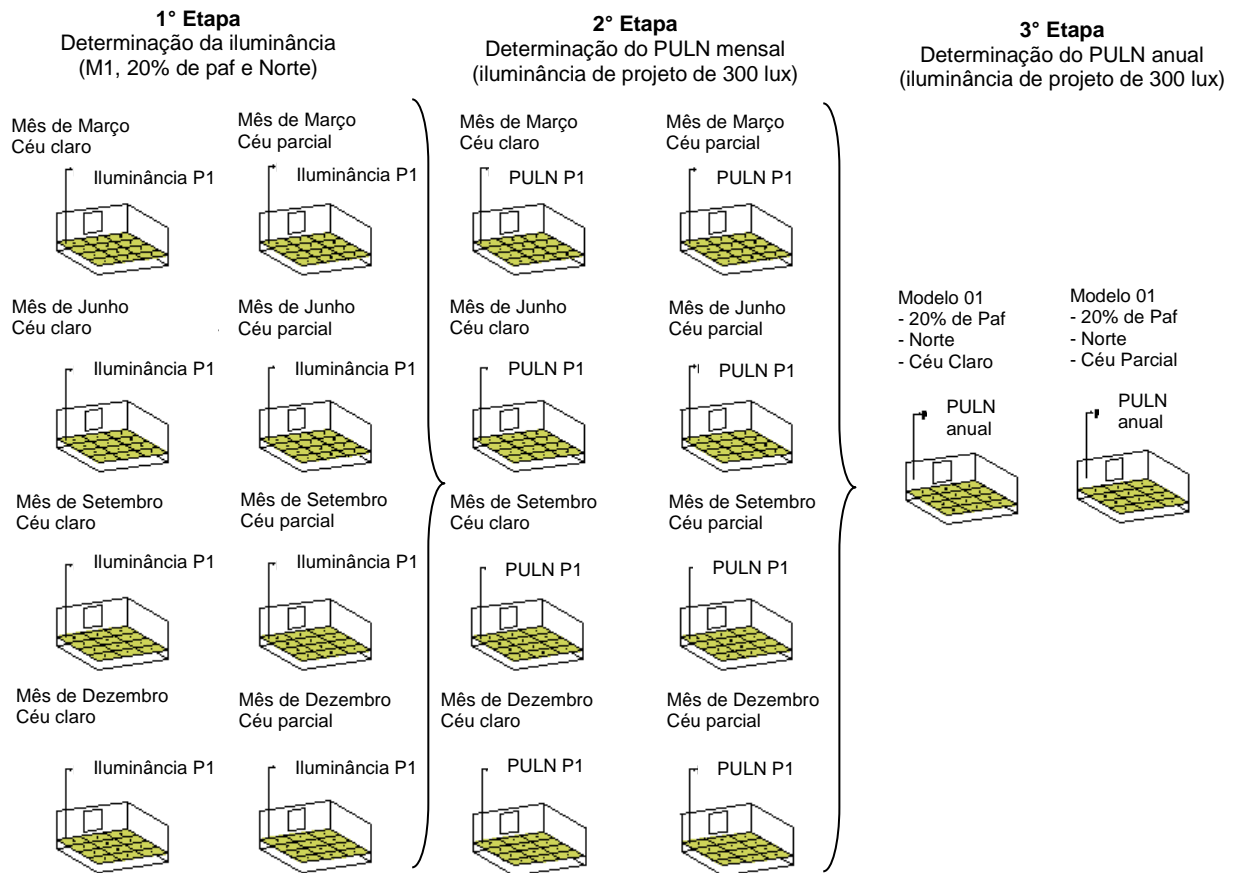
O PULN é um critério de análise do desempenho luminoso ao qual avalia a freqüência de tempo que um determinado ponto ou região do ambiente apresenta luz natural suficiente para proporcionar o desenvolvimento de uma atividade durante o ano, a partir de uma iluminância de projeto (norma 5413).

A análise é feita para o ano de 2009 e no horário das 8h00 às 15h00, pois 16h00 é um horário em que o elemento de proteção solar é menos eficaz e o céu parcialmente encoberto é inexistente nesse horário (item 3.1.1). No entanto, aberturas de 60% de Paf há penetração de luz solar direta além do horário excluído da análise (16h00).

Baseado no Daylight Autonomy e na proposta do PALN de Souza (2003) propõe-se nesta dissertação a adoção de um novo termo denominado de percentual útil de luz natural (PULN), o qual é determinado considerando os seguintes procedimentos:

- 1° Etapa: determina-se os valores de iluminância interna de cada ponto da malha dos modelos 01, 02 e 03, para cada tipo de céu através da simulação;
- 2° Etapa: quantifica-se a ocorrência de situações em que o valor da iluminância é maior que o de projeto, para cada ponto, e determina-se o PULN mensal com percentual de 100% (\geq a iluminância de projeto), caso contrário, 0% ($<$ a iluminância de projeto), independente das ocorrências de céu claro e de céu parcialmente encoberto;
- 3° Etapa: determina-se o PULN médio anual por ponto através de média aritmética dos meses representativos para as condições de céu claro e parcialmente encoberto independentemente, conforme a Figura 2-14.

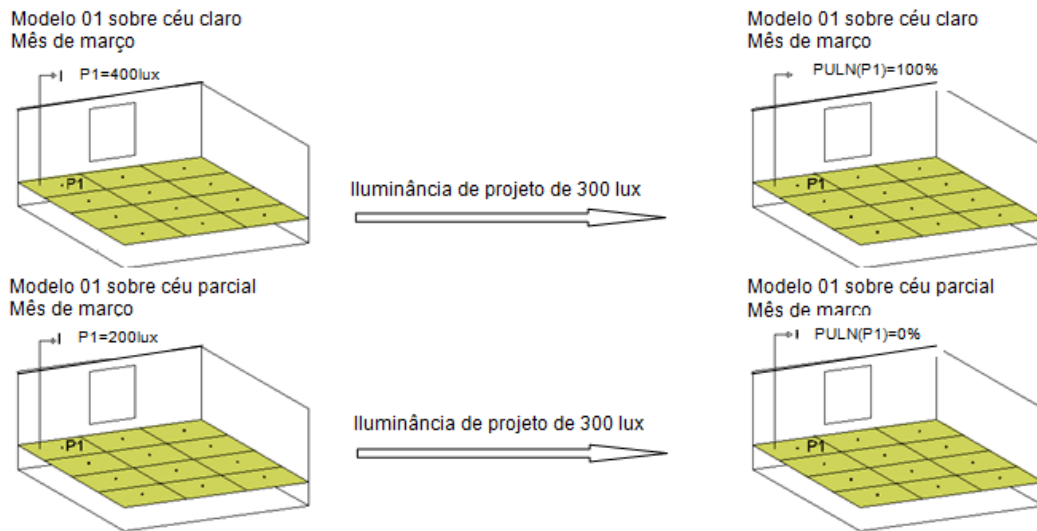
Figura 2-14 - Etapas para a determinação do PULN.



Fonte: produção do autor.

Por exemplo, o Modelo 01, com 20% de Paf, orientação Norte e iluminância de projeto de 300lux, após a simulação, o Ponto 1 (P1) apresenta 400 lux sobre condições de céu claro e 200 lux sobre condições de céu parcial. Logo, o Ponto 1 (P1) tem luz suficiente 100% do tempo sob céu claro devido ao desempenho ser superior que a iluminância de projeto proposta, enquanto que o céu parcial tem luz suficiente 0% do ano porque o nível de iluminância apresenta-se abaixo de 300 lux, conforme Figura 2-15.

Figura 2-15 - Procedimentos para obtenção do PULN mensal.

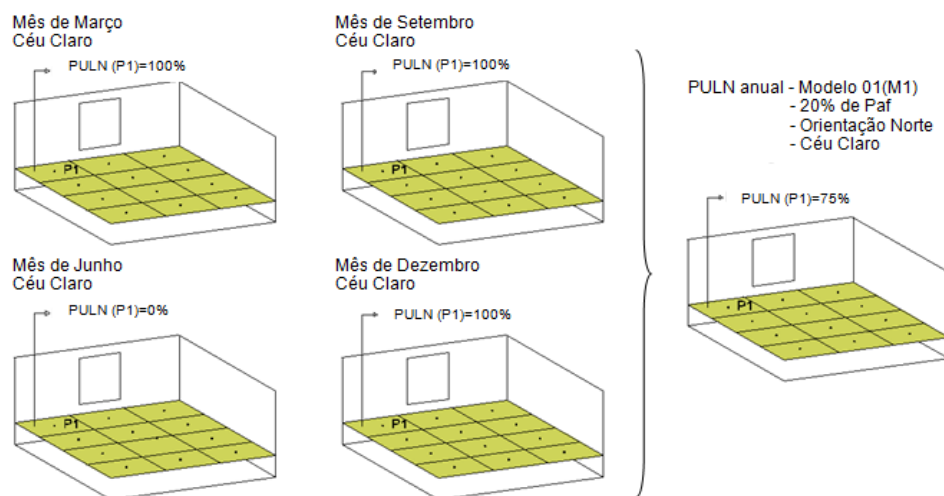


Fonte: produção do autor.

O procedimento de determinação do PULN é repetido para os quatro meses representativos do ano, para cada ponto do interior do ambiente. Ao final, encontra-se o PULN anual através da média aritmética dos meses estudados, sendo um resultado para as condições de céu claro e outro para céu parcial. Esta análise é feita para todos os modelos propostos e suas combinações entre tipos de aberturas e orientações (Figura 2-16).

A partir da determinação de iluminâncias de projeto (300 lux, 500 lux e 1000 lux) e a variação das características dos modelos (profundidade, aberturas e orientação), determina-se o comportamento do PULN no espaço interno visando à identificação de recomendações para o uso adequado da luz natural.

Figura 2-16 - Procedimentos para obtenção do PULN anual.



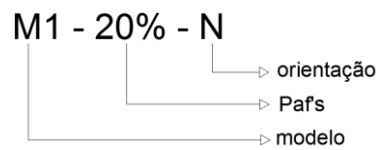
Fonte: produção do autor.

Os resultados dos PULN's dos 72 modelos são organizados em função de:

- três modelos propostos: M1, M2 e M3;
- tipo de abertura (Paf): 20%, 40% e 60%;
- orientação: N, S, L e O;
- iluminância de projeto proposta: 300, 500 e 1000 lux;
- tipos de céus: claro e parcialmente encoberto.

Os modelos são identificados conforme Figura 2-17.

Figura 2-17 - Identificação dos modelos.



Fonte: produção do autor.

2.4.2 Caracterização da zona passiva de luz natural

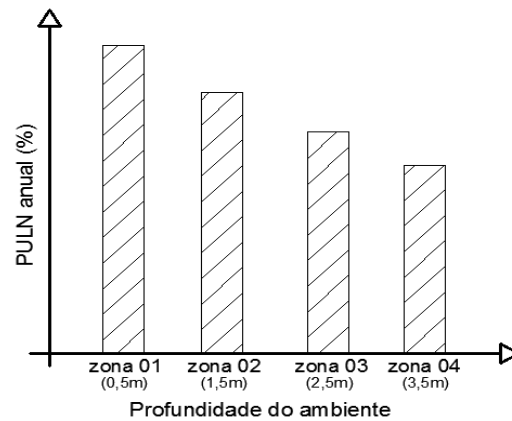
A zona passiva consiste de uma área perimetral que pode ser atendida por luz natural (BAKER, 1995), na qual a profundidade dessa zona é estimada como sendo o dobro do pé-direito. A presente pesquisa reavalia essa recomendação com o intuito de estabelecer a zona passiva dos modelos e determinar a profundidade de alcance da luz natural em clima quente e úmido por aberturas unilaterais devidamente protegidas da insolação para proporcionar recomendações de projeto.

O critério adotado para caracterizar a zona passiva emprega o PULN médio ao longo da profundidade do ambiente (Figura 2-18). Os ambientes são divididos em zonas, cada uma com três pontos, cuja média dos PULN individuais resultam no PULN analisado (Figura 2-19).

Para as simulações com dados monitorados do céu adotou-se como zona passiva a região que apresenta um PULN médio de 100%, considerando uma tolerância de iluminância de projeto de até 30%, conforme recomendação da adotada pela norma NBR 5413 - Iluminância de interiores. (ABNT, 1992) para iluminação artificial. Ou seja, são analisados três tipos de zona passiva: para 300 lux, variando até 210 lux; 500 lux, variando até 350 lux; 1000 lux, variando até 700 lux.

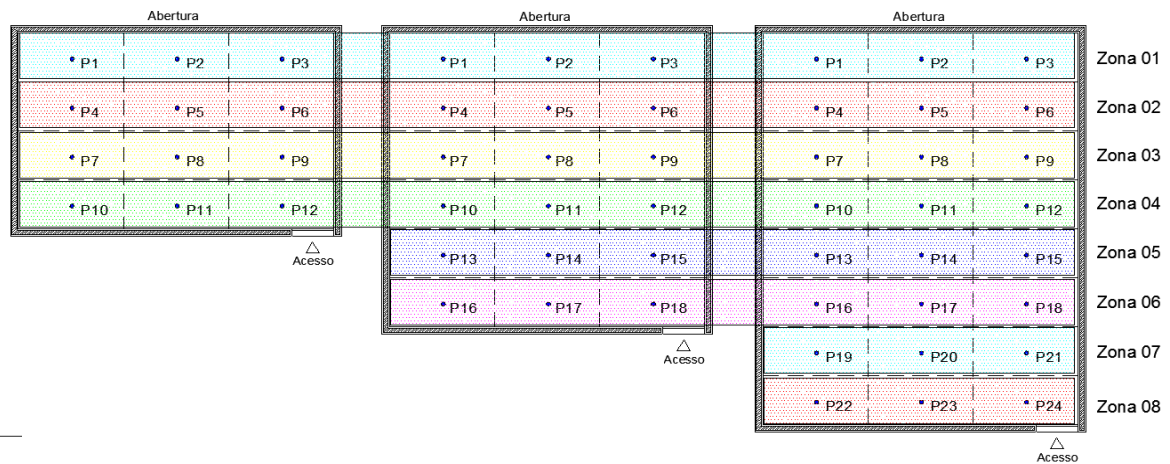
Para as simulações com dados do Troplux/IES adotaram-se, como zona passiva, todos os valores de PULN dando mais atenção a regiões em que há a inexistência de tal critério de avaliação, pois o PULN médio de 100% é praticamente ausente nesta análise.

Figura 2-18 - Gráfico de comportamento da zona passiva segundo o PULN.



Fonte: produção do autor.

Figura 2-19 - Zonas dos modelos 01, 02 e 03.



Fonte: produção do autor.

2.5 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA PARA RECOMENDAÇÕES

Após os resultados das simulações, estas são analisadas pelos critérios do PULN e da zona passiva sendo desenvolvidas representações gráficas para o entendimento do melhor aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes. A finalidade de tornar acessível na prática projetual estudos acadêmicos de linguagem bastante técnica que terminam sem utilidade por projetistas por não serem materiais compatíveis com a vida profissional.

As representações têm como propósito transmitir as influências dos parâmetros, tais como a orientação e tamanho das aberturas, profundidade do ambiente, orientação geográfica, níveis de iluminância de projeto e proteção solar, e assim analisar na fase de concepção do projeto, a

melhor solução para se ter o aproveitamento da luz natural o maior número de horas possíveis em que se têm atividades no espaço.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O capítulo de análises dos resultados aborda a caracterização do céu de Natal-RN e, posteriormente, o desempenho dos modelos quanto aos níveis de iluminância interna. Porém foi constatada a inconsistência dos dados do INPE/CRN os quais foram à base de desenvolvimento desta dissertação, inviabilizando uma análise quantitativa. Nesse sentido, os dados aqui presentes são apenas ilustrativos para o entendimento dos procedimentos para analisar o desempenho da iluminação natural nos modelos com aberturas sombreadas, objetivo deste trabalho.

Propõe-se a união dos conceitos do Daylighting Autonomy (DA) com o PALN para desenvolver um parâmetro de comparação do desempenho dos modelos propostos, denominado de percentual útil de luz natural, (PULN), também empregado na análise e determinação da zona passiva.

