

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO
DEHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS: Uma análise
em Maceió - AL.**

DAÍSY DAMÁSIO ALBUQUERQUE

MACEIÓ

2010

DAÍSY DAMÁSIO ALBUQUERQUE

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS: Uma análise
em Maceió - AL.**

Dissertação de Mestrado apresentado a Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas
como requisito final para a obtenção de título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

MACEIÓ

2010

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

A345a Albuquerque, Daísy Damásio.
Avaliação da influência da luz natural na redução do consumo de energia em edifícios comerciais : uma análise em Maceió-AL / Daísy Damásio Albuquerque, 2010.

138 f. : il., grafs., tabs.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.

Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2010.

Bibliografia: f. 118-124.

Apêndices: f. 125-136.

Anexos: f. 137-138.

1. Iluminação (Arquitetura). 2. Iluminação natural – Simulação por computador.
3. TROPLUX. 4. ENERGYPLUS. 5. Edifícios comerciais – Consumo de energia.
I. Título.

CDU: 728(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO
DEHA

DAÍSY DAMÁSIO ALBUQUERQUE
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA REDUÇÃO CONSUMO DE
ENERGIA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS: Uma análise em Maceió - AL.

Dissertação de Mestrado apresentado a Faculdade
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal
Alagoas como requisito final para a obtenção de título
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.



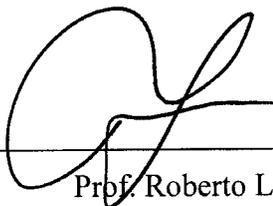
Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús
Centro de Tecnologia – UFAL



Prof. Dra. Gianna Melo Barbirato
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. Adriana Capretz Borges da Silva Manhas
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Roberto Lamberts, Ph.D
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs e a Artur.

Por amor a eles, segui em frente.

Agradecimentos

Aos meus pais, por entenderem minhas ausências.

A minha irmã Denisy pela paciência, ajuda e por ceder sempre à bancada para que eu, enfim, terminasse!

A minha irmã Deyrise, que para me auxiliar, abriu mão de parte suas férias.

A Raffa, por ter aceitado, junto comigo, o desafio de aprender e utilizar o EnergyPlus e persistir nesta idéia. Dividindo todas as angústias, dúvidas e alegrias desta pesquisa.

A Artur, por ter me orientado, esclarecido minhas dúvidas, enfim, pela paciência e suporte técnico e teórico para que eu finalizasse a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ricardo Cabús pela orientação, esclarecimentos e paciência.

Aos professores membros da banca examinadora: Gianna Melo Barbirato, Adriana Capretz, Leonardo Salazar Bittencourt e Roberto Lamberts que aceitaram participar e contribuir para a avaliação e conclusão desta pesquisa.

Aos funcionários da Norcon, em especial Sandro, Seu Luis, Helder e Dra. Kilza.

Ao pessoal do Geca pela acolhida e do Grilu pelo suporte.

E a todos os amigos que fiz durante esta caminhada, em especial a Raffa, Ellen, Camila, Fran Cynthia e Amanda, agradeço a amizade

Resumo

A luz natural é uma fonte de energia renovável e abundante. Quando utilizada visando equilibrar a entrada de luz natural e de carga térmica dentro do ambiente traz benefícios como a redução no consumo de energia. Em edificações comerciais a iluminação e o condicionamento de ar são responsáveis pela maior parcela do consumo final de energia. Estas edificações têm grande potencial de reduzir este consumo através da utilização balanceada da iluminação natural e do condicionamento de ar, evitando assim, desperdícios. Para encontrar este equilíbrio, o uso de programas de simulação computacional tem se apresentado como uma boa alternativa para estimar este consumo de forma integrada. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da iluminação natural na redução do consumo de energia elétrica, considerando também a utilização do condicionamento de ar para modelos baseados em edifícios comerciais da cidade de Maceió. Para esta avaliação foram simulados no programas TropLux e *EnergyPlus* três modelos de proporções diferenciadas com enfoque na profundidade e dois tamanhos de aberturas diferentes. Foram avaliadas em uma primeira etapa as iluminâncias úteis geradas pelas simulações computacionais quando da utilização de vidro laminado refletivo. E numa segunda etapa foram simulados os consumos integrados, da iluminação natural e do condicionamento de ar considerando, para isso, um sistema de controle de iluminação artificial. A partir destas análises observou-se que as iluminâncias úteis são encontradas em maior concentração nos modelos com aberturas maiores, com menor profundidade e nos pontos localizados mais próximos a abertura. Na simulação integrada, nota-se que os maiores percentuais de economia variam em função dos PJFs, sendo também considerável a influência da carga térmica gerada pelo sistema de iluminação artificial. Portanto, observa-se que diante dos casos estudados a iluminação natural pode contribuir significativamente na redução do consumo de energia elétrica, sendo importante a existência de instrumentos que apontem diretrizes para a utilização da iluminação natural em edifícios comerciais.

Palavras Chaves: Iluminação Natural, TropLux, *EnergyPlus*, Consumo de Energia.

Abstract

Daylight is renewable energy and abundant source. When used to balance the entrance of daylight and heat load within the room, brings benefits as the reduction in energy consumption. In commercial buildings lighting and air conditioning are responsible for larger proportion of final energy consumption. These buildings have great potential to reduce this consumption through balanced daylighting and air conditioning, avoiding waste. To find this balance, the computational simulation programs have been presented as a good alternative to estimate the consumption of an integrated way. This study aimed to evaluate the influence of daylighting in reducing the consumption of electric energy, whereas also, the use of air conditioning for models based on commercial buildings in Maceió. For this evaluation three models of different proportions, with a focus on depth and two sizes of different apertures were simulated in programs EnergyPlus and TropLux. In a first stage illuminances useful generated by computational simulations were evaluated where also the laminated reflective glass was used. In a second stage, the consumptions of daylighting and air conditioning were simulated integrated, considering a system of artificial lighting control. According to the analyzes were observed the illuminances useful are found in higher concentration in models with larger apertures, with lower depth and in points located closer to apertures. In the simulation integrated, the highest percentages of economy vary according to the PjFs, being considerable influence of heat load generated by the system of artificial lighting. Therefore, in the face of the cases studied, natural lighting can contribute significantly to reduce the consumption of electric energy, being important the existence of instruments which indicate guidelines for the use of daylighting in commercial buildings.

Key Words: Daylighting, TropLux, *EnergyPlus*, Energy Consumption.

Lista de Figuras

Figura 1: Tipologias de Edifícios comerciais em Maceió.	17
Figura 2: Hemisfera de raio unitário e sua projeção no plano horizontal.....	23
Figura 3: Subdivisão do céu em 145 partes. Padrão CIE 145.	23
Figura 4: Céu Claro em Maceió.	25
Figura 5: Céu Parcialmente Encoberto em Maceió.	25
Figura 6: Céu Encoberto em Maceió.....	25
Figura 7: Probabilidade de média de horas de insolação por mês para Maceió.	27
Figura 8: Porcentagem de nebulosidades mensais para Maceió.....	27
Figura 9: Probabilidade de tipo de céu.	27
Figura 10: Componentes de Céu.	29
Figura 11 Iluminância interna a partir da luminância de um pedaço de céu.	31
Figura 12 : Consumo de Energia Final por setor.....	37
Figura 13: Contribuição e Projeções das Fontes Renováveis e Não Renováveis Mundial.	38
Figura 14: Geração de Energia Elétrica no Mundo a partir de energia primária por tipo de Combustível no ano de 2006.	40
Figura 15: Geração de Energia Elétrica no Brasil a partir de energia primária por tipo de Combustível no ano de 2006.	40
Figura 16: Emissões de CO ₂ efetuadas pela energia elétrica em 2006 e projeções 2030.....	41
Figura 17: :Consumo de Energia Elétrica por setor no mundo.	42
Figura 18: Consumo de energia elétrica por setor no Brasil.	42
Figura 21: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Comercial.	43
Figura 19: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Residencial.....	43
Figura 20: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Comercial.....	43
Figura 22: Módulos do TropLux.	53
Figura 23: Comparação da iluminância medida e simulada em sala em Belo Horizonte no <i>EnergyPlus</i>	59
Figura 24:Norcon Empresarial.	62
Figura 25: Norcon Empresarial.	62
Figura 26: Planta Baixa do edifício onde ocorreram as medições das iluminâncias internas. .	63
Figura 27: Sala onde ocorreram as medições das iluminâncias internas.....	64
Figura 28: Corte da janela.	64
Figura 29: HOB0 - <i>Datalogger</i> utilizado para a medição de iluminância no edifício monitorado.....	65
Figura 30: Locação dos pontos para a medição com os <i>dataloggers</i>	66
Figura 31: Locação dos pontos para a medição com os <i>dataloggers</i>	66
Figura 32: Sala monitorada pelos <i>dataloggers</i>	68
Figura 33: Modelagem da sala monitorada.	69
Figura 34: Proporções do modelo 1:1,5.....	71
Figura 35: Proporções do modelo 1:1,83.....	71
Figura 36: Proporções do modelo 1:2,23.....	71
Figura 37: Inserção das coordenadas dos planos no programa TropLux.	74
Figura 38:Transmitância do vidro incolor no programa Troplux.....	75

Figura 39: Visão do programa <i>EnergyPlus</i>	76
Figura 40: Distribuição das luminárias.....	78
Figura 41: pontos simulados no modelo 1:1,5.....	79
Figura 42: Pontos simulados no modelo 1:1,83	79
Figura 43: Proporções do modelo 1:2,23.....	79
Figura 44: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5, método <i>Daylighting: Controls</i>	88
Figura 45: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5, método <i>Daylighting: DElight Controls</i>	89
Figura 46: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5, método TropLux.....	90
Figura 47: Carta solar Maceió - Incidência solar por orientação.	101
Figura 48: Consumo em kWh/m ² /ano	106
Figura 49: Percentual de economia de energia elétrica da iluminação e ar condicionado dos modelos propostos em comparação ao caso de referência.	107
Figura 50:lâmpada TL5 28W.	125

Lista de Tabelas

Tabela 1: Eficácia Luminosa	22
Tabela 2: Descrição do tipo de céu a partir da CIE.	24
Tabela 3: Especificações técnicas do Hobo H8 Family.	65
Tabela 4: Absortância da cores.....	68
Tabela 5: Propriedades do vidro.	68
Tabela 6: Parâmetros construtivos.....	72
Tabela 7: Padrão de uso de equipamentos e pessoas nos modelos propostos	73
Tabela 8: Fatores determinantes da iluminação adequada.	77
Tabela 9: Iluminância por classe de tarefas visuais.	77
Tabela 10: Blocos de simulação Modelo 1:1,5.....	81
Tabela 11: Bloco de simulação Modelo 1:1,83	81
Tabela 12: Bloco de simulação Modelo 1:2,23	81
Tabela 13: Erro médio quadrático e viés médio	87
Tabela 14: Consumo e estimativa de economia de energia elétrica – área de abertura 1/6 da área de piso	102
Tabela 15: Consumo e estimativa de economia de energia elétrica – área de abertura 1/12 da área de piso	103
Tabela 16: Dimensão da lâmpada.....	125
Tabela 17: Característica da lâmpada escolhida.....	125
Tabela 18: Característica do reator	125

Abreviaturas e Siglas

AVAC-R	Aquecimento, Ventilação, Ar condicionado e Refrigeração
BAU	Business as Usual
BEN	Balanço Energético Nacional.
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
COP	Coefficient of performance
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos
EIA	Energy Information Administration
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IDMP	Internacional Daylighting Measurement Programme
IEA	International Energy Agency
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações -UFSC
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MME	Ministério de Minas e Energia
Mtoe	Milhões de toneladas equivalentes a petróleo
PALN	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIB	Produto Interno Bruto
PJF	Percentual de Janela na Fachada
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços
TEP	Tonelada equivalente de petróleo.
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
Justificativa	17
Objetivo Geral	18
Objetivos Específicos	18
1. Referencial Teórico.....	20
1.1. Luz natural	20
1.2 Fontes de luz natural	21
1.2.1 O Sol	21
1.2.2 O Céu.....	22
1.2.3 O Entorno	26
1.3 O sol e o céu em Maceió.....	26
1.4 Métodos de cálculo da iluminação natural.....	28
1.4.1 Fator de Luz do Dia (FLD).....	28
1.4.2 Coeficiente de Luz Natural.....	30
1.4.3 Autonomia da luz Natural.....	31
1.4.4 Iluminância Útil da Luz Natural (IULN).....	32
1.5 Métodos numéricos para simulação da iluminação natural	34
1.5.1 Radiosidade	34
1.5.2 Método Monte Carlo aplicado a Iluminação natural	34
1.5.3 Método do Raio Traçado.	35
1.6 Eficiência energética em edificações: Panorama Energético Mundial e Brasileiro... 36	
1.6.1 Energia Elétrica	39
1.6.1.1 Consumo final de energia elétrica por setor	41
1.6.2 Potencial de redução de energia através da iluminação natural em edifícios comerciais.....	45
1.7 Metodologias de avaliação ambiental e da sustentabilidade de edifícios e a Iluminação Natural.....	46
1.7.1 BREEAM - BRE <i>Environmental Assessment Method</i>	47
1.7.2 LEED - Leadership in Energy and Environmental Design	48
1.7.3 Regulamento Técnico da Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços – RTQ-C	49
1.8 Programas de Simulação de Iluminação Natural e Consumo Energético.....	50

1.8.1	TropLux	52
1.8.2	<i>EnergyPlus</i>	55
2.	Metodologia	61
2.1	Verificação das iluminâncias simuladas em relação às medidas.....	61
2.1.1	Caracterização do local de Medição.....	61
2.1.2	Medição das iluminâncias através de <i>dataloggers</i>	64
2.1.3	Da escolha dos programas	66
2.1.4	Verificação das diferenças entre dados medidos e simulados.....	67
2.2	Configuração dos modelos e das características internas para a simulação computacional.....	71
2.3	Definições para a simulação computacional da iluminação natural	74
2.3.1	Definição da iluminância de projeto.....	76
2.3.2	Cálculo luminotécnico e distribuição das luminárias.....	77
2.4	Simulação da iluminação natural	78
2.5	Comparação das iluminâncias simuladas pelos programas	82
2.6	Estimativa de consumo da iluminação artificial integrada com a iluminação natural	82
2.7	Simulação do desempenho termoenergético em função da iluminação natural	84
3.	Resultados e Discussões.....	86
3.1	Análise da verificação das diferenças de dados medidos e os simulados.....	86
3.2	Análise da simulação da iluminação natural.....	87
3.2.1	Modelo 1:1,5.....	90
3.2.1.1	TropLux	91
3.2.1.2	<i>EnergyPlus</i>	92
3.2.2	Modelo 1:1,83.....	93
3.2.2.1	TropLux	94
3.2.2.2	<i>EnergyPlus</i>	95
3.2.3	Modelo 1: 2,23.....	96
3.2.3.1	TropLux	96
3.2.3.2	<i>EnergyPlus</i>	98
3.3	Análise da estimativa de consumo de energia elétrica da iluminação artificial integrada à iluminação artificial.....	102
3.3.1	Avaliação da economia de energia total em relação aos casos de referência.	104
4.	Conclusões	111

4.1	Análise do desempenho luminoso em relação aos modelos propostos.....	112
4.2	Análise da influência da iluminação natural na redução do consumo de energia ...	113
4.3	Análise da simulação integrada	114
4.4	Considerações Finais	115
4.5	Limitações do trabalho.....	116
4.6	Sugestões para trabalhos futuros.....	117
REFERÊNCIAS		118
Anexo 1.....		125
Anexo 2.....		125
Apêndice 1		127
Apêndice 2.....		130



INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A luz natural é uma fonte de energia abundante em regiões tropicais e se utilizada de maneira correta, visando equilibrar o ingresso da luz e do calor no ambiente, pode oferecer vantagens como: uma redução no consumo de energia, qualidade ambiental, eficácia luminosa, além de ser uma fonte de energia renovável. Quando bem projetada, a luz natural pode fornecer iluminação necessária durante 80 a 90% das horas de luz diária (MAJOROS, 1998), sendo completada pela luz artificial nas horas em que não for suficiente para a realização de tarefas.

A quantidade de luz natural disponível depende de três fontes: o sol, o céu e o entorno. A luz direta do sol oferece grande eficácia luminosa. A luz provinda do céu depende das condições de nebulosidade que irão, junto com outras variáveis, definir o brilho do céu. E a luz provinda do entorno é resultado das reflexões da luz do céu e do sol nas superfícies externas. (TREGENZA; LOE, 1998).

Para a utilização da iluminação natural em projetos, pesquisas têm desenvolvido métodos para estimar a luz disponível. Estes métodos tanto podem ser aplicados de maneira prescritiva, como através de ferramentas computacionais. As ferramentas computacionais têm a utilização destacada por serem de fácil acesso, uso e por apresentar correlações validadas com os valores reais de iluminação. Apesar disto, a luz natural é pouco explorada como uma parte importante de projeto, sendo relegada muitas vezes a segundo plano. Logo, o potencial de contribuição na redução de energia a partir da utilização da iluminação natural é geralmente desperdiçado.

A utilização da luz natural e de outras fontes de energias renováveis tem papel de grande importância na redução do consumo de energia, pois as perspectivas do consumo para o futuro são de contínuo e crescente aumento. A energia disponível atualmente, no mundo, é

cerca de 82% dependente de fontes fósseis, que além de não serem energias renováveis, estando passivas a uma eventual exaustão, sua utilização ainda produz grande quantidade de poluição através dos gases gerados pela sua combustão (LEITE, 2007).

Segundo informações do Ministério de Minas e Energia (MME, 2007), em 2006 o Brasil consumiu 300.646 bilhões de kWh de energia elétrica. O setor comercial foi responsável pelo consumo de cerca de 15% deste total, ou seja, 47,5 bilhões de kWh. De toda a energia consumida no setor comercial, aproximadamente 14% não é aproveitada, representando um desperdício de cerca de 20% do total de energia elétrica utilizada no Brasil.

Diante deste cenário, países buscam alternativas para diminuir o consumo de energia nas edificações. Uma delas é propor diretrizes sobre o consumo de energia de cada edificação, utilizando, por exemplo, metodologias de avaliação que as conduzam para que se tornem energeticamente mais eficientes. Estados Unidos, Chile, Canadá, México, Reino Unido, Filipinas, Portugal, dentre outros, são alguns exemplos de países que já possuem regras ou diretrizes incorporadas as suas edificações apresentando bons resultados. No Brasil, esta preocupação é representada pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público – RTQ-C, que especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios quanto a eficiência energética, assim como já acontece com os eletrodomésticos e outros equipamentos. (MME, 2009b).

Se sustentabilidade é suprir a necessidade do presente sem comprometer o futuro, estratégias e regras para o consumo de energia é algo pertinente para o presente e todos os envolvidos devem contribuir na busca deste objetivo. A arquitetura é um dos principais sujeitos envolvidos neste cenário, pois ela é responsável por procedimentos e estratégias adotadas nos projetos de edificações. O uso racional de energia, o conforto dos usuários, a criação de projetos e utilização de materiais adaptados ao clima, além do bom aproveitamento

da ventilação e iluminação natural integrada à artificial e aos ganhos térmicos são exemplos de ações satisfatórias para o cumprimento destes objetivos.

Justificativa

Diante do cenário energético mundial e suas perspectivas para o futuro, a utilização de fontes renováveis de energia, torna-se fundamental. A luz natural por se tratar de uma fonte de energia renovável, se apresenta como boa estratégia para prover iluminação, principalmente em edificações onde a iluminação tem um peso significativo no consumo final de energia.

As edificações comerciais representam uma parcela de edificações onde a iluminação é responsável por parte significativa do consumo de energia elétrica no Brasil. Este cenário não é diferente para a cidade de Maceió, que apesar de apresentar grande potencial para o aproveitamento da luz natural, segundo Cardoso (2006), os edifícios existentes nesta cidade fazem grande uso de cortinas, persianas e películas. A utilização destes dispositivos contribui para o maior uso da iluminação artificial na maior parte do tempo, cooperando para aumento do consumo de energia nestes tipos de edifícios. Na figura 1, exemplos de edifícios na cidade de Maceió.



Figura 1: Tipologias de Edifícios comerciais em Maceió. Fonte: Candido, 2006

É neste contexto que esta pesquisa pretende avaliar a influência da luz natural na redução do consumo de energia em edifícios comerciais localizados na cidade de Maceió, através da simulação computacional de modelos de salas comerciais com dimensões diferenciadas.

Objetivo Geral

Avaliar a influência da iluminação natural na redução do consumo de energia elétrica, em edifícios comerciais da cidade de Maceió.

Objetivos Específicos

- Analisar o desempenho luminoso em modelos propostos com enfoque no tamanho das aberturas e na profundidade dos ambientes.
- Verificar a influência da iluminação natural na redução do consumo de energia em modelos propostos.
- Analisar o desempenho termoenergético em função da iluminação natural nos modelos propostos.



Referencial Teórico

1. Referencial Teórico

1.1. Luz natural

A utilização da luz natural como forma de prover uma boa iluminação natural já era discutido nos escritos clássicos de Vitruvius. Apesar de sua característica imprevisibilidade, sempre foi considerada importante nas edificações para diversos usos como iluminação, fonte de calor e inspiração para os projetistas e quem dela usufruía (AMORIM, 2002).

Apesar da sua variação constante ao longo do dia, a interação do ser humano com a luz natural acontece de maneira inata. O sentido da visão, por exemplo, já se encontra completamente adaptado às suas características e é comum perceber a simpatia dos indivíduos na utilização da luz natural frente à luz artificial. Segundo Schmid (2005, p. 290), “Existe entre a visão humana e a radiação solar uma coincidência notável”.

Com o desenvolvimento da luz artificial na primeira metade do século XX, iniciou-se um uso em larga escala desta fonte de luz. Fatores como a facilidade de acesso, perfil simples de projeto e a pouca variabilidade em seu fluxo luminoso contribuíram para a sua expansão. Mas, atualmente, a luz natural ganha destaque e é vista como uma importante e benéfica fonte de energia tanto no que diz respeito à saúde e bem estar dos usuários quanto à sua contribuição no aspecto energético.

A luz natural quando utilizada como fonte de luz, pode chegar a alcançar iluminâncias acima do necessário durante todo o período do dia. Em regiões tropicais, a luz natural é uma fonte de energia abundante e com grande disponibilidade e quando utilizada de maneira correta, pode oferecer inúmeras vantagens.

Destas vantagens, pode-se destacar a qualidade ambiental, por ser uma fonte de energia renovável e abundante, o potencial da quantidade de luz se comparado a iluminação artificial e a noção da variação temporal. Ainda, segundo Majoros (1998, p. 3), “Um bom projeto de iluminação natural pode prover a iluminação necessária por 80 a 90% das horas de luz de um dia.”, o que significa uma sensível diminuição na utilização de luz artificial e conseqüentemente diminuição no consumo de energia. (AMORIM, 2002; MAJOROS, 1998).

É importante ter cautela na utilização da luz natural nos trópicos visando sempre o equilíbrio do ingresso da luz e do calor no ambiente, pois uma de suas funções principais, que é trazer luz para o ambiente, pode também trazer calor. Por isso, os habitantes das regiões tropicais costumam associar excesso de luz natural ao desconforto térmico (CABÚS, 2002), principalmente quando há entrada de radiação solar direta que traz ganhos de calor para o ambiente.

1.2 Fontes de luz natural

A característica essencial da luz natural é definida pelo brilho do céu e a presença ou ausência da luz solar. As fontes de luz natural são caracterizadas de duas formas: diretas através do sol e do céu e indiretas através do entorno. Em projetos de iluminação natural cada uma delas é utilizada de forma a se retirar o máximo proveito das vantagens e minimizar o surgimento de possíveis problemas (MOORE, 1985; MAJOROS, 1998).

1.2.1 O Sol

O sol é a fonte fundamental de luz natural e seus raios são transmitidos de forma direta ou difusa. Sua luz tem alta eficácia luminosa e boa reprodução de cores. Possui uma

geometria bem definida, podendo, assim ser estudada a probabilidade de insolação através da trajetória solar (CABUS, 2002; BITTENCOURT, 2004).

Conforme pode ser visto na tabela 1, apesar da eficácia luminosa solar (lm/W) ser alta, boa parte dos projetistas procuram evitar sua utilização, considerando apenas a luz difusa e refletida pelo entorno. Isto se justifica em razão da radiação solar direta ser intensa podendo causar problemas como o ofuscamento e ganhos térmicos excessivos e indesejáveis. Por isso, sua utilização é cautelosa. Nos trópicos para conter estes possíveis problemas é comum a utilização de dispositivos de sombreamento, ventilação natural e recursos para torná-la uma fonte de luz refletida, permitindo o maior aproveitamento desta fonte (BITTENCOURT, 2004; MOORE, 1985; HOPKINSON; et. al, 1975).

Tabela 1: Eficácia Luminosa

Fonte de luz		Eficácia Luminosa (lm/W)
Sol	Altura solar = 7,5°	90
	Altura solar > 25°	117
Céu	Limpo	150
	Médio	125
Global (sol + céu) média		115

Fonte: Adaptado de HOPKINSON, et. al, 1975

1.2.2 O Céu

A luz difusa provinda da abóboda celeste é considerada uma fonte luminosa de grande importância para iluminação natural. Esta fonte de luz natural é resultado da difusão de parte da luz solar que atravessa a atmosfera e que acaba por se converter em fonte luminosa. Sendo, assim, um resultado simultâneo de processos de absorção, reflexão e transmissão da luz pelas moléculas do ar e partículas em suspensão. Por isto é uma fonte que proporciona uma iluminação difusa (MAJOROS, 1998).

Os resultados da luz proporcionada pelo céu e seu brilho estão diretamente dependentes da nebulosidade, da posição sol, da composição atmosférica e de características do lugar. As diversas configurações formadas pela combinação destas variáveis influenciam na distribuição das luminâncias no céu. Logo, a luz do céu pode variar de minuto em minuto, não apresentando, por exemplo, um brilho fixo para uma seqüência de dias com céus encobertos (TREGENZA; LOE, 1998).

Uma possível forma de determinar a distribuição de luminâncias do céu é dividi-lo em parcelas, tendo cada parcela sua luminância. Devido à complexidade de prevê e caracterizar fielmente as condições reais de céu, com a finalidade de se alcançar o máximo de precisão nos valores de luminâncias, muitas formas de subdivisão têm sido propostas. A exemplo, a divisão proposta pela CIE (Comissão internacional de Iluminação) que a partir da norma CIE 145:2002, considera a divisão do céu em 145 partes, conforme figuras 2 e 3.

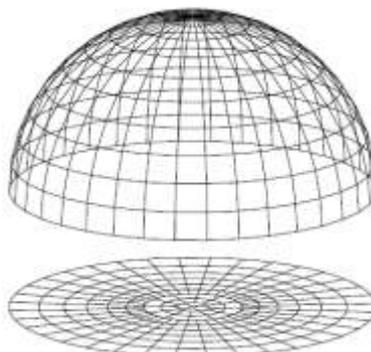


Figura 2: Hemisfera de raio unitário e sua projeção no plano horizontal. Fonte: ABNT, 2004.

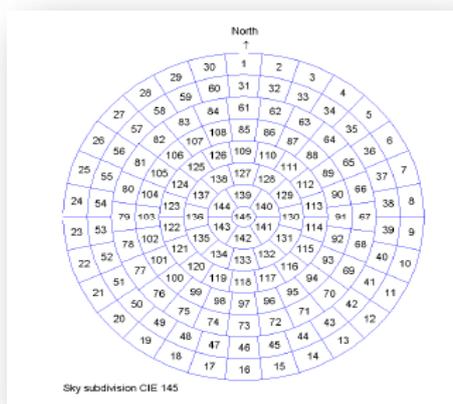


Figura 3: Subdivisão do céu em 145 partes. Padrão CIE 145. Fonte: CABÚS, 2002

De acordo com o padrão de brilho, as condições de céu são classificadas segundo sua nebulosidade. Para a classificação destas nebulosidades a CIE propôs modelos de distribuição de céu, com o objetivo de classificar a distribuição das luminâncias do céu medidas, e se tornar uma base universal, conforme tabela 2 (CABUS, 2002).

Tabela 2: Descrição do tipo de céu a partir da CIE.

Num	Descrição de céu	Subdivisão	Classificação	Tradução
1	Overcast, steep gradation (approx CIE overcast)	I	Encoberto	Gradação alta, (Aproxima-se do Céu Encoberto CIE tradicional)
2	Overcast, steep gradation, brightening towards sun	I	Encoberto	Gradação alta, Brilho aumenta na direção ao Sol
3	Overcast, moderate gradation, uniform in azimuth	I	Encoberto	Gradação moderada, uniforme em azimute
4	Overcast, moderate gradation, brightening towards sun	I	Encoberto	Gradação moderada, brilho aumenta em direção ao sol
5	Uniform sky	I	Encoberto	Céu Uniforme
6	Partly cloudy, moderately graded, brightening towards sun	II	Parcialmente Nublado	Gradação moderada, brilho aumenta em direção ao sol
7	Partly cloudy, moderately graded, brighter circumsolar	II	Parcialmente Nublado	Gradação moderada, região solar mais brilhante
8	Partly cloudy, rather uniform, clear solar corona	II	Parcialmente Nublado	Relativamente uniforme, coroa solar limpa
9	Partly cloudy, shaded sun position	II	Parcialmente Nublado	Sol Sombreado
10	Partly cloudy, brighter circumsolar	II	Parcialmente Nublado	Região solar mais brilhante
11	White-blue sky with clear solar corona	III	Claro	Céu branco-azulado com coroa solar limpa
12	CIE clear sky with low turbidity	III	Claro	Céu claro padrão CIE clássico com baixa turbidez
13	CIE clear sky with higher turbidity	III	Claro	Céu claro padrão CIE clássico com alta turbidez
14	Cloudless turbid with broader solar corona	III	Claro	Céu com turbidez sem nuvens com, coroa solar ampla
15	White-blue turbid sky with wide solar corona	III	Claro	Céu branco-azulado com turbidez e coroa solar ampla

Fonte: Cabús, 2005c.

A fim de reunir características comuns, facilitando sua utilização como referência para cálculos de iluminação natural, é comum agrupar esta classificação em três tipos de céus, de acordo com suas características gerais são eles:



Figura 4: Céu Claro em Maceió.
Fonte: Cabús 2002



Figura 5: Céu Parcialmente Encoberto em Maceió.
Fonte: Cabús 2002

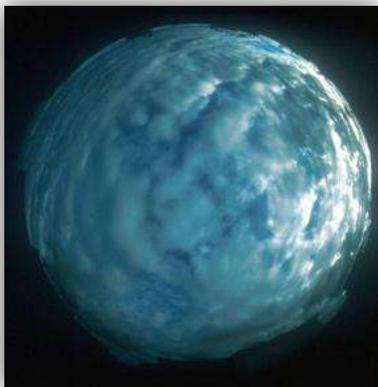


Figura 6: Céu Encoberto em Maceió.
Fonte: Cabús 2002

1. Céu claro: é aquele que apresenta poucas nuvens com maior predominância do azul e possui brilho máximo em torno do sol. Apresenta um trecho azul escuro a aproximadamente 90° da posição do sol ao longo do círculo formado em torno dele, conforme pode ser visto na figura 4 (MOORE, 1985; HOPKINSON; et. al, 1975).

2. Céu parcialmente encoberto: conforme figura 5, este céu apresenta combinações de nuvens espaçadas e céu azul que podem ser alternadas com combinação de sol e períodos de nebulosidade variável. As nuvens apresentam contorno brilhante quando bloqueiam a iluminância solar. É o céu comum em climas quentes e úmidos (CABUS, 2002; BAKER e STEEMERS, 2002).

3. Céu encoberto: é aquele em que abóbada celeste está totalmente coberta por nuvens e a luminância do zênite é três vezes maior que a do horizonte, assim o topo da abóbada celeste é a maior fonte de iluminação. Este tipo de céu é geralmente utilizado como a condição mínima de projeto (TREGENZA; LOE 1998). Ver figura 6.

1.2.3 O Entorno

Além do sol e do céu, ainda pode ser considerado como fonte luz, de forma indireta, o entorno natural ou construído, por se tratar de uma fonte difusora de luz. O entorno tem um papel significativo no provimento de luz natural dentro do adensamento urbano, pois através da reflexão da luz do céu e do sol a luz natural consegue adentrar e iluminar os ambientes internos (MAJOROS, 1998).

Porém, em adensamentos urbanos de geometria complexa a entrada de luz natural proveniente do céu e do sol fica comprometida, devido às grandes obstruções existentes que dificultam até a visão do céu através das aberturas. Nestes casos, a luz refletida do solo e de outras superfícies externas têm papel de grande importância, uma vez que a iluminação natural nestes ambientes sofre grande influência das condições de obstrução do entorno (LEDER, 2008).

A qualidade e quantidade da luz natural que entorno pode oferecer estão diretamente dependente das características das superfícies externas, como refletâncias dos materiais utilizados nas fachadas, refletâncias do solo e a angulação das obstruções (ARAÚJO e CABÚS, 2005).

1.3 O sol e o céu em Maceió

Maceió é uma cidade localizada a latitude de 9° 40' S e longitude 35° 47' O com clima tropical quente e úmido e radiação solar intensa. Possui uma temperatura média anual de 24,8°C, com pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura (BRASIL,

1992) e de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), Maceió está inserida na zona bioclimática 8¹.

A partir das normais climatológicas da estação meteorológica do Aeroporto Zumbi dos Palmares, Cabús (2002), analisou os dados e investigou diversas características da cidade de Maceió. Diante desta análise, foi verificado que em relação à insolação, comparando dados de insolação mensal com a duração do dia astronômico, a menor probabilidade de média de horas por mês para Maceió ocorre no mês de julho com 49,4%, conforme figura 7. A porcentagem de nebulosidade mensal aumenta entre os meses de abril a agosto, por ser um período característico de maiores precipitações, ver figura 8. E quanto à frequência de ocorrência de céu, considerando a probabilidade de ocorrência ao longo do dia, o céu parcialmente nublado é o mais freqüente na cidade de Maceió, com 61,8% do tempo, ver figura 9 (CABÚS, 2002).

