

## A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC

Evelise Leite Didoné





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Dissertação de Mestrado

Evelise Leite Didoné

A INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS CONTEMPORÂNEOS DE  
ESCRITÓRIOS EM FLORIANÓPOLIS/SC

Florianópolis, 2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Evelise Leite Didoné

A INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS CONTEMPORÂNEOS DE  
ESCRITÓRIOS EM FLORIANÓPOLIS/SC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Fernando O. R. Pereira, Ph.D.

Florianópolis, 2009



Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

D557 Didoné, Evelise Leite

A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC [dissertação] / Evelise Leite Didoné ; orientador, Fernando O. R. Pereira. - Florianópolis, SC, 2009.

174 f.: il., tabs., grafs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui bibliografia

1. Arquitetura. 2. Iluminação natural - Florianópolis, SC. 3. Eficiência energética. I. Pereira, Fernando Oscar Ruttkay. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 72

Evelise Leite Didoné

A INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS CONTEMPORÂNEOS DE ESCRITÓRIOS  
EM FLORIANÓPOLIS/SC

Esta dissertação foi julgada e aprovada  
perante banca examinadora de trabalho  
final, outorgando ao aluno o título de Mestre  
em Arquitetura e Urbanismo, área de  
concentração Projeto e Tecnologia do  
Ambiente Construído, do Programa de Pós-  
Graduação em Arquitetura e Urbanismo –  
PósARQ, da Universidade Federal de Santa  
Catarina - UFSC.

Prof.ª Dr.ª Carolina Palermo

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Oscar Ruttkey Pereira, Ph.D. – Orientador - UFSC

Prof.ª Dr.ª Carolina Palermo – UFSC

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. – UFSC

Prof.ª Solange Virginia Galarça Goulart, Ph.D. – UFSC

Prof. Heitor da Costa Silva, Ph.D. – UFRGS

Florianópolis, 2009

*Dedico este trabalho aos meus pais e  
irmãos, meu porto seguro.*



## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço aos meus pais, **Eliege** e **Evandacir**, que sempre me apoiaram em todas as etapas de minha formação, com dedicação, incentivo e carinho.*

*Agradeço a meus irmãos, **Everton**, **Eveline** e **Elisa**, pela compreensão e momentos de distração.*

*Ao meu orientador e professor, **Fernando Pereira**, pela orientação, paciência e dedicação.*

*Aos professores **Heitor**, **Lamberts**, **Carolina** e **Solange**, por terem aceitado fazer parte da Banca examinadora.*

*Ao **professor Fletes**, pela disponibilidade e ajuda com a estatística.*

*Aos meus **colegas e amigos do LabCon**, em especial a **Rapha**, **Gí**, **Veri**, **Carol**, **tio Marcelo**, **Juka**, **Roberto**, **Marcus**, **Pablo**, **Lucas** e **Ana**, por toda a ajuda e troca de conhecimento, amizade e companheirismo.*

*Aos **amigos do LabEEE**, em especial **Rogério**, **Márcio**, **Ana Paula**, **Andréa**, **Joyce** e **Greice**, pela atenção e troca de informações.*

*Aos eternos **amigos do GECA**, principalmente a **Belinha**, dando força, sempre presente mesmo distante.*

*Ao **Serginho**, **Cíntia**, **Mari** e **Mary** pela ajuda com os gráficos.*

*Ao **Lucas** e **Carlos** por solucionar os problemas computacionais.*

*Minha **família Casa Verde**, **Ju**, **Betoca**, **Anderson**, **Maria Aline**, **Gío**, **Chris** e **Pati**, pela acolhida e momentos divertidos.*

*As amigas de toda a vida, **Baêta**, **Nani**, **Chris**, **Dote**, **Cami**, **Lalá**, **Tica**, **Paulinha**, **Nanda** e **Kal**.*

*A **Nanda**, **Lari** e **Gu** pela amizade, apoio e presença incondicional em todos os momentos.*

*Aos **amigos e colegas da turma**, pelos momentos que passamos juntos.*

*À **Ivonete**, pela cooperação e assistência prestadas.*

*A **Capes** e ao **CNPq** pelo suporte na forma de bolsa de estudo.*

*Aos demais que, de perto ou longe, contribuíram para a elaboração deste trabalho.*

*A **Deus**, pela constante presença em minha vida.*



## RESUMO

DIDONÉ, Evelise Leite. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC.** 2009. 174f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, Florianópolis.