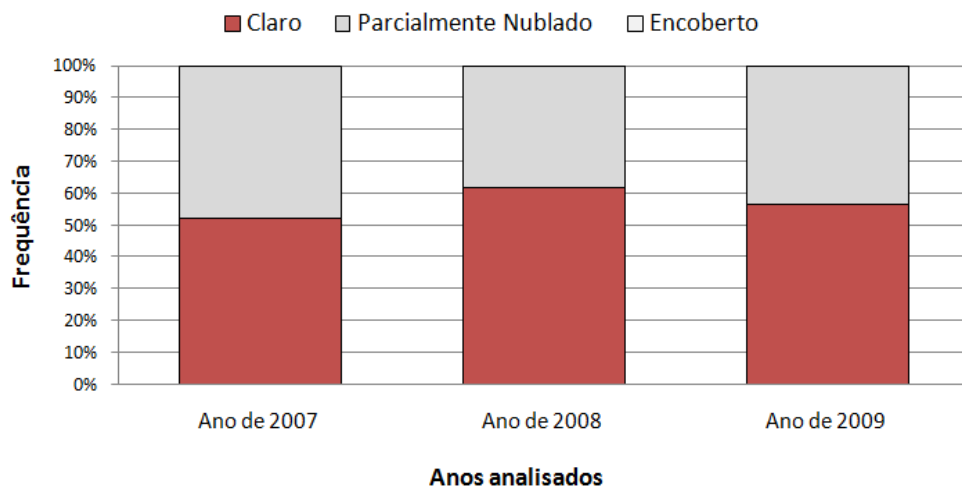
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CÉU DE NATAL/RN

A caracterização do céu de Natal-RN é composta por uma análise da frequência de ocorrência dos tipos de céu e de níveis de iluminância horizontal externa dos tipos de céus identificados.

3.1.1 Frequência de ocorrência dos tipos de céu

Para frequência de ocorrência dos tipos dos céus, consideram-se os anos de 2007, 2008 e 2009. O comportamento do céu de Natal/RN demonstra que o tipo claro é o predominante nos três anos estudados, seguido do céu parcialmente encoberto. (Figura 3-1).

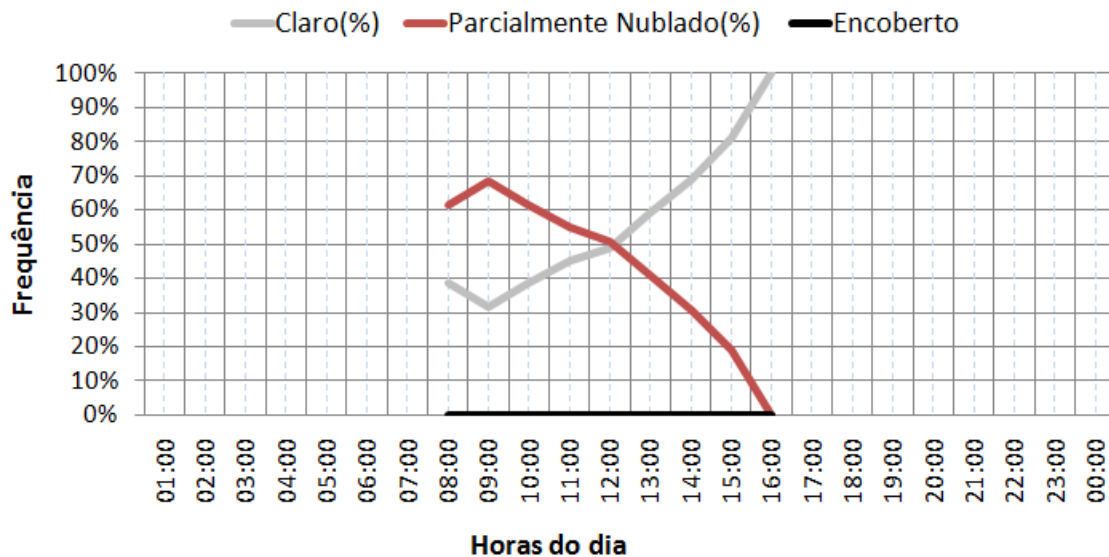
Figura 3-1 - Gráfico de frequência da ocorrência dos tipos de céu claro e parcialmente encoberto para os anos de 2007, 2008 e 2009.



Fonte: produção do autor.

Às primeiras horas do dia o céu parcialmente encoberto prevalece em maior frequência enquanto que, ao entardecer, o céu claro assume a predominância, deixando de ocorrer céu parcialmente encoberto às 16h00 e prevalecendo uma frequência de 100% de céu claro, para todos os meses e anos analisados. (Figura 3-2).

Figura 3-2 - Gráfico de frequência de ocorrência dos tipos de céu claro e parcialmente encoberto, horariamente, para os anos de 2007, 2008 e 2009.



Fonte: produção do autor.

Como pode ser observado, há uma ausência de céu encoberto. O método de classificação de tipo de céu foi revisado diversas vezes e nenhum erro foi encontrado. Portanto, a qualidade dos dados monitorados passou a ser objeto de investigação.

3.1.2 Níveis de iluminância horizontal externa dos tipos de céus identificados

Para o ano de 2007, verifica-se que a média anual da iluminância difusa, considerando as horas simuladas, das 8h00 às 16h00, é de 21 klux para as condições de céu claro e de 29 klux para as condições de céu parcialmente encoberto. A iluminância global, independente do tipo de céu, apresenta uma média de 64 klux, de acordo com a Tabela 3-1.

Tabela 3-1 - Relação entre frequências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2007.

Ano de 2007	Frequência de ocorrência de tipo do céu	Iluminância difusa externa média (Ed)	Iluminância global média (Eg)
Céu claro	52%	21.000 lux	64.000 lux
Céu parcial	48%	29.000 lux	

Fonte: produção do autor.

Para o ano de 2008, verifica-se que a média anual da iluminância difusa, considerando as horas simuladas, das 8h00 às 16h00, é de 25 klux para as condições de céu claro e de 31 klux para as condições de céus parcialmente encobertos. A iluminância global, independente do tipo de céu, apresenta uma média de 62 klux, de acordo com a Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Relação entre frequências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2008.

Ano de 2008	Frequência de ocorrência de tipo do céu	Iluminância difusa externa média (Ed)	Iluminância global média (Eg)
Céu claro	62%	25.000 lux	62.000 lux
Céu parcial	38%	31.000 lux	

Fonte: produção do autor.

Para o ano de 2009, último ano analisado, pode-se verificar que a média anual da iluminância difusa, considerando as horas simuladas, das 8h00 às 16h00, é 22 klux para as condições de céu claro e de 32 klux para as condições de céu parcialmente encoberto. Entretanto a iluminância global, independente do tipo de céu, apresenta uma média de 51 klux, conforme a Tabela 3-3.

Tabela 3-3 - Relação entre freqüências de céus e iluminância global e difusa para o ano de 2009.

Ano de 2009	Freqüência de ocorrência de tipo do céu	Iluminância difusa externa média (Ed)	Iluminância global média (Eg)
Céu claro	56%	22.000 lux	51.000 lux
Céu parcial	43%	32.000 lux	

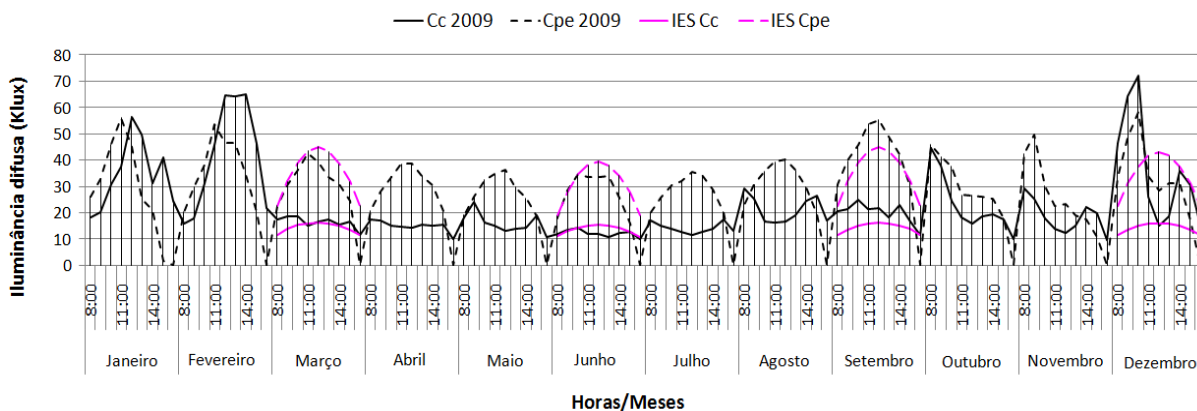
Fonte: produção do autor.

3.2 COMPARAÇÃO PRELIMINAR DOS DADOS MONITORADOS COM OS DADOS DO TROPLUX/IES

São analisados os valores de iluminâncias difusa externa e os valores de iluminância global interna com a finalidade de se comparar os resultados obtidos através dos valores da base de dados do INPE-CRN (utilizados nesta dissertação) com os valores da IES (cadastrados no programa).

Analisando a iluminância difusa externa, observa-se que, através da Figura 3-3, os meses estudados apresentaram pequenas diferenças entre os dados coletados no INPE-CRN e os valores da IES, exceto o mês de Dezembro que, devido ao seu comportamento atípico, apresenta uma diferença de 57 klux sobre condições de céu claro as 10h00.

Figura 3-3 - Gráfico do comportamento das iluminâncias difusas externa (sobre céu claro-Cc- e parcialmente encoberto-Cpe) pelos dados do INPE e da IES.

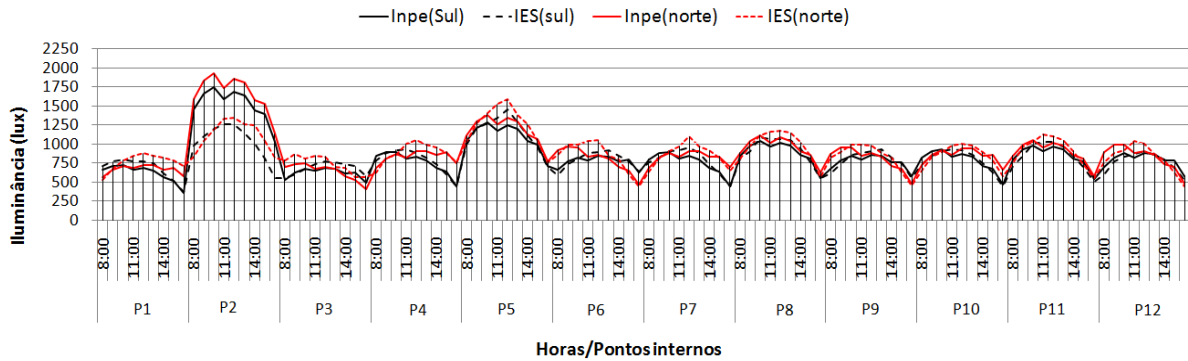


Fonte: produção do autor.

Analisando a iluminância interna do modelo 01, com 20% de Paf, condições de céu claro e para o dia 21 do mês de Março, observa-se uma grande uniformidade entre os valores obtidos através da simulação com os dados do INPE e os da IES, para ambas as orientações (Norte e

Sul). Contudo, o ponto 02 (P2), que está localizado a 0,5m da abertura e no eixo da normal da janela, é o que apresenta maior diferença, conforme Figura 3-4.

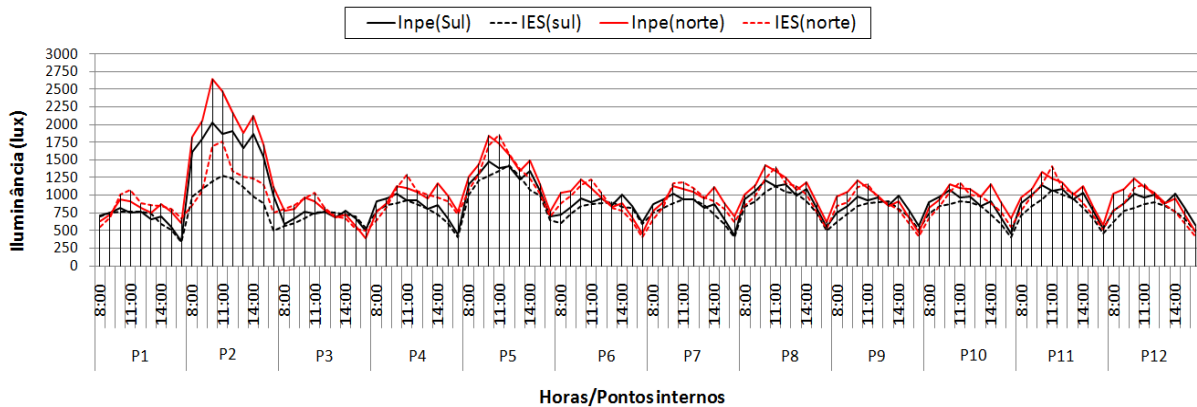
Figura 3-4 - Gráfico do comportamento da iluminância global interna para 21/03 (para o Modelo 1, 20% de PaF e sobre condições de céu claro) através dos dados do INPE e da IES.



Fonte: produção do autor.

Analisando as mesmas condições para o mês de Setembro, observa-se uma grande uniformidade entre os valores obtidos através da simulação com os dados do INPE e os da IES, para ambas as orientações (Norte e Sul). Contudo, o ponto 02 (P2), que está localizado a 0,5m da abertura e no eixo da normal da janela, é o que apresenta maior diferença, conforme Figura 3-5.

Figura 3-5 - Gráfico do comportamento da iluminância global interna para 21/09 (para o Modelo 1, 20% de PaF e sobre condições de céu claro) através dos dados do INPE e da IES.



Fonte: produção do autor.

A análise comparativa dos dados do INPE (cadastrados no programa manualmente) e da IES (existentes no programa), tanto para iluminância externa como interna, constata-se comportamento similar devido à uniformidade de desempenho e às pequenas oscilações de iluminância.

3.3 SIMULAÇÃO COM DADOS MONITORADOS DE CÉU

Nesta etapa de simulação é proposto para trabalhar o três modelos (M1, M2 e M3) considerando as três opções de iluminâncias (300lux, 500 lux e 1000 lux), as três opções de aberturas (Paf's de 20 %, 40% e 60%), duas opções de céu (claro e parcial) e as quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), totalizando 72 modelos.

Para esta simulação é utilizada a versão 3.14 do software, pois até o presente momento a versão mais recente ainda não estava pronta, onde em seu sistema é inserido os dados de iluminância difusa do céu de Natal/RN, monitorados pela estação solarimétrica do INPE/CRN.

A partir dos resultados, estes foram analisados conforme o critério do PULN, zona passiva e ao fim desenvolvidas as representações gráficas para o auxílio de projetistas e futuras recomendações projetuais.

3.3.1 Determinação do percentual útil de luz natural (puln)

São apresentados os resultados para os três modelos, M1, M2 e M3, e analisados de acordo com o tipo de abertura (Paf's) e o tipo de céu (céu claro e céu parcial). Não se deve levar em consideração os dados quantitativos, mas o procedimento adotado até alcançar as representações.

Modelo 01

São apresentados os resultados do modelo 01 acordo com os Paf's e tipo de céu, analisando o PULN conforme a orientação e a iluminância de projeto.

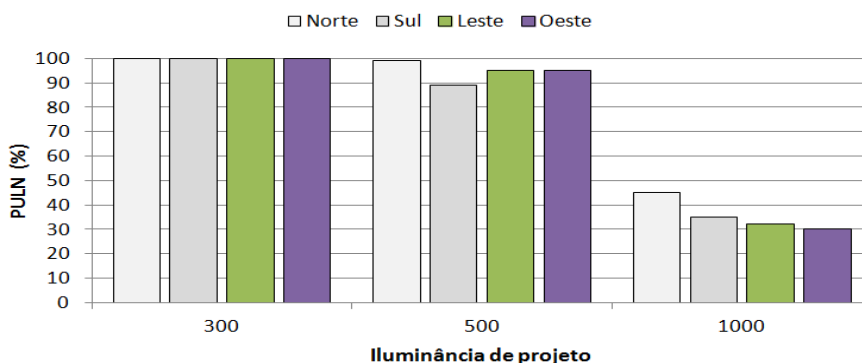
- **M1 20% - céu claro**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M1-20% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação a iluminância de 300 lux. A orientação Norte obteve melhor desempenho para o aproveitamento de luz natural com um PULN médio de 99%. Em seguida está a orientação Leste e Oeste com um PULN médio de 95%, e a Sul com 89%.

Para a iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte, o PULN médio é de 45%, sendo de 35% para a orientação Sul. Em seguida está a orientação Leste com um PULN médio de 32% e à Oeste com 30%, segundo a Figura 3-6.

Figura 3-6. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 20% de Paf para céu claro.