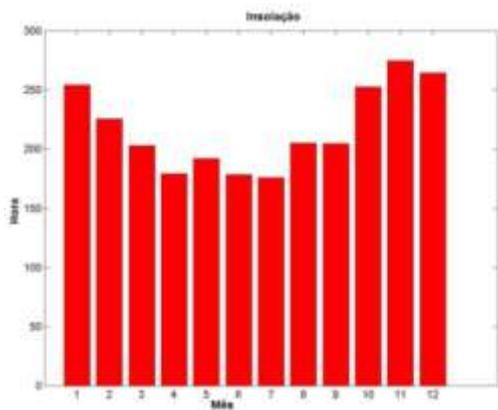


Figura 7: Probabilidade de média de horas de insolação por mês para Maceió.

Fonte: Cabús 2002

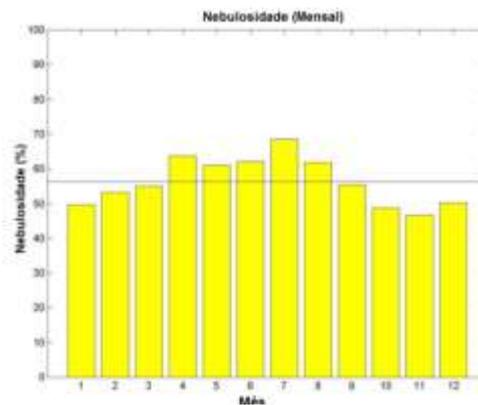


Figura 8: Porcentagem de nebulosidades mensais para Maceió.

Fonte: Cabús 2002

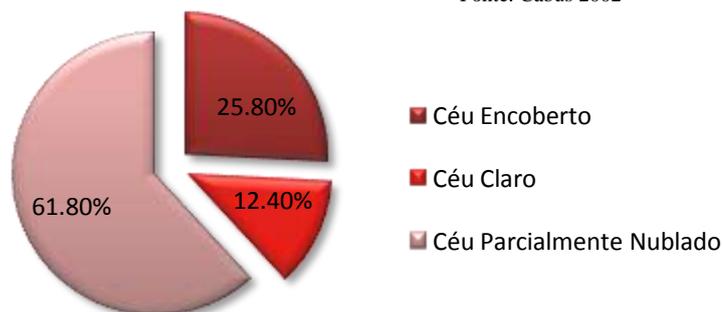


Figura 9: Probabilidade de tipo de céu. Fonte: Cabús 2002

¹ Conforme ABNT, 2005, o território brasileiro foi dividido oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e Maceió faz parte da zona bioclimática 8.

1.4 Métodos de cálculo da iluminação natural

Segundo a NBR 15215- 2 (ABNT, 2005 p. 2), “A disponibilidade de luz natural é a quantidade de luz em um determinado local, em função de suas características geográficas e climáticas, que se pode dispor por um certo período de tempo”. A luz natural no interior de um ambiente depende, primeiramente, da luminância do céu e da parcela de céu vista de uma abertura, tal como uma janela.

Quanto maior o ângulo de visão do céu através da abertura estima-se que quase sempre seja maior a quantidade de luz disponível. Além disso, a dinâmica das reflexões internas tornam superfícies como paredes e planos de trabalhos mais ou menos iluminados, a depender de sua localização e posicionamento dentro do ambiente (TREGENZA; LOE, 1998; BAKER, FANCHIOTTI; STEEMERS; 1998). Para verificar a disponibilidade de luz são utilizados diversos métodos, dentre eles, pode-se citar como o Fator de Luz do Dia (FLD), Coeficientes de Luz Natural (CLD), Autonomia de Luz Natural e Iluminância Útil da Luz Natural.

1.4.1 Fator de Luz do Dia (FLD)

Fator de Luz do Dia (FLD) é um método bastante utilizado para verificar a disponibilidade de luz, devido à simplicidade e facilidade de aplicação. Ele permite o conhecimento do percentual de luz natural disponível para um ponto dentro do ambiente em relação à luz disponível externamente.

O FLD é definido como a razão entre a luz recebida do céu, direta ou indiretamente, em um ponto dentro de um ambiente, concomitante a um ponto num plano horizontal desobstruído no exterior.

$$FLD = \frac{E_i}{E_e} \times 100\%$$

Equação 1: Fator de Luz do Dia

Onde E_i é a Iluminância num ponto interior e E_e é a iluminância num ponto exterior livre de obstrução, sem considerar a contribuição da luz direta do sol. O valor obtido é dado em porcentagem.

Portanto, para proporcionar o conhecimento de cada parcela de luz que chega a este ponto, Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) dividem o FLD em três componentes: componente de céu (CC), componente refletida externa (CRE) e componente refletida interna (CRI). Estas são respectivamente: a porcentagem de luz que chega diretamente do céu, a luz refletida em obstruções externas (entorno) e a luz refletida internamente no ambiente, em suas paredes, piso e teto, conforme figura 10.

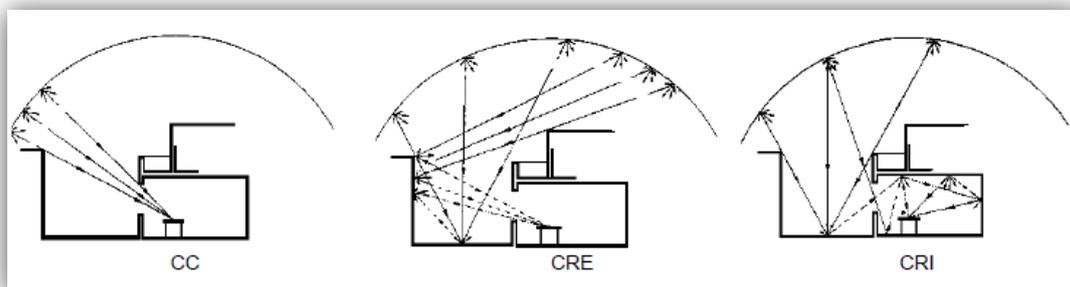


Figura 10: Componentes de Céu. Fonte: ABNT, 2003.

O FLD foi um método desenvolvido em países onde prevalece o clima temperado com características de céu encoberto e distribuição uniforme de luminância, apresentando assim, resultados satisfatórios para estas regiões. Segundo Cabús (2002, p. 1-3), o FLD teve seu uso disseminado por ser uma ferramenta simples e de fácil aplicação, mas em regiões tropicais

onde há grande variação na luminância do céu e a contribuição da luz direta do sol é constante, não apresenta resultados fiéis as suas características.

1.4.2 Coeficiente de Luz Natural

Tregenza e Waters (1983) desenvolveram um método que considera as variações da iluminação natural, resultante da diferente distribuição das luminâncias do céu, chamado de “Daylight coefficients”, Coeficientes de Luz Natural (CLN), conforme equação 2.

$$d(l,m) = \frac{E_i(l)}{E_e(m)} = \frac{L_m \omega_m}{L_m \omega_m} \quad \text{Equação 2: Coeficientes de Luz Natural.}$$

O CLN é definido como a iluminância (E) num ponto interno (l) de um ambiente em relação a uma subdivisão específica do céu (m). Onde L é a luminância e ω a área em estereoradiano de cada parcela do céu (TREGENZA e WATERS, 1983).

Cada parcela resultante da divisão do céu tem sua luminância e a partir destas luminâncias, pode-se calcular a iluminância em um ponto de uma determinada superfície de um ambiente e então, encontram-se os Coeficientes de Luz Natural. Segundo Tregenza e Loe, (1998, p. 35), a quantidade de luz natural que entra por uma janela depende mais da luminância de uma parte do céu visível através da janela que o total de iluminância do solo.

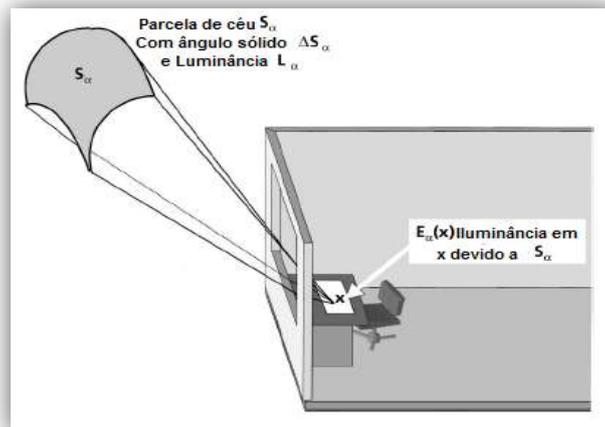


Figura 11 Iluminância interna a partir da luminância de um pedaço de céu.

Fonte: REINHART; WALKENHORST, 2001.

Portanto, os Coeficientes de Luz Natural dependem da geometria da sala, do piso, das obstruções e das superfícies refletoras do ambiente estudado, embora seja independente quanto à distribuição da luminância do céu e consequentemente da orientação deste mesmo ambiente (CABÚS, 2002; LI, et al, 2006).

Segundo Tregenza (1983), este tipo de cálculo pode ser usado a fim de acelerar os cálculos da iluminação natural, uma vez que eles já tenham sido mapeados anteriormente, facilitando assim, o conhecimento da iluminância em qualquer ponto do ambiente e para diversos tipos de céus. Além disso, ele pode ser usado para o cálculo da luz refletida do sol.

1.4.3 Autonomia da luz Natural

A autonomia da luz natural foi introduzida por Reinhart (2002), como método para avaliar a luz natural através da porcentagem de horas que uma iluminância mínima, por exemplo, 500 lx, pode ser mantida durante um ano, apenas por iluminação natural em substituição a iluminação artificial. Por se tratar apenas do percentual da iluminância requerida de projeto, tem por consequência a generalização dos valores das iluminâncias. Não

permitindo, por exemplo, a identificação da ocorrência de iluminação excessiva que está associado com o desconforto do ocupante através de possíveis ofuscamentos e ganhos térmicos (REINHART, 2002; NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Segundo Reinhart (2002, p.5) a principal vantagem da autonomia da luz natural em relação ao FLD é que ele considera a orientação da fachada, o perfil de ocupação do usuário e todas as possibilidades de condições de céu durante um ano.

1.4.4 Iluminância Útil da Luz Natural (IULN)

Segundo Nabil e Mardaljevic (2005), o FLD como método de avaliação da iluminação natural é incapaz de avaliar as reais condições da luz natural, uma vez que considera apenas condições de céus encobertos.

Diante disto, eles apresentam um método de avaliação da luz natural em edificações diferente do FLD, mas que resguarda muito da simplicidade interpretativa do mesmo. Este método se chama *Useful Daylight Illuminance* - Iluminância Útil da Luz Natural (IULN).

Segundo os autores, a IULN determina valores absolutos das frequências de iluminâncias da luz natural num ambiente durante um período de tempo. O período de tempo ideal para avaliação, segundo os autores, seria durante um ano inteiro, onde as variações temporárias da luz natural seriam capturadas num intervalo pequeno o bastante para observar suas alterações. Isto seria possível através de dados de arquivos climáticos como o TRY (*Test Reference Year*), ou mesmo através do método de Coeficientes de Luz Natural. Esta avaliação leva em consideração não só a contribuição da luz do céu, como também da luz do sol, diferente do FLD (MARDALJEVIC, 2000).

As frequências da IULN registradas são divididas em quatro faixas dentro de um limite que vai de 100 a 2000 lx. Segundo os autores, estes valores limites foram estipulados a

partir da análise de estudos sobre o comportamento e as preferências de ocupantes em edifícios de escritórios frente à luz natural. Estas faixas estão divididas e justificadas da seguinte forma:

1. Luz natural com iluminâncias menores que 100 lx são geralmente consideradas insuficientes como única fonte de iluminação e não contribuem significativamente para iluminação artificial;
2. Luz natural com iluminâncias entre 100 e 500 lx são úteis na contribuição da iluminação artificial;
3. Luz natural com iluminâncias entre 500 e 2000 lx são percebidas e consideradas desejáveis ou no mínimo toleráveis;
4. Luz natural com iluminâncias maiores que 2000 lx podem gerar desconforto térmico, visual ou ambos.

Nabil e Mradaljevic (2006), posteriormente, fizeram uma aplicação da IULN com o objetivo de comparar três técnicas de avaliação da luz natural: FLD, Autonomia da Luz Natural e por fim a IULN.

Segundo Nabil e Mardaljevic (2006), na questão de complexidade de uso, o método da IULN só seria um pouco mais complexo que o método da Autonomia da Luz Natural, mas permitiria uma maior percepção da dinâmica espaço-temporal da luz natural e a identificação de iluminâncias excessivas que podem causar ofuscamento e desconforto térmico.

O método do FLD e da Autonomia da Luz Natural não são capazes de identificar estas iluminâncias, mascarando o resultado da predominância de uma iluminância útil e induzindo a uma utilização equivocada da iluminação natural e conseqüentemente, não contribuindo para as previsões de economia de energia.

1.5 Métodos numéricos para simulação da iluminação natural

1.5.1 Radiosidade

É um método baseado na teoria de transmissão de calor e é utilizado para calcular a iluminação e sombreamento em ambientes com superfícies emissoras e receptoras de luz difusa (WALLACE, et. al 1987). Na radiosidade clássica todas as superfícies são opacas e perfeitamente difusas resultando em uma reflexão lambertiana, onde a reflexão é idêntica em todas as direções.

Em uma simulação computacional as cenas criadas são divididas em áreas onde a radiosidade possa ser considerada uniforme. Portanto, a sua precisão depende da quantidade de áreas em que foi dividida a superfície, do tamanho das áreas e da adequação para a reprodução da graduação das sombras. Cada área pode trocar radiação com todas as áreas da cena, resultando nos efeitos visuais que chegam ao olho do observador. Assim, a quantidade de áreas em que foi dividida a superfície influi diretamente na carga computacional do cálculo da radiosidade (WALLACE, et. al 1987; CABUS, 2002).

1.5.2 Método Monte Carlo aplicado a Iluminação natural

O método Monte Carlo obtém soluções aproximadas, usando variáveis aleatórias, ao converter um problema determinístico em estocástico, através da exploração das propriedades estatísticas destes números aleatórios. É um método, normalmente, utilizado como último recurso quando os métodos analíticos ou numéricos falharam (TREGENZA, 1983).

Segundo Cabús (2002), este método é baseado na premissa do conhecimento da probabilidade de ocorrência de cada evento separado que então tornará possível determinar a probabilidade com que a sequência inteira de eventos irá ocorrer de acordo com a amostra. A

precisão do resultado está ligada a quantidade das amostras utilizadas, o que também influenciará no tempo de processamento.

Apesar de ser um método antigo, a aplicação no estudo da iluminação foi viabilizado com o surgimento dos modernos computadores. Ainda segundo Cabús (2005b), a maior utilização do método na iluminação é no cálculo da componente interrefletida dentro de uma geometria complexa e quando as superfícies refletoras não são perfeitamente difusas (Superfície Lambertiana).

1.5.3 Método do Raio Traçado.

É uma técnica que se baseia nos diversos caminhos que um feixe ou raio pode fazer entre as superfícies. É bastante utilizado na computação gráfica por gerar cenas com elevado realismo.

O método teve seu uso expandido se aplicando de maneira adequada no cálculo da iluminação em zonas que contém superfícies refletoras. Ou seja, neste método as superfícies iluminadas diretamente são resultado da reflexão e transmissão especulares da luz e as superfícies não iluminadas diretamente apresentam iluminação constante e uniforme ao invés de gradação de sombras, resultando em diferenças de iluminação significantes entre zonas diretamente iluminadas de zonas indiretamente iluminadas.

Segundo Cabús (2005a, p.2), a principal forma de contribuição deste método é a possibilidade de dar soluções teóricas simples para geometrias complexas, diferentemente da maioria das técnicas disponíveis que geralmente calculam apenas ambientes com geometrias simples. Além disto, há possibilidade de abordagens matemática diferenciadas, podendo ser

estocástica ou determinística e ainda ser classificado em relação à direção, para trás ou para frente (CABÚS, 2002).

1.6 Eficiência energética em edificações: Panorama Energético Mundial e Brasileiro

A energia obtida através de fontes primárias foram as primeiras fontes utilizadas como meio para o fornecimento de energia. Esta energia surge através da utilização do carvão, lenha, petróleo bruto, gás, dentre outras fontes de energia fósseis, que proporcionaram grande desenvolvimento industrial permitindo a contínua expansão ao longo dos séculos através de seus novos usos e das diversas formas de beneficiamento (LEITE, 2007).

As formas de energia primária que a Terra pode nos prover são de natureza renovável sob a forma solar, eólica, biomassa, hidráulica, ou não renovável sob a forma de carvão, petróleo, gás natural, lenha, urânio, sendo estas últimas fontes esgotáveis de energia, onde sua captação e beneficiamento contribuem preocupantemente com impactos ambientais através da liberação de gases poluentes para atmosfera (LEITE, 2007).

Estes gases poluentes são gerados de diversas formas e uma de suas grandes fontes é proveniente da queima de combustíveis fósseis pelos países industrializados. Além da poluição da atmosfera, estes gases geram impactos locais sobre a saúde humana. Dentre os gases poluentes o que mais se destaca é o dióxido de carbono (CO₂), que em conjunto com outros fatores contribuem para o efeito estufa e gera (LEITE, 2007; PNUMA, 2009).

O *Energy Information Administration* (EIA, 2009), compara o consumo mundial de energia do ano 1973, cerca de 4672 Mtoe², com o 2006, cerca de 8084 Mtoe, mostrando um aumento deste consumo de cerca de 73% em 33 anos. Este cenário tende a continuar nas

² Milhões de toneladas equivalentes a petróleo.

projeções de 2006 a 2030, onde é previsto para o PIB³ um crescimento médio anual de 3,3%. O PIB é utilizado mundialmente como o principal indicador do aumento da demanda de energia.

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2009) o setor da construção civil é responsável por cerca de um terço das emissões de CO₂ no mundo relacionado ao consumo energia. E com o desenvolvimento e crescimento da população mundial este índice aumentará significativamente.

Em pesquisa realizada pelo PNUMA (2009), concluiu-se que as edificações são responsáveis por cerca de 30% do consumo de energia mundial. Já o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), aponta que os edifícios são um dos cinco principais consumidores de energia sendo responsáveis por 30 a 40% do consumo de energia primária na maioria dos países e que este consumo só tende a crescer. Ver figura 12.

O uso de energia em edifícios está se tornando rapidamente o foco de uma das questões-chaves a serem abordadas para enfrentar o desafio da mudança climática. Nenhum outro setor tem o mesmo impacto no que concerne ao uso da energia e às consequentes emissões de gases de efeito estufa. Nenhum outro setor tem um potencial tão alto para reduzir drasticamente as emissões, como o que pode ser obtido por meio de melhorias na eficiência energética (PNUMA, 2009, p. IX).

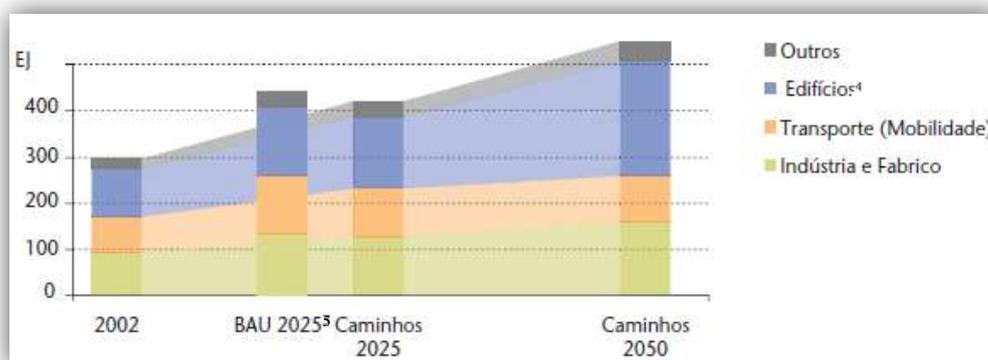


Figura 12 : Consumo de Energia Final por setor. Fonte: WBCSD, 2007.

³ Produto Interno Bruto

⁴ Segundo o WBCSD, 2007, BAU - Business as Usual - refere-se ao cenário de referência da IEA do *World Energy Outlook* 2004 (IEA 2004). Como o WEO não prevê valores para 2025, assumiu-se, então um ponto médio entre os valores fornecidos pela IEA entre 2020 e 2030

A base para a produção de energia no mundo é o Petróleo. Segundo dados do *International Energy Agency* (IEA, 2008), o petróleo representou para o ano de 2006 cerca de 34,34% da energia total consumida e as fontes renováveis representaram apenas 12,9% deste total, conforme figura 13. Ainda, segundo as projeções IEA (2008) para 2030, a dependência de fontes fósseis continuará crescendo pouco mais de dois pontos percentuais em relação às energias renováveis. Vale salientar que estas projeções para 2030, consideram apenas ações implementadas atualmente para a redução do consumo de fontes fósseis, não prevendo, portanto, as possíveis ações políticas futuras no sentido de reduzi-las progressivamente.

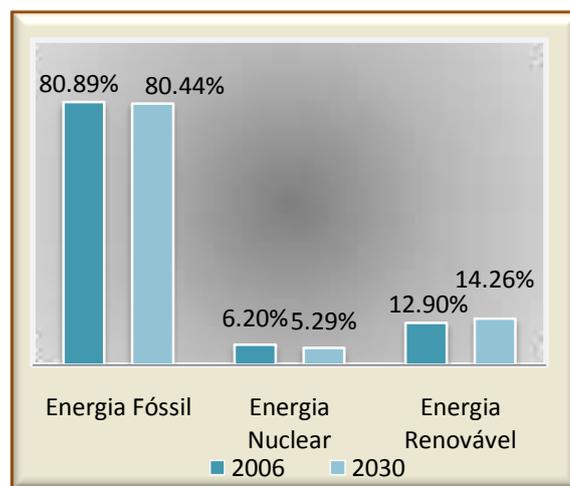


Figura 13: Contribuição e Projeções das Fontes Renováveis e Não Renováveis Mundial.

Fonte: Adaptado do IEA, 2008.

As fontes de energia renovável estão se expandindo rapidamente pelo mundo, devido principalmente, aos incentivos políticos mundiais e por apresentarem, muitas vezes, um perfil mais competitivo no mercado.

Apesar de ser grande o potencial de energia proveniente do vento, sol, marés, biomassa estas formas de energia ainda continuam consideravelmente inexploradas. Diversos países estão investindo substancialmente nestas energias, a exemplo da União Européia que tem a meta de aumentar para 20% até 2020. A rápida expansão destas fontes de energia está

atrelada aos subsídios dados pelos países, que atualmente se concentram em sua maioria, para fontes de energia não renováveis (PNUD, 2007).

Esta é uma realidade um pouco diferente para o Brasil, onde as fontes de energia renováveis recebem significantes incentivos e subsídios. A matriz energética brasileira é uma das mais equilibradas dentre as nações mais ricas e populosas do mundo. Em 2006, as fontes renováveis foram responsáveis por 45,9% desta matriz. Os incentivos para energia renovável estão em continua expansão e se confirmam através dos cenários propostos pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2007) que priorizam a utilização de fontes de energia renovável para perspectivas de 2030 (MME, 2007).

As preocupações com o consumo de energia e incentivos a energia renovável no Brasil, só surgiram com mais destaque a partir do ano de 2001, que ficou marcado por uma das grandes crises energética brasileira. A partir deste ano, medidas drásticas foram tomadas pelo governo para que houvesse uma redução no consumo através do uso racional de energia a fim de evitar um colapso no consumo energético do país. Atualmente, estas medidas têm sido intensificadas devido às projeções de aumento do consumo previstas pelo próprio Ministério de Minas e Energia do Brasil (LEITE 2007; MME, 2007).

1.6.1 Energia Elétrica

Das diversas formas de energia renováveis e não renováveis se pode obter a energia elétrica que é uma fonte de energia secundária. Sua geração e utilização têm um papel fundamental no desenvolvimento das atividades no mundo, sendo considerada a base do progresso mundial e a responsável pela melhoria na qualidade de vida do homem. Apesar disto, o uso da energia elétrica traz algumas conseqüências dentre elas: a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados na produção de energia, pois a geração mundial está

baseada em fontes de energia fósseis que representam cerca de 81,7% da matriz, onde se destaca principalmente o carvão (EPE, 2008). Ver figura 14.

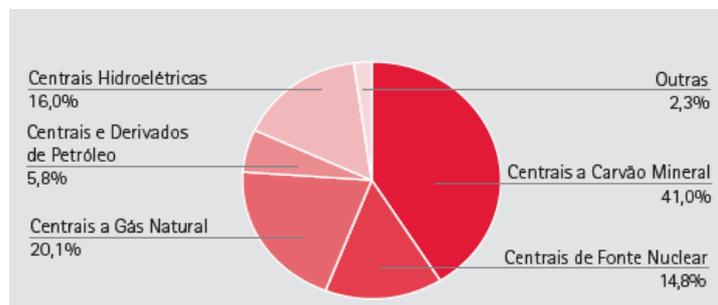


Figura 14: Geração de Energia Elétrica no Mundo a partir de energia primária por tipo de Combustível no ano de 2006. Fonte: EPE, 2008.

Apesar do carvão ser a fonte de energia fóssil mais utilizada para a produção de energia elétrica no mundo, no Brasil 75% da matriz de geração de energia elétrica é proveniente de fontes renováveis, ver figura 15, enquanto, na média mundial essas fontes representam somente cerca de 18,3% (EPE, 2008).

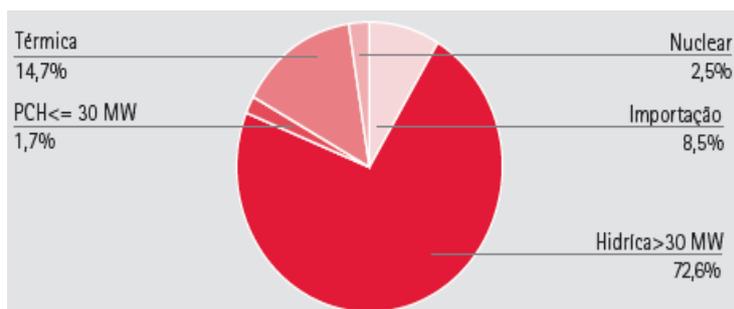


Figura 15: Geração de Energia Elétrica no Brasil a partir de energia primária por tipo de Combustível no ano de 2006. Fonte: EPE, 2008.

Ainda como consequência, pode-se considerar o aumento do consumo médio de energia elétrica *per capita*, estando este atrelado ao nível de desenvolvimento econômico e qualidade de vida das sociedades e por fim o impacto ao meio ambiente, onde segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD 2007, p. 133): “A produção de energia elétrica é a principal fonte de emissão de CO₂, sendo responsável por quatro em cada dez toneladas de CO₂ despejadas na atmosfera terrestre”, ver figura 16.

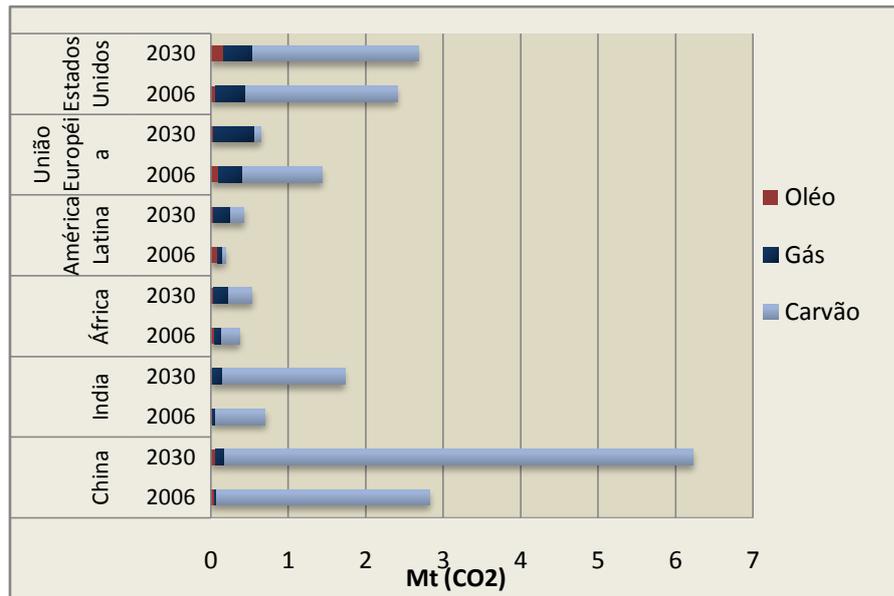


Figura 16: Emissões de CO₂ efetuadas pela energia elétrica em 2006 e projeções 2030.

Fonte: Adaptado de IEA, 2009.

Analisando ainda o relatório do PNUD (2007, p.304-307) o consumo médio *per capita* de energia elétrica, em 2004, dos 70 países com índice de desenvolvimento humano (IDH) elevado é em média 7, 518 kWh *per capita* ao ano. E dos 21 países com índice de desenvolvimento humano baixo, o consumo é em média 134 kWh *per capita*, aproximadamente sessenta vezes menos. O consumo de energia elétrica *per capita* do Brasil é em média 2, 340 kWh.

1.6.1.1 Consumo final de energia elétrica por setor

O consumo por setor de energia elétrica mundial em 2006 e suas projeções para 2030, segundo o EIA (2009) mostra que 51% da energia elétrica consumida no mundo, deve-se ao setor residencial e comercial, conforme figura 17, e a matriz energética desta produção é de energia não renovável.

Segundo o IEA (2008) em seu cenário de referência, é previsto uma demanda de energia elétrica mundial com crescimento anual médio 3,2% entre 2006 e 2015 e 2% entre

2015 e 2030. As perspectivas do crescimento para o consumo de energia elétrica também são previstas para o Brasil, que possui um consumo por setor que segue as tendências mundiais.

Ver figura 18. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008):

A energia elétrica foi a modalidade mais consumida no país em 2007, considerando que os derivados de petróleo, em vez de somados, são desmembrados em óleo diesel, gasolina e GLP, como ocorre no BEN⁶ 2008. O volume absorvido, 35, 443 milhões de tep⁷, correspondeu a uma participação de 17,6% no volume total e a um aumento de 5,7% sobre o ano anterior.

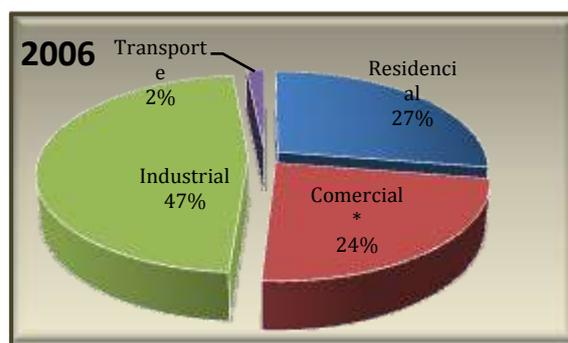


Figura 17: :Consumo de Energia Elétrica por setor no mundo.

*Comercial = Engloba Setores de serviço e Públicos

Fonte : Adaptado do EIA, 2009.

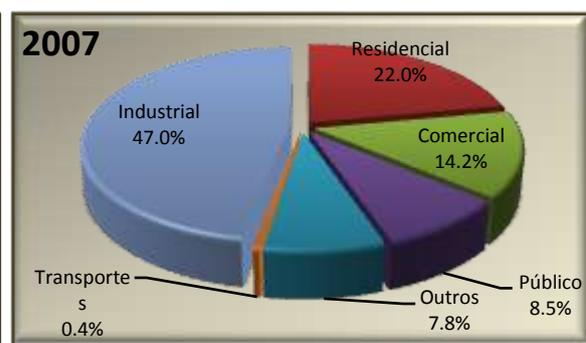


Figura 18: Consumo de energia elétrica por setor no Brasil.

Fonte : Adaptado do EIA, 2009.

Analisando o consumo em 2007 na figura 18, o setor industrial brasileiro ainda é o setor que mais consome energia elétrica cerca 47%, e a soma dos setores residenciais, públicos e de serviço chegam a totalizar 44,7%. Estes últimos setores são representados pelas edificações que são responsáveis por 40% do consumo total de energia e por isso representam os setores com maior potencial para reduzir e otimizar o consumo.

Uma forma de viabilizar a redução do consumo energético parte da análise da distribuição dos consumos finais de cada setor, de como seu uso pode ser otimizado e quais as energias consumidas podem ser geradas de fontes que não causem grandes impactos ambientais, como as renováveis.

⁶ BEN: Balanço Energético Nacional.

⁷ TEP: Tonelada equivalente de petróleo.

Dados do EPE (2008) quanto aos usos finais de 2005, percebe-se que em relação aos setores que englobam as edificações, setor residencial e comercial, tem distribuição da energia elétrica final conforme figuras 19 e 20. Já em Correia (2007), o setor comercial tem uma distribuição conforme figura 21.

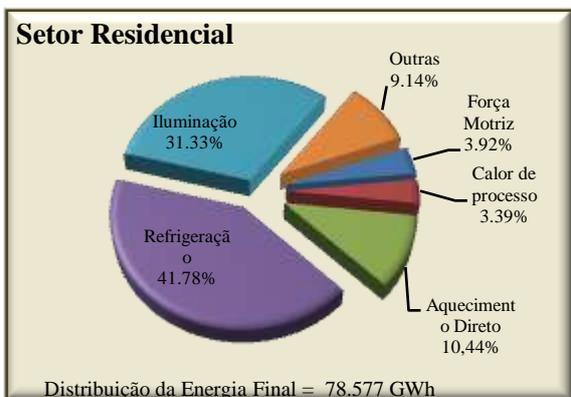


Figura 19: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Residencial.

Fonte: Adaptado EPE, 2008.

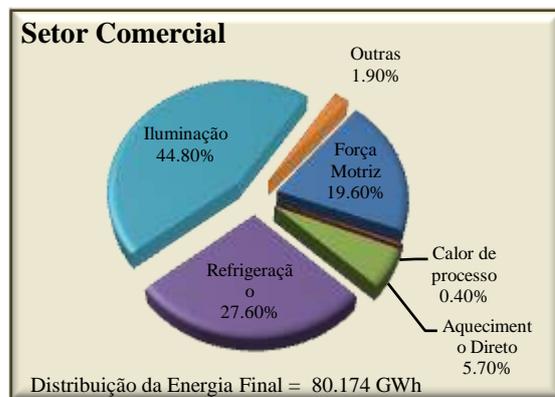


Figura 20: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Comercial.

Fonte: Adaptado EPE, 2008.