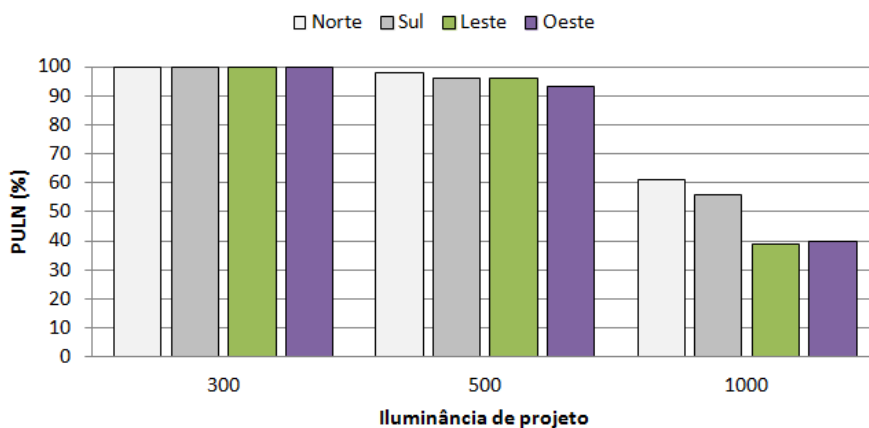
Fonte: produção do autor.

- **M1 - 20% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M1- 20% - céu parcial demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação a iluminância de 300 lux. A orientação Norte obteve melhor desempenho para o aproveitamento de luz natural com um PULN médio de 98%. Em seguida está a orientação Sul e Leste com um PULN médio de 96%, e a Oeste com 93%.

Para a iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte, o PULN médio é de 45%, sendo de 35% para a orientação Sul. Em seguida está a orientação Oeste com um PULN médio de 40% e à Leste com 39%, segundo a Figura 3-7.

Figura 3-7. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 20% de Paf para céu parcial.

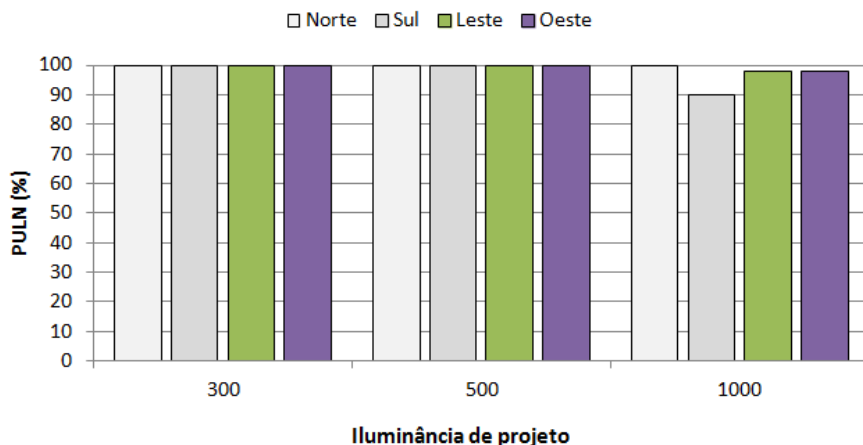
Fonte: produção do autor.

- **M1 - 40% - céu claro**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M1- 40% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui quando comparado com a iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux. Para a orientação Norte o PULN médio é de 100% e a Leste e Oeste de 98%. Em seguida está à orientação Sul com um PULN médio de 90%, segundo a Figura 3-8.

Figura 3-8. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 40% de Paf para céu claro.

Fonte: produção do autor.

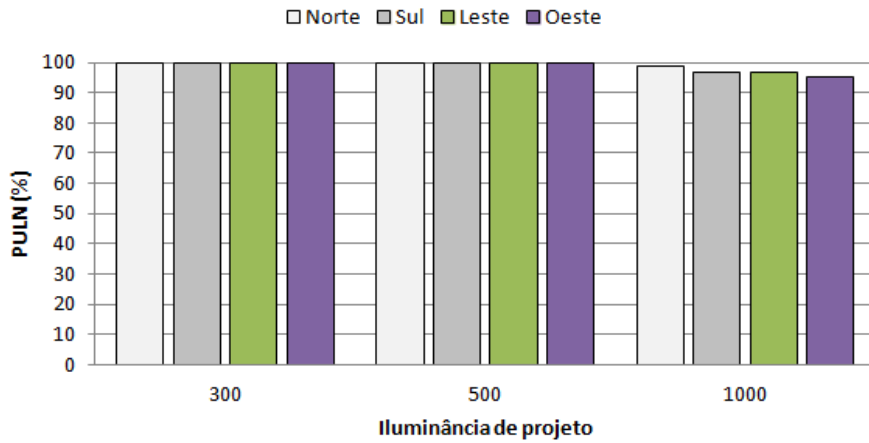
- **M1 - 40% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M1- 40% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui quando comparado com a iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux. Para a orientação Norte o PULN médio é de 99% e a Sul e Leste de 97%. Em seguida está à orientação Oeste com um PULN médio de 95%, segundo a Figura 3-9

Figura 3-9. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 40% de Paf para céu parcial.

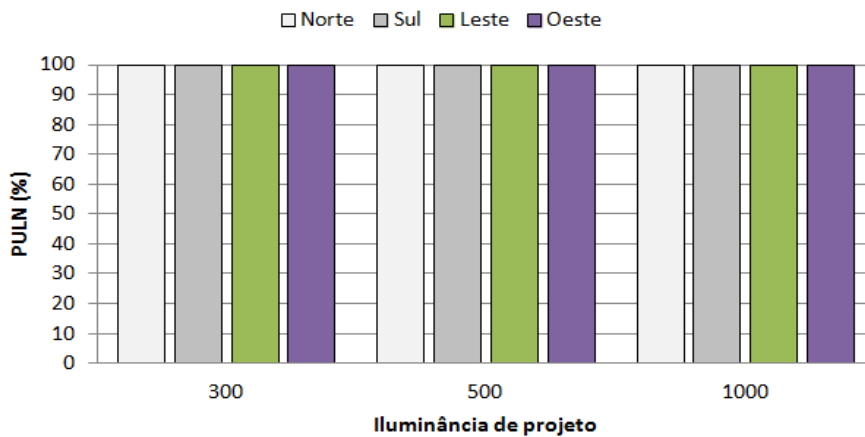


Fonte: produção do autor.

- **M1 - 60%- céu claro e parcial**

Para a iluminância de projeto de 300 lux, 500 lux e 1000 lux, o modelo M1– 60% - céu claro e parcial apresenta um PULN médio de 100% para todas as orientações, de acordo com a Figura 3-10.

Figura 3-10. Gráfico da variação do PULN para o modelo 01 com 60% de Paf para céu claro e parcial.



Fonte: produção do autor.

Modelo 02

São apresentados os resultados do modelo 02 acordo com os PafTs e o tipo de céu, analisando o PULN conforme a orientação e a iluminância de projeto.

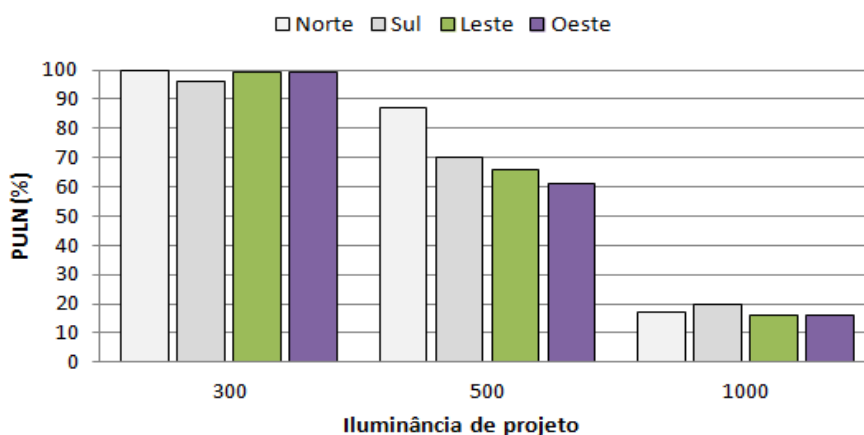
- **M2 - 20% - céu claro.**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 20% - céu claro demonstra que a orientação Norte obteve melhor desempenho quanto ao aproveitamento da luz natural, com um PULN médio de 100%. Em seguida está a orientação Leste e Oeste com um PULN médio de 99%, cada uma, e a orientação Sul com um PULN médio de 96%.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação à iluminância de 300 lux, apresentada anteriormente. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural com um PULN médio é de 87%. Em seguida está a orientação Sul com um PULN médio de 70% e as orientações Leste e Oeste com 66% e 61%, respectivamente.

Por sua vez, se a iluminância de projeto for de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes apresenta-se com um decréscimo considerável em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Sul o PULN médio é de 20%, sendo de 17% para a orientação Norte. As orientações Leste e Oeste são de pior desempenho, com um PULN médio de 16%, segundo a Figura 3-11.

Figura 3-11. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 20% de Paf para céu claro.



Fonte: produção do autor.

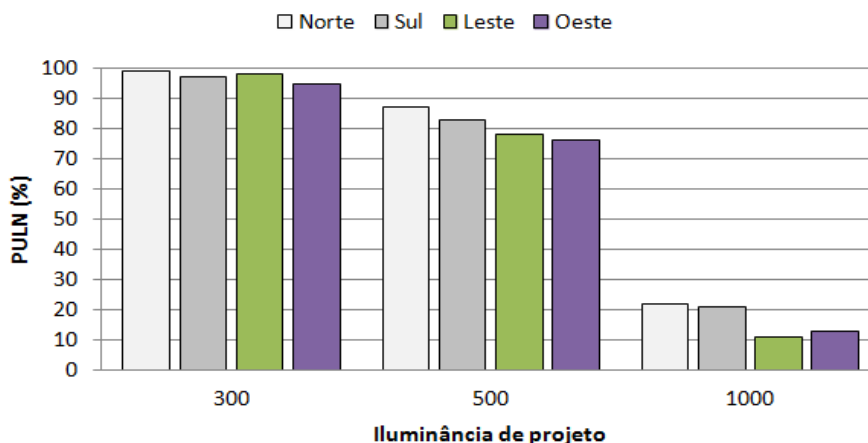
- **M2 - 20% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 20% - céu parcial demonstra que a orientação Norte obteve melhor desempenho quanto ao aproveitamento da luz natural, com um PULN médio de 99%. Em seguida está a orientação Leste com um PULN médio de 98%. A orientação Sul com um PULN médio de 97% e a orientação Oeste de 95%.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação à iluminância de 300 lux, apresentada anteriormente. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural com um PULN médio é de 87%. Em seguida está a orientação Sul com um PULN médio de 83% e as orientações Leste e Oeste com 78%, cada uma.

Por sua vez, se a iluminância de projeto for de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes apresenta-se com um decréscimo considerável em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte o PULN médio é de 22%, sendo de 21% para a orientação Sul. As orientações Oeste e Leste são de pior desempenho, com um PULN médio de 13% e 11%, respectivamente, segundo a Figura 3-12.

Figura 3-12. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 20% de Paf para céu parcial.



Fonte: produção do autor.

- **M2 - 40% - céu claro**

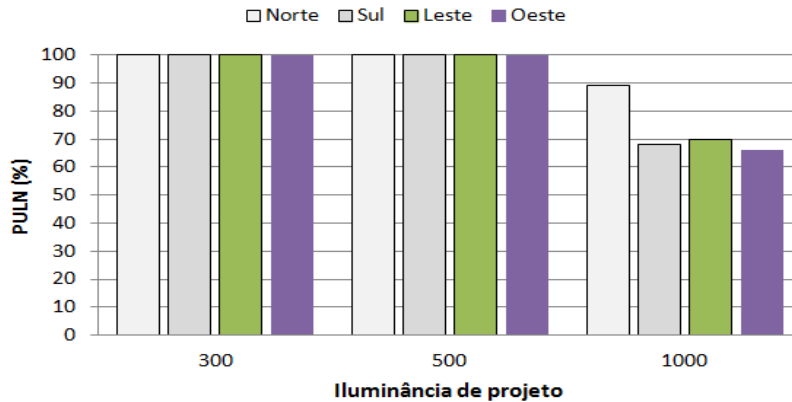
Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 40% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes diminui em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte o PULN médio é de 89% e para a orientação Leste de 70%. A

orientação Sul e Oeste, de pior desempenho, apresentam um PULN médio de 68 e 66%, respectivamente, segundo a Figura 3-13.

Figura 3-13. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 40% de Paf para céu claro.



Fonte: produção do autor.

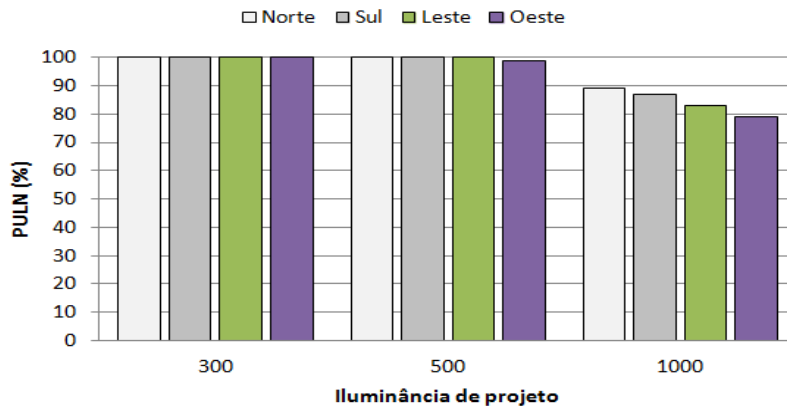
- **M2 - 40% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 40% - céu parcial demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as orientação Norte, Sul e Leste obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente. Entretanto, a orientação Oeste obteve um PULN médio de 99%

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes diminui em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte o PULN médio é de 89% e para a orientação Sul de 68%. A orientação Leste e Oeste, de pior desempenho, apresentam um PULN médio de 68 e 66%, respectivamente, segundo a Figura 3-14.

Figura 3-14. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 40% de Paf para céu parcial.



Fonte: produção do autor.

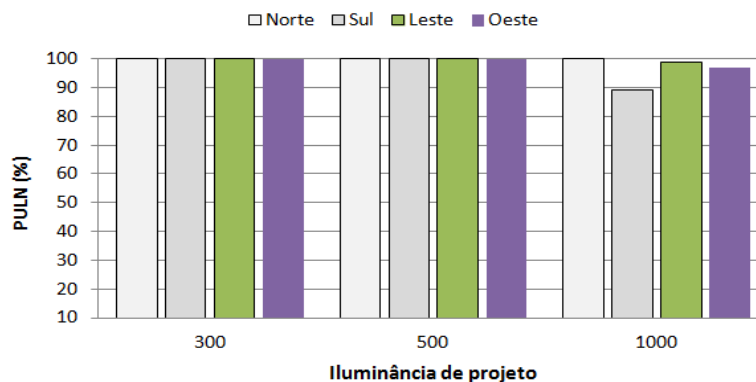
- **M2 - 60% - céu claro**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 60% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente.

No entanto, se a iluminância de projeto for de 1000 lux o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui em relação as propostas de iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux. Para a orientação Norte, de melhor desempenho, o PULN médio é de 100% sendo de 99% para a orientação Leste. A orientação Oeste e Sul, de pior desempenho, apresentam um PULN médio de 97% e 89%, respectivamente, segundo a Figura 3-15.

Figura 3-15. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 60% de Paf para céu claro.



Fonte: produção do autor.

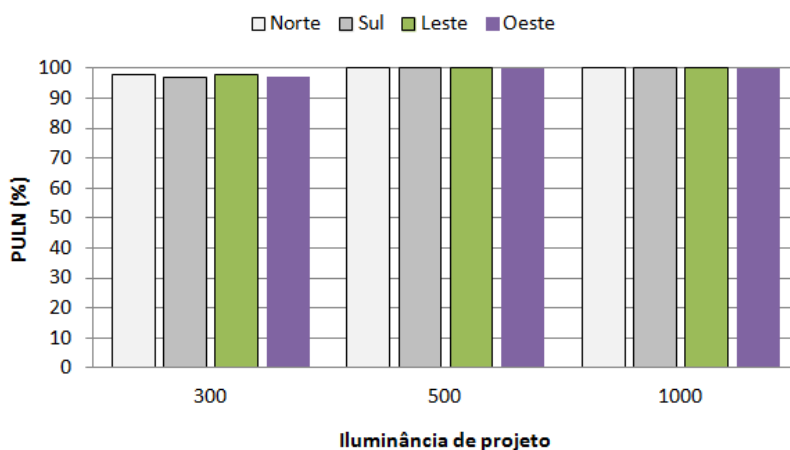
- **M2 - 60% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M2 - 20% - céu parcial demonstra que a orientação Norte e Leste obtiveram melhor desempenho quanto ao aproveitamento da luz natural, com um PULN médio de 98%. Em seguida está as orientações Sul e Oeste com um PULN médio de 97%.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, assim como para a iluminância proposta anteriormente.

Para uma iluminância de projeto de 1000 lux, observa-se que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas, segundo a Figura 3-16.

Figura 3-16. Gráfico da variação do PULN para o modelo 02 com 60% de Paf para céu parcial.



Fonte: produção do autor.

Modelo 03

São apresentados os resultados do modelo 03 acordo com os Pafts e tipo de céu, analisando o PULN conforme a orientação e a iluminância de projeto.

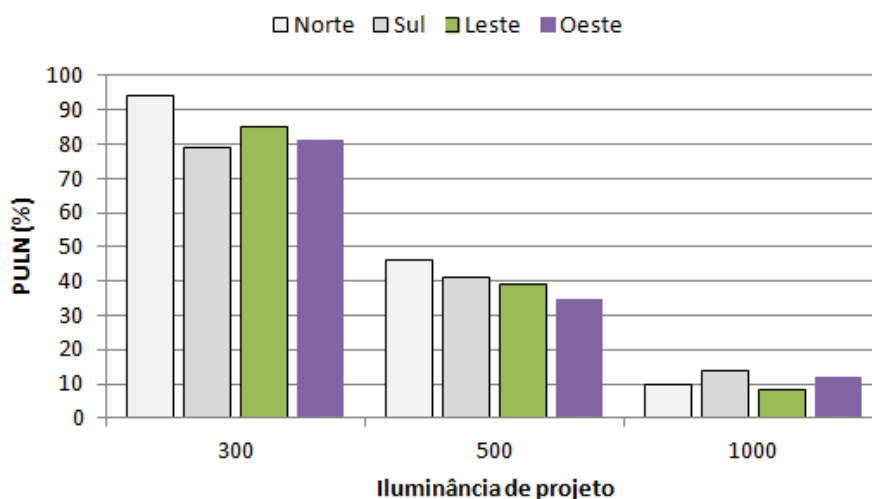
- **M3 - 20% - céu claro**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M3 - 20% - céu claro demonstra que a orientação Norte apresentou um PULN médio de 94%. Em seguida está a orientação Leste, com 85%, e as orientações Oeste e Sul com 81% e 79%, respectivamente.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação à iluminância de 300 lux, apresentada anteriormente. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural com um PULN médio é de 46%. Em seguida está a orientação Sul com 41% e as orientações Leste e Oeste com 39% e 35%, respectivamente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes decai consideravelmente em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Sul, o PULN médio é de 14%, sendo de 12% para a orientação Oeste. A orientação Norte e Leste são as de pior desempenho, com um PULN médio de 14% e 8%, respectivamente, segundo a Figura 3-17.

Figura 3-17. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 20% de Paf para céu claro.



Fonte: produção do autor.

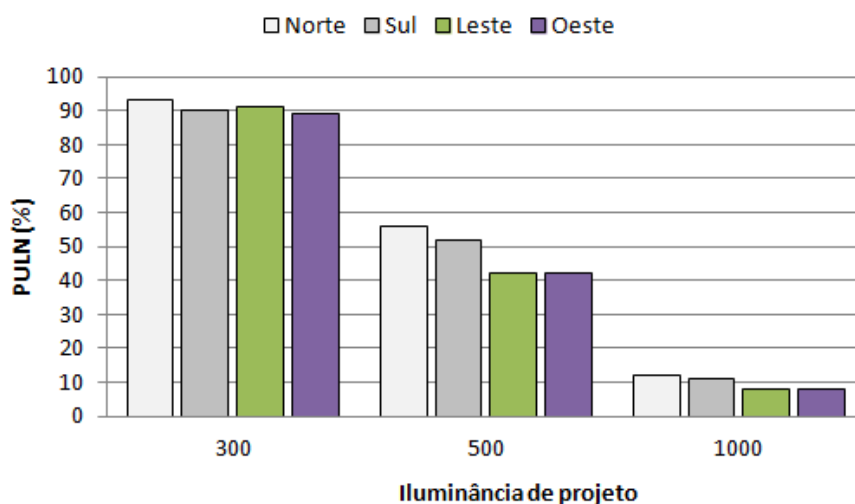
- **M3 - 20% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M3 - 20% - céu parcial demonstra que a orientação Norte apresentou um PULN médio de 93%. Em seguida está a orientação Leste, com 91%, e as orientações Sul e Oeste com 90% e 89%, respectivamente.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação à iluminância de 300 lux, apresentada anteriormente. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural com um PULN médio é de 56%. Em seguida está a orientação Sul com 52% e as orientações Leste e Oeste com 42%, respectivamente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes decaiu consideravelmente em relação às demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte, o PULN médio é de 12%, sendo de 11% para a orientação Sul. A orientação Leste e Oeste são as de pior desempenho, com um PULN médio de 8%, cada uma, segundo a Figura 3-18.

Figura 3-18. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 20% de Paf para céu parcial.



Fonte: produção do autor.

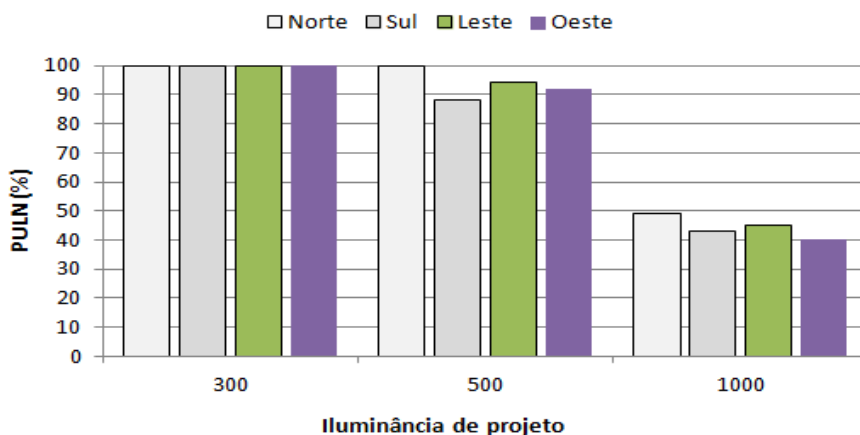
- **M3 - 40%- céu claro**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M3 - 40% - céu claro demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação a iluminância de 300 lux. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural, com um PULN médio de 100%. Em seguida está a orientação Leste com um PULN média de 94%, e as orientações Oeste e Sul com 92% e 88%, respectivamente.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes diminui em relação as demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte, o PULN médio é de 49% e para a orientação Leste é de 45%. As orientações Sul e Oeste apresentam um PULN médio de 43% e 40%, respectivamente, segundo a Figura 3-19.

Figura 3-19. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 40% de Paf para céu claro.



Fonte: produção do autor.

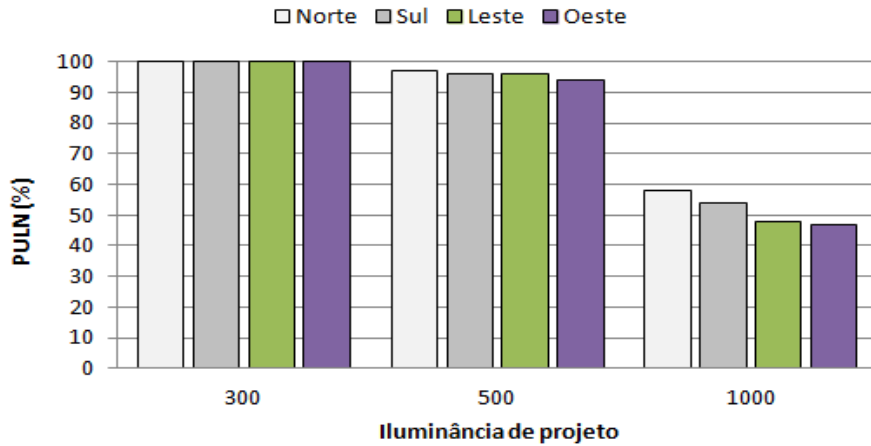
- **M3 - 40% - céu parcial**

Para uma iluminância de projeto de 300 lux, a análise do modelo M3 - 40% - céu parcial demonstra que as quatro orientações (N, S, L e O) obtiveram um PULN médio de 100% de aproveitamento de luz natural para todas as orientações simuladas.

Considerando uma iluminância de projeto de 500 lux, verifica-se um decréscimo dos valores do PULN para as quatro orientações em relação a iluminância de 300 lux. A orientação Norte obteve o melhor desempenho para o aproveitamento da luz natural, com um PULN médio de 97%. Em seguida está às orientações Sul e Leste com um PULN médio de 96%, e a orientação Oeste com 94%.

Para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior dos ambientes diminui em relação as demais propostas de iluminância de projeto (300 lux e 500 lux). Para a orientação Norte, o PULN médio é de 58% e para a orientação Sul é de 54%. As orientações Leste e Oeste apresentam um PULN médio de 48% e 47%, respectivamente, segundo a Figura 3-20.

Figura 3-20. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 40% de Paf para céu parcial.

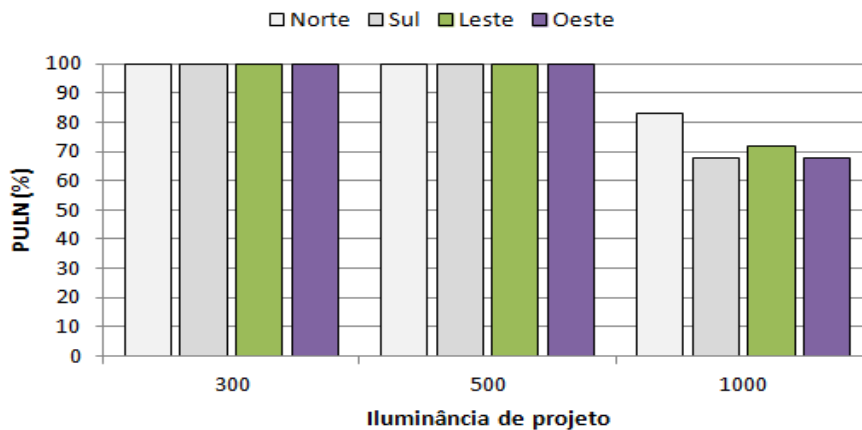


Fonte: produção do autor.

- **M3 - 60% - céu claro**

Para as iluminâncias de projeto de 300 lux e 500 lux, o modelo M3 - 60% - céu claro apresenta um PULN médio de 100 % para as quatro orientações. No entanto, para iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui em relação às propostas de iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux. Para a orientação Norte, o PULN médio é de 83%, sendo de 72% para a orientação Leste. As orientações Sul e Oeste apresentam um PULN médio de 68%, cada uma, segundo a Figura 3-21.

Figura 3-21. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 60% de Paf para céu claro.

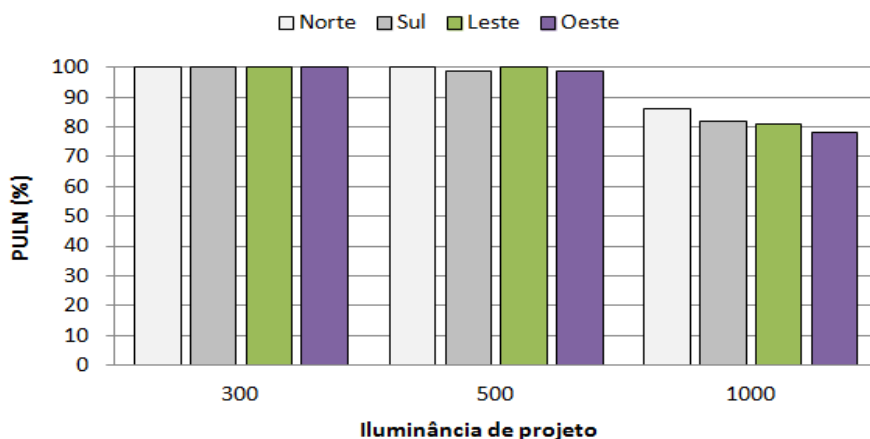


Fonte: produção do autor.

- **M3 - 60% - céu parcial**

Para as iluminâncias de projeto de 300 lux e 500 lux, o modelo M3 - 60% - céu parcial apresenta um PULN médio de 100 % para as quatro orientações, exceto para as orientações Sul e Oeste com iluminância de projeto de 500 lux onde estas apresentam um PULN médio de 99%. Para a iluminância de projeto de 1000 lux, o aproveitamento de luz natural no interior do ambiente diminui em relação às propostas de iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux. Para a orientação Norte, o PULN médio é de 86%, sendo de 82% para a orientação Sul. As orientações Leste e Oeste apresentam um PULN médio de 81% e 78%, respectivamente, segundo a Figura 3-22.

Figura 3-22. Gráfico da variação do PULN para o modelo 03 com 60% de Paf para céu parcial.



Fonte: produção do autor.

Comparação de PULN para os modelos M1, M2 e M3

Os resultados do PULN, sobre as condições de céu claro e parcialmente encoberto, para os modelos M1, M2 e M3 (Tabela 3-4 e Fonte: produção do autor

Tabela 3-5), demonstram que:

- Para níveis de iluminação de 300 lux é possível obter luz natural acima de 89% do ano para as condições de céu parcial e 79% do ano para as condições de céu claro, considerando todos os modelos e qualquer combinação;
- Para o modelo M1 é possível obter luz natural acima de 93% do ano para as condições de céu parcial e acima de 89% para as condições de céu claro, considerando qualquer combinação, exceto para abertura de 20% de Paf e um nível de iluminância de projeto de 1000 lux;

- Para o modelo M2 é possível obter luz natural acima de 76% do ano para as condições de céu parcial e 61% do ano para as condições de céu claro, considerando qualquer combinação, exceto para aberturas de 20% de Paf e um nível de luminância de projeto de 1000 lux;
- O modelo M3, para iluminâncias de 300 lux e 500 lux, apresenta um aproveitamento de luz natural acima de 89% do ano para as condições de céu parcial e 79% do ano para as condições de céu claro para qualquer combinação, exceto para os modelos com 20% de Paf e nível de iluminância de 500 lux;
- O PULN apresenta melhor desempenho sobre condições de céu parcialmente encoberto;
- O nível de 1000 lux de iluminância de projeto não é atendido satisfatoriamente para os modelos com 20% de Paf;
- Os tamanhos das aberturas influenciam quanto maior o nível de iluminação do projeto;
- O modelo M1 apresenta melhor desempenho do que o M2, que é melhor do que o M3, devido ao crescente aumento da profundidade da sala;
- A influência da orientação é pouca expressiva, sendo a orientação Norte a de melhor desempenho, devido ao maior período de insolação.

Tabela 3-4. Variação do PULN (%) médio anual dos modelos 01, 02 e 03 sobre condições de céu parcial em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.

Modelo / Paf's (%)		Iluminância de projeto (lux) / Orientação											
		300				500				1000			
		N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
M1	20	100	100	100	100	98	96	96	93	61	56	39	40
	40	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	97	95
	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M2	20	99	97	98	95	87	83	78	76	22	21	11	13
	40	100	100	100	100	100	100	100	99	89	87	83	79
	60	100	100	100	100	100	100	100	100	98	97	98	97
M3	20	93	90	91	89	56	52	42	42	12	11	8	8
	40	100	100	100	100	97	96	96	94	58	54	48	47
	60	100	100	100	100	100	99	100	99	86	82	81	78

variação	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81 – 100%
cor					

Fonte: produção do autor

Tabela 3-5. Variação do PULN (%) médio anual dos modelos 01, 02 e 03, sobre condições de céu claro, em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.

Modelo / Paf's (%)	Iluminância de projeto (lux) / Orientação												
	300				500				1000				
	N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O	
M1	20	100	100	100	100	99	89	95	95	45	35	32	30
	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	98	98
	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M2	20	100	96	99	99	87	70	66	61	17	20	16	16
	40	100	100	100	100	100	100	100	100	89	68	70	66
	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	99	97
M3	20	94	79	85	81	46	41	39	35	10	14	8	12
	40	100	100	100	100	100	89	94	92	49	43	45	40
	60	100	100	100	100	100	100	100	100	83	68	72	68

variação	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81 – 100%
cor					

Fonte: produção do autor.