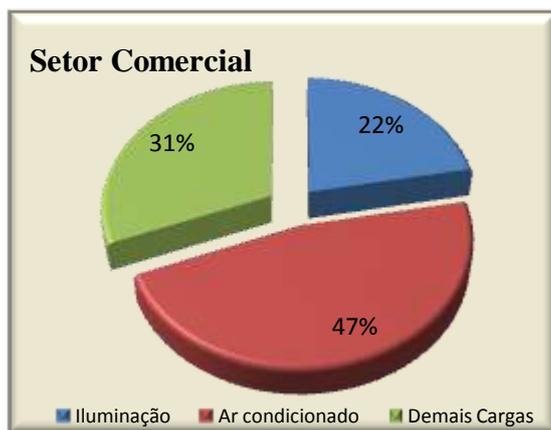


Figura 21: Distribuição da Energia Elétrica Final - Setor Comercial. Fonte: Adaptado CORREIA, 2007.

Apesar das diferenças percentuais nas figuras 19, 20 e 21 as maiores parcelas de destinação da energia elétrica final, são a iluminação e a refrigeração. Porém, no caso do setor comercial o consumo de energia elétrica pela iluminação chega a quase metade do consumo total, quando analisada a figura 19.

Diante dos resultados é perceptível que a destinação da energia elétrica para a iluminação no setor comercial deve ser otimizada a fim de diminuir este índice. Segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (ELETROBRÁS/PROCEL EDIFICA 2008), o potencial de economia de energia elétrica para iluminação no setor comercial, considerando apenas ações de substituição de lâmpadas menos eficientes por outras mais eficientes geraria um potencial de economia de 15,3%.

As edificações comerciais têm seguido uma tendência estética a partir da adoção de grandes fachadas envidraçadas e este padrão mundial tem sua aplicabilidade a determinados climas. No caso do Brasil, a utilização de fachadas envidraçadas, com alto percentual de janela na fachada (PJF) sem proteção solar, resultam na sua grande maioria em problemas de conforto térmico e luminoso e de alto consumo de energia.

Em levantamento realizado nas edificações de escritório em Maceió por Cândido (2006), na maior parte dos edifícios pesquisados foi verificada a preocupação com o consumo de energia pela iluminação, através da adoção de sistemas de iluminação com lâmpadas econômicas. Mas com relação à luz natural, a localização, tipo e tamanho das aberturas não favoreciam esse aproveitamento. Nestes ambientes havia incidência direta de radiação solar, causando desconforto visual e ganhos térmicos. Estes fatores levaram os usuários a buscar alternativas como cortinas, persianas e películas nas esquadrias, minimizando o potencial de aproveitamento da luz natural.

Por ser uma fonte de energia renovável, a luz natural, contribuiria não só para a diminuição do consumo de energia, como também na minimização dos danos ao meio ambiente.

1.6.2 Potencial de redução de energia através da iluminação natural em edifícios comerciais

Pesquisas têm procurado comprovar que é possível uma redução no consumo de energia global em edificações comerciais a partir da iluminação natural. As características dos ambientes como: transmitância solar do vidro, orientação, dimensão do ambiente e das aberturas, refletâncias internas, dentre outros, têm papel muito importante na definição do percentual de redução de consumo referente à iluminação global da edificação.

A contribuição no consumo de energia de uma edificação pela iluminação artificial, não está apenas no consumo das lâmpadas para gerar iluminação, mas também, nas cargas térmicas que estes dispositivos podem gerar no ambiente. Boa parte dos estudos sobre o potencial de economia de energia através da iluminação está ligada ao uso de controles de iluminação artificial em conjunto com a iluminação natural, visando à redução no consumo (HVIID, et al, 2008).

A exemplo, tem-se o trabalho de Souza (2003) que propôs uma metodologia de para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia, denominada Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN). Esta metodologia foi aplicada computacionalmente e estudada através de modelos que resultaram em PALN máximo de 87%, considerando a análise de estratégias dimerizáveis e controle liga/desliga para a iluminação artificial.

A quantificação da economia de energia através da iluminação é baseada em monitoramentos em edificações ou por meio da simulação. Estas análises, em grande parte se restringem a avaliação da iluminação natural como forma de prover a iluminação necessária para o desenvolvimento de uma determinada tarefa. A partir disto, é avaliado, quanto se poderia alcançar de economia utilizando este período de tempo em que a luz natural pode

suprir a necessidade do usuário sem complementação total da iluminação artificial (CARLO; et al., 2004).

Muitos parâmetros estão envolvidos para a determinação da iluminação natural útil como forma de utilização direta. Dentre eles, o tipo de céu, a orientação, a utilização de dispositivos de sombreamento, a luz refletida do entorno. A tarefa de estimar de forma mais apurada o potencial de economia através da luz natural é complexa devido à quantidade de variáveis agregadas a este processo (ROISIN, et al, 2007).

1.7 Metodologias de avaliação ambiental e da sustentabilidade de edifícios e a Iluminação Natural

Apesar do conhecimento de todo cenário energético mundial, este ainda é extremamente dependente da energia proporcionada pelos combustíveis fósseis e a discussão sobre os ônus e bônus que esta forma de energia pode trazer está sempre em processo de reflexão. Esforços de cooperação internacional estão sendo realizados a fim de conter os crescentes danos ao meio ambiente visando sempre à eficiência energética e a preservação da Terra.

Dentre esses diversos esforços internacionais pode se destacar a partir de 1987, o Relatório da Comissão de Bruntland, passando pela Conferência da Comissão Mundial sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente em Estocolmo, depois a ECO 92, no Rio de Janeiro, onde foi assinada a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, até chegar ao Protocolo de Quioto, em 1997, onde diversos países se comprometeram a reduzir suas emissões de gases do efeito estufa (LEITE, 2007).

A conscientização da gravidade da questão ambiental e conseqüentemente da questão energética, tem empurrado os países a tomarem diversas medidas internas, além das que foram acordadas internacionalmente, a fim de minimizar os danos ao meio ambiente garantindo a preservação dos recursos naturais.

Diante deste cenário, é perceptível a necessidade de atitudes que visem direcionar e orientar o consumo de energia no mundo. Em diversos países já existem instrumentos regulatórios que orientam ou regulamentam o consumo energético em edificações. Muitas destes nasceram a partir da entrada, principalmente, de grandes países em acordos mundiais para a diminuição da degradação do meio ambiente (FOSSATI, 2008; LEITE, 2007).

1.7.1 BREEAM - BRE *Environmental Assessment Method*

O *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* foi a primeira metodologia de avaliação ambiental de edifícios no Reino Unido. Criada em 1990 serviu como base para o desenvolvimento de outras metodologias, dentre elas o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), ver 1.7.2. O sistema BREEAM permite a avaliação de diversos tipos de edificações novas e existentes, dentro de classificações como: Industriais, multi-residencial, prisões, educação, comunidades, escritórios dentre outros (FOSSATI, 2008; BREEAM, 2008).

Nas edificações de escritórios, o BREEAM *Offices*, é dividido em 9 seções: Gestão, Saúde e Conforto, Energia, Transporte, Água, Materiais, Desperdício, Uso do solo e Poluição. Cada uma das seções tem seus requisitos e a pontuação é dada através de uma ponderação em relação aos pontos alcançados. Além disto, o BREEAM conta com uma bonificação extra que acrescenta 1% na pontuação a cada inovação sustentável que for trazida para o edifício (BREEAM, 2008).

A luz natural esta inserida na categoria Saúde e Conforto e o principal objetivo a ser alcançado é dar aos usuários do edifício acesso necessário a iluminação natural. Para isso

deve-se comprovar a existência de pelo menos 80% da área de piso do ambiente⁸ iluminado através da luz natural. Segundo o BREEAM (2008), estes 80% podem ser demonstrados de três formas:

- a. Através de um fator de luz do dia de pelo menos 2% ou mais;

Ganha-se pontuação a mais a cada letra “b” alcançada ou a cada soma das letras “c e d”.

- b. Uma taxa de uniformidade de pelo menos de 0,4 ou no mínimo um ponto com fator de luz do dia de pelo menos 0,8%.
- c. Garantir uma vista do céu de um plano de trabalho a 0,70m ;
- d. Satisfazer o seguinte critério em relação à profundidade utilizando equação 3:

$$\frac{d}{w} + \frac{d}{H_W} < \frac{2}{(1 - R_B)} \quad \text{Equação 3: Relação de profundidade do ambiente – BREEAM.}$$

Onde: d é profundidade do ambiente; w é a largura; H_W é a altura final do topo da janela em relação ao piso; R_B é a média das refletâncias das superfícies que ficam da metade para trás do ambiente considerado.

1.7.2 LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

O LEED foi desenvolvido pelo U.S Green Building Council (USGBC) e é um sistema de avaliação voluntário inspirado no BREEAM e visa o desenvolvimento de edifícios de alta performance e sustentáveis. Ele avalia desde edificações novas a edificações existentes. Está estruturado em pré-requisitos sendo possível atingir as categorias de certificação *Certified*, *Silver*, *Gold* e *Platinum*, de acordo com a pontuação alcançada pelo empreendimento somado a bonificações (FOSSATI, 2008; LEED, 2008).

⁸ Este ambiente diz respeito a um local dentro do edifício avaliado que seja ocupado por no mínimo 30mim (BREEAM, 2008).

No LEED para ambientes comerciais esses pré-requisitos são: sítios sustentáveis, uso eficiente da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno, inovação e processo de projeto, prioridade regional.

A iluminação natural está inserida no pré-requisito qualidade do ambiente interno, mas aparece também de maneira a completar a iluminação artificial no pré-requisito energia e atmosfera. No pré-requisito qualidade do ambiente interno, o objetivo da categoria iluminação natural e vista externa é permitir ao usuário uma conexão entre o ambiente interno e externo através da iluminação natural e vista do exterior.

1.7.3 Regulamento Técnico da Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços – RTQ-C

Em 2001 foi promulgada a Lei n°. 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001b). Em seguida, o Decreto n° 4.059 de 19 de dezembro de 2001, (BRASIL, 2001a), que regulamentou a Lei estabelecendo “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas” (MME, 2009a).

A partir daí surgiu o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público - RTQ-C. Este foi elaborado pelo Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no país (GT- Edificações) em parceria com outros órgãos como o Procel, Labeee⁹, Eletrobrás e Inmetro, e visa certificar as edificações energeticamente, assim como já acontece com os eletrodomésticos e outros

⁹ Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina.

equipamentos. Esta certificação acontece através da obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE.

A etiquetagem de eficiência deve atender aos requisitos de desempenho da envoltória, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e há opção alternativa de classificação através da simulação computacional. A pontuação é realizada através de ponderação e bonificação (MME, 2009b).

A iluminação natural esta inserida no requisito sistema de iluminação. Neste requisito ela funciona como um pré-requisito específico que deve ser obedecido para que se alcance o nível A. O pré – requisito de contribuição de iluminação natural tem a seguinte exigência,

Ambientes com janela voltada para o ambiente externo ou voltada para átrio não coberto ou de cobertura translúcida e com mais de uma fileira de luminárias paralelas à(s) janela(s) devem possuir um controle instalado, manual ou automático, para o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à janela de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível (MME, 2009b, p.30).

1.8 Programas de Simulação de Iluminação Natural e Consumo Energético

Diante da demanda atual de edificações energeticamente eficientes, ferramentas de simulação computacional se tornaram de grande importância por permitirem a análise do desempenho energético de edificações ainda em nível de projeto.

Atualmente, existem programas disponíveis que fazem esta simulação considerando diversos parâmetros como ventilação natural, trocas térmicas, ar condicionado, iluminação natural dentre outros. O Departamento de Energia dos Estados Unidos, por exemplo, mantém ultimamente, cerca de 377 programas computacionais de avaliação energética, energias renováveis e sustentabilidade em edifícios. Dentre estes, o *EnergyPlus* tem tido maior destaque, pois agrega diversos parâmetros inclusive a iluminação natural, onde analisa tanto o

comportamento da mesma quanto sua contribuição para a redução no consumo energético em edifícios (*ENERGYPLUS*, 2009).

No caso da iluminação natural, existem programas que analisam apenas seu comportamento sem fazer considerações quanto ao consumo. Estes programas são de grande importância, pois possibilitam a análise minuciosa de diversas geometrias onde a luz natural incide, contribuindo para a organização dos layouts internos dos ambientes e projetos de iluminação mais eficientes. Além disso, ainda agregam os mais diversos parâmetros para a simulação, se enquadrando melhor a um tipo de clima ou de predominância de céu, levando assim, a resultados mais próximos do real.

A simulação computacional está entre um dos métodos de maior capacidade para análise da dinâmica da iluminação natural, mas além deste é comum a utilização de modelos físicos. Na simulação computacional a maior dificuldade está na caracterização fiel das fontes de luz natural, principalmente no que diz respeito à distribuição das luminâncias do céu. Muitos destes programas embasam suas simulações em modelos de céus artificiais, mapeamento de luminâncias e levantamento de estimativa de ocorrência de tipo de céus. Todos estes meios visam se aproximar o máximo possível das condições reais de céu e consequentemente da luz natural (PEREIRA, 2008).

Diante disto, é constante a busca por programas computacionais que apresentem resultados com maior fidelidade ao comportamento da luz natural. Logo, aliado a confiabilidade de dados da luz natural gerados por estes programas é também possível, em alguns programas, avaliar as possibilidades de conforto e de consumo de energia.

Os programas que simulam a iluminação natural e artificial geralmente partem da utilização de métodos como: o raio traçado, radiosidade, fator de luz do dia, coeficientes de luz natural. Pode-se citar, dentre muitos que estão disponíveis no mercado os que são de

utilização corrente em publicações e pesquisas acadêmicas: Adeline, Daylight, Daysim, Radiance, Ecotect, Lightscape, Lumen micro, Apolux, TropLux.

Nesta pesquisa serão utilizados dois programas para a simulação da iluminação natural e termoenergética. O primeiro deles, o programa TropLux que se trata de um *software* validado pelos métodos do BRE (*Building Research Establishment*) e busca simular a realidade da iluminação para qualquer latitude, além dos trópicos, através da variação parâmetros de sua necessidade específica. E o segundo, o programa *EnergyPlus* por este além de avaliar a iluminação natural, ainda promover uma avaliação termoenergética.

1.8.1 TropLux

É um software baseado em três métodos de cálculo, o raio traçado com abordagem Monte Carlo e o conceito de Coeficientes de Luz Natural. Segundo Cabús (2002), diante das características do método do raio traçado, ele se torna uma boa alternativa para as peculiaridades do clima tropical, quando comparado ao método da Radiosidade.

A união destes três métodos permite uma abordagem de geometrias complexas e céus com distribuição de luminâncias variadas ou padronizadas, baseadas no céu da CIE. Além disto, permite que a iluminância horizontal externa seja definida pelo usuário ou calculada automaticamente, permitindo, assim a simulação não apenas para locais de clima temperado, como a maioria dos programas tem feito, mas, principalmente a simulação da incidência de luz natural nos trópicos (CABÚS, 2005a).

O programa é composto por cinco módulos *Input* (Inserção de dados de entrada geometria da sala, planos, janelas e características dos materiais, além da localização geográfica da cidade), *Setup* (processamento das informações inseridas no *input*), *Run* (processamento das definições de cálculo da iluminância), *Output* (saída de dados

processados) e *Utility* (Utilitários), conforme figura 22. A partir da caracterização dos dados de entrada é possível processar a iluminância para um ponto específico, uma malha de pontos ou mesmo a iluminância média de um plano.



Figura 22: Módulos do TropLux. Fonte: CABÚS, 2006.

Ele ainda permite a inserção de planos em qualquer posição e inclinação e a introdução de vários tipos de protetores solares em blocos como: brises, cobogós, prateleiras de luz e beirais. Quanto à saída de dados, o programa apresenta opções de resultados em gráficos e tabelas com arquivos compatíveis com planilha eletrônica e processadores de texto (CABÚS, 2005c).

A validação foi realizada segundo Cabús (2005b), em três fases: duas relativas ao erro, determinístico e estocástico, no sentido de comprovar a credibilidade dos dados e a terceira quanto ao tempo de processamento gasto.

Os resultados obtidos comprovam que quanto ao erro estocástico verificou que este não apresenta relação entre o tipo de céu e a geometria da sala. No erro determinístico, foi realizada uma comparação dos valores de dados reais medidos pelo *BRE* e pelo *IDMP* (*Internacional Daylighting Measurement Programme*) classe de pesquisa, que também foi

utilizado por Mardaljevic (1999) para validar um código de programa dentro do Radiance. Por fim, no caso do tempo de processamento, este varia com as características e entrada do ambiente a ser simulado e com as configurações internas do computador utilizado. Segundo Cabús, (2005a, p.257), para as configurações do computador utilizado:

Após o processamento dos coeficientes, é insignificante o tempo gasto para calcular a iluminância para diferentes tipos de céu, orientação de janela, hora do dia ou dia do ano.

Pode-se concluir que o programa atingiu um erro padrão dentro de um tempo razoável em relação a modelos aceitáveis para a configuração do computador utilizado, onde o nível de precisão seria comparável ao programa Radiance quando este estudado por Mardaljevic (1999).

Seu uso para a avaliação do comportamento da luz natural têm sido corrente em trabalhos acadêmicos como os de CANDIDO, et al, (2005); AMARAL; CABÚS, (2006); ARAÚJO, et al (2007), dentre outros. Como mais recente pode-se citar o de DIAS; GOMES; CABÚS, (2009), onde foi analisada a eficiência dos componentes de controle de luz natural na distribuição de luminâncias em uma sala de aula, na cidade de Aracajú, Sergipe. E o trabalho de ARAÚJO (2007), onde foi realizada a análise da influência da luz refletida pelo entorno no que diz respeito à da radiação solar, para a iluminação natural de edificações no trópico úmido. As simulações no programa geraram saídas que permitiram a realização de um estudo comparativo da contribuição da componente direta e das componentes refletidas, incluindo a radiação solar, geradas pelo mesmo.

Os dois exemplos anteriores representam alguns dos estudos que vêm sendo realizados utilizando a ferramenta de simulação TropLux. Segundo Cabús (2005b) o programa sofre atualizações periódicas, inserindo novas rotinas em função das necessidades.

1.8.2 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é uma ferramenta de simulação computacional que modela e avalia o desempenho de edificações quanto aos aspectos térmicos e energéticos. Segundo CRAWLEY, D.S, et al. (1999) o *EnergyPlus* foi criado a partir dos softwares: BLAST (*Building Loads Analysis and Thermodynamics*) e o DOE-2. Estes programas trabalhavam em separado e foram desenvolvidos pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), no final da década de 70 a fim de contribuir com estudos na área de eficiência energética (KARASHIMA, 2006).

Em 1996, em uma iniciativa do DOE junto a outros órgãos de pesquisa dos Estados Unidos, uniram os dois programas BLAST e DOE -2, fundindo em um único programa, o *EnergyPlus*, considerando para esta união a utilização das melhores abordagens e características de cada programa. Logo, o *EnergyPlus* simula todos os cálculos de carga térmica para cada hora do dia, de acordo com os arquivos climáticos ou dia específico de projeto, as temperaturas internas e externas, a envoltória da edificação, sistema AVAC-R (Aquecimento, Ventilação, Ar condicionado e Refrigeração), ganhos das cargas internas como: equipamentos, pessoas, iluminação natural e artificial. Não apresenta uma interface amigável, mas seus algoritmos permitem que outros programas realizem este trabalho.

Por apresentar inúmeros recursos de configurações e cálculos, os parâmetros necessários para a simulação são inseridos pelo o usuário através de arquivos de dados em extensão .idf (*input data file*) e pelos arquivos climáticos em extensão .epw (*EnergyPlus weather file*). Ainda conta com um dicionário em extensão .idd (*input data dictionary*) que define a organização e o modelo dos dados para cada tipo de entrada (KARASHIMA, 2006; ENERGYPLUS, 2009b).

Os dados de entrada do programa para realizar a simulação dependem do resultado que o usuário está buscando, mas podem ser resumidos de maneira geral em: locação, situação, características construtivas, materiais de revestimento, número de usuários e sua rotina de trabalho, número e dados de consumo de equipamentos, luminárias e ar condicionado. As formas de saída dos dados são bastante diversificadas e dependem também das configurações que os usuários escolheram (*ENERGYPLUS*, 2009b).

Uma das formas de saída são relatórios resultantes da lista de variáveis do arquivo RDD (*Report Data Dictionary*). Estas variáveis ficam disponíveis após a primeira simulação, por considerar os dados de entrada inseridos anteriormente. No caso do presente trabalho as saídas escolhidas estarão ligadas a carga térmica e principalmente a iluminação natural.

A modelagem da iluminação natural no *EnergyPlus*, visa à contribuição da iluminação natural em favor da redução do consumo de energia. Para simulação da iluminação natural a versão 4.0 permite uma análise em conjunto com o ganho solar, ofuscamento e estratégias de controle da iluminação. Disponibilizando, então duas formas de avaliação: *Daylighting: Controls e Daylighting: DELight Controls*.

Cada método apresenta suas particularidades e foram divididos visando atender uma gama maior de especificidades ligadas a iluminação natural. Portanto, nem todas as funções que um método realiza o outro é capaz de realizar também. O cálculo da iluminância interior em cada ponto de referência é realizado através da interpolação dos fatores de iluminância da luz natural¹⁰ para a posição do sol e para o tipo de céu¹¹ naquele intervalo de tempo, em determinada hora do dia, e então são multiplicados pela iluminância horizontal externa direta e difusa (*ENERGYPLUS*, 2009b).

¹⁰ Interpolação do FLD e do Fator de luz solar (FLS), do ponto de referência específico, da existência ou não de um dispositivo de proteção da janela e do fator de ponderação do intervalo de tempo em relação ao horário considerado.

¹¹ O tipo de céu é calculado baseado no método de Perez, et. al,(1990). Para isso no *EnergyPlus* o calculo é realizado a partir de quatro tipos céu: encoberto, intermediário, claro em fluidez e claro. No entanto, apenas dois tipos são interpolados a depender da sua claridade (ϵ), que segundo Perez, et. al (1990), vai de encoberto ($\epsilon = 1$) a claro ($\epsilon > 6$). Logo, se: $\epsilon \leq 1,2$ interpola-se um céu intermediário com encoberto; $1,2 < \epsilon \leq 3,2$ interpola-se um céu claro com turbidez com o intermediário; $\epsilon > 3$ interpola-se um claro com turbidez com céu claro. (*ENERGYPLUS*, 2009b)

O método *Daylighting:Controls* era o único método utilizado pelo *EnergyPlus* para o cálculo da iluminação natural até a versão 2.2, quando então foi inserido, o método *DElight*. O método de cálculo da iluminação natural no *Daylighting:Controls* é realizado através da utilização do FLD integrando a área de cada janela do ambiente, obtendo a iluminância para cada um dos dois pontos de referência inseridos pelo usuário, através da contribuição do sol e do céu. Neste, é calculada a contribuição da luz direta e da luz refletida. Então é realizado o cálculo de cada período do balanço térmico interpolando o FLD da contribuição do céu e do sol, considerando a iluminância horizontal externa (*ENERGYPLUS*, 2009a).

As reflexões internas são resolvidas através do método do fluxo dividido (split-flux) que considera que a luz que chega a ponto de referência é dividida em duas partes: componentes diretas e a componente refletida. Para a componente refletida são realizadas aproximações, que a depender das características, como refletâncias de cores dentro do ambiente e tipo de céu, leva a resultados imprecisos. Além disto, desenvolve as funções de analisar o ofuscamento, gerar mapas de iluminância, controlar os dispositivos de sombreamento do modo dinâmico. Este método permite apenas a avaliação de dois pontos de referência dentro do ambiente.

O segundo método utilizado pelo *EnergyPlus*, o método *Daylighting: DElight Controls*, permite a análise desde aberturas simples como janelas e aberturas zenitais, como também sistemas de aberturas complexos compostos por dispositivos de proteção complicados e vidros com características ópticas diferentes, como painéis prismáticos e elementos holográficos e óticos. Seu método de cálculo é baseado no FLD, considerando a contribuição da luz do sol e do céu. Neste método é calculada a contribuição da luz total vinda através de todas as aberturas para a iluminância de cada ponto de referência e para a luminância de cada parcela das superfícies internas do ambiente, somando-se ainda as

interreflexões que afetam cada ponto de referência. Então toda a iluminância resultante é dividida pela iluminância horizontal externa gerando o FLD (*ENERGYPLUS*, 2009a; 2009b).

A reflexão interna é resolvida com base nos programas DOE 2.1E e Superlite, que utilizam o método da radiosidade. Considerado por este programa como um método mais apurado. Diferentemente do método anterior ele permite a simulação de até 100 pontos de referência ao mesmo tempo, para a avaliação da iluminância dentro da zona, em superfícies horizontais, permitindo assim, uma melhor avaliação da distribuição das iluminâncias (*ENERGYPLUS*, 2009a).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos utilizando o *EnergyPlus* para simulação da iluminação natural. Ramos (2008), analisou a iluminação natural calculada pelo programa *EnergyPlus*, através do método *Daylighting: Controls*, comparando os resultados relativos à iluminação natural gerados pelos programas *EnergyPlus*, TropLux e *Daysim/Radiance* para diversas cidades.

Nesta pesquisa, foi analisada a iluminância interna através da variação da geometria do ambiente e percentual de janela da fachada, onde, constatou-se que o tipo de céu utilizado pelos programas e o modo como é resolvido à reflexão interna, resultam em diferentes iluminâncias para os ambientes estudados. Os resultados mostram que o método do fluxo dividido utilizado pelo *Daylighting:Controls*, no programa *EnergyPlus*, em comparação com os demais programas, superestima a iluminância nos pontos em que a parcela de luz refletida tem maior influência na iluminância, fato ainda enfatizado, por este programa apresentar um FLD constante a partir do meio da sala estudada, o que mostra a deficiência do programa na resolução das refletâncias internas.

Loura, Assis e Souza (2009), avaliaram a iluminação natural simulada no programa *EnergyPlus* através do método *Daylighting:Controls*. A análise foi baseada na comparação dos resultados gerados pelo o programa com medições através de *dataloggers*¹². Para isto, foi analisada uma sala de 58,3m², localizada no Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI) na cidade de Belo Horizonte, e as medições ocorreram durante duas semanas de agosto de 2005, sempre às 12h, com os *dataloggers* a uma altura de 80 cm do piso. Ver figura 23.

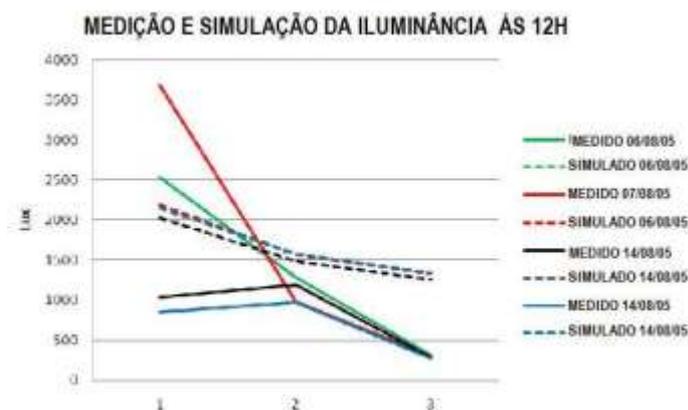


Figura 23: Comparação da iluminância medida e simulada em sala em Belo Horizonte no *EnergyPlus*.

Fonte: LOURA; ASSIS; SOUZA, 2009.

Segundo os autores, com os resultados obtidos, pode-se inferir que o método *Daylighting: Controls*, do *EnergyPlus* apresenta pouca confiabilidade quando comparado com as medições, pois superestima as iluminâncias no ambiente. A maior concordância está entre os dados simulados e medidos no que diz respeito à diminuição da iluminância nas fachadas sul e sudeste. Concluiu-se, então que estas diferenças podem apresentar um grande impacto no consumo final de energia do ambiente simulado, uma vez que a iluminância medida não é suficiente para o desenvolvimento da tarefa necessitando do complemento de iluminação artificial e consequentemente aumentando o consumo interno de energia.

¹²DataLoggers são registradores de dados, eletrônico e microprocessados, adequado para monitoramento e registro de variáveis. Exibe os dados coletados na tela de um computador, permite armazenamento digital, além da impressão de gráficos e planilhas. Fonte: GHISI e NASCIMENTO (2004).



Metodologia

2. Metodologia

Este capítulo trata das etapas metodológicas para avaliar o desempenho luminoso e termoenergéticos de modelos propostos baseados em edifícios comerciais da cidade de Maceió - AL.

A metodologia adotada consiste em um estudo comparativo das dimensões de modelos de salas com enfoque na profundidade e no uso do vidro laminado refletivo, utilizando simulação computacional para gerar dados e investigar a influência da iluminação natural na redução do consumo de energia.

2.1 Verificação das iluminâncias simuladas em relação às medidas.

O primeiro passo da metodologia consiste na verificação das possíveis diferenças entre as iluminâncias simuladas pelos programas e as medidas pelos *dataloggers*. Buscou-se assim analisar a tendência do programa em superestimar ou subestimar os dados medidos de iluminâncias.

As etapas seguintes demonstram os passos para a realização desta verificação.

2.1.1 Caracterização do local de Medição.

Para a realização de medições das iluminâncias foi escolhida uma sala em um edifício comercial em Maceió que além de possuir salas desocupadas, facilitando as medições, apresenta características comuns a prédios comerciais como, fachada envidraçada, utilização de vidro refletivo, além de seguir a tendência de ser desprovidos de dispositivos de proteção externa na janela. Segundo Araújo, et al (2005), 55% dos prédios em Maceió não apresentam

este tipo de proteção externa a janela. O edifício escolhido é o Norcon Empresarial, um dos mais recentes edifícios comerciais construído em Maceió, inaugurado no ano de 2009, conforme figura 24 e 25.



Figura 24: Norcon Empresarial.

Fonte: Norcon Engenharia, 2009.



Figura 25: Norcon Empresarial.

Fonte: Norcon Engenharia, 2009.

O edifício Norcon Empresarial, situa-se no bairro de Mangabeiras, na cidade de Maceió e foi inaugurado no ano de 2009. Possui 14 pavimentos e 14 salas por andar com dimensões variadas, distribuídas predominantemente em um dos lados do corredor. As janelas ocupam toda a dimensão frontal das salas, com exceção das salas laterais que possuem janelas frontais e laterais. Nenhuma das janelas possui dispositivo de proteção solar, conforme figura 24, figura 25 e figura 26.

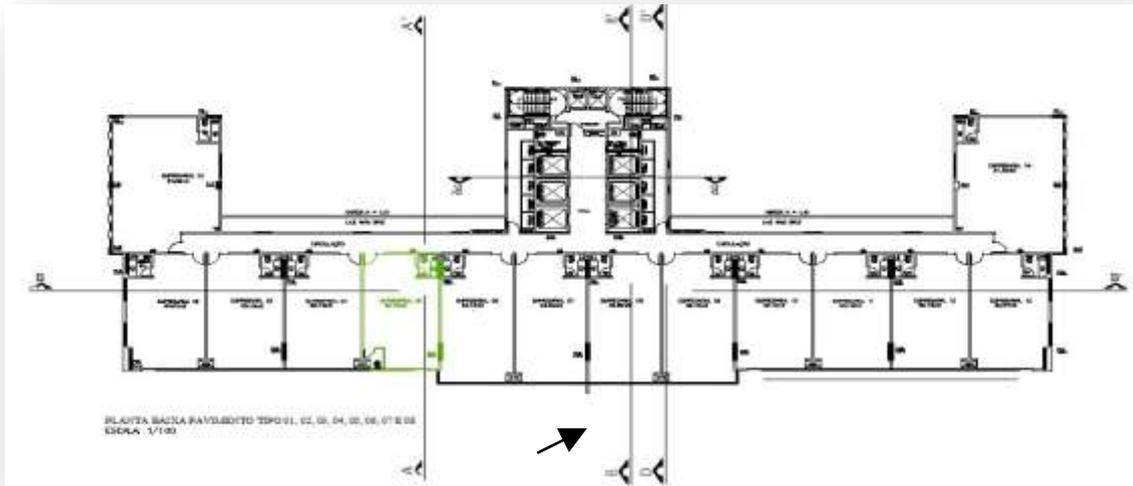


Figura 26: Planta Baixa do edifício onde ocorreram as medições das iluminâncias internas.

Fonte: Norcon Engenharia, 2009.

Das 14 salas existentes, 12 delas apresentam janelas que ocupam quase toda a largura frontal da sala, sendo as janelas compostas por vidros refletivos e caixilhos de alumínio. Estas características são recorrentes em edifícios comerciais, sendo este um dos motivos da escolha da sala em destaque na figura 24, para a realização do monitoramento com os *dataloggers*. Além disto, esta sala ainda se encontrava desocupada permitindo que as medições fossem realizadas sem interferências.

A sala se localiza no nono andar, possui 45,75m², pé direito de 2,70m até o forro de gesso e suas janelas são orientadas para Leste possuindo uma área total de 8m² (5,0 x 1,60m). Quanto às características internas, a sala apresenta forro de gesso na cor branco a 2,50m do piso, teto e paredes pintados com tinta Pva látex na cor branco e piso em granito cinza andorinha. Conforme figura 27, figura 28.



Figura 27: Sala onde ocorreram as medições das iluminâncias internas.

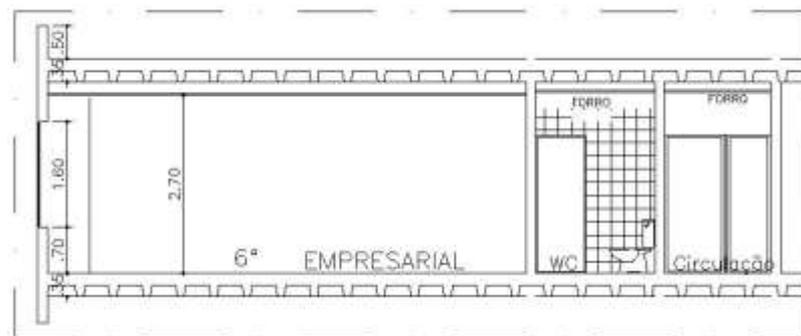


Figura 28: Corte da janela. Fonte: Adaptado da Norcon Engenharia, 2009.

2.1.2 Medição das iluminâncias através de *dataloggers*

Para realizar a medição foram utilizados *dataloggers* - HOBOS H8 *Family da Onset Computer Corporation*. Estes registradores microprocessadores medem e registram dados de temperatura, umidade relativa e iluminação. Os dados registrados por estes aparelhos são facilmente exportados para uma plataforma interativa com o usuário através do software Box Car 4.0. Através deste programa é realizada também a configuração das variáveis e do intervalo de tempo que serão medidas.

Para a medição na sala monitorada, foram escolhidos seis hobos que sofreram aferição no mês de setembro de 2009. Esta aferição foi realizada de acordo com o intervalo de incerteza do equipamento, verificando a oscilação dos resultados e corrigindo-os. Ver tabela 3.

Tabela 3: Especificações técnicas do Hobo H8 Family.

Temperatura de operação	De -20°C a 70°C
Faixa de medição da iluminação	Faixa nominal aproximada: 21,5 lx a 6647,60 lx. Valor máximo: 9671,4 lx
Precisão	De $\pm 21,5$ lx a $\pm 20\%$ do medido

Fonte : ONSET COMPUTER CORPORATION, 2008.



Figura 29: HOBO - Datalogger utilizado para a medição de iluminância no edifício monitorado.

Fonte : ONSET COMPUTER CORPORATION, 2008.

Para a medição na sala monitorada, foram escolhidos seis *dataloggers* que foram configurados para medir a iluminação de cinco em cinco minutos nos pontos especificados na figura 30, figura 31 durante o período de 23 a 24 de fevereiro de 2010, resultando em 288 valores medidos. O tipo de céu adotado para o programa TropLux foi o céu 10 – parcialmente nublado. No *EnergyPlus*, obteve-se sempre claridade (ϵ) maior que três, o que resulta na interpolação de céu claro com turbidez e céu claro.

Estes pontos foram determinados a partir de uma divisão interna do ambiente que equilibrasse a quantidade de equipamentos disponíveis para medição e uma distribuição mais uniforme possível dentro da sala. Os microprocessadores foram colocados a uma altura de 0,75m do piso.

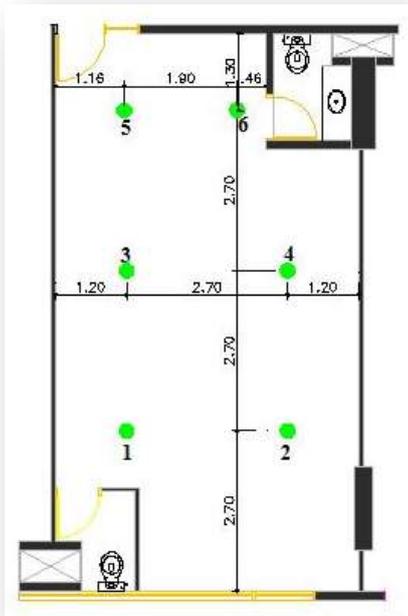


Figura 31: Localização dos pontos para a medição com os *dataloggers*.



Figura 30: Localização dos pontos para a medição com os *dataloggers*.

2.1.3 Da escolha dos programas

Para a avaliação do desempenho luminoso foram escolhidos dois programas. Sendo o primeiro deles, o programa TropLux versão 3.02, que além de simular a realidade da iluminação para qualquer latitude, dentre outras características permite a inserção de planos em qualquer posição, inclusive inclinada e a variação de parâmetros de sua necessidade específica, possibilitando a representação das condições climáticas da região em estudo. Além disto, realiza a verificação do comportamento da luz através do método do raio traçado em junção com método Monte Carlo e os Coeficientes de Luz Natural.

O segundo é o software *EnergyPlus*, que avalia o desempenho termoenergético das edificações, além de simular a iluminação natural avaliando a redução do consumo de energia. A simulação da iluminação natural ocorre por dois métodos distintos, um baseado na radiação e o outro no método do fluxo dividido ambos utilizam o arquivo climático da

cidade escolhida, neste caso Maceió. Ambos os programas, TropLux e *EnergyPlus* são disponibilizados gratuitamente para utilização.

2.1.4 Verificação das diferenças entre dados medidos e simulados

A primeira etapa de simulações foi realizada, a partir da modelagem da sala monitorada pelos *dataloggers* no TropLux e no *EnergyPlus*, a fim apenas de realizar uma verificação das diferenças entre dados medidos e simulados pelos programas. Para isto foram consideradas as características internas do ambiente através do levantamento das especificações dos fabricantes dos materiais utilizados, tais como tintas, vidros e revestimentos.

Com estas especificações, foram consultados os catálogos dos materiais utilizados. Verificou-se que os dados fornecidos pelo fabricante não continham todas as informações necessárias, principalmente no que diz respeito às características a serem inseridas no programa *EnergyPlus*, havendo necessidade de informações mais específicas.

Visando buscar informações mais detalhadas, principalmente para inserção de dados de absorvância no *EnergyPlus* foram utilizadas informações do estudo de Dornelles (2007; 2008), que analisou dados de absorvâncias solar de superfícies opacas. Dentre as diversas marcas estudadas por Dornelles (2008) foi escolhida a Suvinil Látex PVA Fosca por apresentar características mais próximas da fornecida pelos fabricantes.

As paredes da sala monitorada é predominantemente na cor branco neve com exceção da parede que contorna a janela, que é na cor cinza, conforme figura 32. O teto é na cor branco neve e o piso em granito, ver características na tabela 4. A janela é em vidro laminado refletivo na cor prata 6 mm, fator solar de 30,9 % sendo utilizadas as propriedades, conforme tabela 5.



Figura 32: Sala monitorada pelos *dataloggers*.

No caso do piso de granito, foram consideradas refletâncias seguindo a tabela de refletância de Tregenza e Loe (1998, p. 159), por este material não possuir informações específicas.

Tabela 4: Absortância da cores

Absortâncias (α)			
Cores	Ultravioleta	Visível	Infravermelho
Branco Neve	92,3	11,8	17,5
Branco Gelo	91,5	26,8	26,3
Cinza concreto	95,3	71,1	71

Fonte: DORNELLES, 2008, p.94

Cor	Refletância (ρ)
Granito	0.2

Fonte: Tregenza, 1998, p. 159.

Tabela 5: Propriedades do vidro¹³.

Vidro	Espessura (mm)	Transmissão visível (%)	Reflexão (%)	Fator solar (%)
Laminado refletivo - Prata	6	20	30	30,9

Fonte: Cebrace, 2010.

¹³ Para as demais características ver Anexo 1.

Em resumo, os passos realizados para a verificação das diferenças entre dados medidos e simulados pelos programas seguiram as etapas abaixo.

1ª. Etapa: Configuração do ambiente analisado de acordo com suas características. Configuração de azimute, refletâncias e transmitâncias de acordo com o existente no ambiente analisado.

2ª. Etapa: Definição de um dos pontos medidos que serviu de base para a comparação dos dados medidos e simulados. O ponto quatro foi escolhido por se apresentar mais central dentro da sala e não apresentar falhas de medição, conforme figura 33.

3ª. Etapa: Configurou-se, nos dois programas, o mesmo dia e intervalo de medição dos *dataloggers*.

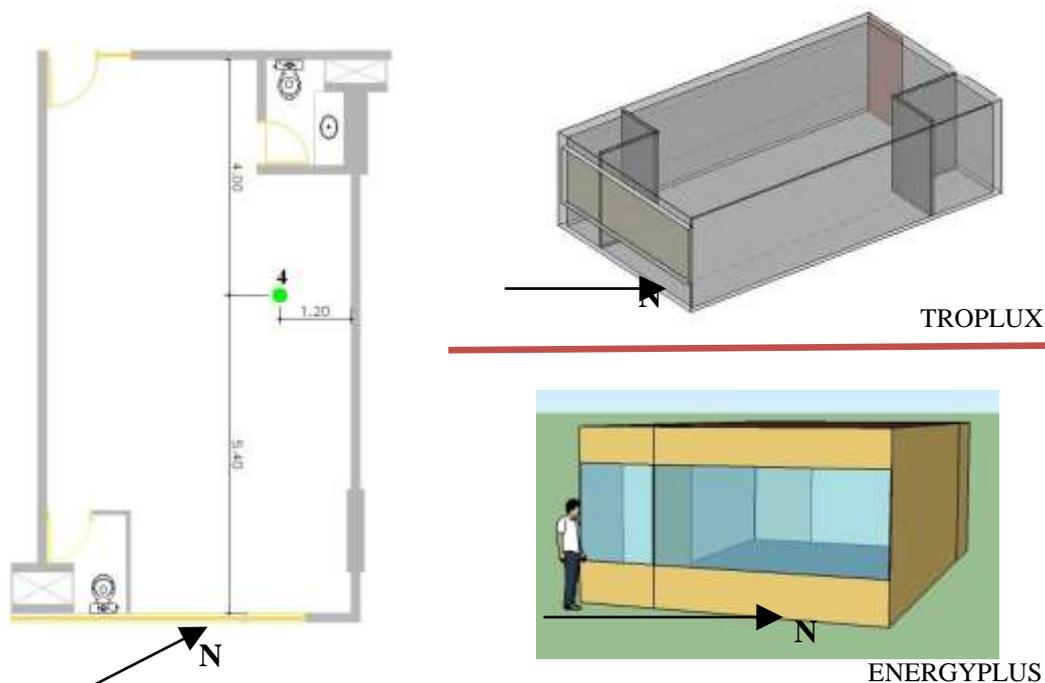


Figura 33: Modelagem da sala monitorada.

Para avaliar as diferenças entre os valores medidos e os simulados foram aplicadas as equações do erro quadrático médio e do viés médio. O primeiro é o desvio absoluto entre o valor simulado e o valor medido, e o segundo reflete a tendência do modelo em subestimar ou superestimar valores, conforme equação 4, equação 5 abaixo:

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x_i - y_i)^2}{N}}$$

Equação 4: Erro quadrático médio.

Onde:

EQM: Erro quadrático Médio (%)

x_i : Iluminância estimada (lx)

y_i : Iluminância medida (lx)

N: Número de valores considerados. Adimensional

$$Viés\ Médio = \frac{\sum_i^N (x_i - y_i)/y_i}{N}$$

Equação 5: Viés médio.

Viés Médio (%)

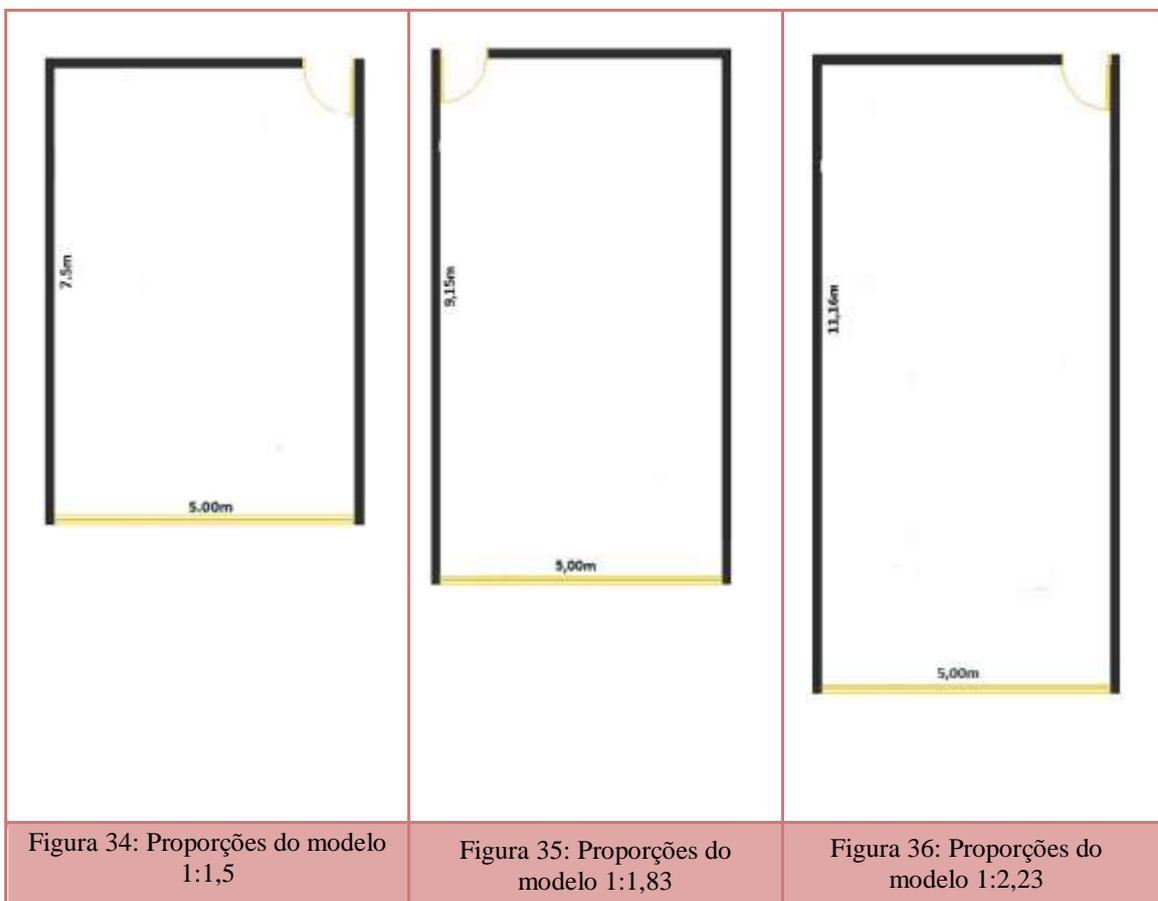
x_i : Iluminância estimada (lx)

y_i : Iluminância medida (lx)

N: Número de valores considerados. Adimensional.

2.2 Configuração dos modelos e das características internas para a simulação computacional

A segunda etapa de simulações é realizada considerando três proporções de modelos, conforme figura 36. O enfoque da análise nos modelos se dará em relação à profundidade dos modelos e ao vidro laminado refletivo por este ser mais comumente utilizado em edificações comerciais. O fator solar adotado foi de 30,9%. O enfoque na profundidade se justifica pela dificuldade de distribuição da luz natural em ambientes com maior profundidade e por possuírem menor área envidraçada em relação ao piso, diminuindo o ganho térmico no ambiente. (GHISI e TINKER, 2001; GHISI et al. 2005). Foram delimitados os modelos nas proporções de 1:1,5; 1:1,83 e 1:2,23.



A primeira modelagem é representada pelas proporções da sala monitorada pelos *dataloggers*. Esta sala possui dimensão de 5,0 x 9,15m, o que representaria uma relação de 1:1,83. A partir desta relação foram criados os outros dois modelos com profundidade em intervalos crescentes de aproximadamente 22%. Ou seja, o modelo 1:2,23 tem 22% a mais de profundidade do que o modelo 1:1,83, que por sua vez tem 22% a mais que o modelo 1:1,5.

As refletâncias internas para estes modelos computacionais foram consideradas em um padrão de paredes na cor branco gelo, teto branco neve e piso em granito. No caso específico do piso, como não foi possível o acesso as característica de acordo com o fabricante, adotou-se a refletância fornecida por Tregenza (1998) para granito. As especificações das características seguiram a tabela 4. Esta tabela possui valores de absorvâncias que foram aplicadas diretamente no programa *EnergyPlus*. Para o programa TropLux, estas absorvâncias foram utilizadas para calcular os valores das refletâncias. As demais características foram pé direito de 2,70m até altura do forro e 2,90m até a laje, altura do plano de trabalho 0,75m.

Os dados de entrada para a simulação termoenergética no *EnergyPlus* em relação aos parâmetros construtivos seguiram as especificações da tabela 6 e em relação ao vidro laminado refletivo será inserido o vidro, conforme características da tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros construtivos.

Materiais	Argamassa	Tijolo	Concreto	Piso	Placa de Gesso
Rugosidade	Rugoso	Rugoso	Rugoso	Rugoso Médio	Liso Médio
Espessura (m)	0,02	0,09	0,2	0,015	0,03
Condutividade (W/(m.K))	1,15	0,9	1,75	0,14	0,35
Densidade (kg/m³)	2000	1600	2300	2300	750
Calor Específico (J/ (kg.K))	1000	920	1000	840	840

Fonte ABNT, 2003.

Além dos parâmetros construtivos foram configurados os padrões de uso para a iluminação artificial, pessoas e equipamentos, conforme tabela 7.

A definição da densidade de ocupação para cada modelo foi baseada na NBR 16401-1 Instalações de Ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior (ABNT, 2009, p. 11), tabela 1, onde foi considerado que os modelos seriam escritórios de baixa densidade.

Para definir o uso dos equipamentos e o calor dissipado pelos mesmos, utilizou-se a NBR 16401-1 Instalações de Ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das Instalações (ABNT, 2009, p. 53-55), tabelas C1, C2, C3, C4, C5, C6.

Para os computadores e monitores foram considerados valores médios de uso contínuo, para a impressora foi considerado que imprimiria uma página a cada dois minutos, a cafeteira funcionando em metade do dia e o bebedouro o dia inteiro. A partir destas definições foram obtidos os resultados constantes na tabela 7.

Tabela 7: Padrão de uso de equipamentos e pessoas nos modelos propostos

Equipamentos	Modelo 1:1,5	Modelo 1:1,83	Modelo 1:2,23	
	Dissipação de Calor (W)	Quant.	Quant.	Quant.
Computadores	55	4	6	8
Monitores 13” a 15”	55	4	6	8
Impressora	37,5	1	2	2
Cafeteira	375	1	1	1
Bebedouro	350	1	1	1
Consumo Total de equipamentos		1202,5 W (32W/m ²)	1460 W (31,91W/m ²)	1717,5 W(31W/m ²)
Pessoas	110	4	6	8

Fonte: ABNT, 2009 (a); (b).

Quanto ao aparelho de ar condicionado, foi definido o uso de um tipo split (expansão direta), sendo este atualmente de uso mais recorrente em edifícios comerciais. A capacidade necessária para remover a carga térmica do ambiente para cada modelo será autocalculada pelo *EnergyPlus*. Serão apenas inseridos os valores do COP¹⁴, a fim de garantir a utilização de um aparelho mais eficiente e com menor consumo de energia elétrica. A temperatura foi configurada entre os limites de 18° e 24°C, buscando este intervalo estar, também, dentro dos

¹⁴ *Coefficient of performance*. Coeficiente que relaciona a capacidade de remoção de calor de um equipamento e a capacidade de energia gasta para se remover este calor. O COP utilizado foi de 3,01. Seguindo tabela do Inmetro para condicionar de ar - tipo split high wall com data de atualização de 15 de março de 2010. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>.

limites da NR-17 (BRASIL, 2007), que recomenda índice de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C, para atividades de que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, como em escritórios.

2.3 Definições para a simulação computacional da iluminação natural

No programa TropLux e *EnergyPlus* foram simulados os modelos propostos a fim de avaliar o desempenho luminoso. No programa TropLux foram inseridas as características internas de cada modelo, como transmitância e refletância dos materiais e as características do vidro. Neste programa as aberturas são geradas automaticamente a partir da inserção das coordenadas no plano escolhido. Logo, define-se se a abertura será uma janela com fechamento translúcido/transparente ou somente espaços vazios.

Para a simulação foram escolhidos o fechamento translúcido/transparente. Esse tipo de fechamento possui as características de um vidro incolor simples, por isso logo a frente da janela foi inserido um plano com as características do vidro laminado refletivo utilizado. Ver tabela 5. As figuras 37 e 38 mostram os valores de transmitância do vidro incolor existente no programa TropLux. Os valores de transmitância do vidro refletivo foram divididos pelos valores do vidro existente no TropLux, a fim de adequar aos valores finais de transmitância.

Num	Type	Description	Plane 1			Plane 2			Plane 3			Plane 4		
			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-1	Floor	0	0	0	7.5	0	0	7.5	5	0	0	5	0
2	-2	Ceiling	0	0	2.7	0	5	2.7	7.5	5	2.7	7.5	0	2.7
3	-3	Wall A-Int	0	0	0	0	0	2.7	7.5	0	2.7	7.5	0	0
4	-4	Wall B-Int	0	5	0	7.5	5	0	7.5	0	2.7	0	5	2.7
5	-5	Wall C-Int	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	2.7
6	-6	Wall D-Int	7.5	0	0	7.5	0	2.7	7.5	0	2.7	7.5	0	0
7	-7	Surface under roof	-0.15	-0.15	0	-0.15	5.15	0	7.65	5.15	0	7.65	-0.15	0
8	-8	Floor	-0.15	-0.15	2.85	7.65	-0.15	2.85	7.65	5.15	2.85	-0.15	5.15	2.85
9	-9	Wall A-Ext	-0.15	-0.15	0	7.65	-0.15	0	7.65	-0.15	2.85	-0.15	-0.15	2.85
10	-10	Wall B-Ext	-0.15	5.15	0	-0.15	5.15	2.85	7.65	5.15	2.85	7.65	5.15	0
11	-11	Wall C-Ext	-0.15	-0.15	0	-0.15	-0.15	2.85	-0.15	5.15	2.85	-0.15	5.15	0
12	-12	Wall D-Ext	7.65	-0.15	0	7.65	5.15	0	7.65	5.15	2.85	7.65	-0.15	2.85

Figura 37: Inserção das coordenadas dos planos no programa TropLux. Fonte: CABÚS, 2006.

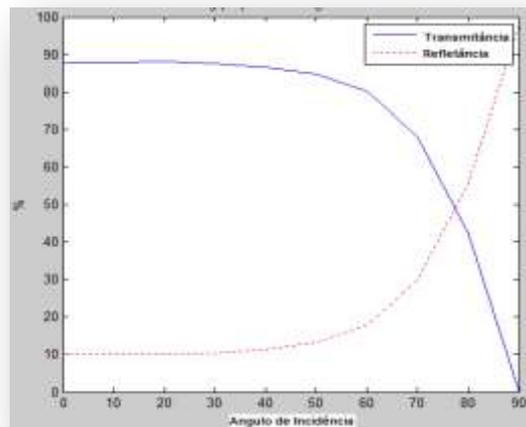


Figura 38:Transmitância do vidro incolor no programa TropLux. Fonte: CABÚS, 2006.

Para a simulação neste programa foram configurados o horário legal, 30 dias e 12 meses do ano, nas orientações Norte, Sul, Leste, Oeste, erro de 5% e tipo de céu 10, por este ter sido o que mais se aproximou dos valores medidos. O horário avaliado foi configurado de acordo com o uso comum dos edifícios comerciais, de 8h às 18h, em intervalos de 5 em 5 minutos.

O *EnergyPlus* simulará a iluminação natural através dos dois métodos disponíveis no programa, *Daylighting:Controls* e *Daylighting:DElightControls*. Foi utilizada a versão 4.0.0.024 para realizar todas as simulações. Neste programa foram configurados todos os parâmetros construtivos e características de absorvâncias dos materiais utilizados, conforme descrito no item 2.2, ver figura 39.

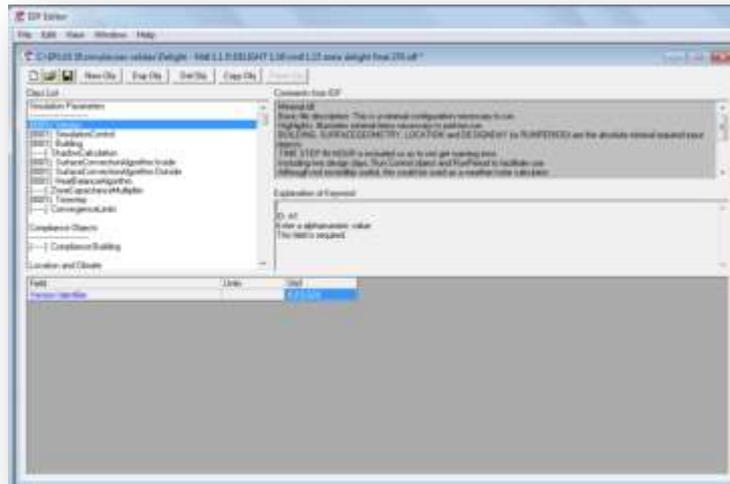


Figura 39: Visão do programa *EnergyPlus*. Fonte: U.S. Department of Energy, 2009.

Para a simulação no *EnergyPlus* será utilizado o arquivo climático TRY da cidade de Maceió com extensão .epw, fornecidas pelo Labeee. As *schedules* de iluminação artificial foram configuradas para funcionar também de 8 às 18h, sendo o intervalo de 12h às 14h com metade do funcionamento normal. A iluminação artificial foi configurada para a utilização de um dimerizador que aciona as lâmpadas de forma a complementar as iluminâncias, quando estas não atingirem os 500 lx de projeto.

2.3.1 Definição da iluminância de projeto

A iluminância média foi determinada segundo recomendações da NBR 5413 (ABNT, 1992). Para a determinação da iluminância adequada, a norma recomenda que seja realizado um procedimento de avaliação que parte da configuração da tarefa e do observador, considerados os fatores determinantes para esta definição.

O primeiro passo para a determinação da iluminância é através da análise da tabela 8. A soma dos pesos determina qual a iluminância recomendada. Portanto, quando o valor total da soma dos pesos for -2 ou -3, utiliza-se iluminância inferior. Quando for +2 ou +3 iluminância superior e nos demais casos iluminância média. No caso desta avaliação, foi

considerado que a ocupação dos ambientes modelados se daria em sua maior parte por usuários com idade que varia dos inferiores a 40 anos até os 55 anos, a velocidade e precisão sem importância e a refletância do fundo superior a 70%.

Tabela 8: Fatores determinantes da iluminação adequada.

Característica da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e Precisão	Sem Importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: Adaptado de ABNT, 1992.

Deste modo, os valores alcançados para estes modelos variaram de -2 a -3. Logo, será utilizada a iluminância inferior. Seguindo então as recomendações da NBR 5413 para ambientes de escritórios, conforme tabela 9, a iluminância inferior recomendada pela norma é de 500 lx.

Tabela 9: Iluminância por classe de tarefas visuais.

Classe	Iluminância (lx)	Peso
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.

Fonte: Adaptado de ABNT, 1992.

2.3.2 Cálculo luminotécnico e distribuição das luminárias

Determinada a iluminância de projeto foi realizado o cálculo luminotécnico para cada modelo através do método dos lúmens. Foram escolhidas lâmpadas tubulares fluorescentes T5 de 28W que são mais compactas, eficientes e com disponibilidade no mercado. As luminárias escolhidas suportam duas destas lâmpadas e possuem aletas planas, e devido as suas

características, permite melhor controle do ofuscamento. Vale salientar que esta pesquisa não busca avaliar as condições de ofuscamento, se limitando apenas a inserir luminárias que visem contribuir com este aspecto. As características das luminárias podem ser vistas no anexo 2. De acordo com o cálculo luminotécnico as luminárias ficaram distribuídas conforme figura 40.

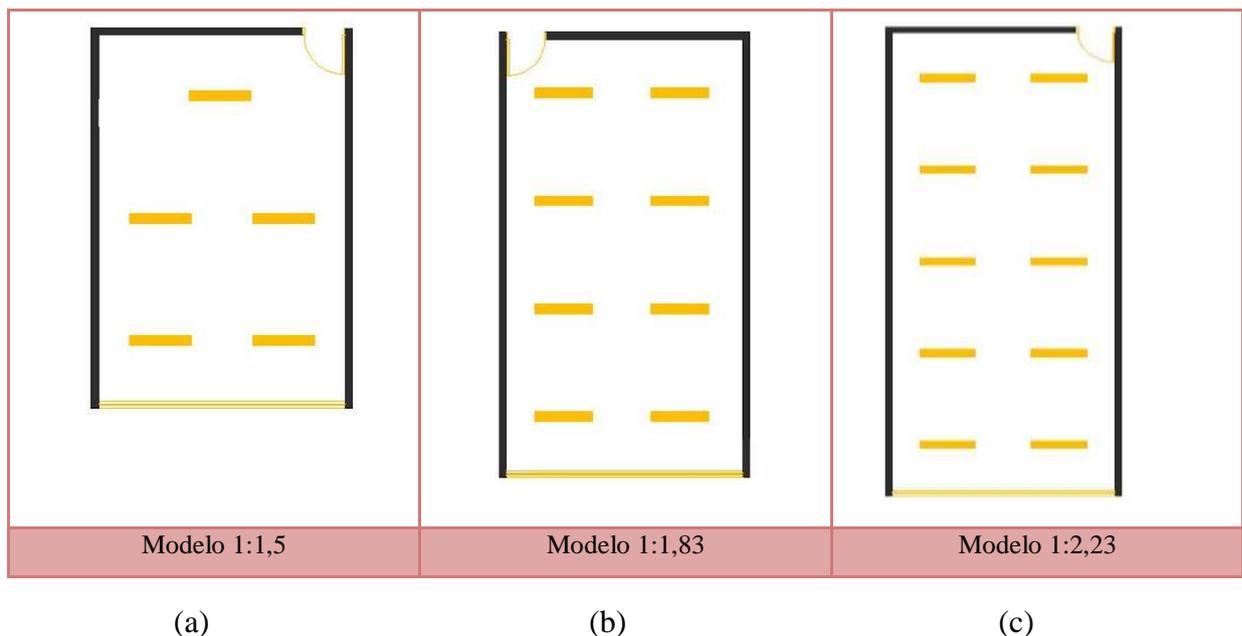


Figura 40: Distribuição das luminárias.

2.4 Simulação da iluminação natural

Determinada a iluminância recomendada e a dimensão dos modelos a serem simulados, foram criados blocos de simulação com variações nos seguintes parâmetros: Orientações: Norte, Sul Leste e Oeste; área das aberturas em relação à área de piso com o correspondente percentual de janela na fachada (PJF) e vidro refletivo, por este ser de uso mais comum em prédios comerciais.

Para avaliação dos valores de iluminância simulados, foram definidos seis pontos, localizados de maneira proporcional ao tamanho dos modelos, conforme figura 41, 42, 43. A

Esta análise será realizada seguindo metodologia adotada por Cândido (2006), que analisou o código de Edificações de Maceió de 1985 (MACEIÓ, 1985) e utilizou as recomendações de adoção de áreas de abertura mínima para a ventilação e iluminação em relação à área de piso, a fim de investigar o impacto do aumento da porosidade na distribuição do fluxo do ar. No caso da presente pesquisa as dimensões serão utilizadas para avaliar a iluminação natural. As áreas são 1/6 e 1/12 em relação à área de piso do ambiente.

Durante as simulações como haverá alterações na área de abertura em relação ao piso, optou-se por manter um peitoril de 0,90m, com o objetivo de uniformidade de altura para as análises quanto à iluminação natural. Haverá uma exceção para o modelo 1: 2,23, uma vez que para se obter uma abertura com 1/6 da área de piso foi necessário reduzir o peitoril para 0,85m, ficando este peitoril ainda com altura superior a altura do plano de trabalho. A altura de 0,90m se justifica por ser recorrente em edifícios, no sentido de ser uma barreira de segurança ao corpo do usuário, ter a função de resguardar o mobiliário e algumas vezes abrigar instalações complementares, além de se encontrar a uma altura que permite a visualização do exterior (CORCUERA, 1998).

Todas as aberturas foram dispostas em fita horizontal ocupando toda a largura da fachada, a fim de não perder a característica comum em edificações comerciais de ocupação total da largura frontal das salas. O topo das aberturas dos modelos com área de abertura de 1/12 em relação à área de piso, apesar de não alcançar a altura final comum a projetos arquitetônicos - 2,10m - as aberturas simuladas, localiza-se sempre dentro dos limites de alturas entre de 0,90m do piso a 2,10m do piso, fixada sempre a altura do peitoril o que permite a visão do exterior através da abertura.

As simulações ocorrerão em blocos, conforme tabela 10, 11 e 12.

Tabela 10: Blocos de simulação Modelo 1:1,5

Modelo 1:1,5	Vidro refletivo	Vidro refletivo
	Orientação N/S/L/O	Orientação N/S/L/O
	Área de Abertura 1/6	Área de Abertura 1/12
	Correspondência PJF = 43%	Correspondência PJF = 21,5%

Tabela 11: Bloco de simulação Modelo 1:1,83

Modelo 1:1,83	Vidro refletivo	Vidro refletivo
	Orientação N/S/L/O	Orientação N/S/L/O
	Área de Abertura 1/6	Área de Abertura 1/12
	Correspondência PJF = 56,3%	Correspondência PJF = 29,3%

Tabela 12: Bloco de simulação Modelo 1:2,23

Modelo 1:2,23	Vidro refletivo	Vidro refletivo
	Orientação N/S/L/O	Orientação N/S/L/O
	Área de Abertura 1/6	Área de Abertura 1/12
	Correspondência PJF = 68,6%	Correspondência PJF = 34,3%

2.5 Comparação das iluminâncias simuladas pelos programas

Com as simulações das iluminâncias no TropLux e *EnergyPlus* foram confeccionados gráficos de frequência da iluminância útil da luz natural baseado na IULN. Onde são definidas quatro faixas de iluminâncias, conforme descrito anteriormente.

De acordo com a definição da iluminância de projeto, 500 lx, serão consideradas como iluminâncias úteis aquelas que estiverem nas faixas [$>100 \leq 500$ lx] e [$>500 \leq 2000$ lx], conforme definição de Nabil e Mardaljevic (2006). Com os gráficos da simulação de cada programa, realiza-se uma comparação entre eles, a fim de verificar por quanto tempo durante um ano as iluminâncias úteis se mantiveram em cada um dos pontos medidos.

2.6 Estimativa de consumo da iluminação artificial integrada com a iluminação natural

Ao simular a iluminação natural, o programa *EnergyPlus* foi configurado para avaliar o consumo da iluminação artificial integrado com a natural. As saídas dos dados de consumo energético relativo à iluminação artificial possibilitaram a análise da influência da luz natural no consumo energético final.

Para isso, foi criado um caso de referência, para cada modelo e cada tipo de abertura, avaliado a fim de simular a utilização de todas as lâmpadas ligadas continuamente durante o horário de funcionamento estabelecido. Estes casos de referência servirão de base para a avaliação do percentual de redução do consumo de energia elétrica.

O programa TropLux é uma ferramenta destinada exclusivamente para a simulação da iluminação natural. Portanto, a integração da iluminação natural e artificial com a finalidade de avaliar consumo de energia elétrica não seria possível dentro do programa. A fim de obter, a título de ilustração, uma estimativa simples do consumo anual de energia elétrica da

iluminação artificial integrada com a natural no programa TropLux, será realizada uma interpolação simples, considerando as seguintes etapas:

- A primeira etapa deverá ser obtida através da análise dos resultados da simulação da iluminação natural e do consumo de energia elétrica (kWh/ano) obtidos no *EnergyPlus*, considerando, para isso, o método do *EnergyPlus* que apresentou menores diferenças entre os dados medidos e simulados. Esta etapa relaciona o consumo médio anual de energia elétrica para manter a sala com uma iluminância mínima de 500 lx, representado por “a” com o percentual anual de iluminâncias maiores que 500 lx representado por “b”.