3.3.2 Caracterização da zona passiva de iluminação natural

Analisa-se o decaimento do PULN ao longo da profundidade do ambiente, comparando o desempenho dos modelos de três profundidades diferentes, para as três opções de aberturas (20%, 40% e 60%) e para as quatro orientações (N, S, L e O). Como a norma de iluminância interna reconhece uma tolerância de até 30% em relação à iluminância interna de projeto, optou-se em analisar o atendimento das iluminâncias sem tolerância – 300, 500 e 1000 lux - e com tolerância – 210, 350 e 700 lux.

Destacam as principais observações quanto ao desempenho da iluminação natural para as iluminâncias de projeto de 300, 500 e 1000 lux, tanto para o tipo de céu claro quanto para o parcialmente encoberto, de acordo com Tabela 3-6 e Tabela 3-7. Assim como na determinação do PULN, não se deve levar em consideração os dados quantitativos, mas o procedimento adotado até alcançar as representações gráfica

- Devido às semelhanças no comportamento da zona passiva em ambos os tipos de céus analisados, as observações a seguir contemplam os dois céus, porém o céu do tipo claro apresenta melhor desempenho para zona passiva;
- Apenas o modelo M1, para 300 lux de iluminância de projeto, tem luz natural durante o ano todo em praticamente todos os pontos e, portanto a extensão da zona passiva é sua própria profundidade de 4 m;
- O modelo M2, para 300 lux e 500 lux de iluminância de projeto, tem a zona passiva, praticamente, a própria profundidade do ambiente (6,0m), considerando as aberturas de 40% e 60% de Paf's;
- No modelo M3, para Paf's de 20% a zona passiva é quase inexistente;

- Para um nível de iluminância de 300 lux, a zona passiva alcança a total profundidade do ambiente dos três modelos (M1, M2 e M3), para aberturas de 40% e 60% de Paf;
- Para um nível de iluminância de 1000 lux, a zona passiva é inexistente nos três modelos (M1, M2 e M3) para abertura de 20% e 40% de Paf;
- O tamanho da abertura influencia no comportamento da zona passiva na medida em que se aumenta o nível de iluminância de projeto;
- A orientação exerce pouca influência no comportamento da zona passiva, sendo a orientação Norte a de melhor desempenho, devido ao maior período de insolação;
- À medida que aumenta a profundidade do ambiente, diminui a profundidade de alcance da zona passiva, devido a influência da parede posterior no desempenho da zona passiva;
- Aberturas de 20% de Paf promovem bom desempenho para zona passiva em níveis baixos de iluminância de projeto (300 lux), considerando apenas os modelos M1 e M2, e tais aberturas promovem menos luz próximo às aberturas (0,5m) devido a zonas de pouca luz nas extremidades do ambiente;
- Aberturas de 40% de Paf promovem bom desempenho para zona passiva para os níveis de iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux, considerando apenas os modelos M1 e M2;
- Aberturas de 60% de Paf geram uma zona passiva mais profunda em relação às demais aberturas, porém não possuem um elemento de proteção solar com 100% de eficiência deixando haver penetração de radiação direta solar exceto para a orientação Sul;
- A análise da zona passiva apresenta desempenhos semelhantes tanto para condições de céu claro como para condições de céu parcial para os modelos sem tolerância.

Tabela 3-6 - Variação do PULN (%) anual sem tolerância para céu claro.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação											
			300				500				1000			
			N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
M1	20	0,5	100	100	100	100	98	83	84	85	39	38	36	36
		1,5	100	100	100	100	100	89	97	97	55	40	34	32
		2,5	100	100	100	100	100	91	98	98	46	30	30	23
		3,5	100	100	100	100	100	95	99	98	43	33	27	28
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	99	98
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	99	99
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	97	98
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	97	98
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M2	20	0,5	100	89	99	96	86	76	52	52	36	33	30	35
		1,5	100	100	100	100	96	83	83	81	36	31	19	23
		2,5	100	100	100	100	96	73	80	75	10	16	15	11
		3,5	100	100	99	100	89	68	67	63	6	14	8	9
		4,5	100	93	98	99	78	59	52	47	6	13	13	9
		5,5	100	96	100	98	78	58	60	50	6	13	13	9
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	90	90
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77	92	90
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	97	74	79	73
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	86	66	60	55
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	74	55	47	43
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	77	54	54	48
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	81	100	100
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	76	96	91
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	79	96	94
M3	20	0,5	100	83	90	93	73	60	44	43	33	33	26	26
		1,5	100	99	100	100	91	79	72	77	34	24	17	19
		2,5	100	98	100	100	89	70	65	63	8	15	15	11
		3,5	94	82	97	96	63	45	34	33	5	11	5	9
		4,5	100	75	85	80	26	21	26	21	0	8	1	9
		5,5	90	67	72	67	9	19	23	14	0	5	0	7
		6,5	82	63	68	53	9	19	21	15	0	5	0	5
		7,5	85	68	71	57	9	19	26	16	0	6	1	9
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	98	81	83	82
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	96	75	87	85
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	88	71	67	64
		3,5	100	100	100	100	100	99	100	100	63	42	30	30
		4,5	100	100	100	100	100	83	97	96	19	20	26	16
		5,5	100	100	100	100	100	75	88	84	9	19	22	15
		6,5	100	100	100	100	100	75	81	74	9	16	17	10
		7,5	100	100	100	100	100	75	88	81	9	19	26	16
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	81	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	85	75
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	91	65	68	57
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	70	45	42	40
		6,5	100	100	100	100	100	98	100	100	43	38	33	35
		7,5	100	100	100	100	100	100	100	100	59	41	46	40

 Penetração da radiação direta solar.

Tabela 3-7 - Variação do PULN (%) anual sem tolerância para céu parcialmente encoberto.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação											
			300				500				1000			
			N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
M1	20	0,5	100	100	100	99	96	92	92	90	44	43	32	33
		1,5	100	100	100	100	100	98	97	97	74	69	48	48
		2,5	100	100	100	100	98	96	96	94	63	58	40	39
		3,5	100	100	100	100	99	98	98	94	64	56	39	40
	40	0,5	100	100	100	99	100	100	100	99	100	99	97	96
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	97	94
		3,5	100	100	99	100	100	100	99	99	98	95	97	94
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M2	20	0,5	98	96	96	95	79	74	64	61	33	33	32	31
		1,5	100	100	100	98	98	98	93	95	53	47	29	29
		2,5	100	100	100	98	94	91	91	89	32	27	7	7
		3,5	100	98	98	95	90	81	77	78	8	7	0	0
		4,5	98	95	97	94	80	77	68	66	2	4	0	0
		5,5	98	96	97	94	81	77	73	69	2	4	0	0
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	94	94
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	97	96
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	95	93	92	88
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	86	78	73	72
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	97	76	78	69	60
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	99	79	78	72	67
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	94	94	97	94
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	94	94	96	94
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	94	94	97	94
M3	20	0,5	97	96	93	94	73	71	51	48	33	32	32	31
		1,5	100	100	100	98	97	93	87	90	43	40	26	28
		2,5	100	98	98	96	93	86	79	81	20	16	5	7
		3,5	97	94	95	93	70	68	48	48	0	2	0	0
		4,5	95	93	92	90	52	44	27	29	0	0	0	0
		5,5	88	80	83	82	30	20	16	11	0	0	0	0
		6,5	84	78	79	75	18	16	13	8	0	0	0	0
		7,5	84	78	86	85	20	16	19	18	0	0	0	0
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	94	91
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95	93	96
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	93	88	83	83
		3,5	100	100	100	100	100	98	99	94	70	65	47	43
		4,5	100	100	100	100	97	94	97	94	48	41	21	26
		5,5	100	100	100	100	96	93	93	90	27	18	18	11
		6,5	100	100	100	99	92	89	89	85	16	16	7	6
		7,5	100	100	100	100	95	92	94	93	18	16	18	17
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5		100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	99	96	
3,5		100	100	100	100	100	100	100	100	96	94	92	90	
4,5		100	100	100	100	100	100	100	100	88	78	81	81	
5,5		100	100	100	100	100	100	100	99	73	71	60	57	
6,5		100	100	100	100	100	97	100	97	61	53	50	46	
7,5		100	100	100	100	100	99	100	99	73	67	64	57	



Penetração da radiação direta solar

Destacam as principais observações quanto ao desempenho da iluminação natural para as iluminâncias de projeto de 210, 350 e 700 lux, de acordo com a Tabela 3-8 e Tabela 3-9:

- Devido às semelhanças no comportamento da zona passiva em ambos os tipos de céus analisados, as observações a seguir contemplam os dois céus, porém o céu do tipo claro apresenta melhor desempenho para zona passiva;
- A iluminância de projeto é a variável mais influente na determinação da zona passiva, seguida da largura da abertura, profundidade do ambiente (devido à contribuição da parede do fundo) e, com bem menos influência, da orientação;
- No modelo M1 a zona passiva é, praticamente, a própria extensão do ambiente (4,0m), independe do Paf e da orientação, exceto para um Paf de 20% e um nível de iluminância de projeto de 1000 lux;
- No modelo M2 a zona passiva é a própria extensão do ambiente (6,0m) para iluminâncias de 300 e 500 lux e aberturas de 40% e 60% de Paf;
- No modelo M3, para Paf de 20%, a zona passiva é praticamente inexistente para iluminâncias de projeto de 500 lux e 1000 lux.
- Para um nível de iluminância de 300 lux, todos os modelos (M1, M2 e M3) possuem a zona passiva que representa a própria extensão do ambiente (4,0m, 6,0m e 8,0m), exceto o M3 com 20% de Paf;
- Para um nível de iluminância de 1000 lux, todos os modelos (M1, M2 e M3) possuem a zona passiva inexistente para abertura de 20% de Paf;
- O tamanho da abertura influencia no comportamento da zona passiva na medida em que se aumenta o nível de iluminância de projeto;
- A orientação exerce menos influência no comportamento da zona passiva, sendo a orientação Norte a de melhor desempenho, devido ao maior período de insolação;
- À medida que aumenta a profundidade do ambiente, diminui a profundidade de alcance da zona passiva, devido a influência da parede posterior no desempenho da zona passiva;
- Aberturas de 20% de Paf promovem bom desempenho para zona passiva em níveis baixos de iluminância de projeto (300 lux), considerando todos os modelos, e tais aberturas promovem menos luz próximo às aberturas (0,5m) devido a zonas de pouca luz nas extremidades do ambiente;
- Aberturas de 40% de Paf promovem bom desempenho para zona passiva para os níveis de iluminância de projeto de 300 lux e 500 lux, considerando todos os modelos;
- Aberturas de 60% de Paf geram uma zona passiva mais profunda em relação às demais aberturas, porém não possuem um elemento de proteção solar com 100% de eficiência, deixando haver penetração de radiação direta solar exceto para a orientação Sul;

Tabela 3-8 - Variação do PULN (%) anual com tolerância de 30% para céu claro.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação											
			300				500				1000			
			N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O
M1	20	0,5	100	100	100	100	100	98	100	100	76	63	50	44
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	92	76	75	79
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	91	71	78	71
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	96	73	80	75
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M2	20	0,5	100	100	100	100	100	83	90	91	44	46	43	40
		1,5	100	100	100	100	100	96	99	99	73	56	41	38
		2,5	100	100	100	100	100	94	100	100	56	45	33	27
		3,5	100	100	100	100	100	86	97	96	27	24	24	18
		4,5	100	100	100	100	100	82	96	91	14	19	24	18
		5,5	100	100	100	100	100	83	97	92	14	19	27	18
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	99	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	81	97	95
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	76	96	89
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	79	97	91
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M3	20	0,5	100	100	100	100	97	83	82	79	40	45	39	40
		1,5	100	100	100	100	100	88	95	96	61	40	39	37
		2,5	100	100	100	100	100	88	94	95	46	29	23	21
		3,5	100	100	100	100	92	75	86	81	10	19	17	11
		4,5	100	100	100	100	89	68	71	66	6	15	13	9
		5,5	100	90	97	97	69	49	43	41	6	11	8	9
		6,5	100	88	97	94	53	40	40	38	6	10	6	9
		7,5	100	92	97	96	56	41	47	39	6	10	11	9
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	99	99
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	83	97	97
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	84	77
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	90	67	67	55
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	64	43	42	39
		6,5	100	100	100	100	100	98	100	100	41	36	31	31
		7,5	100	100	100	100	100	100	100	100	54	39	46	40
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
4,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	83	98	100	
5,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	92	86	
6,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	85	77	
7,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	92	83	

Penetração da radiação direta solar

Tabela 3-9 - Variação do PULN (%) anual com tolerância de 30% para céu parcialmente encoberto.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação												
			300				500				1000				
			N	S	L	O	N	S	L	O	N	S	L	O	
M1	20	0,5	100	100	100	100	99	98	98	96	74	73	57	56	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	97	93	86	90	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	93	89	86	85	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	94	91	91	86	
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
M2	20	0,5	100	100	100	100	97	95	92	92	54	49	39	36	
		1,5	100	100	100	100	100	100	97	98	80	77	55	56	
		2,5	100	100	100	100	100	98	98	96	69	65	48	51	
		3,5	100	100	100	100	97	94	96	94	53	45	24	27	
		4,5	100	100	100	100	96	93	95	93	44	32	20	21	
		5,5	100	100	100	100	97	93	97	94	44	31	22	25	
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	95	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	97	94	96	93	
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	96	94	95	93	
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	97	94	97	94	
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		5,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
M3	20	0,5	100	100	100	100	98	95	89	89	85	42	43	33	34
		1,5	100	100	100	100	100	99	97	97	76	72	52	50	
		2,5	100	100	100	100	98	96	96	94	63	54	32	35	
		3,5	100	100	100	100	95	93	92	90	34	22	14	7	
		4,5	100	99	98	95	89	81	82	82	7	9	0	2	
		5,5	97	94	97	94	73	71	63	56	0	2	0	0	
		6,5	97	94	97	94	68	59	53	50	0	2	0	0	
		7,5	97	94	97	94	71	66	63	57	0	2	0	0	
	40	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
		2,5	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	96	94	
		3,5	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	92	88	
		4,5	100	100	100	100	100	100	100	100	88	78	78	78	
		5,5	100	100	100	100	100	99	100	97	74	70	59	56	
		6,5	100	100	100	100	100	97	97	94	57	56	47	43	
		7,5	100	100	100	100	100	98	100	97	70	63	64	57	
	60	0,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
3,5		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97		
4,5		100	100	100	100	100	100	100	100	97	94	97	94		
5,5		100	100	100	100	100	100	100	100	97	94	94	94		
6,5		100	100	100	100	100	100	100	100	95	92	92	89		
7,5		100	100	100	100	100	100	100	100	96	94	94	94		

Penetração da radiação direta solar

3.3.3 Representação gráfica para recomendações

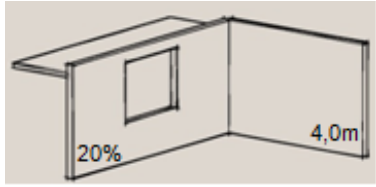
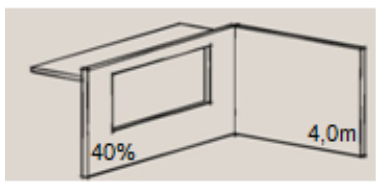
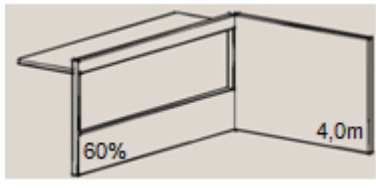
A partir dos resultados obtidos do PULN e da zona passiva, são apresentadas as recomendações que visam o aproveitamento da luz natural a partir dos três modelos propostos e para as condições de céu claro e parcialmente encoberto.

As recomendações estão estruturadas em forma de tabelas sendo analisado individualmente cada modelo pelos critérios do PULN, zona passiva e o Código de Obras da cidade de Natal/RN. Através de intervalos percentuais, determinados abaixo das tabelas, é caracterizado o PULN e a zona passiva. E o Código de Obras de Natal/RN é avaliado se a abertura proposta atende ou não a 1/6 ou 1/8 da área do piso.

Modelo 01

São apresentadas as recomendações para o modelo 01, analisando o PULN, zona passiva e prescrições sobre aberturas presentes no Código de Obras de Natal/RN de acordo com a orientação, iluminância de projeto e os Paf's.


Tabela 3-10. Recomendações para o Modelo 01 sobre condições de céu claro.