- Na segunda etapa adotou-se que quando 100% do ano possuir iluminâncias maiores que 500 lx não há consumo de energia elétrica, portanto será zero;

- A terceira etapa será obtida através da análise dos resultados obtidos no TropLux. Este ponto relacionará a média do percentual anual de iluminâncias maiores que 500 lx, sendo representada por “c” e o dado que se quer descobrir, neste caso, o consumo médio anual de energia elétrica, representado por “x”. Logo este valor será obtido através da interpolação deste ponto com os citados anteriormente, conforme equação 6.

$$\frac{x - a}{b - c} = \frac{a}{100\% - b}$$

Equação 6: Interpolação simples para o consumo elétrico.

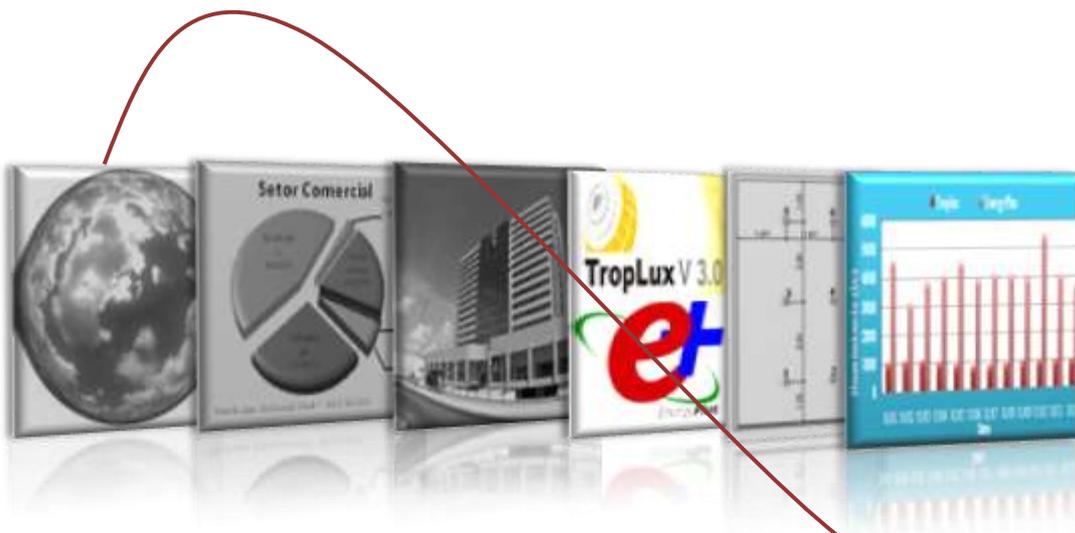
Os valores obtidos através da interpolação são apenas aproximações, uma vez que os resultados de consumo de energia gerados pelo programa *EnergyPlus*, consideram a utilização de um dimerizador. Este tipo de controle de iluminação artificial aciona as lâmpadas de maneira a complementar a iluminação natural quando esta não alcança a iluminância de projeto, 500 lx.

2.7 Simulação do desempenho termoenergético em função da iluminação natural

Os modelos propostos serão avaliados quanto ao seu desempenho termoenergético em função da utilização da iluminação natural na cidade de Maceió. Esta avaliação só será possível através da simulação no programa *EnergyPlus*. A definição do método para realizar esta simulação, será baseada naquele que apresentou menores diferenças em relação aos dados medidos.

Com resultados da simulação termoenergética será avaliado, para cada modelo, de acordo com a orientação, a relação mais equilibrada entre o consumo de energia da iluminação artificial e consumo de energia de ar condicionado. Para isso serão gerados gráficos por orientação.

Os resultados obtidos de todos os passos da metodologia adotada são apresentados no próximo capítulo.



Resultados e Discussões

3. Resultados e Discussões

Os resultados aqui expostos acompanham os passos metodológicos descritos anteriormente, visando um melhor entendimento do que foi proposto e resultados obtidos. Os primeiros resultados dizem respeito à verificação do erro entre dados medidos e simulados além de apresentar os resultados encontrados para iluminação natural, no que se refere à avaliação das iluminâncias alcançadas dentro de cada modelo. A segunda etapa de resultado se refere aos resultados de consumo de energia da simulação integrada entre a iluminação natural e ar condicionado.

3.1 Análise da verificação das diferenças de dados medidos e os simulados

A partir da verificação das diferenças de dados medidos e os simulados pelos programas foi possível analisar as tendências de superestimar ou subestimar as iluminâncias calculadas.

A partir da simulação realizada nos dois programas, TropLux e *EnergyPlus*, sendo este último para os dois métodos existentes, e considerando as características reais da sala monitorada, verificou-se que a inserção das mesmas características de refletâncias, absorvâncias e transmitância nos três métodos de cálculo de simulação da iluminação natural em comparação com os dados medidos resultam em diferenças. Estas diferenças podem ser vistas através dos resultados da aplicação das fórmulas de erro quadrático e médio e viés médio na tabela 13.

Tabela 13: Erro médio quadrático e viés médio.

Métodos	<i>EnergyPlus</i>				TropLux	
	Método <i>Daylighting:Controls</i>		Método <i>Daylighting:Delight:Controls</i>			
Características consideradas	EQM (%)	Viés (%)	EQM (%)	Viés (%)	EQM (%)	Viés (%)
	13,53	7,03	8,25	1,32	4,21	2,01

Analisando os resultados obtidos na tabela 13, observa-se que o programa TropLux apresentou maior aproximação dos valores medidos, seguido do método *Daylighting:Delight:Controls* e por fim o método *Daylighting: Controls* que também apresentou o maior viés médio, revelando uma tendência maior em superestimar as iluminâncias calculadas.

Vale ressaltar que a precisão dos *dataloggers* pode variar $\pm 20\%$ e as formas de cálculo de cada programa pode influenciar diretamente nos resultados obtidos.

3.2 Análise da simulação da iluminação natural

Foram realizadas 87 simulações para iluminação natural nos programas TropLux e *EnergyPlus*. De acordo com os resultados obtidos foram confeccionados gráficos baseados na IULN a fim de avaliar qual a incidência das faixas iluminância útil em cada um dos pontos e por quanto tempo durante o ano estão disponíveis.

Serão mostrados aqui, de forma a exemplificar os resultados dos gráficos do modelo 1:1,5 para orientações Norte e Leste, conforme figura 44, 45 e 46, embora sejam avaliados e comentados todos os resultados dos gráficos gerados para cada modelo. Todos gráficos podem ser visto no apêndice 2.

Com o objetivo de facilitar o entendimento dos resultados será realizada uma análise geral para cada modelo proposto e método utilizado e por fim um apanhado geral da influência das variáveis consideradas.

Figura 44: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5, método *Daylighting: Controls*.

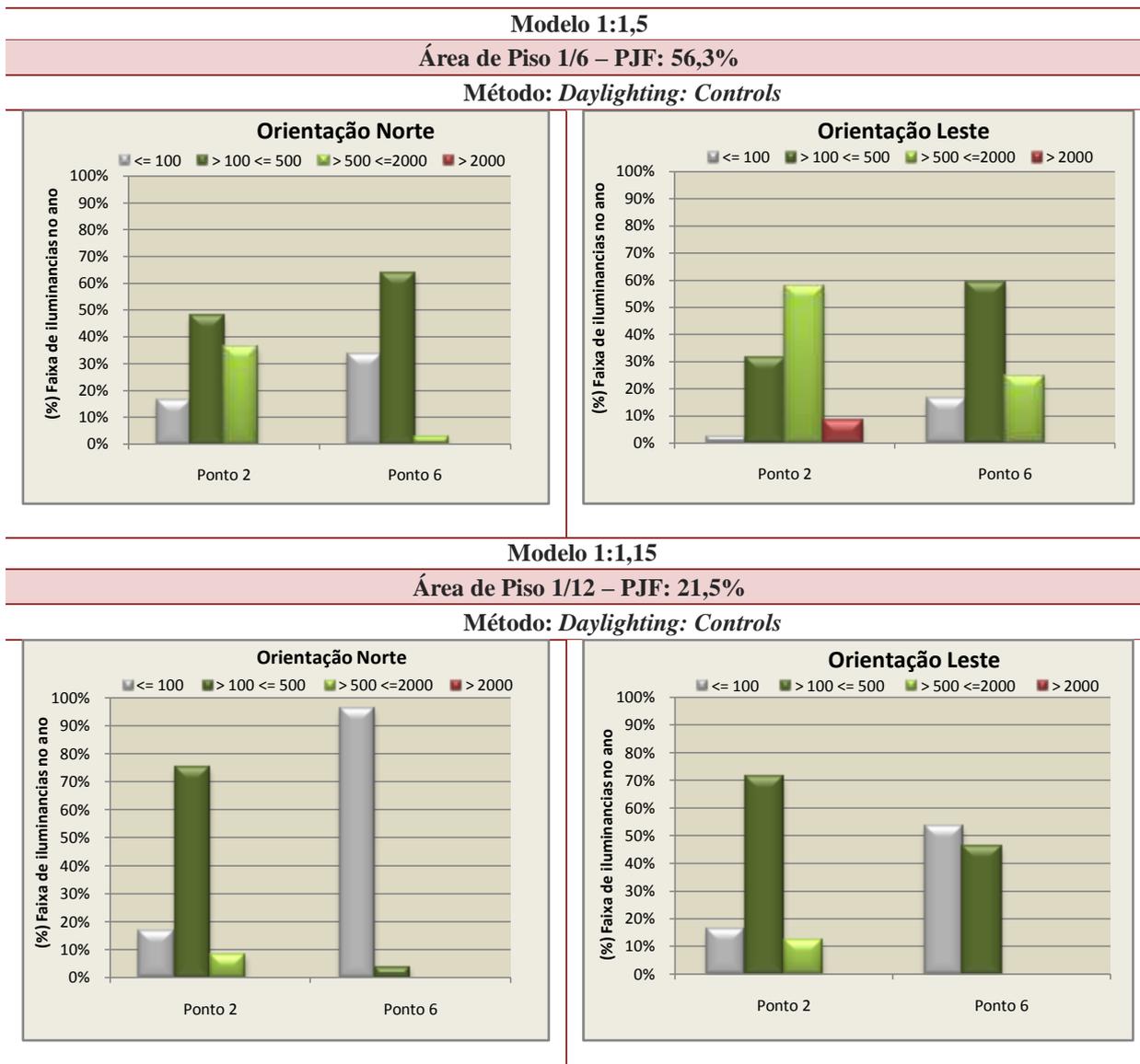
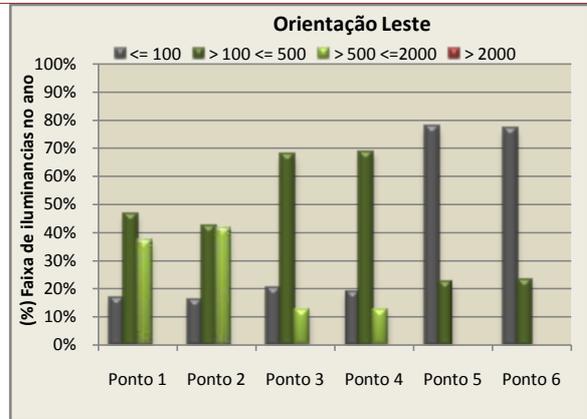
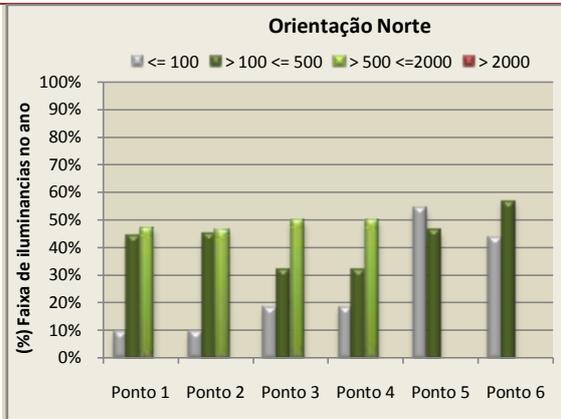


Figura 45: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5 , método *Daylighting: DELight Controls*.

Modelo 1:1,5
Área de Piso 1/6 – PJJ: 43%
Método: *Daylighting: DELight Controls*



Modelo 1:1,15
Área de Piso 1/12 – PJJ: 21,5%
Método: *Daylighting: DELight Controls*

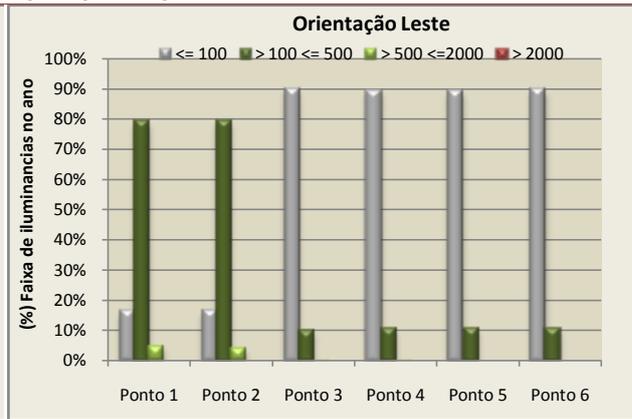
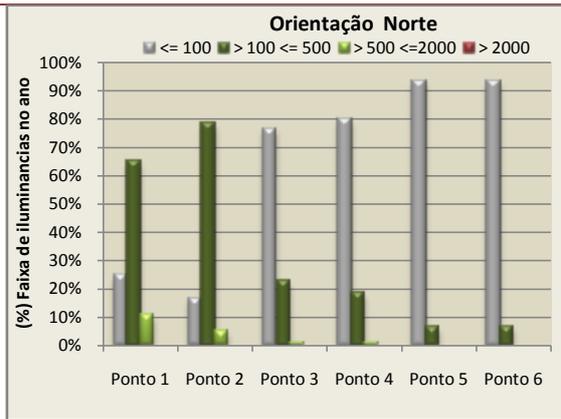
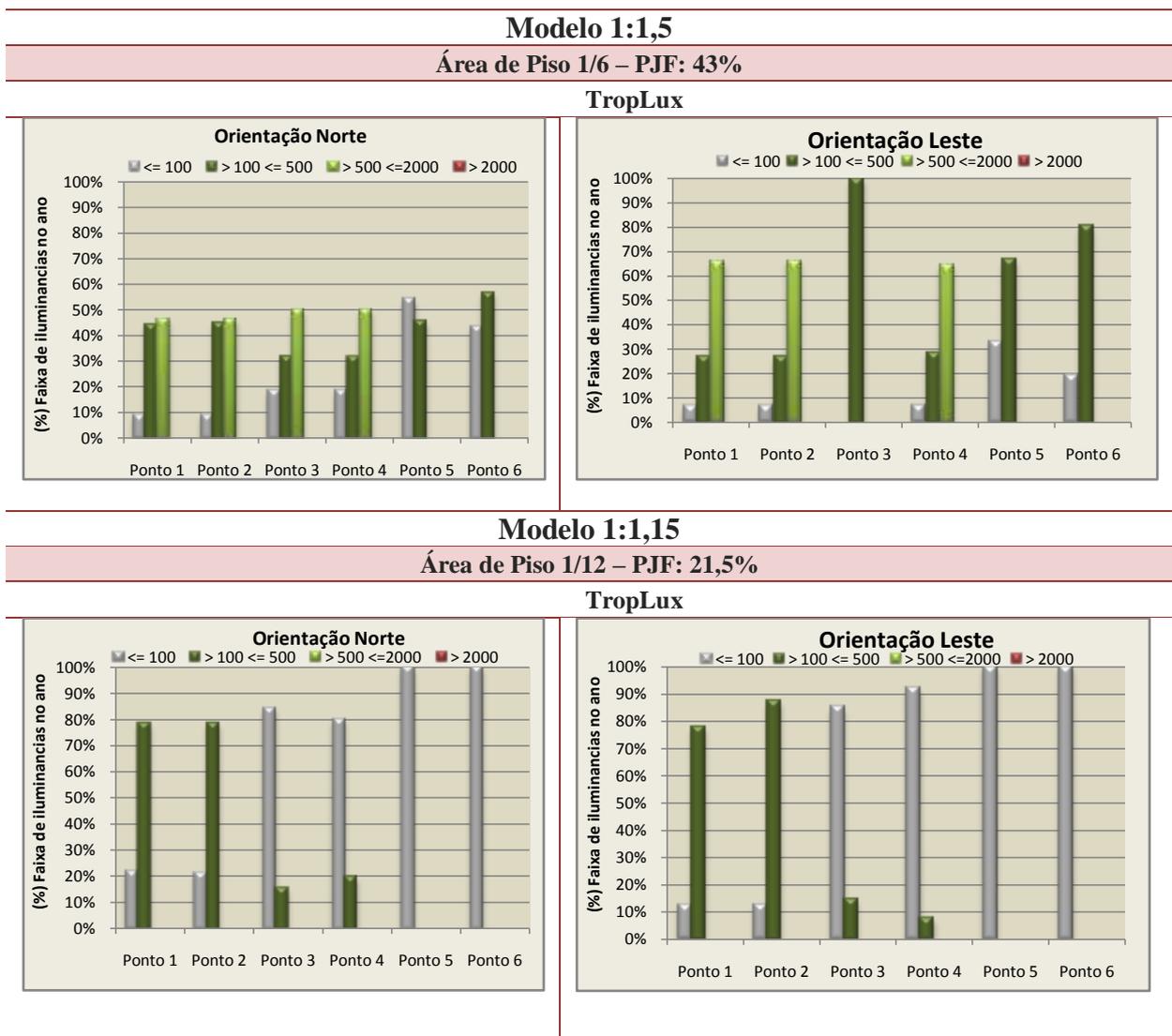


Figura 46: iluminâncias resultantes por faixas baseadas na IULN de acordo com modelo 1:1,5, método TropLux.



3.2.1 Modelo 1:1,5

Este modelo possui dois PJFs, conforme já descrito anteriormente, um maior com 43% e outro menor com 21,5%.

3.2.1.1 TropLux

No TropLux, para um PJF de 43%, obteve-se iluminâncias dentro das faixas úteis, entre 100 lx e 2000 lx, nas quatro orientações, em todos os pontos 30 a 90% do ano a depender do ponto analisado. Já para um PJF de 21,5% obteve-se 30% de iluminâncias dentro das faixas úteis, $[100 \leq 2000 \text{ lx}]$, para os pontos 1, 2, 3 e 4 para as quatro orientações.

- a. *Quanto à influência das orientações:* Para um PJF de 43% as aberturas situadas a Leste possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo durante um ano nos pontos analisados. Já para um PJF de 21,5% verificou-se que as iluminâncias encontradas se concentraram sempre nas faixas $[<100 \text{ lx}]$ e $[>100 \leq 500 \text{ lx}]$, sendo a orientação Leste com maior percentual, por pontos analisados, dentro da faixa mais próxima dos 500 lx, a faixa $[>100 \leq 500 \text{ lx}]$. A orientação sul, em ambos os PJFs, apresentam o menor percentual anual por pontos analisados de iluminâncias maiores que 500 lx.
- b. *Quanto à área de abertura e à profundidade da sala:* constatou-se que os pontos situados mais próximos a abertura apresentam as maiores iluminâncias, decrescendo à medida que os pontos se afastam da abertura. Para o PJF de 43%, os dois pontos localizados na parte posterior do ambiente, o 5 e o 6, apresentam maior percentual anual de iluminâncias maiores que 100 lx, cerca de 52% do ano. Sendo a maior concentração na orientação Sul e menor na orientação Leste.

No PJF de 21,5% há 100% de iluminâncias durante o ano abaixo de 100 lx, nos pontos 5 e 6. Além disso, não há iluminâncias maiores que 500 lx em nenhum dos pontos analisados. Este resultado mostra uma tendência de dificuldade que a iluminação natural possui para alcançar os pontos mais distantes das aberturas com iluminâncias dentro da faixa recomendada. Verificou-se ainda que este cenário é agravado com a diminuição do tamanho da abertura.

3.2.1.2 EnergyPlus

No programa *EnergyPlus*, o método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), considerando os seis pontos estudados, para os dois PJFs propostos, obteve-se iluminâncias dentro das faixas úteis em todos os pontos e em todas as orientações durante o ano. Os percentuais destas iluminâncias variaram de 22% a 84% durante o ano a depender da orientação e localização dos pontos.

a. Quanto à influência das orientações: Para um PJF de 43% as aberturas situadas a Norte possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo, em média cerca de 34,10% do ano considerando os quatro pontos mais próximos à abertura, visto que os dois últimos pontos não obtiveram iluminâncias maiores que 500 lx. Enquanto a orientação Leste apresentou apenas 22% do ano, representando uma diminuição de pelo menos 10% de iluminâncias maiores que 500 lx. Entretanto a distribuição mais equilibrada destas iluminâncias se apresentam nas orientações Leste e Oeste, numa média anual de cerca de 22% nos quatro pontos (1, 2, 3, 4). Já para um PJF de 21,5%, diferentemente dos resultados apresentados pelo programa TropLux, ainda apresenta resultados com iluminâncias maiores que 500 lx, embora estas iluminâncias sejam apenas de cerca de 2% ao ano. As orientações Leste e Oeste em ambos PJFs analisados apresentaram os menores resultados para iluminâncias maiores que 500 lx. Nota-se, que a orientação da abertura neste modelo gera uma influência considerável nos valores de iluminância obtidos.

b. Quanto à área de abertura e à profundidade da sala: Analisando a área de abertura em relação à profundidade da sala, percebe-se que este fator interfere diretamente nas iluminâncias úteis dentro do modelo. Maiores aberturas permitiram maior concentração de iluminâncias maiores que 500 lx durante mais tempo no ano. Além disso, para o PJF de 43%, assim como aconteceu no programa TropLux, os

dois pontos localizados na parte posterior do ambiente apresentam maior concentração de iluminâncias entre 100 e 500 lx e nenhuma iluminância maior que 500 lx. No caso do PJF de 21,5% esses pontos apresentam quase que a totalidade das iluminâncias resultantes durante um ano, menores que 100 lx.

No método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido), só puderam ser simulados dois pontos, o que limita as possibilidades de análise. Assim como no primeiro método analisado do *EnergyPlus* as iluminâncias dentro das faixas úteis se apresentam em 85% do ano para o ponto 2 e 70% para o ponto 6 em todas as orientações. Para um PJF de 43%, este método foi o único que apresentou iluminâncias maiores que 2000 lx. Estas iluminâncias foram apenas apresentadas para o ponto 2 e nas orientações Leste e Oeste, em cerca de 9,5% do ano. Enquanto no PJF de 21,5%, as iluminâncias maiores que 2000 lx, se apresentam na orientação Oeste em cerca de 9,5% do ano, além de indicar iluminâncias maiores que 500 lx no ponto 6, em cerca de 11,5 % do ano.

Nenhum dos dois métodos analisados anteriormente apresentou iluminâncias acima de 2000 lx ou iluminâncias maiores que 500 lx nos pontos situados na parte posterior do ambiente. Analisando o item 3.1, onde consta a verificação da diferença de dados medidos e simulados, percebe-se que este método possui um viés que indica uma tendência de superestimar as iluminâncias, o que permite um melhor entendimento dos resultados obtidos.

3.2.2 Modelo 1:1,83

Este modelo possui dos PJFs, conforme descrito anteriormente, um maior com 56,3% e outro menor com 29,33%.

3.2.2.1 TropLux

No TropLux, para um PJF de 56,3%, obteve-se iluminâncias dentro das faixas úteis, [$>100 \leq 2000$ lx], em todas as orientações para os quatro pontos mais próximos a abertura, variando de 70% a 90% do ano. Diferentemente do modelo 1:1,5, este modelo já não apresenta iluminâncias dentro das faixas úteis nos dois pontos mais afastados da janela. Já para um PJF de 29,33% obteve-se quase que uma totalidade de iluminâncias dentro da faixa útil, [$>100 \leq 500$ lx], para os quatro pontos mais próximos a janela (1, 2, 3 e 4).

- a. *Quanto à influência das orientações:* Para um PJF de 56,3% as aberturas situadas a Leste possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo durante um ano nos pontos 1, 2 e 4, correspondendo a uma média de cerca de 56,3% para este três pontos analisados. Os demais pontos não apresentaram iluminâncias maiores que 500 lx. A orientação Sul, apresentou a menor concentração anual de iluminâncias maiores que 500 lx variando de 3% para o ponto 3 e 84% para o ponto 1. Já para um PJF de 21,5% verificou-se que ainda se encontram iluminâncias maiores que 500 lx nas orientações Norte, Leste e Oeste nos pontos mais próximos a aberturas, variando de 0,67% na orientação Leste a 2% na orientação Norte. A maior concentração de iluminâncias na faixa abaixo de 100 lx é na orientação Sul.
- b. *Quanto à área de abertura e à profundidade da sala:* Neste modelo também foi constatado que os pontos situados mais próximos a abertura apresentam as maiores iluminâncias, decrescendo à medida que os pontos se afastam da mesma. Para o PJF de 56,3%, verificou-se iluminâncias maiores que 500 lx apenas nos pontos 1, 2 e 4, que se localizam mais próximos a janela. Enquanto os dois pontos localizados na parte posterior do ambiente, 5 e 6, apresentam somente iluminâncias menores que 100 lx.

O PJF de 21,5%, ainda apresentou iluminâncias maiores que 500 lx nos pontos mais próximos a janela em apenas nos pontos 1 e 2 para a orientação Norte, enquanto as iluminâncias menores que 100 lx numa variação de cerca de 80% a 100% do ano nos pontos 3, 4, 5 e 6. Os pontos mais distantes da abertura, 5 e 6, e o ponto 4 da orientação Sul, apresentam 100% de iluminâncias menores que 100 lx. Este resultado confirma mais uma vez que quanto mais distante da abertura, menores são os percentuais de iluminâncias dentro da faixa recomendada.

3.2.2.2 *EnergyPlus*

No programa *EnergyPlus*, o método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), considerando os seis pontos estudados, para os dois PJFs propostos, obteve-se cerca de 1% a 83% do ano com iluminâncias dentro das faixas úteis, [$>100 \leq 2000$ lx], nas quatro orientações, sendo a maior predominância nas faixas entre 100 lx e 500 lx.

a. Quanto à influência das orientações: Neste modelo para um PJF de 56,3% as aberturas situadas a Norte possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo. As orientações Leste e Oeste apresentaram os menores percentuais de iluminância maiores que 500 lx, variando cerca de 1,34% a 14% do ano. Já para um PJF de 21,5%, ainda apresenta resultados com iluminâncias maiores que 500 lx, em todas as orientações variando de 0,30% a 30% durante o ano a depender do ponto analisado. As orientações Leste e Oeste em ambos PJFs analisados apresentaram os menores resultados para iluminâncias maiores que 500 lx.

b. Quanto à área de abertura e à profundidade da sala: A influência da área de abertura em relação à profundidade da sala, neste modelo, teve menor interferência para os resultados de iluminâncias maiores que 500 lx, quando comparados ao modelo 1: 1,5 . Quando analisado a diferença entre o PFJ de 56,3% e 29,33% para

iluminâncias maiores que 500 lx durante um ano, percebe-se que a concentração destas iluminâncias diminui em relação ao modelo de 1:1,5, havendo maior diferença entre os PJFs nos pontos 1 e 2 da orientação Norte e Sul, variando 10% a 15%. As maiores diferenças se concentraram nas faixas $[\geq 100 \leq 500 \text{ lx}]$. Os dois pontos mais distantes da abertura apresentam cerca de 90% do ano de iluminâncias menores que 100 lx. Este resultado se repete no caso do PJF de 29,33%.

No método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido), assim como no primeiro método analisado do *EnergyPlus* as iluminâncias dentro das faixas úteis se apresentam em 83% do ano para todas as orientações considerando a média dos dois pontos analisados. Para um PJF de 56,3%, este método foi o único, mais uma vez, que apresentou iluminâncias maiores que 2000 lx. Estas iluminâncias foram apenas apresentadas para o ponto 2 e nas orientações Leste e Oeste, em cerca de 8,5% do ano. Enquanto no PJF de 29,33%, as iluminâncias maiores que 2000 lx, se apresentam na orientação Oeste em cerca de 7% do ano.

3.2.3 Modelo 1: 2,23

Este modelo possui dos PJFs, conforme descrito anteriormente, um maior com 68,6% e outro menor com 34,3%.

3.2.3.1 TropLux

No TropLux, para um PJF de 68,6%, obteve-se iluminâncias dentro das faixas úteis, $[>100 \leq 2000 \text{ lx}]$, variando entre 41% e 54% do ano a depender da orientação. Este resultado se encontra 20% a menos que o modelo 1:1,5 e 10% a menos que o modelo 1:1,83. Já para um PJF de 30% obteve-se 30% de iluminâncias dentro da faixa útil, $[>100 \leq 500 \text{ lx}]$.

a. *Quanto à influência das orientações:* Para um PJF de 68,6% as aberturas situadas a Leste, também neste modelo, possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo durante um ano, sendo apenas constatadas estas iluminâncias nos pontos 1 e 2 que estão mais próximos a abertura. Nestes mesmos pontos, a orientação Sul, apresentou a menor concentração anual de iluminâncias maiores que 500 lx, variando de 24% a 50% do ano. Nota-se que a influência da orientação perde um pouco de importância neste modelo, uma vez que as iluminâncias maiores que 500 lx se apresentaram apenas nos dois pontos mais próximos a abertura. Além disso, comparando os resultados das iluminâncias acima de 500 lx nestas orientações, apenas a orientação Sul apresentou um percentual anual abaixo da média das demais orientações.

Já para um PJF de 34,3%, verificou-se que ainda se encontram iluminâncias maiores que 500 lx nas orientações Norte e Leste nos pontos 1 e 2, que estão mais próximos a abertura. A maior concentração em todas as orientações é de iluminâncias na faixa abaixo de 100 lx, variando de 11% a 16% do ano nos pontos 1 e 2 e 100% do ano nos pontos 3, 4, 5 e 6.

b. *Quanto à área de abertura e à profundidade da sala:* Neste modelo também se constatou que os pontos situados mais próximos a abertura apresentam as maiores iluminâncias, decrescendo à medida que os pontos se afastam da mesma. Para o PJF de 34,3%, nota-se que a profundidade levou a uma diminuição considerável de iluminâncias dentro das faixas úteis, cerca de 29% quando comparado ao modelo de 1:1,5, além disso as iluminâncias maiores que 500 lx só foram obtidas nos pontos 1 e 2.

No PJF de 34,3% as iluminâncias úteis se concentram nas faixas $[\geq 100 \leq 500$ lx] e apenas nos dois pontos mais próximos a abertura em cerca de 85% do ano. Os pontos 3, 4, 5 e 6 apresentam 100% durante o ano de iluminâncias abaixo de 100 lx. Neste modelo a redução do tamanho de abertura influenciou significativamente na concentração anual de iluminâncias dentro das faixas úteis, permitindo que estas só fossem encontradas nos dois pontos mais próximos a abertura.

3.2.3.2 *EnergyPlus*

No programa *EnergyPlus*, o método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), considerando os seis pontos estudados, para os dois PJFs propostos, obteve-se em média de 70% a 85% do ano com iluminâncias dentro das faixas úteis, $[> 100 \leq 2000$ lx], nas quatro orientações, para os dois pontos mais próximos a abertura, diminuindo este percentual à medida que os pontos se distanciam da janela..

a. Quanto à influência das orientações: Neste modelo para um PJF de 68,6% as aberturas situadas a Norte possibilitaram iluminâncias maiores que 500 lx por mais tempo, cerca de 25% nos pontos 1 e 2 e 0,3% nos pontos 4 e 5. Nas orientações Leste e Oeste as iluminâncias acima de 500 lx só foram obtidas para os pontos 1 e 2, representando as orientações com menores incidência de iluminância acima de 500 lx. Já para um PJF de 34,3%, ainda apresenta resultados com iluminâncias maiores que 500 lx em todas as orientações sendo a maior concentração na orientação Norte. As orientações Oeste e Leste em ambos PJFs analisados apresentaram os menores resultados para iluminâncias maiores que 500 lx. Para este método também foi verificado que a influência da orientação perde um pouco de importância para este modelo, uma vez que as iluminâncias maiores que 500 lx se apresentaram apenas nos

dois pontos mais próximos a abertura com percentuais anuais próximos que variam de 3,5% a 10%.

b. Quanto à área de abertura e à profundidade da sala: A influência da área de abertura em relação à profundidade da sala, neste modelo, teve maior interferência para os resultados de iluminâncias maiores que 500 lx quando comparados com ao modelo 1: 1,83. Este resultado pode se justificar pelo fato da utilização de um peitoril menor no modelo de abertura com PJF de 68,6%, 0,85m. Uma vez que os demais modelos, com exceção deste, obedeceram a uma altura de peitoril de 0,90m.

O PJF de 68,6% apresenta cerca de 10% a mais de iluminâncias maiores que 500 lx durante o ano quando comparados ao PJF de 34,3%. As maiores diferenças se concentraram na faixa de iluminâncias menores que 100 lx, onde o PJF de 34,3% apresenta cerca de 12% destas iluminâncias a mais durante o ano em relação ao PJF de 68,6%. Sendo a maior concentração nos pontos 3, 4, 5 e 6, cerca de 95% do ano.

No método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido), assim como no primeiro método analisado do *EnergyPlus* as iluminâncias dentro das faixas úteis se apresentam em 77% do ano para todas as orientações, no ponto 2 e 65% do ano para o ponto 6. Para um PJF de 68,6%, este método foi o único, mais uma vez, que apresentou iluminâncias maiores que 2000 lx. Estas iluminâncias foram encontradas para o ponto 2 e nas orientações Leste e Oeste, em cerca de 10% do ano. Enquanto no PJF de 34,3%, as iluminâncias acima de 2000 lx, se apresentam na orientação Oeste em cerca de 5,8% do ano.

Neste método, nota-se que mesmo aumentando a profundidade dos modelos e conseqüentemente a distância dos pontos analisados em relação à abertura, ainda se obtém iluminâncias maiores que 2000 lx. Em nenhum dos modelos analisados para os dois métodos anteriores foram encontradas iluminâncias maiores que 2000 lx e os resultados com

iluminâncias dentro das faixas úteis apresentaram tendência de diminuição, o que não aconteceu para este método.

Realizando uma síntese dos resultados avaliados nos itens acima, verificou-se que os métodos analisados têm diferenças consideráveis para as iluminâncias encontradas. No programa TropLux a maior concentração de iluminâncias dentro das faixas úteis sempre foram encontradas na orientação em que a abertura está direcionada, primeiramente para Leste e em seguida para Norte. Enquanto no método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), esses resultados foram encontrado na orientação Norte seguida da orientação Sul e no *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) na orientação Oeste, seguido da Norte.

Apesar de não haver coincidências das orientações com maiores concentrações de iluminância dentro das faixas úteis, em todos os métodos simulados as aberturas orientadas para Norte apresentaram como ponto em comum, uma vez que foram verificadas grandes concentrações de iluminâncias dentro das faixas úteis. Quando esta orientação não se apresentou com a maior concentração de iluminâncias dentro das faixas úteis, se mostrou com a segunda maior concentração destas iluminâncias.

Visando o melhor entendimento dos resultados obtidos a acima, têm-se a carta solar da cidade de Maceió. Nesta, nota-se que a incidência solar anual num plano vertical é maior na orientação Norte que na orientação Sul, embora a incidência de radiação solar direta seja menor quando comparada a orientação Leste e Oeste conforme figura 47.

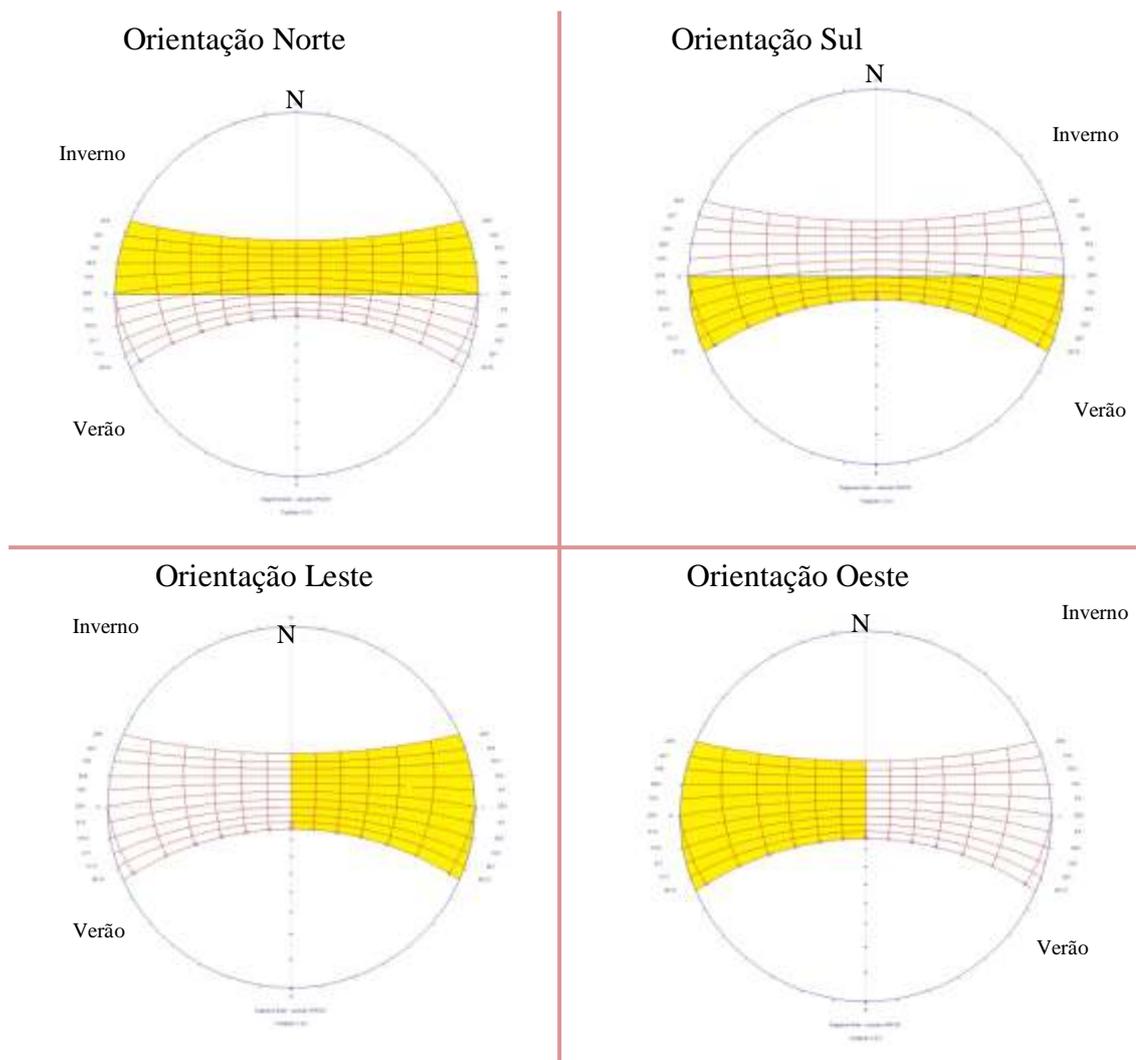


Figura 47: Carta solar Maceió - Incidência solar por orientação. Fonte: Adaptado de CABÚS, 2005d.

Quanto à diferença entre os tamanhos de abertura, observou-se que há maior influência quando o modelo tem menor profundidade. A partir do momento que a profundidade aumenta a influência desta variável diminui para iluminância maiores que 500 lx, uma vez que os pontos começam a se afastar consideravelmente da abertura.

Esta observação só não é evidente para o método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido), onde a influência da profundidade não afetou de forma considerável os resultados. Podendo se justificar pela forma simplificada do cálculo e distribuição da iluminação natural, que reparte a parcela refletida de maneira proporcional dentro do espaço.

3.3 Análise da estimativa de consumo de energia elétrica da iluminação artificial integrada à iluminação artificial

As tabela 14 e tabela 15 apresentam o resultado da estimativa de consumo de energia elétrica da iluminação artificial integrada à iluminação natural e de percentuais de economia obtidos a partir dos resultados gerados pelos programas *EnergyPlus* e *TropLux*. Os resultados encontrados para o programa *TropLux* são apenas estimativas de economia de energia elétrica baseadas nos resultados de consumo do método *Daylighting: DELight Controls*, portanto os resultados encontrados para este método influenciam diretamente os resultados obtidos para o *TropLux*. Estes resultados foram obtidos através da aplicação da equação 6.

Tabela 14: Consumo e estimativa de economia de energia elétrica – área de abertura 1/6 da área de piso

Área de Abertura 1/6 da área de piso		<i>Daylighting: Controls</i>			<i>Daylighting: DELight Controls</i>		<i>TropLux</i>	
Modelo	Caso de referência (kWh/Ano)	Orientação	Área de abertura 1:1/6 (Consumo médio–kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia	Área de abertura 1:1/6 (Consumo médio–kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia	Área de abertura 1:1/6 (Consumo médio–kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia
1:1,5	827,92	Norte	420,20	49,24	455,0	45,00	400,52	51,62
		Sul	457,25	44,77	465,2	43,80	517,58	37,48
		Leste	453,90	45,17	508,55	38,60	403,46	51,26
		Oeste	352,95	57,40	508,50	38,60	427,62	48,35
1:1,83	1037,66	Norte	536,65	48,30	630,3	39,26	480,06	53,73
		Sul	586,95	43,45	633,88	38,91	577,65	44,33
		Leste	577,80	55,70	680,24	34,44	470,28	54,67
		Oeste	449,20	56,70	680,24	34,44	477,15	54,01
1:2,23	1379,87	Norte	757,35	45,10	852,50	38,20	803,82	41,74
		Sul	838,10	39,30	866,95	37,20	856,70	37,91
		Leste	895,92	35,00	922,48	33,14	802,55	41,83
		Oeste	634,36	54,00	922,48	33,14	805,04	41,65

Tabela 15: Consumo e estimativa de economia de energia elétrica – área de abertura 1/12 da área de piso

Área de Abertura 1/12 área de piso		<i>Daylighting: Controls</i>			<i>Daylighting: DElight Controls</i>		Troplux	
Modelo	Caso de referência (kWh/Ano)	Orientação	Área de abertura 1:1/12(Consumo médio– kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia	Área de abertura 1:1/12 (Consumo médio–kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia	Área de abertura 1:1/12 (Consumo médio–kWh/ano)	(%) Estimativa média de economia
1:1,5	827,92	Norte	605,20	26,90	605,85	26,80	623,02	24,74
		Sul	648,15	21,70	617,30	25,45	729,11	11,93
		Leste	620,60	25,03	661,30	20,10	668,75	19,22
		Oeste	529,20	36,07	661,30	20,10	668,28	19,28
1:1,83	1037,66	Norte	766,70	26,10	775,35	25,28	808,03	21,75
		Sul	820,65	20,90	788,34	24,03	820,61	20,98
		Leste	783,70	24,50	826,56	20,34	840,96	18,14
		Oeste	666,2	35,80	826,56	20,34	840,96	21,33
1:2,23	1379,87	Norte	1042,8	24,42	1044,30	24,30	1073,09	22,00
		Sul	1112,10	19,40	1060,90	23,10	1089,36	21,00
		Leste	1059,10	23,25	1117,70	19,00	1066,20	22,73
		Oeste	895,30	35,10	1117,70	19,00	1077,55	21,91

Analisando os resultados obtidos, percebe-se em todos os métodos simulados que em relação ao tamanho das aberturas e a profundidade do modelo, os modelos que possuem menor profundidade e maior área de abertura tendem a possuir maior economia de energia, pois a luz natural consegue atingir maior área dentro dos modelos.

O modelo 1:1,83 apresenta resultados de consumo em kWh/ano em situação intermediária ao modelo 1:1,5 e 1:2,23. Observou-se ainda que no modelo 1:2,23, para os três métodos utilizados, a diferença entre o percentual de economia dos dois PJFs analisados diminuem, indicando que quanto maior a profundidade menor será uma interferência significativa na redução do consumo da iluminação artificial.

Além disso, nota-se principalmente na área de abertura 1/12, que à medida que o modelo aumenta a profundidade os resultados obtidos em percentuais de economia no

programa TropLux e no método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade) tendem a se aproximar. Ao passo que, o método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) se apresenta com percentuais acima dos encontrados pelos outros dois métodos. Este resultado confirma a tendência do método em simplificar a resolução da reflexão interna, apresentando dificuldades maiores quando as profundidades dos modelos aumentam.

Quanto aos resultados obtidos em relação aos métodos simulados, constatou-se que a diferença entre os percentuais de economia seguem a tendência do viés médio apresentado na tabela 13. O método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) tende a aumentar as iluminâncias, enquanto o método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade) tende a uma leve diminuição e o TropLux se apresenta na maior parte dos resultados numa situação intermediária entre os métodos do programa *EnergyPlus*.

Analisando a orientação das aberturas em função da economia, os resultados indicam que no TropLux, assim como no método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) a orientação Sul possui maior consumo, conseqüentemente menor percentual de economia. Já no método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), os modelos que possuem maior consumo energético são os que as janelas se localizam na orientação Leste e Oeste, apresentando sempre valores próximos ou iguais, sendo ainda maior, no modelo de menor área de abertura, 1/12.

3.3.1 Avaliação da economia de energia total em relação aos casos de referência.

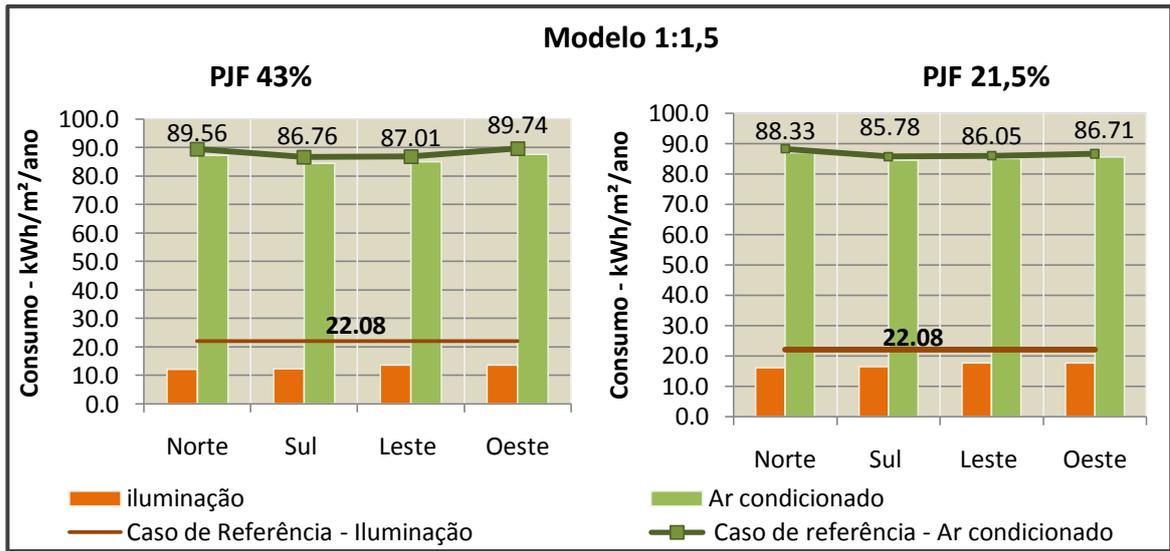
Como apenas os dois métodos do *EnergyPlus* realizam a simulação integrada, não será possível a utilização do programa TropLux para verificar os resultados da simulação integrada. Portanto, definiu-se que seria adotado um dos métodos do programa *EnergyPlus*

utilizando como justificativa de escolha o método que apresentou menor diferença entre as iluminâncias medidas e simuladas. Visando assim, avaliar o consumo com menores erros quanto a real condição do ambiente. Neste caso, os resultados do método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade) apresentaram as menores diferenças, apesar de ter sido constatado que este método apresenta ainda um erro quadrático maior quando comparado com o erro quadrático do programa TropLux.

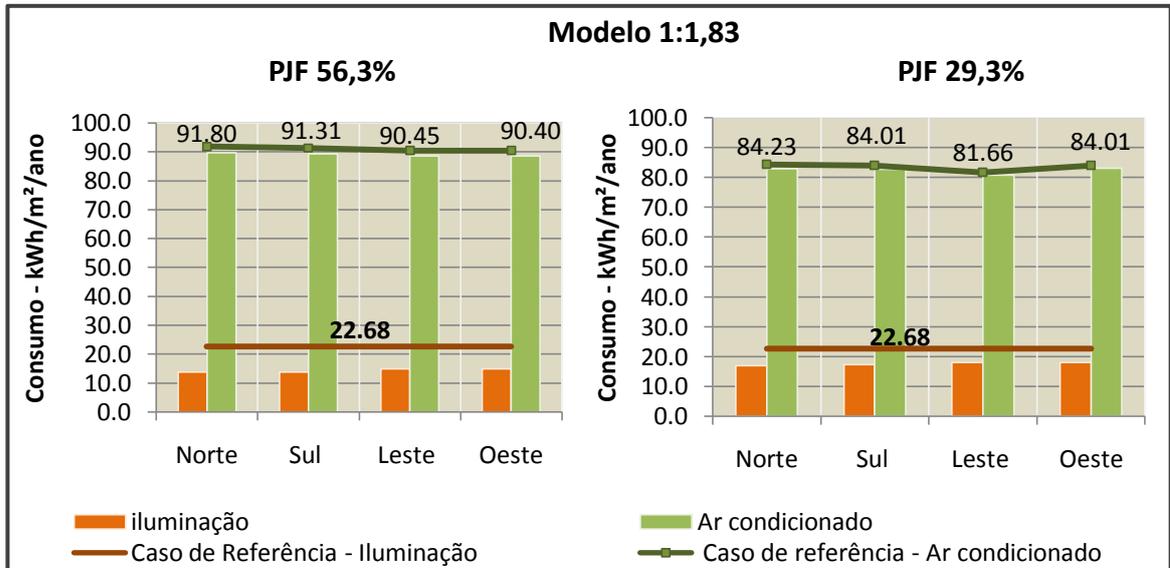
Para realizar as simulações integradas, em todos os modelos foram considerados a presença de pessoas e o funcionamento de equipamentos, conforme descrito na metodologia. Em todos os modelos os valores de carga térmica transmitidos para o ambiente pelas pessoas e equipamentos se mantiveram constantes e, ainda no caso dos equipamentos, estes sempre apresentaram o mesmo consumo de energia. Portanto, aqui serão evidenciado apenas o consumo da iluminação artificial e ar condicionado, que sofrem variação com as mudanças de tamanhos de aberturas e orientação.

A Figura 48: Consumo em kWh/m²/ano, a, b e c apresentam o consumo em kWh/m²/ano. Para cada modelo, área de abertura e orientação da abertura foram simulados um caso de referência correspondente com as mesmas definições e utilizando a iluminação ligada o dia inteiro. Nota-se que o consumo em valores absolutos são maiores para os modelos que possuem maior área de abertura.

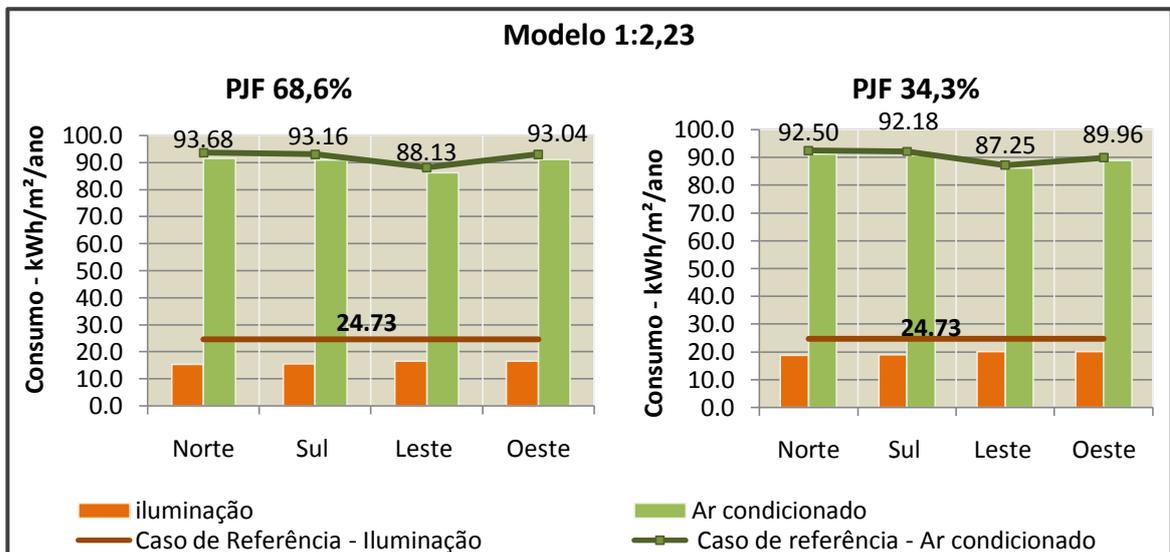
Figura 48: Consumo em kWh/m²/ano



(a)



(b)



(c)

A figura 49 representa os resultados obtidos a partir da comparação do consumo de iluminação e ar condicionado nos modelos propostos com os casos de referência¹⁵. Os resultados da comparação são dados em percentual de economia energia da iluminação e do ar condicionado. Ou seja, no exemplo da figura 49 (a) para a orientação Leste, quando a iluminação tem um percentual de economia de energia elétrica de cerca de 39% em relação ao caso de referência, tem-se cerca de 2,25% de economia para o ar condicionado comparando ao mesmo caso de referência. Assim, pode-se avaliar em qual orientação e tamanho de abertura, para cada modelo, obteve-se melhor economia de energia elétrica, integrando a iluminação e o ar condicionado. Os resultados apresentados são avaliados quanto: ao tamanho das aberturas, a orientação e a melhor proporção entre iluminação e consumo do ar condicionado.

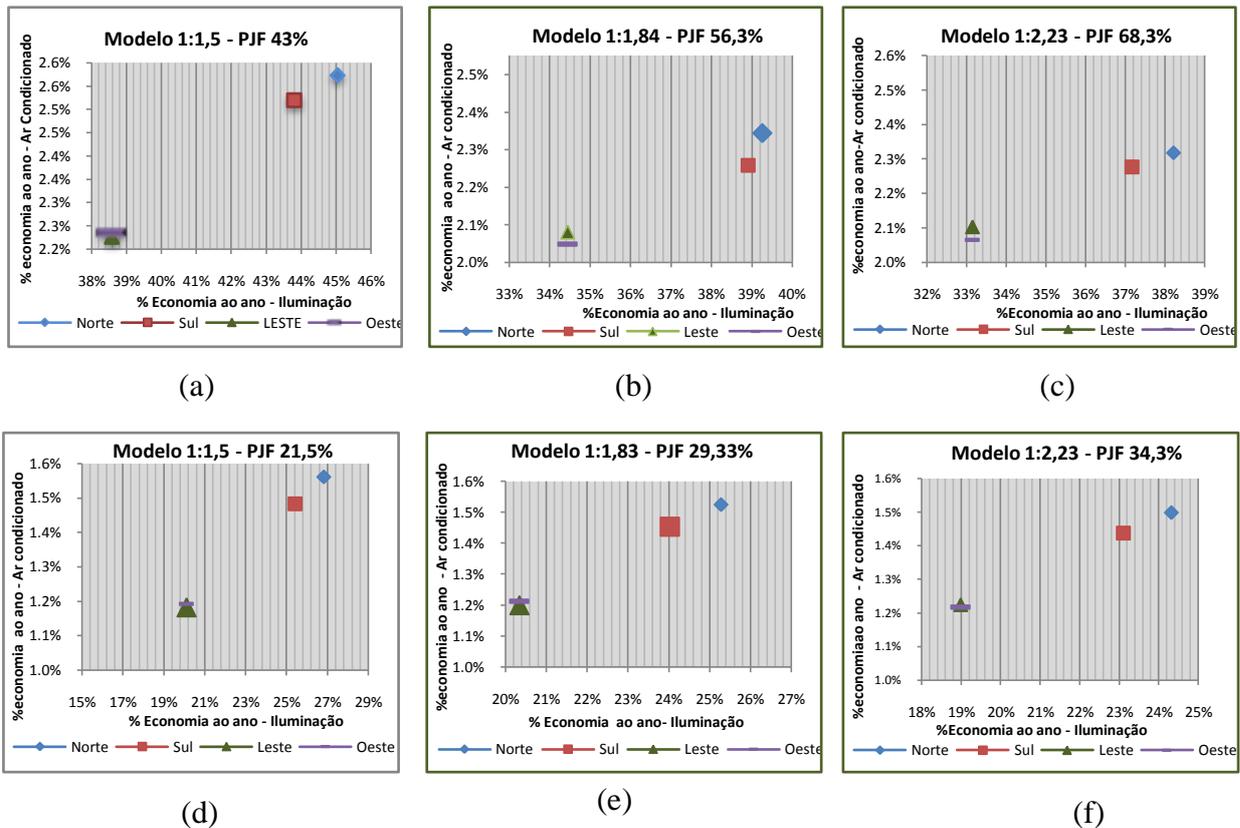


Figura 49: Percentual de economia de energia elétrica da iluminação e ar condicionado dos modelos propostos em comparação ao caso de referência.

¹⁵ O caso de referência utiliza a iluminação artificial ligada o dia inteiro.

Quanto ao tamanho das aberturas, observa-se que os modelos que possuem PJFs maiores apresentaram os maiores percentuais de economia de energia quando comparados ao caso de referência. Embora o consumo em valores absolutos, conforme figura 48 *a*, *b* e *c*, apresentem-se maiores. Na iluminação este resultado se justifica pelo fato de que maiores aberturas permitem maior entrada de luz natural e conseqüentemente diminuem a utilização da iluminação artificial.

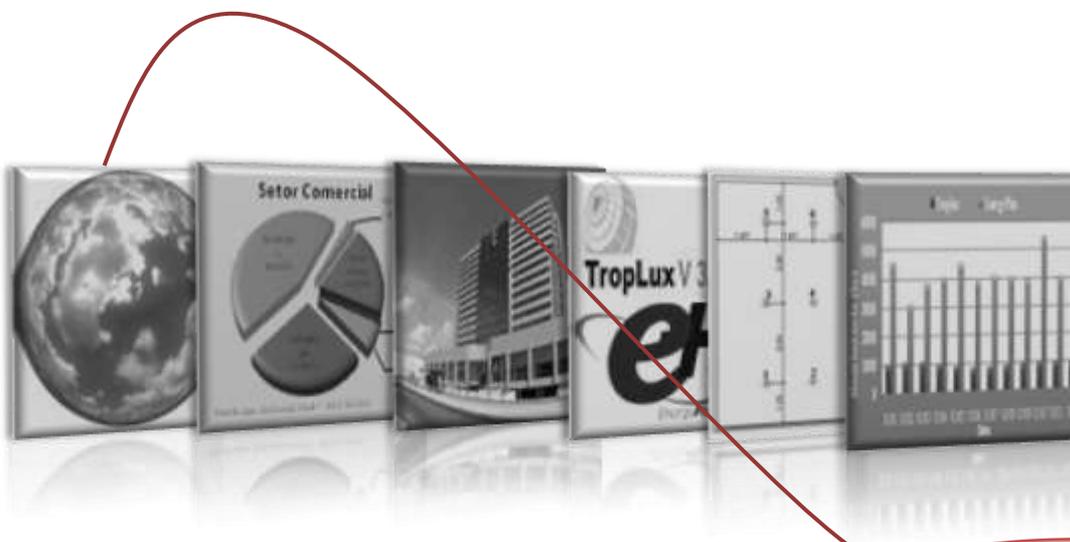
No caso do sistema de condicionamento de ar, quando analisados os valores absolutos, os modelos que possuem maiores aberturas apresentaram maior consumo de energia elétrica, em kWh/m²/ano, pois há maior entrada de luz natural no ambiente o que acarreta maior entrada de carga térmica. Quando analisados os percentuais de economia em relação ao caso de referência, figura 49, nota-se que os modelos com maiores aberturas apresentaram maior percentual de economia quando comparado aos percentuais de economia dos modelos com menores aberturas em relação ao seu respectivo caso de referência. Através deste resultado percebe-se que os modelos com menores aberturas demandaram mais da iluminação artificial que contribuiu para o aumento da carga térmica dentro do ambiente exigindo mais do sistema de condicionamento de ar.

Quanto ao consumo em relação à orientação, as aberturas situadas a Norte em todos os modelos e tamanhos de aberturas apresenta a melhor relação de economia de energia elétrica entre a iluminação e o ar condicionado.

O modelo 1: 1,5 apresentou o melhor resultado para a relação de economia de energia elétrica. Sendo, 45% de economia em relação à iluminação e 2,6% em relação ao ar condicionado, com a abertura orientada para Norte. Este é o modelo com proporção de menor profundidade e seus resultados demonstram que houve menor exigência do sistema de iluminação artificial para se alcançar, durante o ano, a iluminância de projeto.

Os resultados com menor percentual de economia de energia elétrica tanto para a iluminação quanto para o ar condicionado, foram aqueles que possuíam aberturas orientadas para Leste e Oeste. Este resultado se repetiu para todos os modelos.

Em resumo, de acordo com os resultados obtidos através do método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade) pode-se afirmar que a utilização de controle da iluminação artificial em função da iluminação pode trazer resultados de economia de energia elétrica. O modelo 1:1,5 é o que apresenta a melhor relação de percentual de economia de energia elétrica quanto à iluminação e o ar condicionado. Além disto, para todas as simulações a orientação Norte é a que melhor representa esta relação de economia de energia.



Conclusões

4. Conclusões

Nesta seção serão descritas as conclusões obtidas das simulações e análises realizadas. Além das limitações do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

Diante de todo o referencial teórico levantado é perceptível o quanto a iluminação natural é importante como fonte de energia, pois além de ser renovável tem grande disponibilidade, principalmente na região tropical. Quando utilizada de maneira a equilibrar a entrada de luz natural e a carga térmica que traz consigo, pode oferecer diversas vantagens, dentre elas a redução no consumo de energia.

Atualmente, é comum a utilização de *softwares* que buscam simular a iluminação natural visando o seu melhor aproveitamento. Esses softwares ainda realizam simulações integradas que avaliam também a questão do consumo de energia. Diante disto, este trabalho se propôs a realizar esta análise, utilizando dois programas, o TropLux, que simula a iluminação natural e o programa *EnergyPlus* que realiza a simulação integrada, avaliando o consumo de energia quando se faz uso da iluminação natural em junção com o condicionamento de ar. Para isso, foram utilizados modelos com enfoque em características comuns em edifícios comerciais na cidade de Maceió como o vidro refletivo, tamanhos de abertura e profundidade das salas.

4.1 Análise do desempenho luminoso em relação aos modelos propostos

Para a análise do desempenho luminoso nos modelos propostos foram utilizados três métodos de simulação computacional: o *Daylighting: DELight Controls* (radiosidade), *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) ambos do programa *EnergyPlus* e por fim a união do método Monte Carlo aos Coeficientes de Luz Natural realizado pelo programa *TropLux*.

As simulações da iluminação natural nos três modelos propostos com a variação da área de abertura em relação à área de piso de 1/6 e 1/12, a partir dos três métodos de simulação computacional, indicam que os valores de iluminâncias obtidos para a cidade de Maceió, sofrem variação mais significativa quando são alterados os PJFs e menos significativas quanto à variação das orientações Norte, Sul, Leste e Oeste.

Os três métodos de simulação computacional utilizados apresentaram maior concentração de iluminâncias dentro das faixas úteis em diferentes orientações. Apesar disto, percebe-se que aberturas orientadas para Norte se apresentaram como ponto em comum quanto à concentração destas iluminâncias. Nesta orientação, o método *Daylighting: DELight Controls* (radiosidade) apresentou a maior concentração de iluminâncias dentro das faixas úteis e nos demais métodos a orientação Norte se apresentou com a segunda maior concentração destas iluminâncias.

As iluminâncias dentro das faixas úteis são melhores distribuídas e em maior concentração no modelo onde a profundidade é menor e com PJF maior. Este resultado é comum a todos os métodos de simulação computacional utilizados. O método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) foi o único método que apresentou iluminâncias fora da faixa útil, ou seja, maiores que 2000 lx que são consideradas excessivas. Este resultado traduz uma tendência em superestimar as iluminâncias, quando comparado aos demais métodos.

No modelo com maior profundidade, proporção de 1:2, 23 e PJF de 68,3%, a concentração de iluminâncias maiores que 500 lx apresenta um sutil aumento quando comparados aos resultados obtidos para um PJF de 34,3%, indicando que o aumento da abertura em ambientes com grande profundidade não resulta em grandes ganhos de iluminâncias maiores que 500 lx.

Como a pesquisa foi realizada a partir da avaliação de seis pontos dentro dos modelos, através dos resultados obtidos é possível observar que os pontos localizados mais próximos as abertura possuem maior percentual anual de iluminâncias dentro das faixas úteis e alcançam a iluminância de projeto durante maior parte do ano. Este percentual varia de acordo com a distância do ponto em relação à abertura e com orientação em que se encontra a abertura.

Os dois pontos localizados mais próximos a abertura e com PJFs maiores, alcançam de 25% a 60% do ano, a depender do modelo, iluminâncias entre 500 lx e 2000 lx. E os pontos localizados na parte posterior da sala não apresentaram em nenhum dos resultados iluminâncias acima de 500 lx.

4.2 Análise da influência da iluminação natural na redução do consumo de energia

Quanto à influência da iluminação natural na redução do consumo de energia, a partir dos resultados encontrados em todos os métodos simulados, os modelos que possuem menor profundidade e maior área de abertura tendem a possuir maior percentual de economia de energia quando comparados aos respectivos casos de referência. Nestes a luz natural consegue atingir maior área dentro dos modelos.

As estimativas de percentuais de economia encontradas variam de acordo com o método de simulação computacional utilizado. O método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade) e o TropLux apresentaram estimativas de economia mais próximas enquanto o

método *Daylighting: Controls* (fluxo dividido) se apresenta com percentuais de economia de energia acima dos encontrados pelos outros dois métodos. Este resultado confirma a tendência do método em simplificar a resolução da reflexão interna, apresentando maior dificuldade quando as profundidades dos modelos aumentam.

4.3 Análise da simulação integrada

Todos os resultados da simulação integrada foram baseados no método *Daylighting: DElight Controls* (radiosidade), do programa *EnergyPlus*, uma vez que o programa TropLux permite simular exclusivamente a iluminação natural. Além disso, o outro método utilizado pelo programa *EnergyPlus*, se mostrou com tendências a superestimar os resultados. Portanto, os resultados obtidos procuraram utilizar o método com menor diferença em relação aos dados medidos.

Foi analisado o uso da iluminação natural integrada ao condicionamento de ar através da simulação no *EnergyPlus*. Os resultados obtidos indicam que os modelos com menores PjFs apresentaram menores consumos de energia elétrica quando analisados os valores absolutos (kWh/m²/ano). Já quando analisados os percentuais de economia de energia elétrica, tanto na iluminação quanto no ar condicionado, em relação ao seu respectivo caso de referência, os modelos com maiores aberturas apresentaram maior relação percentual de economia de energia elétrica.

Portanto, no caso dos modelos estudados, as maiores aberturas, apesar de possuírem maiores consumos de energia elétrica em valores absolutos, apresentam maior percentual de economia na iluminação e no sistema de condicionamento de ar quando comparados ao seu respectivo caso de referência. Observa-se, então, que o menor aproveitamento da iluminação natural e a maior utilização de iluminação artificial nos modelos com menores aberturas

levam a uma maior aproximação dos valores de consumo de energia elétrica geradas pelo seu respectivo caso de referência e conseqüentemente, menores percentuais de economia.

Na avaliação da influência da orientação das aberturas no consumo de energia elétrica, verifica-se que aberturas situadas a Norte em todos os modelos e PJs analisados apresentam uma melhor relação de economia de energia elétrica entre a iluminação e o ar condicionado. Sendo a melhor relação encontrada para o modelo 1:1, 5, ou seja, o que possui menor profundidade.

4.4 Considerações Finais

De acordo com os resultados e conclusões apresentados, observa-se que diante dos casos estudados a iluminação natural pode contribuir significativamente na redução do consumo de energia relativo à iluminação artificial e ao condicionamento de ar. As iluminâncias encontradas para o desenvolvimento de tarefas em edifícios comerciais, quando se utiliza a iluminação natural, se mostram satisfatórias desde que complementadas com iluminação artificial que utilize um sistema de controle. Além disto, é importante seguir a orientação que permita a melhor relação de aproveitamento da iluminação natural e o consumo de energia elétrica final.