Modelo 01/Orientação	PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras-RN	
	300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
	N							
	S							
	L							
	O							
	N							
	S							
	L							
	O							
	N							
	S							
	L							
	O							

PULN (%)		0-20		21-40		41-60		61-80		81-100
----------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	--------

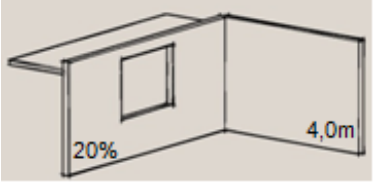
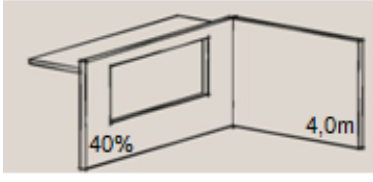
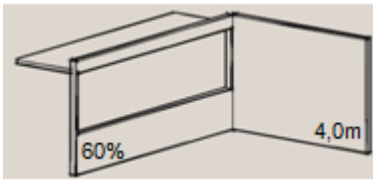
Zona Passiva		0%		<50%		50%		>50% <total		100% (Total)
--------------	--	----	--	------	--	-----	--	-------------	--	--------------

Código de Obras		Atende ao Código		Não atende ao Código
-----------------	--	------------------	--	----------------------

 Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.

Tabela 3-11. Recomendações para o Modelo 01 sobre condições de céu parcial.

Modelo 01/Orientação	PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras	
	300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
	N							
	S							
	L							
	O							
	N							
	S							
	L							
	O							
	N							
	S							
	L							
	O							

PULN (%)		0-20		21-40		41-60		61-80		81-100
----------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	--------

Zona Passiva		0%		<50%		50%		>50% <total		100% (Total)
--------------	--	----	--	------	--	-----	--	-------------	--	--------------

Código de Obras		Atende ao Código		Não atende ao Código
-----------------	--	------------------	--	----------------------

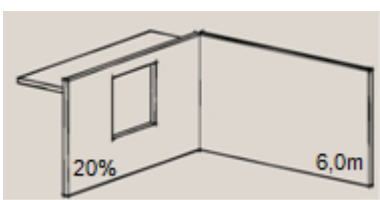
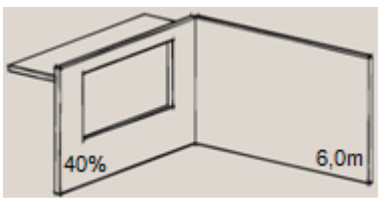
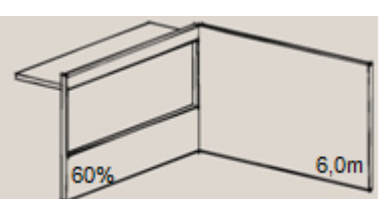
Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.

Modelo 02

São apresentadas as recomendações projetuais para o modelo 02, analisando o PULN, zona passiva e prescrições sobre aberturas presentes no Código de Obras de Natal/RN, de acordo com a orientação, iluminância de projeto e os Paf's. Conforme Tabela 3-12 e Tabela 3-13.


Tabela 3-12. Recomendações para o Modelo 02 sobre condições de céu claro.

Modelo 02/Orientação		PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
	N								
	S								
	L								
	O								
	N								
	S								
	L								
	O								
	N								
	S								
	L								
	O								

PULN (%)		0-20		21-40		41-60		61-80		81-100
----------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	--------

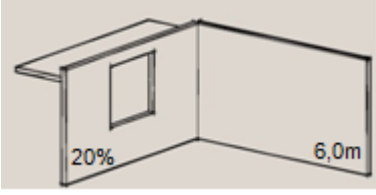
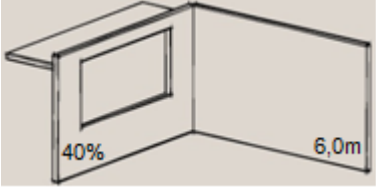
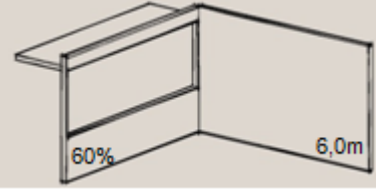
Zona Passiva		0%		<50%		50%		>50% <total		100% (Total)
--------------	--	----	--	------	--	-----	--	-------------	--	--------------

Código de Obras		Atende ao Código		Não atende ao Código
-----------------	--	------------------	--	----------------------

 Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.


Tabela 3-13. Recomendações para o Modelo 02 sobre condições de céu parcial.

Modelo 02/Orientação		PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
 20% 6,0m	N	Light Yellow	Light Yellow	Dark Yellow	Light Orange	Orange	Dark Orange	Grey	Grey
	S	Light Yellow	Light Yellow	Dark Yellow	Light Orange	Red	Dark Orange	Grey	Grey
	L	Light Yellow	Light Yellow	Dark Yellow	Light Orange	Dark Orange	Dark Orange	Grey	Grey
	O	Light Yellow	Light Yellow	Dark Yellow	Light Orange	Dark Orange	Dark Orange	Grey	Grey
 40% 6,0m	N	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Dark Orange		
	S	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Red		
	L	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Red		
	O	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Red		
 60% 6,0m	N	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Light Orange		
	S	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Light Orange		
	L	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Light Orange		
	O	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Light Orange		

PULN (%)	Dark Yellow	0-20	Dark Yellow	21-40	Light Yellow	41-60	Light Yellow	61-80	Light Yellow	81-100
----------	-------------	------	-------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	--------

Zona Passiva	Dark Orange	0%	Red	<50%	Orange	50%	Light Orange	>50% <total	Light Orange	100% (Total)
--------------	-------------	----	-----	------	--------	-----	--------------	-------------	--------------	--------------

Código de Obras	Grey	Atende ao Código	Grey	Não atende ao Código
-----------------	------	------------------	------	----------------------

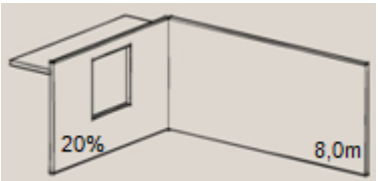
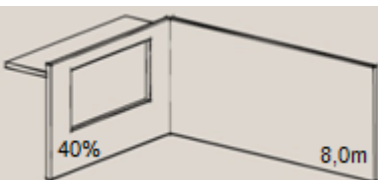

 Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.

Modelo 03

São apresentadas as recomendações projetuais para o modelo 03, analisando o PULN, zona passiva e prescrições sobre aberturas presentes no Código de Obras de Natal/RN, de acordo com a orientação, iluminância de projeto e os Paf's. Conforme Tabela 3-14 e Tabela 3-15.


Tabela 3-14. Recomendações para o Modelo 03 sobre condições de céu claro.

Modelo 03/Orientação		PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
	N								
	S								
	L								
	O								
	N								
	S								
	L								
	O								
	N								
	S								
	L								
	O								

PULN (%)		0-20		21-40		41-60		61-80		81-100
----------	--	------	--	-------	--	-------	--	-------	--	--------

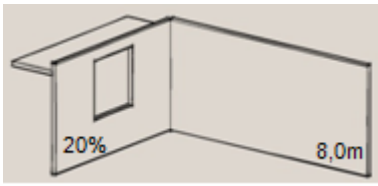
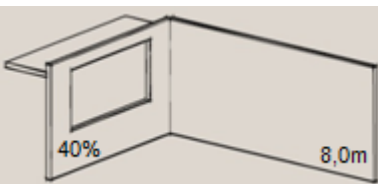

Zona Passiva		0%		<50%		50%		>50% <total		100% (Total)
--------------	--	----	--	------	--	-----	--	----------------	--	-----------------

Código de Obras		Atende ao Código		Não atende ao Código
-----------------	--	------------------	--	----------------------

 Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.


Tabela 3-15. Recomendações para o Modelo 03 sobre condições de céu parcial.

Modelo 03/Orientação		PULN			Zona Passiva (com tolerância)			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
 <p>20% 8,0m</p>	N	Light Yellow	Yellow	Dark Brown	Light Orange	Dark Red	Dark Red	Grey	Grey
	S	Light Yellow	Yellow	Dark Brown	Orange	Dark Red	Dark Red	Grey	Grey
	L	Light Yellow	Yellow	Dark Brown	Orange	Dark Red	Dark Red	Grey	Grey
	O	Light Yellow	Yellow	Dark Brown	Orange	Dark Red	Dark Red	Grey	Grey
 <p>40% 8,0m</p>	N	Light Yellow	Light Yellow	Yellow	Light Orange	Light Orange	Red	Grey	White
	S	Light Yellow	Light Yellow	Yellow	Light Orange	Light Orange	Red	Grey	White
	L	Light Yellow	Light Yellow	Yellow	Light Orange	Light Orange	Red	Grey	White
	O	Light Yellow	Light Yellow	Yellow	Light Orange	Light Orange	Dark Red	Grey	White
 <p>60% 8,0m</p>	N	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Orange	White	White
	S	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Orange	White	White
	L	Light Yellow	Light Yellow	Light Yellow	Light Orange	Light Orange	Orange	White	White
	O	Light Yellow	Light Yellow	Yellow	Light Orange	Light Orange	Red	White	White

PULN (%)	Dark Brown	0-20	Light Brown	21-40	Yellow	41-60	Light Yellow	61-80	Light Yellow	81-100
----------	------------	------	-------------	-------	--------	-------	--------------	-------	--------------	--------

Zona Passiva	Dark Red	0%	Red	<50%	Orange	50%	Light Orange	>50% <total	Light Orange	100% (Total)
--------------	----------	----	-----	------	--------	-----	--------------	-------------	--------------	--------------

Código de Obras	White	Atende ao Código	Grey	Não atende ao Código
-----------------	-------	------------------	------	----------------------

 Penetração da radiação direta solar

Fonte: produção do autor.

3.4 SIMULAÇÃO COM DADOS DO TROPLUX/IES

São apresentadas novas tabelas para análise da variação do PULN (Tabela 3-16) e da Zona Passiva (Tabela 3-17, Tabela 3-18 e Tabela 3-19) para as três condições de céu e posteriormente desenvolvidas as representações (Tabela 3-20, Tabela 3-21 e Tabela 3-22), como são apresentadas a seguir.

3.4.1 Determinação do percentual útil de luz natural (puln)

São apresentados os resultados do PULN para o modelo M3, sobre as condições de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto e analisados de acordo com os tipos de aberturas e iluminâncias de projeto. (Tabela 3-16)

Tabela 3-16. Variação do PULN (%) médio anual do modelo 03, sobre condições de céu claro, parcial e encoberto em função da orientação, iluminância de projeto e Paf's.

Modelo/Paf's (%)		Iluminância de projeto / Orientação / PULN sobre condições de céu claro (%)					
		300		500		1000	
		N	S	N	S	N	S
M3	20	69	60	26	21	05	03
	40	93	92	80	75	28	69
	60	97	96	91	90	56	48
Modelo/Paf's (%)		Iluminância de projeto / Orientação / PULN sobre condições de céu parcial					
		300		500		1000	
		N	S	N	S	N	S
M3	20	82	79	51	45	10	09
	40	91	91	84	85	51	47
	60	93	93	90	89	77	74
Modelo/Paf's (%)		Iluminância de projeto / Orientação / PULN sobre condições de céu encoberto					
		300		500		1000	
		N	S	N	S	N	S
M3	20	07	07	04	04	01	01
	40	34	34	16	16	02	02
	60	60	60	29	29	10	10

variação	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%
cor					

3.4.2 Caracterização da zona passiva de iluminação natural

Ao contrário da análise da zona passiva desenvolvida no item 3.3.2 a qual considera apenas os valores de PULN de 100%, decidiu-se trabalhar com todos os valores de PULN e verificar a probabilidade da inexistência de zona passiva com 0% de PULN, pois o conceito da zona passiva é a profundidade de alcance da luz natural no ambiente construído. Vale ressaltar também a pouca ocorrência de 100% de PULN. (Tabela 3-17 à Tabela 3-19)

Tabela 3-17. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu claro.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação					
			300		500		1000	
			N	S	N	S	N	S
M3	20	0,5	83	75	50	44	23	19
		1,5	91	89	65	59	13	8
		2,5	87	86	58	43	0	0
		3,5	81	73	32	21	0	0
		4,5	67	59	5	2	0	0
		5,5	52	38	0	0	0	0
		6,5	45	31	0	0	0	0
		7,5	48	33	0	0	0	0
	40	0,5	99	99	95	95	74	68
		1,5	99	97	94	94	70	79
		2,5	96	95	90	89	56	89
		3,5	93	93	86	84	26	84
		4,5	91	91	79	71	0	71
		5,5	88	88	70	57	0	57
		6,5	87	87	62	52	0	52
		7,5	88	87	68	57	0	57
	60	0,5	100	100	99	98	92	91
		1,5	100	100	98	96	89	89
		2,5	99	99	92	94	82	75
		3,5	98	96	92	91	66	53
		4,5	97	94	88	88	51	36
		5,5	94	93	86	85	29	18
		6,5	92	94	86	83	20	11
		7,5	95	94	86	85	21	11

Variação	Inexistente	1 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%
cor						

Fonte: produção do autor.

Tabela 3-18. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu parcial.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação					
			300		500		1000	
			N	S	N	S	N	S
M3	20	0,5	87	86	68	59	29	29
		1,5	90	88	84	81	34	30
		2,5	87	87	76	76	15	10
		3,5	84	83	66	60	0	0
		4,5	80	80	49	40	0	0
		5,5	75	71	24	17	0	0
		6,5	74	70	16	11	0	0
		7,5	76	71	23	15	0	0
	40	0,5	95	94	91	92	86	86
		1,5	94	93	91	92	85	84
		2,5	92	92	90	90	79	76
		3,5	90	91	87	85	64	59
		4,5	90	90	83	83	47	35
		5,5	90	88	80	80	23	18
		6,5	88	88	74	76	6	8
		7,5	90	88	80	79	19	13
	60	0,5	99	98	95	93	90	92
		1,5	97	96	93	93	90	90
		2,5	94	94	90	92	86	84
		3,5	92	93	90	90	81	79
		4,5	91	92	90	88	75	71
		5,5	90	91	88	85	66	60
		6,5	90	91	87	84	61	57
		7,5	90	91	88	85	64	60
Variação cor	Inexistente	1 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%		

Fonte: produção do autor.

Tabela 3-19. Variação do PULN (%) anual para análise da zona passiva (sem tolerância) sobre céu encoberto.

Modelo / Paf's (%) / Profundidade (m)			Iluminância de projeto (lux) / Orientação					
			300		500		1000	
			N	S	N	S	N	S
M3	20	0,5	30	30	27	27	7	7
		1,5	25	25	8	8	0	0
		2,5	4	4	0	0	0	0
		3,5	0	0	0	0	0	0
		4,5	0	0	0	0	0	0
		5,5	0	0	0	0	0	0
		6,5	0	0	0	0	0	0
		7,5	0	0	0	0	0	0
	40	0,5	85	85	70	70	17	17
		1,5	81	81	52	52	0	0
		2,5	66	66	6	6	0	0
		3,5	39	39	0	0	0	0
		4,5	0	0	0	0	0	0
		5,5	0	0	0	0	0	0
		6,5	0	0	0	0	0	0
		7,5	0	0	0	0	0	0
	60	0,5	91	91	87	87	68	68
		1,5	89	89	80	80	11	11
		2,5	80	80	58	58	0	0
		3,5	71	71	8	8	0	0
		4,5	56	56	0	0	0	0
		5,5	38	38	0	0	0	0
		6,5	24	24	0	0	0	0
		7,5	31	31	0	0	0	0
Variação			Inexistente	1 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%
cor								

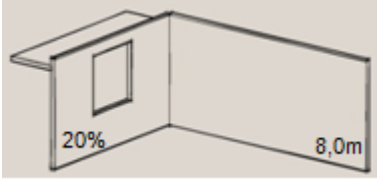
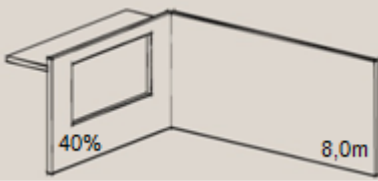
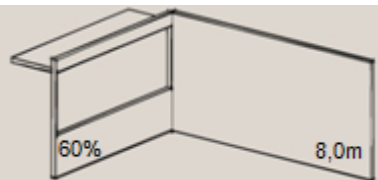
Fonte: produção do autor.

3.4.3 Representação gráfica para recomendações

A partir dos resultados obtidos do PULN e da zona passiva, são apresentadas as representações gráficas para futuras recomendações que visam o aproveitamento da luz natural a partir da simulação apenas do modelo 03 (M3) proposto e para as condições de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto.

As recomendações estão estruturadas em forma de tabelas sendo analisado individualmente o critério do PULN, zona passiva e o Código de Obras da cidade de Natal/RN. Através de intervalos percentuais, determinados abaixo das tabelas, é caracterizado o PULN, por sua vez, a zona passiva e caracterizada por conceitos que melhor determinam o alcance da luz natural. E o Código de Obras de Natal/RN é avaliado se a abertura proposta atende ou não a $1/6$ ou $1/8$ da área do piso.

Tabela 3-20. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu claro pelos dados da IES

Modelo 03/Orientação		PULN			Zona Passiva			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
 20% 8,0m	NN					9			
	S								
 40% 8,0m	N								
	S								
 60% 8,0m	N								
	S								

PULN	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%

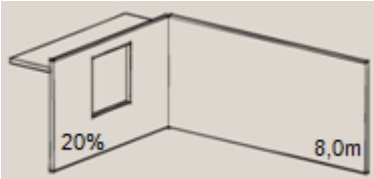

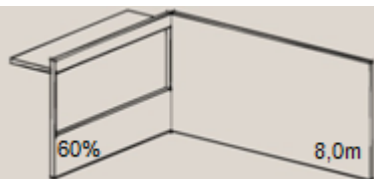
Zona Passiva	Presença de Zona Passiva	Inexistente em menos de 50% do ambiente.	Inexistente em 50% do ambiente.	Inexistente em mais de 50% do ambiente.

OBS: Ver tabela 3.17

Código de Obras		Atende ao Código		Não Atende ao Código

Fonte: produção do autor.

Tabela 3-21. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu parcial pelos dados da IES

Modelo 03/Orientação		PULN			Zona Passiva			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
	NN								
	S								
	N								
	S								
	N								
	S								

PULN	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%

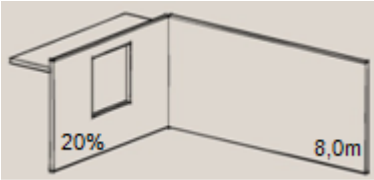


Zona Passiva	Presença de Zona Passiva	Inexistente em menos de 50% do ambiente.	Inexistente 50% do ambiente.	Inexistente em mais de 50% do ambiente.

OBS: Ver tabela 3.18

Código de Obras	Atende ao Código	Não Atende ao Código

Fonte: produção do autor.

Tabela 3-22. Recomendações para o uso da luz natural sobre condições de céu encoberto pelos dados da IES

Modelo 03/Orientação		PULN			Zona Passiva			Código de Obras	
		300	500	1000	300	500	1000	1/6	1/8
 20% 8,0m	NN				0				
	S								
 40% 8,0m	N								
	S								
 60% 8,0m	N								
	S								

PULN	0 -20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81-100%

Zona Passiva	Presença de Zona Passiva	Inexistente em menos de 50% do ambiente.	Inexistente 50% do ambiente	Inexistente >50% do ambiente

OBS: Ver tabela 3.19

Código de Obras	Atende ao Código	Não Atende ao Código

Fonte: produção do autor.

3.5 COMPARAÇÕES DE RESULTADOS COM DADOS MONITORADOS E COM DADOS DO TROPLUX/IES

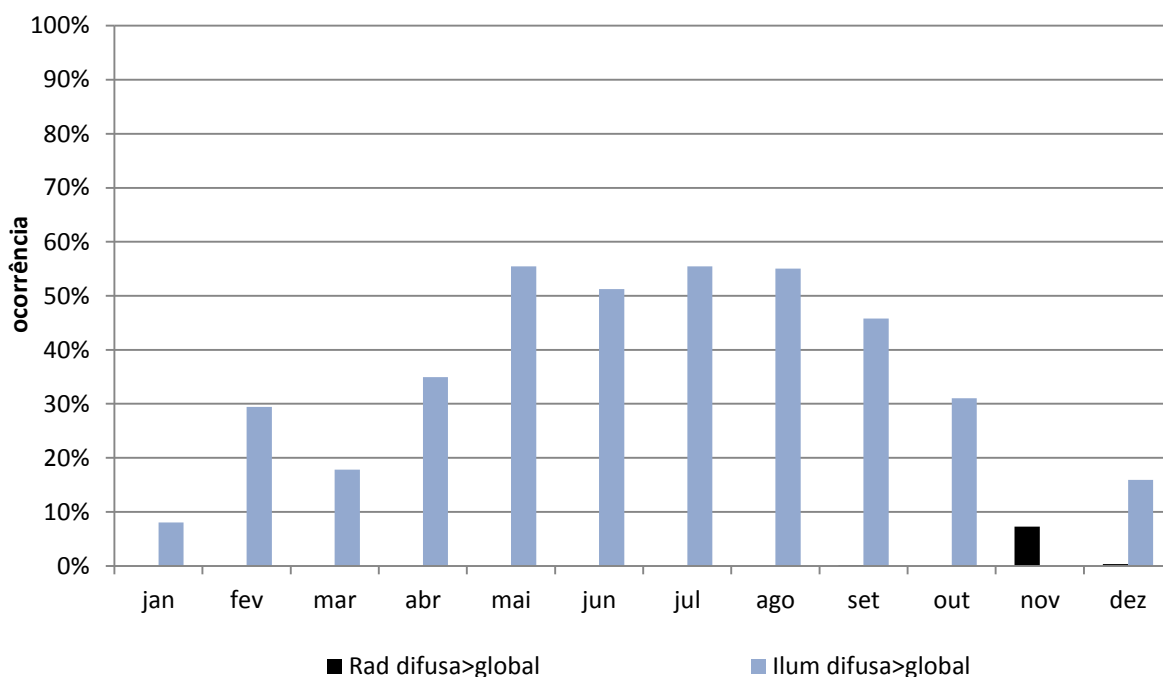
Os resultados das simulações utilizando dados monitorados de céu e dados da IES foram comparados na perspectiva de analisar a similaridade de ambos e poder verificar a veracidade dos dados coletados na estação solarimétrica junto aos dados da IES presentes no programa, visto que este já se encontra validado.

Dentre as análises desenvolvidas sobre os resultados, primeiramente é observado que o PULN obtido pela simulação com dados monitorados de céu apresentam-se até 13% maiores sobre condições de céu parcial e até 27% maiores sobre condições de céu claro, ou seja, há um maior aproveitamento de luz natural.

No que diz respeito à zona passiva, a análise demonstra que os resultados obtidos através da simulação com os dados do Troplux/IES, a profundidade de alcance da luz natural ficou reduzida quando comparada a simulação dos dados monitorados, havendo até inexistência deste critério de avaliação. No entanto, a diferença encontrada entre os resultados de PULN e zona passiva, entre ambas as simulações, demonstrou-se com pequena oscilação, porém a ausência de céu encoberto na simulação com dados reais por não ter sido encontrado na etapa de caracterização de céu foi o que mais se destacou pelo tipo climático da própria cidade de Natal/RN, período chuvoso no Solstício de Inverno, assim decidiu investigar a possibilidade de algum erro.

A planilha de caracterização do tipo de céu (Apêndice A) descartou valores que não atenderam aos critérios de validação, sobretudo ocorrência de iluminância difusa maior que a global. Entretanto, a análise dos dados registrados pela estação do INPE/CRN evidencia a ocorrência de iluminância difusa maior que a global em todos os meses do ano de 2009, com maior frequência nos períodos de chuva, enquanto que a ocorrência de radiação solar difusa maior que a global acontece somente em novembro (Figura 3-23). Como a planilha, no processo de validação eliminou os dados de iluminação difusa maior que a global, aproximadamente 33% dos registros mensais não foram empregados nas análises. Há uma coincidência com os períodos de chuva, supõe-se que os registros de céu encoberto foram descartados.

Figura 3-23. Ocorrência mensal de radiação e iluminância difusa e global.



Fonte: produção do autor.

Após consultas aos responsáveis pela estação solarimétrica, foi identificado que a causa dos erros está na curva de calibração dos sensores de iluminância. Os dados poderão ser recuperados no futuro mediante a determinação das curvas de calibração e tratamento do banco de dados existentes, porém esses procedimentos estão além da competência dessa dissertação de mestrado ou mesmo da equipe técnica disponível no INPE/CRN. Será agendada a visita da equipe de instaladores da estação e aguardada o retorno do pesquisador responsável pelo banco de dados, atualmente no Japão.

Procuraram-se outras fontes de informações para auxiliar na recuperação de dados, sendo que a única fonte encontrada foi a estação do aeroporto de Parnamirim, que contém informações de cobertura de nuvens conforme formato METAR (<http://weather.cod.edu/notes/metar.html>), cujos arquivos podem ser obtidos automaticamente por meio do website http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_request_options.cfm. Os códigos de cobertura de nuvens são: FEW: 1/8 a 2/8; SCT: 3/8 a 4/8; BKN: 5/8 a 7/8; OVC: 8/8. Frequentemente, ocorrem mais de um registro de cobertura, porém para alturas diferentes. Esses dados não foram considerados nesse trabalho devido às faltas significativas de dados nos meses de fevereiro (83%), março (33%), julho (30%) e outubro (67%), à complexidade de conversão dos dados do formato METAR em percentuais de frequência dos três principais tipos de céus, e por causa do sistema de classificação do formato METAR determinar o céu encoberto por fração de cobertura de nuvens

(OVC 8/8) e o empregado nesta dissertação serem através do índice de brilho ($>0,30$) e pelo índice de claridade ($1 - 1,20$).

Por um lado, há convergência dos dados de iluminância validados do INPE/CRN com os padrões da IES já presentes no programa TROPLUX 3.12, como apresentado no item **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Por outro lado, partes significativas dos registros de céu não são confiáveis e carecem de correções futuras para dar continuidade às pesquisas em futuros trabalhos.

Dessa forma, são considerados somente os resultados das simulações com os dados do Troplux/IES, pois estes não utilizaram registros do INPE/CRN. As representações gráficas desenvolvidas a partir da análise desses resultados possibilitam uma análise rápida pelo projetista e a formação de futuras recomendações projetuais.

4 CONCLUSÕES

É possível obter aproveitamento de luz natural mesmo com aberturas sombreadas para o clima de Natal-RN, porém depende da combinação do tamanho das aberturas, iluminância de projeto, profundidade do ambiente e orientação.

A primeira versão utilizada do software (3.12) mostrou-se adequado para atender os objetivos esperados no início da pesquisa, embora houvesse restrições quanto às operações de inserção e extração de dados numéricos no programa devido ao tempo gasto para este procedimento, sendo que a segunda versão utilizada do software (5.0) supera algumas limitações por trazer em sua configuração o critério do Useful Daylight Illuminance.

Considerando os resultados com dados da IES, a determinação do PULN (Percentual Útil de Luz Natural) e a determinação da zona passiva atenderam os objetivos esperados de avaliação do desempenho. Os resultados de aproveitamento de luz natural foram satisfatórios tanto para o tipo de céu claro como para o céu parcialmente encoberto, exceto para as condições de céu encoberto.

No entanto o PULN demonstrou um comportamento bastante específico para o modelo 03 onde, considerando as três iluminância de projeto (300 lux, 500 lux e 1000 lux) e as três condições de céu (encoberto, parcial e claro), o aproveitamento de luz natural não apresenta resultados satisfatórios com Paf de 20%.

Observa-se que a profundidade de alcance da zona passiva atinge bons resultados para baixos níveis de iluminância de projeto (300 lux) considerando as condições de céu claro e parcial. No entanto, para 1000 lux de iluminância de projeto, deve ser evitado Paf's de 20% porque não produzem zonas passivas nas partes mais profundas do ambiente para todos os tipo de céus.

Os resultados do PULN e da zona passiva indicaram baixa relação com a orientação e forte influência do tamanho das aberturas (Paf's) motivadas pelo aumento do nível de iluminância de projeto.

Em relação à orientação, tanto no que diz respeito ao PULN como a análise da zona passiva, a Norte é a que apresentou melhores resultados devido ao seu maior período de insolação, no entanto foi a orientação Sul que obteve um eficaz desempenho em bloquear a radiação direta e permitir a

maior entrada de radiação difusa em aberturas de 60% de Paf (única opção em que ha penetração da radiação direta). Por sua vez as orientações Oeste e Leste não foram simuladas em um segundo momento devido ao tempo, porém, provavelmente a orientação Oeste teria pior desempenho devido ao fato das simulações terem sido baseadas no horário legal e não no horário solar, onde no horário legal o período de insolação da tarde não é igual ao período da manhã.

Por fim, as representações gráficas para recomendações geradas através de dados confiáveis demonstram que o Código de Obras da cidade de Natal, no que diz respeito à iluminação natural, apresenta-se de forma generalista sem considerar a relação entre as variações de iluminância, tipos de céu, orientação e o tamanho das aberturas.

4.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

No decorrer da pesquisa algumas limitações foram encontradas devido a imprevistos, repercutindo em uma ampliação no tempo gasto para o desenvolvimento do método. As principais destas limitações são:

- A caracterização do céu apresenta várias limitações, a começar pelos erros de conversão dos registros na estação e pelo alto descarte de dados decorrentes do processo de validação;
- Para a caracterização do céu de Natal/RN foram propostos os índices de brilho e claridade seguindo os parâmetros numéricos utilizado por Sousa (2004) em sua tese, no entanto o céu estudado pela autora foi o da cidade de Florianópolis e este trabalho é sobre as condições de céu de Natal/RN;
- A operação do software Troplux versão 3.12 apresenta limitações de operação quanto à quantidade de dados inseridos e extraídos, sendo que a versão mais recente do software apresenta melhoramentos significativos nesse aspecto;
- Por questões de operacionalidade, foram necessárias simplificações e redução de dados cadastrados para o ano de 2009, empregando médias aritméticas.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Conforme algumas limitações apresentadas no desenvolvimento do trabalho estas podem originar sugestões para futuros trabalhos, tais como:

- Refazer a caracterização do céu de Natal/RN após correção dos registros da estação do INPE-CRN;
- Importação automática das iluminâncias externas: ao se propor trabalhar com softwares que possibilitam trabalhar com o cadastramento de dados reais medidos, devem-se buscar soluções em que estes dados sejam importados para o programa e não cadastrados manualmente, o que leva uma grande perda de tempo e muitas vezes inviabilizando o processo devido às simplificações feitas para alcançar resultados satisfatórios;
- Evitar o uso de médias aritméticas nos dados medidos de iluminação natural: devido a variabilidade da luz natural, um estudo que utilize todos os valores de iluminância dentro de um intervalo de tempo, em que se há aproveitamento de luz natural, forma resultados mais fieis a realidade;
- Aumentar a amostra de tempo para o estudo da luz natural: apenas um estudo prolongado (de vários anos) sobre a disponibilidade de luz natural é que se podem obter características sobre o seu comportamento;
- Caracterização da disponibilidade de luz natural em outras cidades: a pesquisa abrange apenas o céu de Natal/RN. Futuros estudos podem ser desenvolvidos para outras cidades e assim poder gerar um parecer da disponibilidade de luz natural do céu brasileiro;
- Utilizar média ponderada para determinação do PULN e da zona passiva: através da caracterização dos céus, determinar o PULN e a zona passiva pela média ponderada das frequências de céu encontradas;
- Propor recomendação projetuais: desenvolver dicas projetuais para o uso da iluminação natural de aplicação prática pelos profissionais da área.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5413 - Iluminância de interiores. ABNT, 1992. p. 13.

_____. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3. . RIO DE JANEIRO, 2005a.

_____. Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. Iluminação Natural – Parte 2: Procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. Iluminação Natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação de iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005e.

AMORIM, C.; FANCHIOTTI, A. Daylighting in Commercial Buildings: The use of new components and design solutions to optimize visual confort and energy efficiency. In: Seventh International IBPSA Conference, Rio de Janeiro. 2001.

AMORIM, C. B., DARJA. . Tendências estilísticas da arquitetura contemporânea brasileira e bioclimatismo. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC., Natal-RN. 2009.

AMORIM, C. N.; GRILLO, J. C. Janela na edificação: Normas e indicações para projeto In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo. 2004.

ARAÚJO, I. Á. L. D. Influencia da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no Trópico úmido. (Dissertação de mestrado). - Programa de pós graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceio-AL, 2006.

BAKER, N.; STEEMERS, K. LT Method 3.0: a strategic energy-design tool for Southern Europe. *Energy and Building* [S.l.], v. 23, p. 251-256, 1996.

BAKER, N. F., A.; STEEMERS, K. Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Londres: James & James, 1993.

BAKER, N. V. The LT Method 2.0 - An energy design tool for non-domestic buildings. In: STEEMERS, K. (Ed.). n. CB 1 1DP. Cambridge Architectural Research Limited: Royal Institute of British Architects, 1994.