Diante do exposto, observa-se que há possibilidade de se criar instrumentos que apontem diretrizes para o melhor aproveitamento da iluminação natural, como por exemplo, a inserção de exigências de percentuais mínimos de abertura nas fachadas, definindo-se também o tipo de vidro. Além disso, as fachadas Norte se apresentaram com uma boa relação de economia entre consumo de energia da iluminação e do condicionamento de ar para a cidade de Maceió, nas relações de profundidade dos modelos estudados. Daí a importância de se

utilizar a iluminação natural contribuindo desta forma, para a busca da eficiência energética em edifícios comerciais.

4.5 Limitações do trabalho

No desenvolvimento da pesquisa foram encontradas algumas limitações como:

- As análises foram realizadas considerando apenas a variação da profundidade dos modelos e com a utilização de vidro refletivo. Não foram consideradas variações de geometria como largura, altura e inclinações de planos, nem a avaliação de outros tipos de vidros.
- Foram apenas consideradas aberturas em uma das faces do modelo, não sendo avaliado o impacto de proteções solares internas e externas nos modelos.
- As aberturas simuladas não consideram a altura de pé direito de 2,10m.
- O período de medição com os *dataloggers*, conseqüentemente a quantidade de dados medidos para serem utilizados nas comparações com os valores simulados.
- Não foram avaliados os possíveis ofuscamentos causados pela iluminação natural, que poderiam interferir no comportamento do usuário dentro do ambiente e conseqüentemente interferir no consumo de energia elétrica final.
- O programa TropLux por ser uma ferramenta exclusivamente de simulação da iluminação natural e na versão disponível até o momento de desenvolvimento desta pesquisa não possuir uma interface direta com o programa *EnergyPlus*, não permitiu uma análise da simulação integrada.
- Por se tratar de uma ferramenta nova e em constantes mudanças, o programa *EnergyPlus*, demandou muito tempo de estudo, inviabilizando, dentro do tempo disponível para a conclusão da pesquisa, maior quantidade de análises.

4.6 Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar outras simulações integrando a iluminação e o condicionamento de ar, variando a geometria e utilizando outros tipos de vidros.
- Investigar o impacto da utilização de iluminação natural através de aberturas em mais de uma face do envelope da edificação, além de investigar a influência em outras orientações.
- Avaliar a redução de consumo de energia através da utilização de proteções solares externas e internas, considerando também o comportamento do usuário na manipulação dessas proteções.
- Investigar mais profundamente o impacto da carga térmica gerada pelo sistema de iluminação artificial.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, C.N.D. **Iluminação e Eficiência Energética** – Parte I: Estratégias de Projetos para uma Arquitetura Sustentável. Cadernos Eletrônicos da Pós 2002; PPG-FAU. Disponível em: <www.unb.br/fau/pos_graduacao/cadernos_eletronicos/eficiencia_energetica.pdf>. Acessado em 15 de out. 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel. 3ª. Edição. 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=659>. Acessado em: ago. 2009.
- AMARAL, Vanine Borges; CABÚS, Ricardo C. Iluminando a Igreja Matriz do Pilar - AL. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. **Anais do XI ENTAC**. Porto Alegre: ANTAC, 2006.
- ARAÚJO, Iuri Avila L.; CABÚS, Ricardo Carvalho. Influência da Luz Natural Refletida pelo Entorno na Iluminação de Edifícios em Cânions Urbanos no Trópico Úmido. In: V Encontro Latino-Americano e IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Porto Alegre, 2007. **Anais...** Maceió, 2005. p. 86-95.
- ARAÚJO, M. CARDOSO, S. CABÚS, R. BITTENCOURT, L. **Levantamento das tipologias. 1º. Relatório da CT- Energ**. Relatório Preliminar de Pesquisa. Maceió, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-2** Iluminação Natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**. Instalações de Ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das Instalações. Rio de Janeiro, 2009 (a).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**. Instalações de Ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2009(b).
- BAKER. Nick.; FANCHIOTTI. Aldo. ; STEEMERS. Koen. **Daylighting in Architecture** – a European Reference book. James & James (Science Publishers) Ltd., Inglaterra, Londres, 1993.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992. 84p.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria n. 13, de 21 de junho de 2007- NR 017. Altera Norma Regulamentadora NR-17- Ergonomia. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, seção 1, p. 42, 21 de jun. 2007.

BRASIL. Decreto no 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei: 10.295 de 17 de outubro de 2001(a). Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União. Poder Executivo, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acessado em: 10 de out. 2007.

BRASIL. Lei: 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex:** Diário Oficial da União. Poder Executivo, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>> . Acessado em: 10 de out. 2007(b).

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD. **BREEAM Offices 2008 Assessor Manual**. 2008.

BITTENCOURT. Leonardo. **Uso das Cartas Solares:** Diretrizes para arquitetos. Maceió: Edufal, 2004.

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Tropical daylighting:** predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil. 2002. 288f. Architecture, University of Sheffield, Sheffield, 2002.

CABÚS, Ricardo Carvalho. TropLux: Um Sotaque Tropical na Simulação da Luz Natural em Edificações. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005a. p. 240-249.

CABÚS, Ricardo Carvalho. Validação do Programa TropLux. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005b. p. 250-259.

CABÚS. Ricardo Carvalho. **TropLux - Manual do Usuário**. Maceió: Grilu, 2005c.

CABÚS. Ricardo Carvalho. **TropSolar** versão 2.0. Cabús, Ricardo, 2005d.

CABÚS. Ricardo Carvalho. **TropLux** versão 3.12. Cabús, Ricardo, 2006.

CÂNDIDO, Christhina Maria; TÔRRES, Simone Carnaúba; CABÚS, Ricardo C. Análise da utilização de prateleiras de luz em edifício de pesquisas da UFAL; Maceió-AL. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió, 2005. **Anais...** Maceió, 2005a.

CÂNDIDO. Maria Christina. **Ventilação natural e Código de Obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura - Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2006.193f. : il.

CARDOSO. Sara de Oliveira. **Avaliação das Condições de Iluminação Natural em Salas Típicas de Edifícios de Escritórios em Maceió – AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura

- Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas. 2006. 174f.

CARLO, Joyce; PEREIRA, Fernando. O. R.; LAMBERTS, Roberto. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In: 10º ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004. v. 1. p. 29-43.

CEBRACE. Especificações Técnicas. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/v2/produtos-aplicacoes/produtos/6>>. Acessado em 08 de agosto de 2009.

CORCUERA, Daniela Karina. Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: O Conceito de Sustentabilidade nos Edifícios Inteligentes. In: NUTAU'98. - Arquitetura e Urbanismo - Tecnologias para o Século XXI, 1998, São Paulo - SP. Anais NUTAU'98, 1998 **Anais...** São Paulo, 1998.

CORREIA, Paulo. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa na Classe Comercial – AT. Ecoluz, 2007a. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/pci/main.asp>. Acessado em: 23 de mar. 2008.

CRAWLEY, D. B., et al. *EnergyPlus, A New-Generation Building Energy Simulation Program*. Building simulation 99, Sixth International IBPSA Conference, Kyoto, Japão. **Anais...BS 99**, CD-ROM.

DIAS, Amanda Fontes A.; GOMES, Vivian Accioly; CABÚS, Ricardo Carvalho. Componentes de Controle de Luz Natural em Salas de Aula e seu Desempenho Conforme a Orientação Solar do Edifício. In: VI Encontro Latino-Americano e X Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009. **Anais...** Natal, 2009. p. 1394-1400.

DORNELLES, Kelly. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Campinas, 2008. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNELLES, Kelly. RORIZ, Maurício. Métodos alternativos para identificar a absortância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3. p. 109-127. jul/set. 2007.

ELETRORÁS / PROCEL EDIFICA. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?ViewID={F9A71E97-D6DA-4EB4-84DF-1097E8EC081D}#>>. Acessado em: set. 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2008**. Ano Base 2007. Rio de Janeiro, 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook**. Washington, 2009. Disponível em: <www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>. Acessado em: set. 2009.

- ENERGYPLUS. versão 4.0. **Input Output Reference**. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. University of Illinois / Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory out. 2009a.
- ENERGYPLUS. versão 4.0. **EnergyPlusEngineering Reference**. The Reference to EnergyPlus Calculations. University of Illinois / Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory out. 2009b.
- FOSSATI, Michele. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. Tese (Doutor em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC. 2008. 282f.
- GHSI, Eneid; TINKER, John. Optimizing energy consumption in offices as a function of window area and room size. In: Seventh International Ibpsa Conference – International Building Performance Simulation association, 2001. Rio de Janeiro. **Proceedings...** v2.
- GHSI, Eneid. ; TINKER, John A ; IBRAHIM, Siti Halipah . Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído** (São Paulo), Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, 2005.
- GHSI, Eneid; NASCIMENTO, Isis S. P. **Manual de instrução de uso dos aparelhos HOBOS e Programa BoxCar Pro 4.0**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, set. 2004.
- HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P., LONGMORE, J. **Iluminação natural**. Tradução Antônio S.L. de Farias. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- HVIID. Christian Anker; NIELSEN, Toke Rammer; SVENDSEN, Svend. Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption. **Solar Energy**. no 82, p 787-798, abr. 2008. ISSN 0038-092X.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. Paris, 2008. Disponível em: < www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2008/Key_Stats_2008.pdf>. Acessado em: 02 set. 2008.
- KARASHIMA. Thiago Machado. **Avaliação de diferentes ferramentas para a avaliação da carga térmica e sua aplicação na análise energética de edifícios**. Trabalho Final de Graduação. Universidade de Brasília, nov. 2006.
- KRARTI Moncef, ERICKSON Paul M., HILLMAN Timothy C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**. 40. p. 747-754. 2005. ISSN 0360-1323.
- LAMBERTS, Roberto. DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.
- LEDER, Maria S. PEREIRA, Fernando R. O. CLARO, Anderson. Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1. p. 89-104. jan/mar. 2008.

- LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.658f.
- LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN. **Commercial Interior rating system**. Washington, nov. 2008.
- LI, Danny H.W.; CHEUNG, Gary H.W.; LAU, Chris C.S. A simplified procedure for determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept. **Building and Environment**. 41. p. 578-589. 2006. ISSN 0360-1323.
- LOURA, Rejane Magiag; ASSIS, Eleonora Sad; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. Analysis Of *EnergyPlus* Daylighting Module Results. A Brazilian Case. In: Building Simulation 2009 Conference, 2009, Glasgow. **Proceedings of Building Simulation 2009**, 2009.
- MACEIÓ – AL. **Lei 3537 de 23 de dezembro de 1985**. Institui o Código de Edificações de Maceió compreendendo os objetivos e os demais, diretrizes e demais disposições desta lei. Código de Edificações da cidade de Maceió – AL. 1985.
- MAJOROS, András. Daylighting. Serie passive and Low Energy Architecture Internacional – Design tools and Techniques. **PLEA Notes**, n° 4.Ed University of Queensland, Australia, 1998.
- MARDALJEVIC John. The Simulation of Annual Daylighting Profiles for Internal Illuminance. **Lighting Research and Technology**, v. 32, no. 3, p. 111-118, 2000.
- MOORE. Fuller. **Concepts and practices of architectural daylighting**. New York: VNR comp. 1985.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Brasília: MME: Procel Edifica, 2009a.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília: MME: Procel Edifica, 2009b.
- NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful Daylight Illuminances: A New Paradigm for Assessing Daylight in Building. **Lighting Research and Technology**, v. 37, no 1, p 41-59, 2005.
- NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**, v. 38, no 7, p 905-913, jul. 2006. ISSN: 0378-7788.
- ONSET COMPUTER CORPORATION. Hobo H8 Family User's Manual. Bourne, 2008.

- PEREIRA, Carlos R. PEREIRA, Fernando R. O. CLARO, Anderson. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4. p. 103-115. out/dez. 2008.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Avaliação de Políticas Públicas para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em Edificações**. Relatório PNUMA – Iniciativa para Edificações e Construções Sustentáveis. Tradução Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo, 2009.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório de desenvolvimento humano 2007/2008**. Combater as alterações climáticas: Solidariedade humana num mundo dividido. Tradução IPAD. 1 UN Plaza, Nova York, 2007.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil**. Sumário Executivo. Ano Base 2005. Rio de Janeiro 2007. Disponível em: www.procelinfo.com.br. Acessado em: set .2006.
- RAMOS. Greici. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa EnergyPlus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC. 2008.120f.
- REINHART. Christoph F.; WALKENHORST. Oliver. Validation dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, 683-697 p. , jan. 2001. ISSN: 0378-7788.
- REINHART, Christoph F. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. Conference of the ACEEE Summer Study on Energy Efficient Buildings, **Proceedings...** 2002, pp.1-12.
- ROISIN, B.; et al. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, 514-523 p., abr. 2007. ISSN: 0378-7788.
- SHIMID. Aloisio Leoni. **A Idéia de Conforto**. Reflexões sobre o Ambiente Construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.340f.
- SOUZA. Marcos Barros de. **Potencialidade de Aproveitamento da Luz Natural através da Utilização de Sistemas Automáticos de Controle para a Economia de Energia Elétrica..** Tese (Doutor em Engenharia de Produção) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 234f.
- TREGENZA, Peter. WATERS, I.M., Daylight coefficients. **Lighting Research & Technology**. 15(2), 1983. p. 65-71.
- TREGENZA, P., The Monte Carlo method in lighting calculations. **Lighting Research & Technology**. 15(4). 1983. p. 163-170.
- TREGENZA, Peter.;LOE, David. **The design of lighting**. Londres: E & FN Spon, 1998. 164 p.

U.S. Department of Energy. **Energyplus, versão 4.0**. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2009. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/reg_form.cfm>. Acessado em: dez. 2009.

WALLACE, J.R., M.F. COHEN, AND D.P. GREENBERG. A two-pass solution to the rendering equation: A synthesis of ray tracing and radiosity methods. **Computer Graphics**, 1987. 21(4): p. 311-320. ISSN: 0097-8930.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Factos e Tendências**. Eficiência Energética em Edifícios. Realidades Empresariais e Oportunidades. Relatório Síntese. 2007. Disponível em: <<http://www.wbcds.org/web/eeb/EEBSummary-portuguese.pdf>>. Acessado em: set. 2009.

Anexo 1

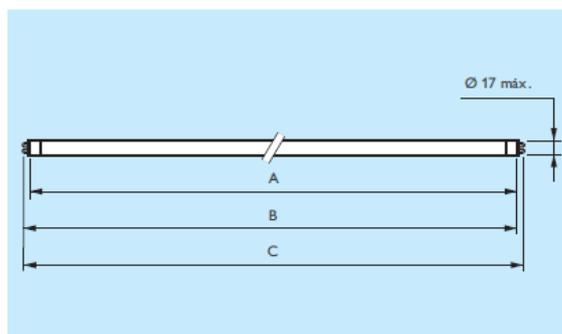
Propriedades do vidro refletivo utilizado para a simulação.

Monolítico Propriedades Térmicas e Ópticas											Laminado Refletivo Propriedades Térmicas e Ópticas												
Cores	Código	Espessura (mm)	Fatores Luminosos (%)		Fatores Transmíticos (%)			Fator Solar (%)	U-Value (W/m².K)	g-Value (%)	Heat Gain (W/m²)	Cores	Código	Espessura (mm)	Fatores Luminosos (%)		Fatores Transmíticos (%)			Fator Solar (%)	U-Value (W/m².K)	g-Value (%)	Heat Gain (W/m²)
			Transmissão	Reflexão	Transmissão	Reflexão	Absorção								Transmissão	Reflexão	Absorção						
Prata Metálica	T14 P6	4	14	33	13	29	58	26,6	0,02	0,31	231	Prata Metálica	T14 P6-3.3.1	4	14	43	12	36	52	27,3	0,23	0,37	245
												Prata Metálica	T14 P6-4.4.1	8	14	43	12	34	54	26,8	0,17	0,30	242
Azul Interferência	T14 A1	4	14	26	13	22	65	26,9	4,07	0,31	232	Azul Interferência	T14 A1-3.3.1	4	14	42	11	34	55	27,8	4,28	0,31	244
												Azul Interferência	T14 A1-4.4.1	8	14	41	11	33	58	27,2	4,20	0,31	246
Prata	T20 P6	4	20	25	17	24	70	29,5	4,06	0,34	252	Prata	T20 P6-3.3.1	4	20	30	15	29	56	30,9	4,27	0,36	273
												Prata	T20 P6-4.4.1	8	20	31	14	29	58	30,5	4,20	0,36	258
Verde	T30 P1	4	30	33	32	33	46	43,5	5,66	0,5	308	Verde Interferência	T30 P1-3.3.1	4	30	37	28	25	46	41,5	6,13	0,67	349
												Verde Interferência	T30 P1-4.4.1	8	30	37	27	25	48	40,9	6,10	0,67	344
Cinza	T30 C2	4	30	19	30	16	54	44,3	5,88	0,67	367	Cinza	T30 C2-3.3.1	4	29	29	27	22	51	41,3	6,18	0,67	348
												Cinza	T30 C2-4.4.1	8	29	29	25	22	53	40,9	6,15	0,67	342

Valores aproximados referentes a aplicação da camada refletiva em face 2. Ver aplicações face 3, consultar a Colores antes de efetuar o pedido. Aplicações em face 1 ou cor de face refletiva mesmo espessa em ambiente são não previstas.

Anexo 2

1. Procedimento do projeto luminotécnico
 - a. Escolha da lâmpada



Diagramas de dimensões em mm

Figura 50: lâmpada TL5 28W.

Fonte : <http://www.luz.philips.com.br/archives/TL5Agost2008.pdf>

Tabela 16: Dimensão da lâmpada

Dimensão da Lâmpada (mm)			
A	B(min)	B(Max)	C(Max)
1149.0	1153.7	1156.1	1163.2

Tabela 17: Característica da lâmpada escolhida

Características da Lâmpada						
Lâmpada/Cor	Potência (W)	Fluxo luminoso a 25° (lm)	IRC	Temperatura de Cor (K)	Eficiência luminosa a 35° (lm/W)	Vida Mediana (h)
TL5/840	28	2600	85	4000	104	24.000

Tabela 18: Característica do reator

Reator eletrônico dimerizável para 2 lâmpadas				
Lâmpada/Cor	Corrente da rede (A)	Potência total (lâmpada+reator) (W)	Fator de Potência	Fator de Fluxo luminoso
2x TL528W	0,28 A	62W	0.99	1

b. Escolha da luminária



ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

2006 2XT16 28W



2006.228.100

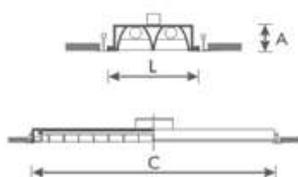
Especificação: Luminária de embutir em forro de gesso ou modulado para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W. Corpo e aletas planas em chapa de aço tratada com acabamento em pintura eletrostática epóxi-pó na cor branca. Refletor em alumínio anodizado de alto brilho e cobre-soquete com acabamento especular de alto brilho. Equipada com porta-lâmpada antivibratório em policarbonato, com trava de segurança e proteção contra aquecimento nos contatos.

Aplicação: Ambientes onde há o exercício de tarefas mistas com uso de computadores, exigindo controle de ofuscamento e alto rendimento como escritório, loja, biblioteca, escola, banco, hospital, etc.

Rendimento: 72%

Dimensões: A= 55 x L= 203 x C= 1243 mm. / Modulação: 212 x 1250 mm. / Nicho: 180 x 1230 mm.

DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

TETO (%)	70			50			30			0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0	0
PISO (%)	10			10			10			0
Kr	FATOR DE UTILIZACAO (X 0.01)									
0.60	38	33	29	37	32	29	32	29	28	28
0.80	45	40	36	44	39	36	39	36	34	34
1.00	50	45	42	49	45	42	44	41	40	40
1.25	55	51	47	54	50	47	49	47	45	45
1.50	58	54	51	57	54	51	53	50	49	49
2.00	63	60	57	62	59	57	58	56	55	55
2.50	66	64	61	65	63	61	62	60	58	58
3.00	68	66	64	67	65	63	64	62	61	61
4.00	71	69	67	69	68	66	66	65	63	63
5.00	72	70	69	71	69	68	68	67	65	65

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

CLASSE	ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO [lx]							
	2000	1000	500	≤300	2000	1000	500	≤300
A								
B								
C								
D								
E								
	e	b	c	d	e	f	g	h

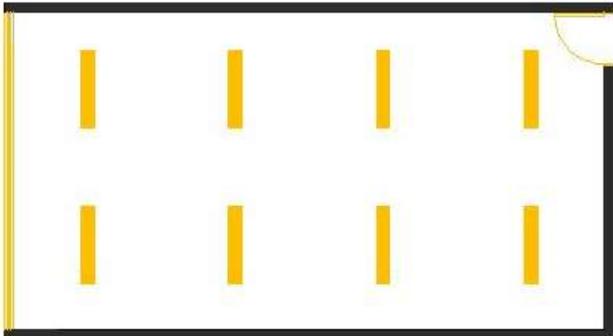
Apêndice 1

c. Cálculo Luminotécnico

Calculo Luminotécnico				
Modelo		1:1,5		
Descrição do ambiente	Largura	a	m	5.00
	Comprimento	b	m	7.50
	Área	A	m ²	37.50
	Pé direito	H	m	2.70
	Pé direito útil	$h = H - h_{pl. Trab} - h_{luminaria}$	m	1.95
	Índice do recinto	$k = \frac{(a \cdot b)}{h(a+b)}$		1.54
	Fator de depreciação	FD		0.80
	Coeficiente de reflexão	teto ρ_1		0.82
	Coeficiente de reflexão	paredes ρ_2		0.73
	Coeficiente de reflexão	piso ρ_3		0.20
Característica de iluminação	Iluminância Planejada	E_m	lx	500
	Tonalidade ou Temperatura de Cor			4000 K
	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85
Lâmpadas e Luminárias	Tipo de lâmpada			TL5 - 28W-HE/840
	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	ϕ	lm	2600
	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2
	Tipo de Luminária			ITAIM 2006.228.100
	Fator de Utilização (fornecido pelo fabricante da luminária)			0.59
	Quantidade de Lâmpadas	$\frac{n = E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u}$	unid	9.78
	Quantidade de Luminárias $N_i = n/z$		unid	5
	Potência Da lâmpada		W	28
Potência do reator		W	6	
Controle de Cálculo	Quantidade de Luminárias na Instalação	n_i	unid	7
	Iluminância Alcançada	$\frac{E = z \cdot n_i \cdot \phi \cdot F_U}{A \cdot F_d}$	lx	716
Consumo da Instalação	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W/1000$	KW	0.43
	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m ²	11
	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m ² a cada 100lx	2.20



Calculo Luminotécnico					
Modelo			1:1,83		
Descrição do ambiente	Largura	a	m	5.00	
	Comprimento	b	m	9.15	
	Área	A	m ²	45.75	
	Pé direito	H	m	2.70	
	Pé direito útil	$h = H - h_{pl. Trab} - h_{luminaria}$		m	1.90
	Índice do recinto	k	$k = \frac{(a \cdot b)}{h(a+b)}$		1.70
	Fator de depreciação	FD			0.80
	Coeficiente de reflexão	teto ρ_1			0.82
	Coeficiente de reflexão	paredes ρ_2			0.73
Coeficiente de reflexão	piso ρ_3			0.20	
Característica de iluminação	Iluminância Planejada	E_m	IRC	500	
	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	4000 K	
	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85	
Lâmpadas e Luminárias	Tipo de lâmpada			TL5 -28W-HE/840	
	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	ϕ	lm	2600	
	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2	
	Tipo de Luminária	ITAIM 2006.228.100			
	Fator de Utilização (fornecido pelo fabricante da luminária)	FU			0.59
	Quantidade de Lâmpadas	$\frac{n = E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u}$		unid	11.93
	Quantidade de Luminárias $N = n/z$			unid	6
	Potência Da lâmpada			W	28
Potência do reator			W	6	
Controle de Cálculo	Quantidade de Luminárias na Instalação	n_i		unid	8
	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot n_i \cdot \phi \cdot F_u}{A \cdot F_d}$		lx	671
Consumo da Instalação	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W / 1000$		KW	0.50
	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000 / A$		W/m ²	11
	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100 / E$		W/m ² a cada 100lx	2.20



Calculo Luminotécnico					
Modelo			1:2,23		
Descrição do ambiente	Largura	a	m	5.00	
	Comprimento	b	m	11.16	
	Área	A	m ²	55.80	
	Pé direito	H	m	2.70	
	Pé direito útil	$h = H - h_{pl. Trab} - h_{luminaria}$		m	1.90
	Índice do recinto	k	$\frac{k = (a.b)}{h(a+b)}$		1.82
	Fator de depreciação	FD	0.80		
	Coeficiente de reflexão	teto	0.82		
	Coeficiente de reflexão	paredes	0.73		
	Coeficiente de reflexão	piso	0.20		
Característica de iluminação	Iluminância Planejada	E_m	lx	500	
	Tonalidade ou Temperatura de Cor	4000 K			
	Índice de Reprodução de Cores	IRC		85	
Lâmpadas e Luminárias	Tipo de lâmpada	TL5 -28W-HE/840			
	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	lm	2600		
	Lâmpadas por Luminária	unid	2		
	Tipo de Luminária	ITAIM 2006.228.100			
	Fator de Utilização (fornecido pelo fabricante da	0.62			
	Quantidade de Lâmpadas	$\frac{i = E_m.A.Fd}{\phi.Fu}$	unid	13.89	
	Quantidade de Luminárias $N = n/z$			unid	7
	Potência Da lâmpada			W	28
Potência do reator			W	6	
Controle de Cálculo	Quantidade de Luminárias na Instalação	n_i	unid	10	
	Iluminância Alcançada	$\frac{= z.n_i.\phi.Fl}{A.Fd}$	lx	720	
Consumo da Instalação	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i.W/1000$	KW	0.62	
	Densidade da Potência	$D = P_t.1000/A$	W/m ²	11	
	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D.100/E$	W/m ² a cada 100lx	2.20	

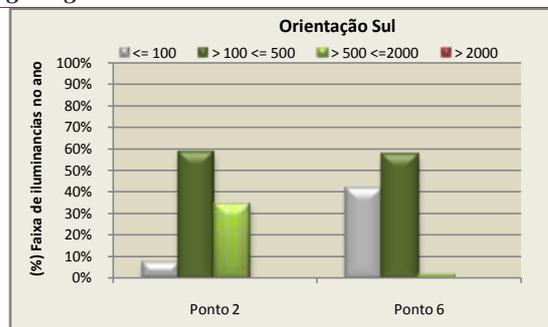
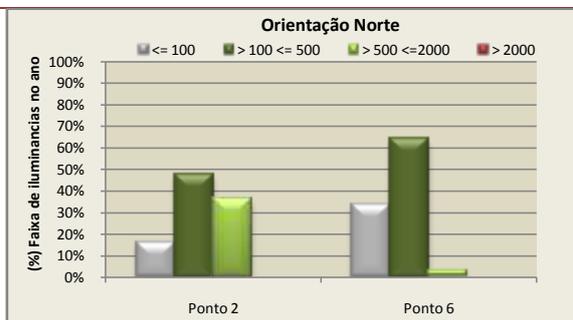
Apêndice 2

Gráficos de iluminâncias

Modelo 1: 1,5

Área de Piso 1/6 – PJF: 56,3%

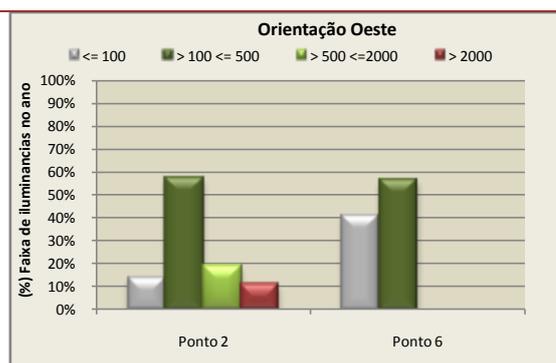
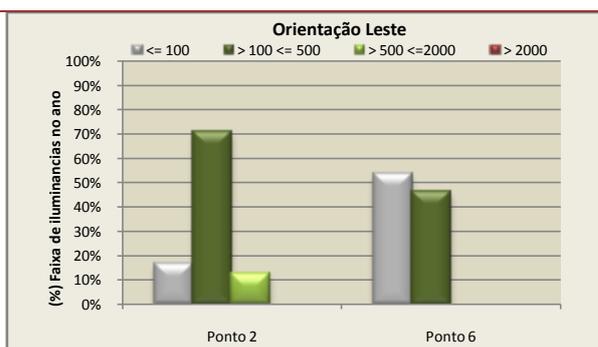
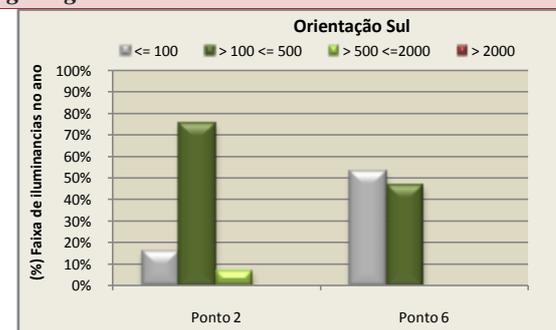
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1: 1,15

Área de Piso 1/12 – PJF: 21,5%

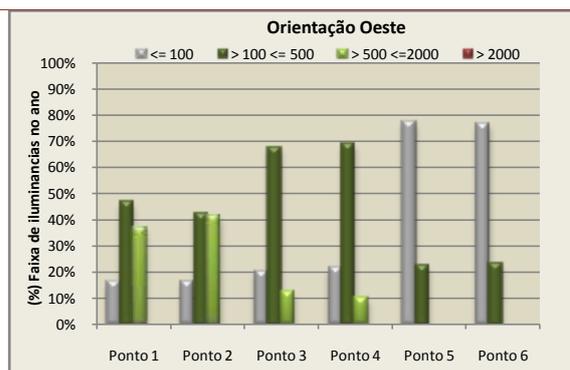
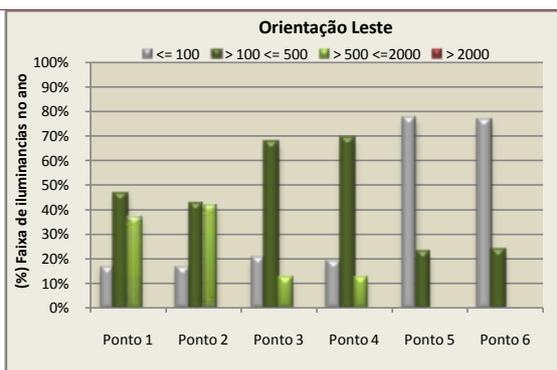
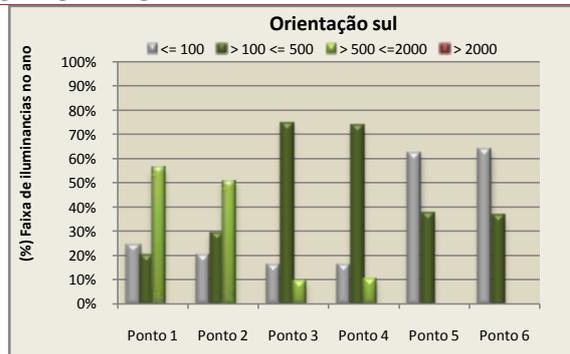
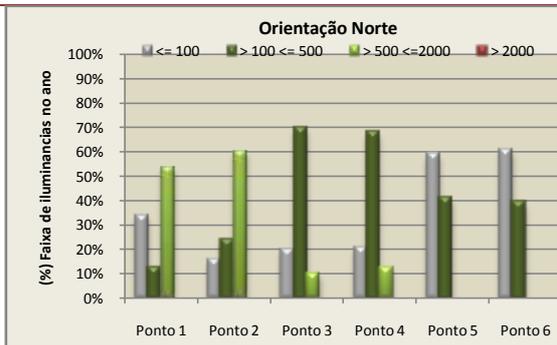
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1: 1,5

Área de Piso 1/6 – PJF: 43%

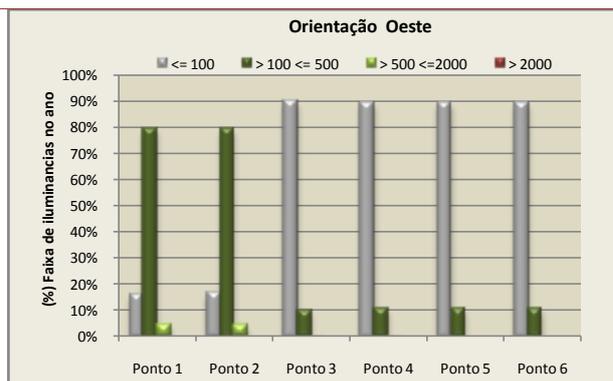
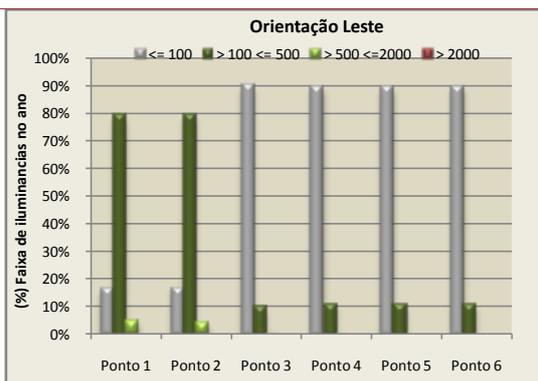
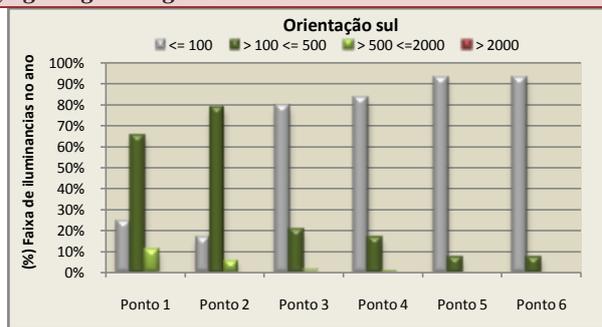
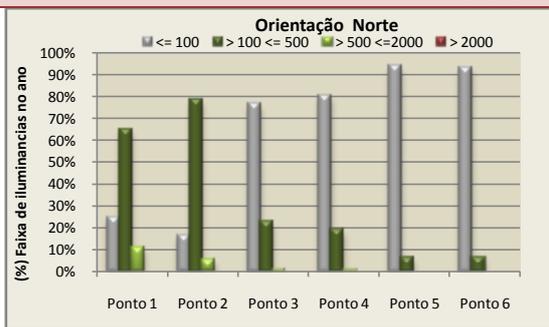
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1: 1,5