- _____. Energy and Environment in non-domestic buildings - A technical design guide. n. CB 1 1DP. Cambridge Architectural Research Limited: Royal Institute of British Architects, 1995.
- BARBOSA, E.; PORTO, M. Arquitetura Moderna – permeabilidade visual através de soluções de fachada. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Maceió-AL. 2005.
- BITTENCOURT, L. Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. Maceió: Edufal, 2004.
- BOGO, A.; CLARO, A.; PEREIRA, F. Análise comparativa do fluxo luminoso admitido e da transmitância em aberturas com elementos de controle solar de mesma máscara de sombra e configurações físicas diferentes. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Ouro Preto-MG. 2007.
- BRANDÃO, R. Disponibilidade de luz natural: avaliação de métodos para cálculo das iluminância externas. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Curitiba/PR. 2003.
- CABÚS, R. Um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Maceió-AL. 2005a.
- _____. Validação do programa TropLux. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Maceió/AL. 2005b.
- CABÚS, R.; GAZZANEO, L.; LARANJA, A. Regulamentações urbanas e edíficias: considerações sob o aspecto da iluminação natural em ambientes internos. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Natal/RN. 2009.
- CABÚS, R.; CANDIDO, C.; TORRES, S. Análise da utilização de prateleiras de luz em edifício de pesquisa da UFAL, Maceió-AL. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Maceió-AL. 2005c.
- CARDOSO, S. Avaliação das condições de iluminação natural em salas típicas de edifícios de escritórios em Maceió-AL. (Dissertação de mestrado). - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió/AL, 2006.
- CARLO, J. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-Residenciais. (Tese de doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC, 2008a.
- CARLO, J.; GHISI, E.; LAMBERTS, R.; MASCARENHAS, A. Eficiência energética no Código de Obras de Salvador. In: VII Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído (ENCAC)/ III Conferência Latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações (COTEDI), Novembro, Curitiba. 2003.

- CARLO, J.; LAMBERTS, R. Curso de Etiquetagem de edifícios comerciais. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, Fortaleza-CE. 2008b.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura bioclimática para os trópicos. Rio de Janeiro: Revan, 2009
- DUTRA, L.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997.
- GHISI, E.; IBRAHIM, S.; TINKER, J. Área da janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. *Ambiente Construído* [S.I.], v. 5, n. 4, p. 81-93, 2005.
- GONÇALVES, J.; VIANNA, N. Iluminação e Arquitetura. São Paulo: Geros Ltda, 2001.
- GUTIERREZ, G.; LABAKI, L. Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Maceió-Al. 2005.
- HAYMAN, S. L., N. Daylight Design Rules of Thumb. In: Proceedings of 36th ANZAScA Conference, Deakin University. 2002. p.347-354.
- HESCHONG, L. *et al.* Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research Technology* [S.I.], v. 41, p. 261-283, 2009.
- HESCHONG, L. L., E.; MARDALJEVIC, J. Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research Technology*. v. 41, 2009. p. 261-283. v.41.
- HOPKINSON, R. P., P.; LONGMORE, J. Daylighting. Londres: William Heinemann, 1966/1975.
- HYDE, R.; PEDRINI, A. An Energy Conservation Architectural Design Tool for Warm Climate (LTV): The tool development and testing. In: Expert's Conference on Tropical Daylight and Building, Singapura. 2002.
- LAMBERTS, R.; MARINOSKI, D.; MILBRATS, J. Verificação de propriedades térmicas e ópticas de janelas através de simulação computacional. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, Fortaleza-CE. 2008.
- LOVERSO, V. R. M.; REINHART, C. F. A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight. *Lighting Research Technology* [S.I.], v. 42, p. 7-31, 2010.
- MACIEL, A. Bioclimatic Integration into the Architectural Design. (tese de doutorado). - University of Nottingham, 2007.
- MARDALJEVIC, J. The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. *Lighting Research Technology* [S.I.], v. 33, p. 117-136, 2001.
- MARDALJEVIC, J.; NABIL, A. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research Technology* [S.I.], v. 37, n. 1, p. 44-59, 2005.

- _____. The Useful Daylight Illuminance Paradigm: A Replacement for Daylight Factors. *Energy and Building* [S.l.], v. 38, p. 905-913, 2006a.
- MARDALJEVIC, J.; REINHART, C.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos* [S.l.], v. 3, p. 7–31, 2006b.
- NATAL/RN, P. D. C. D. Instrumento de ordenamento urbano - Código de Obras e Edificações do Município de Natal. Natal/RN, 2004.
- O'CONNOR, J. *et al.* Tips for daylighting with windows - The integrated approach. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, p.107. 1997
- OLGYAY, V. Arquitetura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1998.
- OTIS, T.; REINHART, C. A Design sequence for diffuse daylighting: Daylighting rules of thumb. v. 2010. n. Junho: Havard University Graduate School of Design, 2009.
- PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia de edificações de escritório em clima quente. In: VII Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído (ENCAC)/ III Conferência Latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações (COTEDI), Novembro, Curitiba. 2003.
- PEREIRA, F.; PEREIRA, O.; SOUZA, R. Análise do 1º ano de dados da Estação de medição de Iluminação natural de Florianópolis, EMIN-Floripa. In: VII Encontro Nacional e sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Curitiba/PR. 2003a.
- PEREIRA, F.; SOUZA, R. Estabelecimento da primeira Estação de Medição de iluminação natural em território brasileiro para caracterização de iluminâncias de céu luminância de zênite. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Curitiba/PR. 2003b.
- _____. Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento. *Ambiente Construído* [S.l.], v. 4, p. 79-94, 2004.
- PROCEL. Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2008.
- REINHART, C. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rules of thumb. In: *Proceedings of Building Simulation*, Canadá. 2005.
- ROMERO, M. Arquitetura Bioclimática do espaço urbano. Brasília: Editora Universitária de Brasília, 2007.
- SOUZA, M. Potencialidade de aproveitamento de luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para a economia de energia elétrica. (Tese de doutorado). - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2003.

- SOUZA, R. Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada. (dissertação de mestrado). - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1997^a.
- _____. O desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna. (Tese de doutorado). - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- SZABO, L. O paradigma de luz natural proposto pelo movimento moderno na arquitetura. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, São Pedro-SP. 2001.
- TOLEDO, B. Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico. (dissertação de mestrado). - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2008.

APÊNDICE A – PLANILHA ELETRÔNICA DE DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE CÉUS EM NATAL/RN

	2009	Jun	Ano	Dia	(min)	med. Glob. Horiz. (V/m²) lgh	med. Dif. Horiz. (w/m²) Idh	lum. Glob. hor. (klux) Egh	lum. Dif. Horiz. (klux) Ech	Claro	Parcialmente Nublado	Encoberto	Claro	Parcialmente Nublado	Encoberto	média	Claro	Parcialmente Nublado	Encoberto	Claro	Parcialmente Nublado	Encoberto	Claro	Parcialmente Nublado	Encoberto	Abab. Erros Média	Abab. Lum. Média	Alt. Sal. (m)	Frequências mensais					
06/01/2009 00:30	1	151	2009	1	30				0,08							01:00										1	0	0	-66,4					
06/01/2009 01:00	2	151	2009	1	60				0,08							02:00										1	0	0	-60,7	Céu claro	298	55,2 %		
06/01/2009 01:30	3	151	2009	1	90				0,08							03:00										1	0	0	-54,4	Céu parcialmente	242	44,8 %		
06/01/2009 02:00	4	151	2009	1	120				0,08							04:00										1	0	0	-47,8	Céu encoberto	0	0,0 %		
06/01/2009 02:30	5	151	2009	1	150			0,085	0,08							05:00										1	0	0	-41,1	Total	540	100,0 %		
06/01/2009 03:00	6	151	2009	1	180				0,08							06:00										1	0	0	-34,2					
06/01/2009 03:30	7	151	2009	1	210			0,085	0,08							07:00										1	0	0	-27,3	min ε'	1,41			
06/01/2009 04:00	8	151	2009	1	240			0,085	0,08							08:00	38	47	33	#DIV/0!	18	42	0	30%	70%	0%	1	0	0	-20,4	max ε'	2,11		
06/01/2009 04:30	9	151	2009	1	270				0,08							09:00	53	64	48	#DIV/0!	15	45	0	25%	75%	0%	1	0	0	-13,4				
06/01/2009 05:00	10	151	2009	1	300	1,4064	1,224	0,213	0,186							10:00	64	72	58	#DIV/0!	21	39	0	35%	65%	0%	1	0	0	-6,44	min Δ	-16,4		
06/01/2009 05:30	11	151	2009	1	330	21,2962	18,17	2,034	1,79							11:00	31	26	34	#DIV/0!	23	37	0	38%	62%	0%	1	0	0	0,48	max Δ	14,3		
06/01/2009 06:00	12	151	2009	1	360	80,0433	69,25	6,754	6,047							12:00	23	15	28	#DIV/0!	25	35	0	42%	58%	0%	1	0	0	1,737				
06/01/2009 06:30	13	151	2009	1	390	221,18	138	19,68	17,85							13:00	23	18	31	#DIV/0!	39	21	0	65%	35%	0%	1	0	0	14,2	Claro esc	194	65,1 %	
06/01/2009 07:00	14	151	2009	1	420	297,16	145,3	25,2	22,93							14:00	36	36	31	#DIV/0!	47	13	0	78%	22%	0%	1	0	1	0	21	Claro med	32	10,7 %
06/01/2009 07:30	15	151	2009	1	450	501,733	148,2	43,57	41,1							15:00	29	30	17	#DIV/0!	50	10	0	83%	17%	0%	1	0	0	27,4	Claro lum	72	24,2 %	
06/01/2009 08:00	16	151	2009	1	480	538,9	110	50,44	48,12				48			16:00	16	15	#DIV/0!	#DIV/0!	60	0	0	100%	0%	0%	1	0	0	34				
06/01/2009 08:30	17	151	2009	1	510	687,7	156,1	58,71	55,49				55			17:00										1	0	0	40,3	Parcial esc	71	23,3 %		
06/01/2009 09:00	18	151	2009	1	540	583,163	271,6	49,13	44,78				45			18:00										0	1	0	46,2	Parcial med	62	25,6 %		
06/01/2009 09:30	19	151	2009	1	570	806,49	263,9	69,79	65,09				65			19:00										1	0	0	51,6	Parcial lum	109	45,0 %		
06/01/2009 10:00	20	151	2009	1	600	967,033	234,5	80,58	73,8				74			20:00										1	0	0	56,2					
06/01/2009 10:30	21	151	2009	1	630	913,563	216,5	75,3	26,86				27			21:00										1	0	0	59,8	Encob esc	0	#DIV/0! %		
06/01/2009 11:00	22	151	2009	1	660	1042,72	155,4	84,47	12,66				13			22:00										1	0	0	61,9	Encob med	0	#DIV/0! %		
06/01/2009 11:30	23	151	2009	1	690	930,977	224,5	78,98	18,67				19			23:00										1	0	0	62,1	Encob lum	0	#DIV/0! %		
06/01/2009 12:00	24	151	2009	1	720	844,543	248,1	64,69	20,54				21			00:00										1	0	0	64,4					
06/01/2009 12:30	25	151	2009	1	750	949,863	283,6	80,12	23,49				23				identificação de média de iluminância de tipos de céu				contagem de número de horas de ocorrência de determinado tipo de céu						1	0	0	57,2				
06/01/2009 13:00	26	151	2009	1	780	856,94	256,3	65,51	21,54				22													1	0	0	52,7					

APÊNDICE B – ANÁLISE DOS MESES REPRESENTATIVOS DO ANO DE 2009

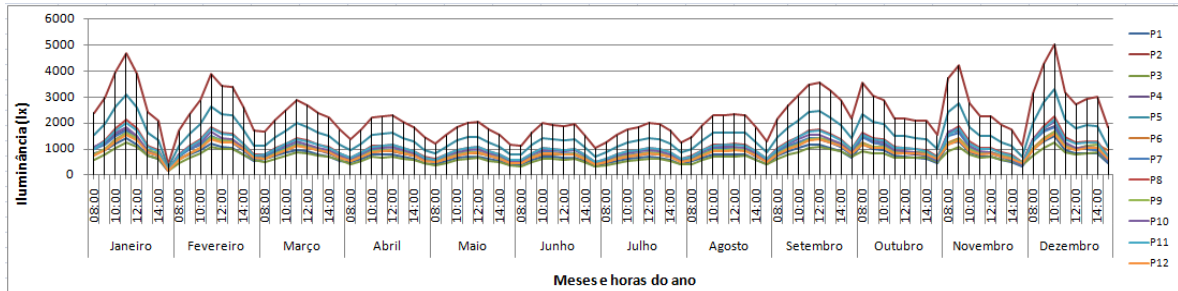


Gráfico 01. Comportamento da iluminância interna do modelo1 (6mx4m), com 20% de Paf, sob condições de céu parcialmente encoberto e para orientação Sul.

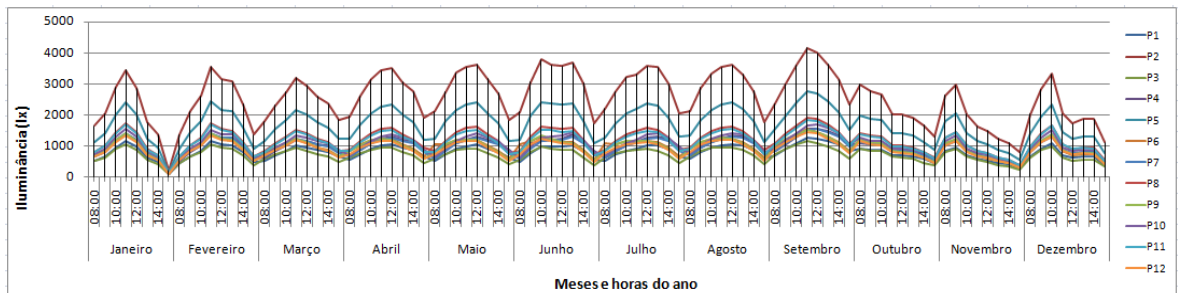


Gráfico 02. Comportamento da iluminância interna do modelo1 (6mx4m), com 20% de Paf, sob condições de céu parcialmente encoberto e orientação Norte.

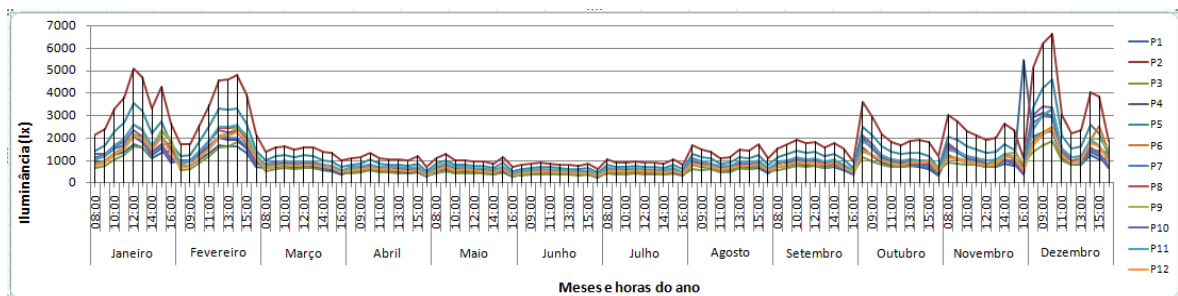


Gráfico 03. Comportamento da iluminância interna do modelo1 (6mx4m), com 20% de Paf, sob condições de céu claro e orientação Sul

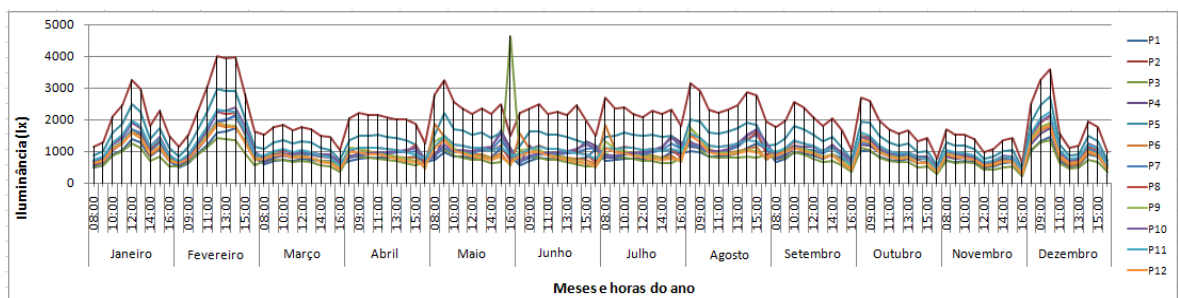


Gráfico 04. Comportamento da iluminância interna do modelo1 (6mx4m), com 20% de Paf, sob condições de céu claro e orientação Norte