Área de Piso 1/12 – PJF: 21,5%

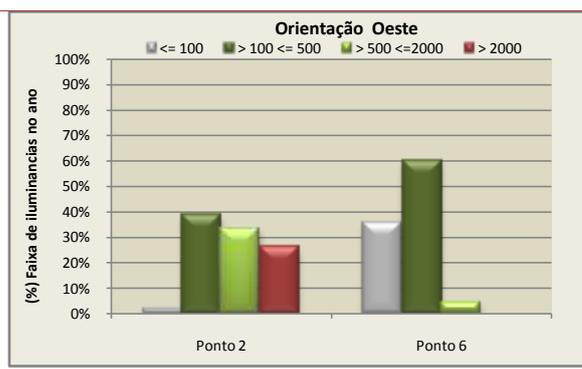
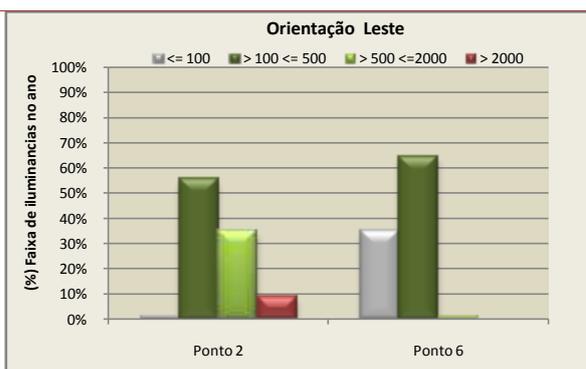
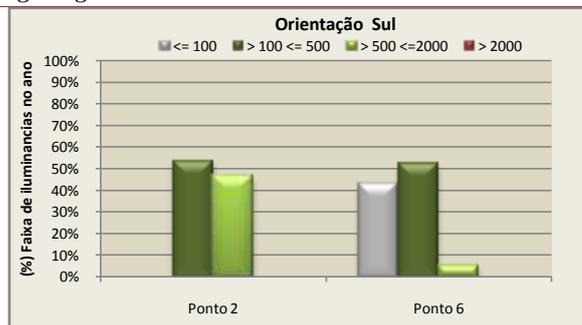
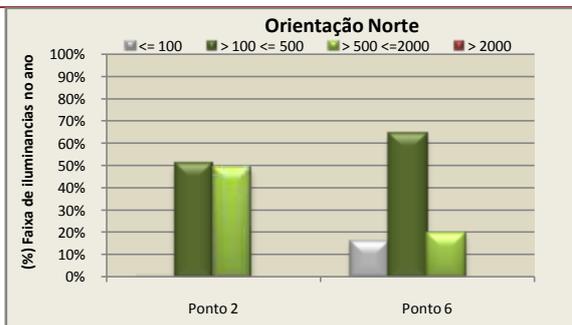
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1:1, 83

Área de Piso 1/6 – PJF: 43%

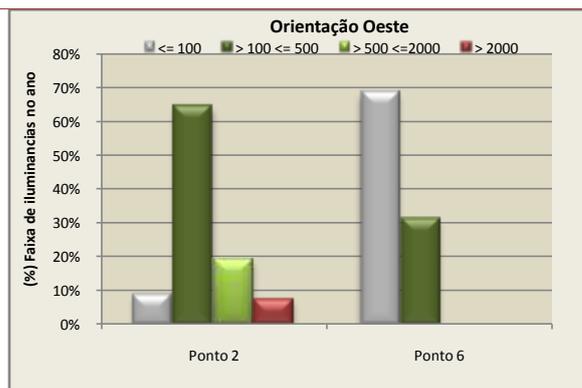
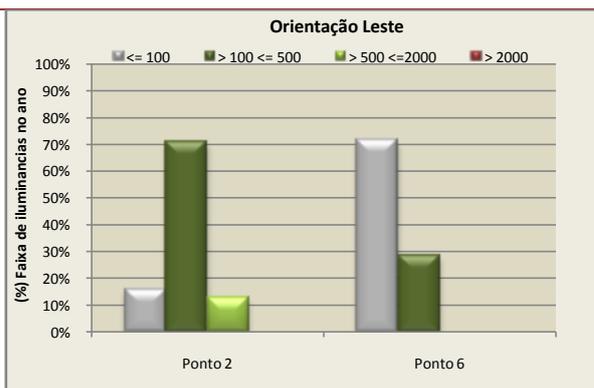
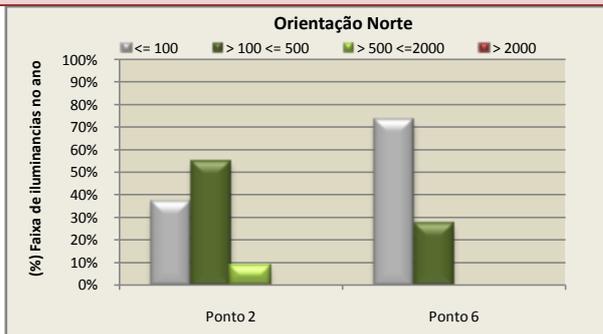
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1:1, 83

Área de Piso 1/12 – PJF: 29,33%

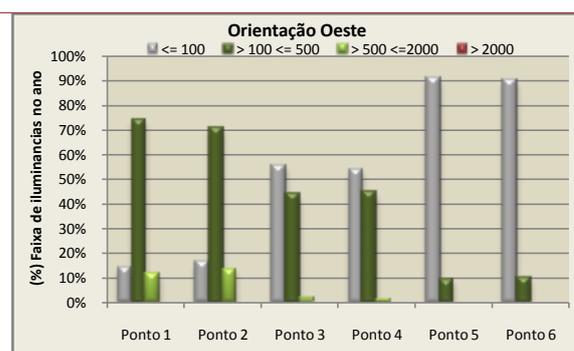
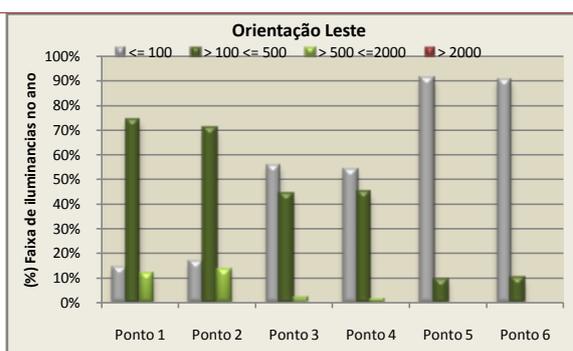
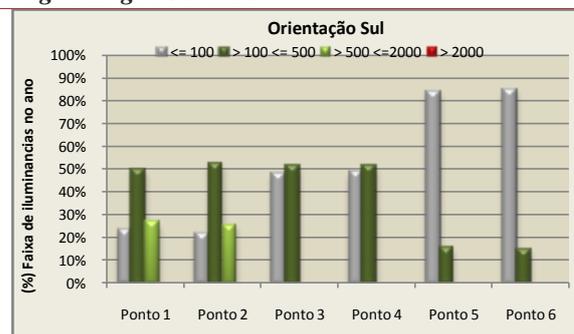
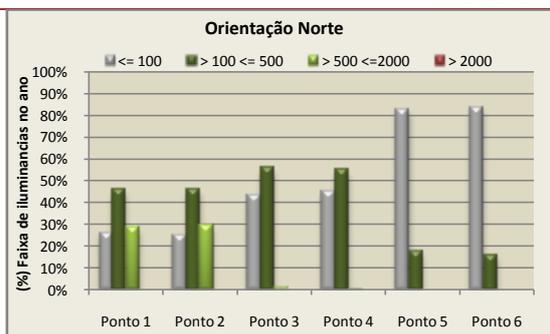
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1:1, 83

Área de Piso 1/6 – PJF: 56,3%

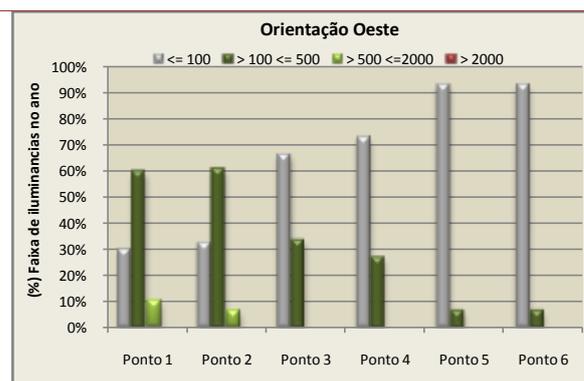
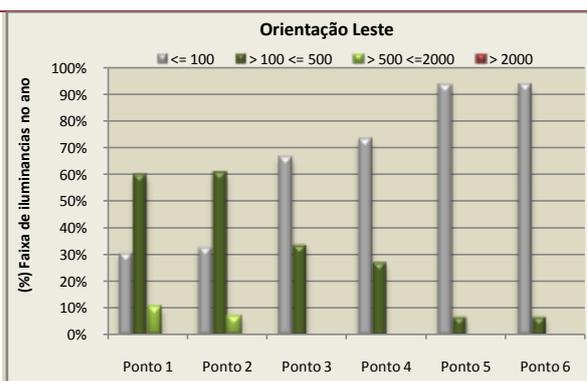
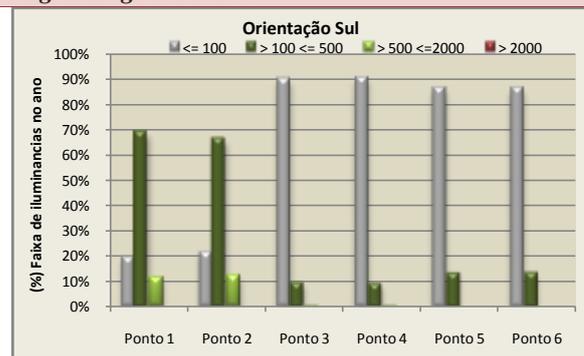
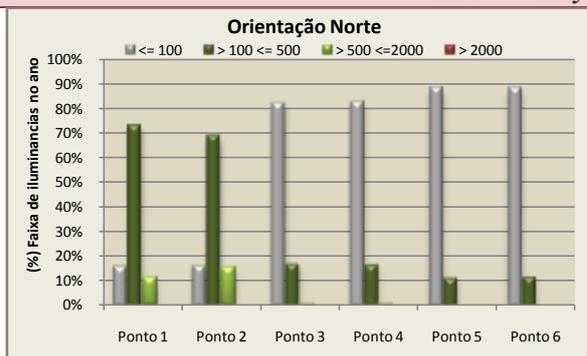
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1: 1,83

Área de Piso 1/12 – PJF: 29,33%

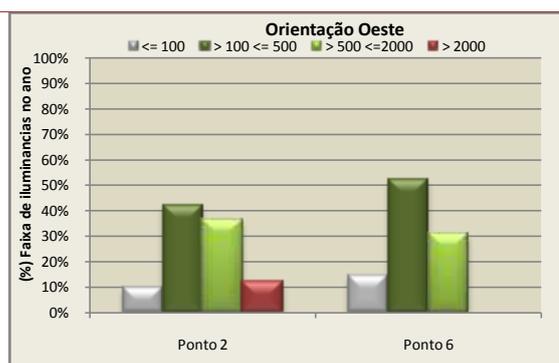
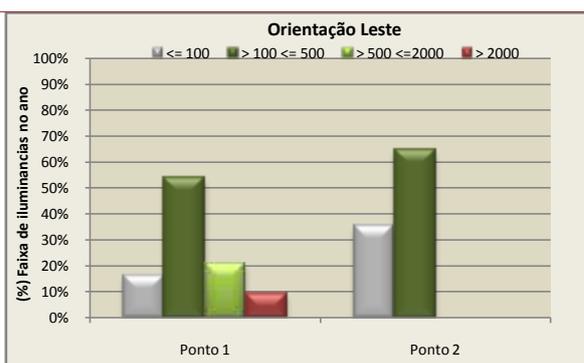
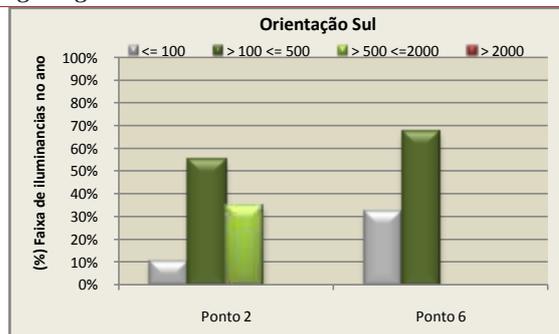
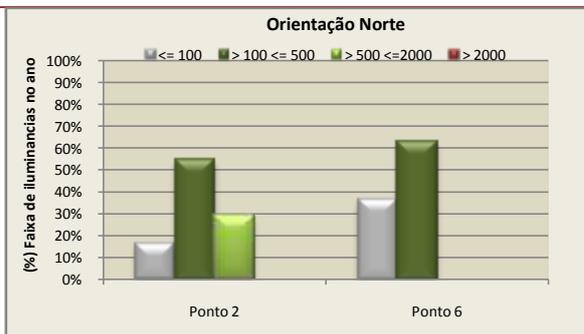
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/6 – PJF: 68,6%

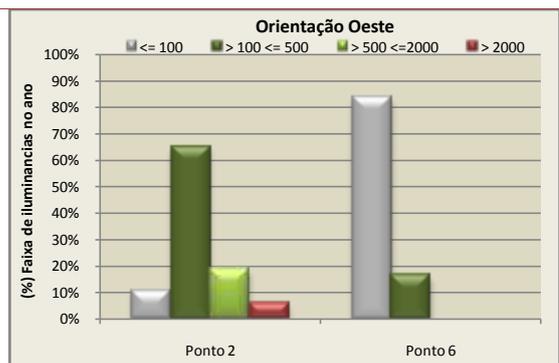
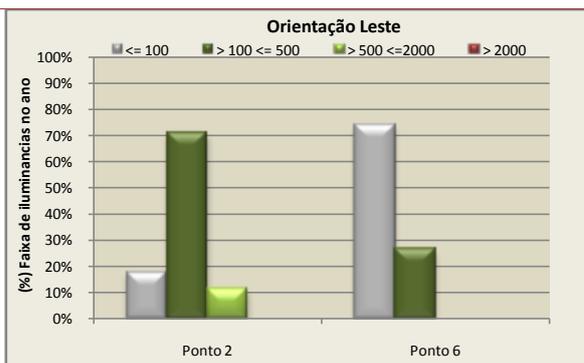
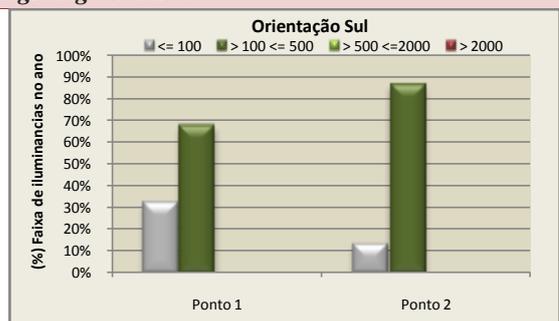
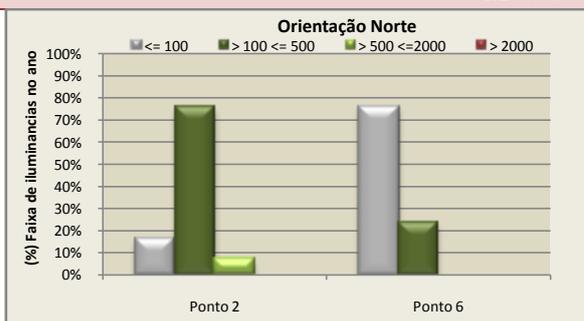
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/12 – PJF: 34,3%

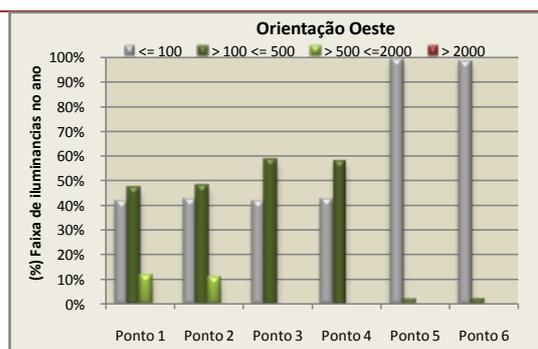
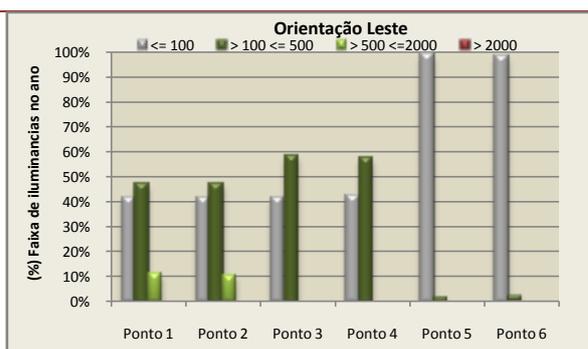
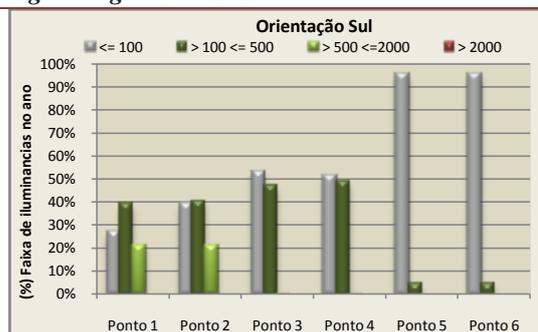
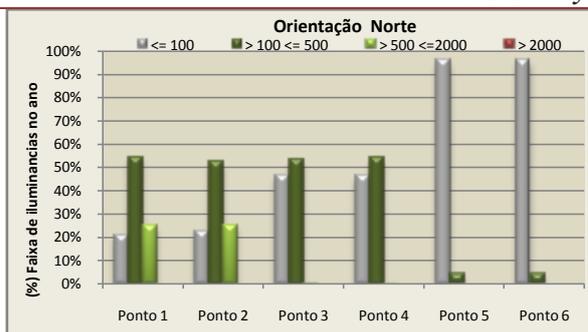
Método: Daylighting: Controls



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/6 – PJF: 68,6%

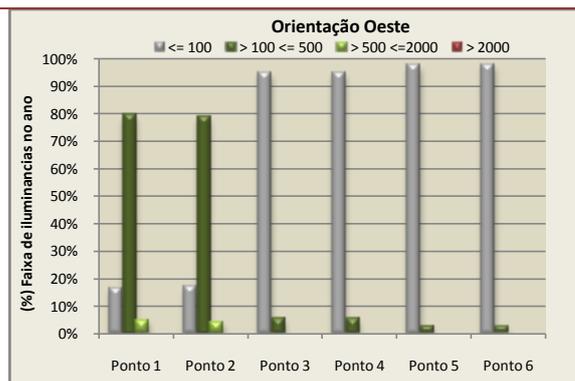
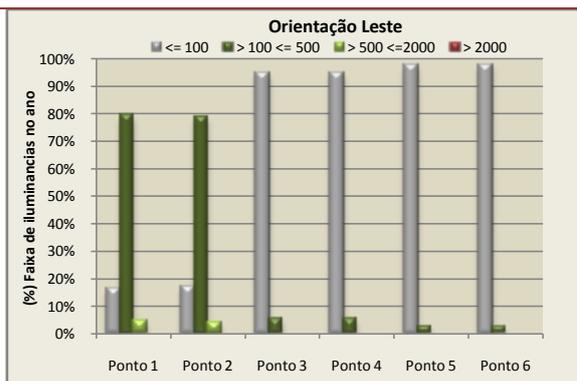
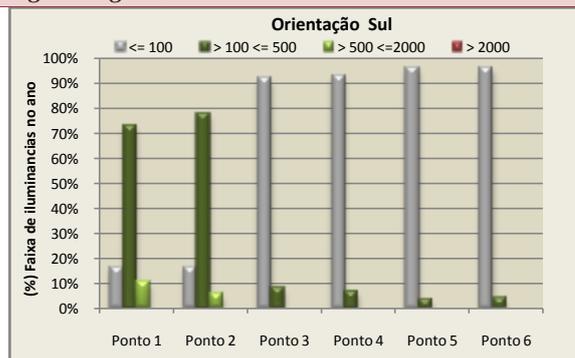
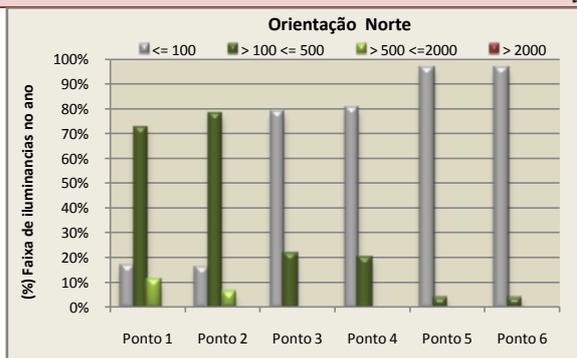
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/12 – PJF: 34,3%

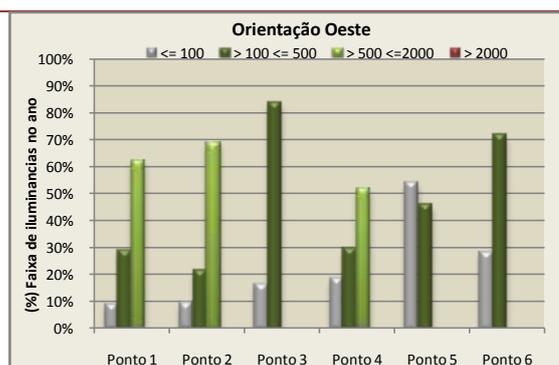
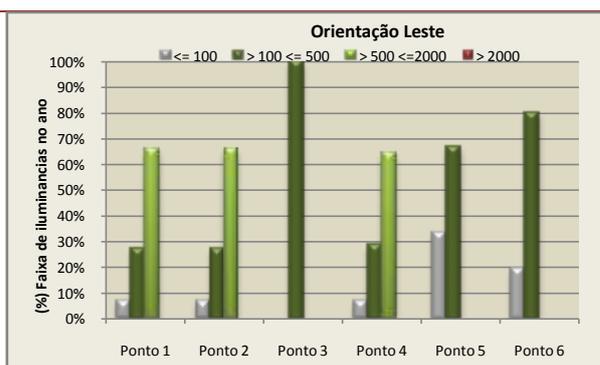
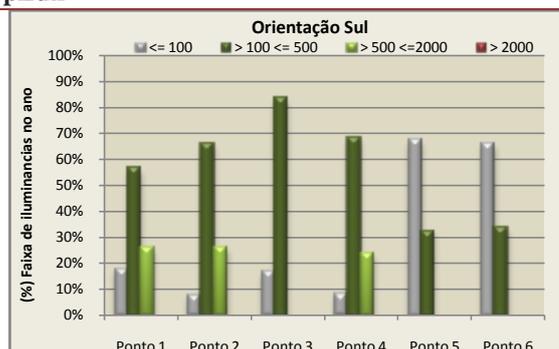
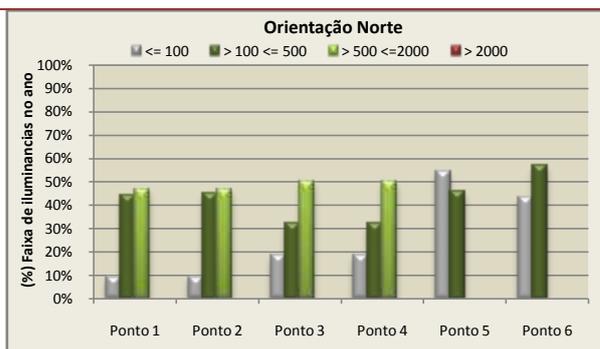
Método: Daylighting: DELight Controls



Modelo 1: 1,5

Área de Piso 1/6 – PJF: 43%

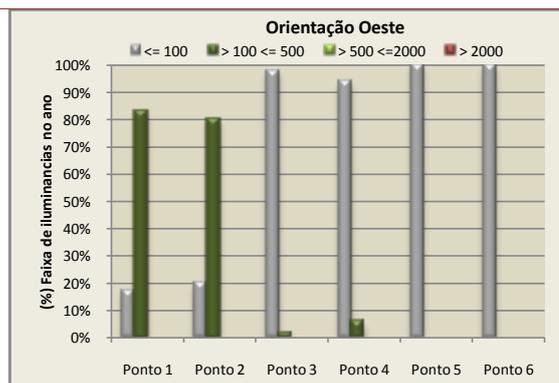
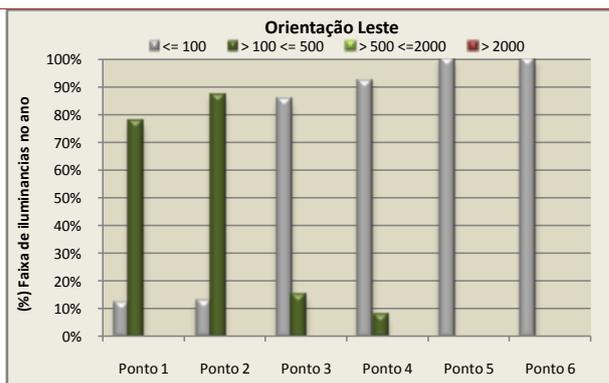
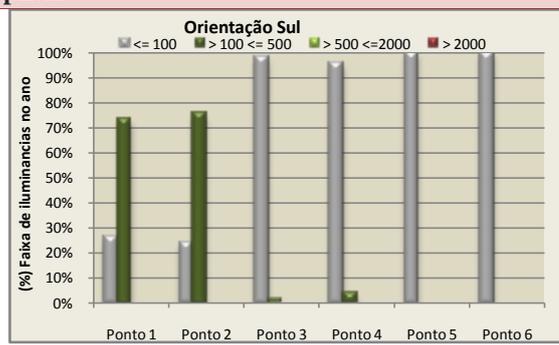
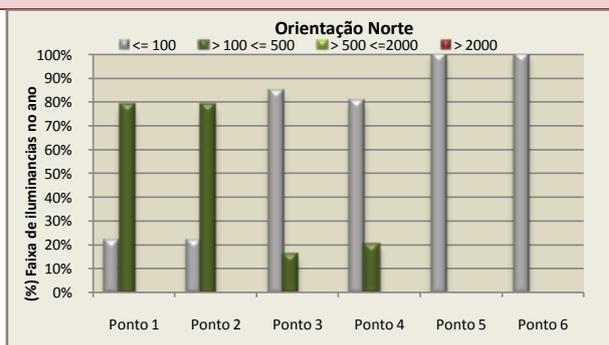
TropLux



Modelo 1: 1,5

Área de Piso 1/12 – PJF: 21,5%

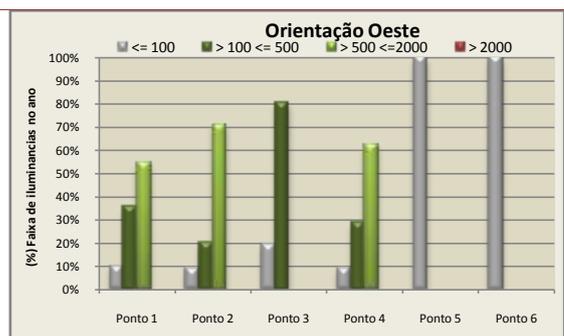
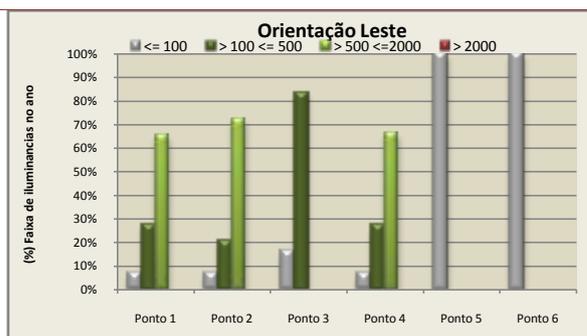
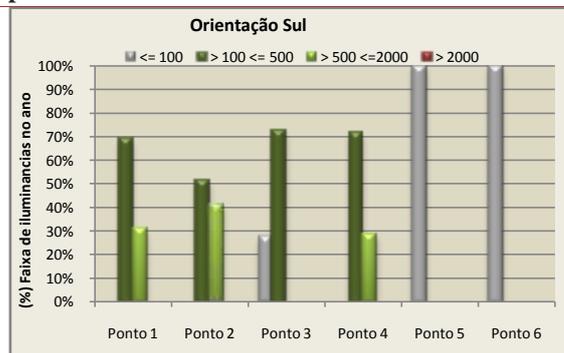
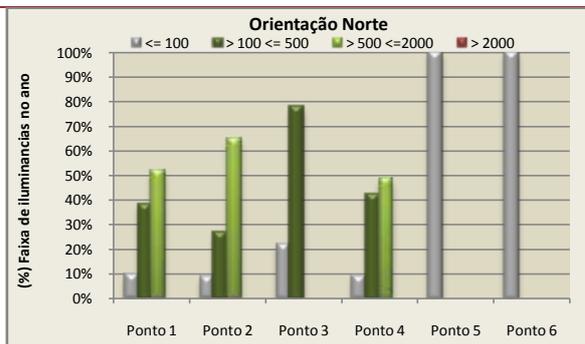
TropLux



Modelo 1: 1,83

Área de Piso 1/6 – PJF: 56,3%

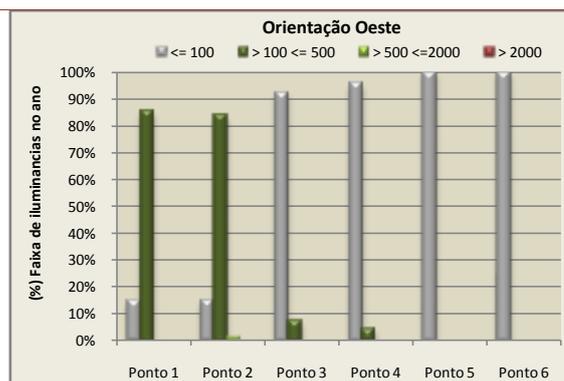
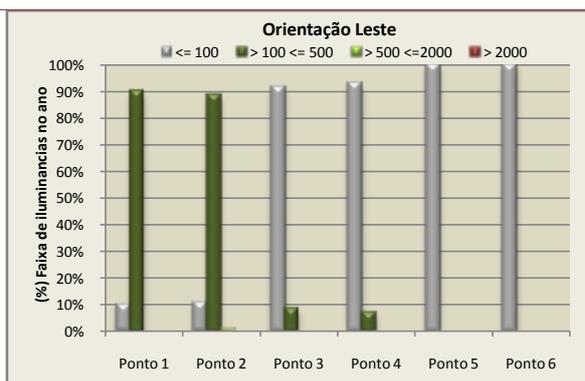
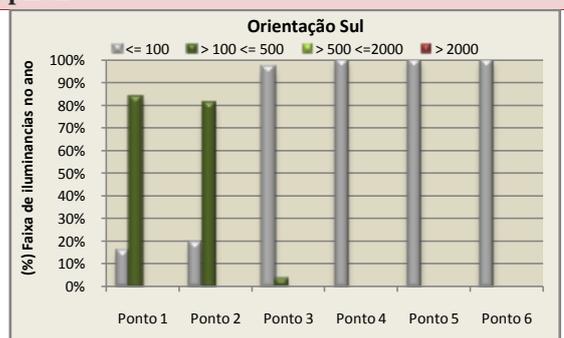
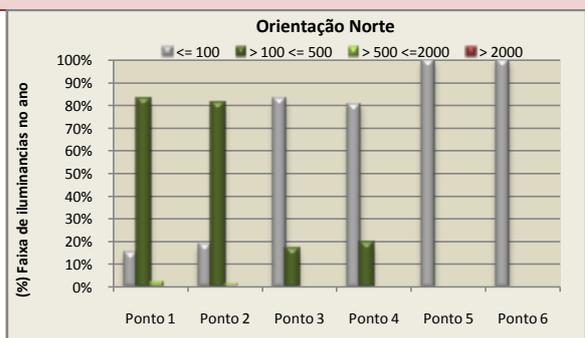
TropLux



Modelo 1: 1,83

Área de Piso 1/12 – PJF: 29,33%

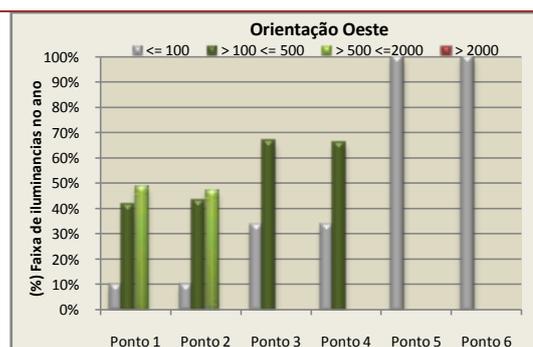
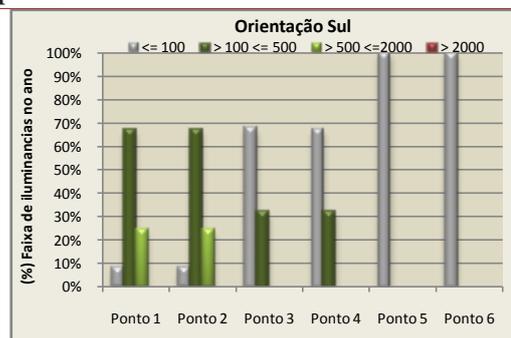
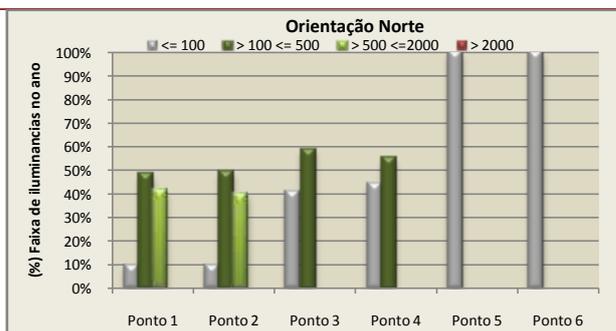
TropLux



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/6 – PJF: 68,6%

TropLux



Modelo 1: 2,23

Área de Piso 1/12 – PJF: 34,3%

TropLux