Muitas edificações desperdiçam relevantes oportunidades de poupar energia, por não considerar os importantes avanços ocorridos na área de eficiência energética. Em edificações não residenciais, a luz natural é de grande importância por estar fartamente disponível no horário de uso dessas edificações. Entretanto, a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo de energia. O uso da luz natural além de garantir níveis de iluminação adequados para as atividades humanas reduz a necessidade do uso da luz artificial, que em conjunto com um controle de sistemas de iluminação eficiente e a influência das aberturas e dos equipamentos, interfere nos ganhos térmicos da edificação e no consumo total de energia. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência energética considerando o aproveitamento da luz natural para a redução do consumo energético de edificações não residenciais. A metodologia foi baseada na avaliação e comparação do desempenho luminoso e energético de modelos com diferentes variáveis, através da simulação computacional integrada com o uso dos softwares *Daysim* e *EnergyPlus*. Os resultados mostraram que com os valores de *Daylight Autonomy* (DA) é possível identificar a porcentagem de área que apresenta determinada autonomia da luz natural e o consumo com iluminação artificial necessário para complementar a iluminância estipulada para o período de ocupação. O impacto do aproveitamento da luz natural no consumo energético total pode ser avaliado através das simulações integradas. O uso do controle do sistema de iluminação artificial, diante do aproveitamento da luz natural, proporcionou uma redução no consumo de energia com iluminação além de influenciar o comportamento do ar condicionado. Este trabalho mostra um caminho para a inclusão da iluminação natural na avaliação da eficiência energética de edificações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arquitetura, Eficiência Energética, Iluminação Natural

## ABSTRACT

DIDONÉ, Evelise Leite. **The influence of daylighting in energy efficiency evaluation the contemporary office buildings in Florianópolis/SC.** 2009. 174f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, Florianópolis.

Most buildings waste excellent chances of energy saving, by not considering important advances occurred in energy efficiency area. In non-residential buildings, it is very important that daylighting is available at the use time of these buildings. As artificial lighting is one of the main factor of energy consumption. The use of daylighting can provide suitable lighting levels for human activities and reduces the necessity of artificial lighting. This, together with a control of efficient lighting systems, the openings and equipment influence, interferes in the heat gains and the total energy consumption of the building. This study aimed to evaluate the energy efficiency of non-residential buildings, considering the use of natural light to reduce energy consumption caused by lighting. The methodology used, was based on the evaluation and comparison of luminous and energy performance of models with different variables, using computer simulations integrated with *Daysim* and *EnergyPlus*. The results obtained showed that with the values of Daylight Autonomy (DA) is possible to identify the percentage of area that has some autonomy of daylight and the consumption of artificial lighting required to complement illuminance set for the period of occupation. The impact of daylighting in total energy consumption could be evaluated through the integrated simulations. A reduction of energy consumption caused by lighting as well as an improvement of air conditioning performance was achieved by the implementation of a control system for artificial lighting that considers daylighting. A way for the inclusion of daylighting in the energy efficiency evaluation of buildings was developed within this work.

**KEYWORDS:** Architecture, Energy Efficiency, Daylighting



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
FIGURA 1.1: GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	22
FIGURA 1.2: FOTOS DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS EM FLORIANÓPOLIS/SC.....	24
FIGURA 1.3: CONSUMO DIÁRIO HIPOTÉTICO. ....	25
FIGURA 1.4: MAPA CONCEITUAL.....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
FIGURA 2.1: (A) E (B): USO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA .....	30
FIGURA 2.2: DIVERSIDADE DE USOS FINAIS EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS.....	30
FIGURA 2.3: EDIFÍCIO COMERCIAL DESENVOLVIDO TENDO COMO OBJETIVO UMA CERTIFICAÇÃO LEED.....	34
FIGURA 2.4: MODELO DA ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ENCE. ....	35
FIGURA 2.5: (A) E (B): SALA ILUMINADA UNILATERALMENTE, DEMONSTRANDO DEFICIÊNCIAS QUANTO À UNIFORMIDADE LUMINOSA.....	38
FIGURA 2.6: O EFEITO DA LUZ NATURAL OBTIDO COM PROTEÇÃO SOLAR NO INTERIOR DO AMBIENTE. ....	40
FIGURA 2.7: DIFERENTES FORMAS DE ILUMINAR.....	45
FIGURA 2.8: SIMULAÇÃO INTEGRADA AO PROJETO .....	47
QUADRO 2.1: PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ILUMINAÇÃO NATURAL DINÂMICA.. ....	49
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>54</b>
FIGURA 3.1: VISUALIZAÇÃO DO MODELO ANALISADO.....	55
FIGURA 3.2: (A), (B) E (C): DIMENSÕES DAS JANELAS DE ACORDO COM O PAF UTILIZADO. ....	63
FIGURA 3.3: CARACTERÍSTICAS DOS CASOS RELACIONADOS AO FATOR DE PROJEÇÃO. ....	63
FIGURA 3.4: MODELOS COM DIFERENTES ALTURAS.....	64
FIGURA 3.5: MALHAS DE PONTOS DO PLANO DE ANÁLISE.....	66
FIGURA 3.6: COMO CONFIGURA NO <i>ENERGYPLUS</i> .....	69
FIGURA 3.7: MÉTODO GRÁFICO PARA ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL. ....	71
FIGURA 3.8: MÉTODO GRÁFICO PARA ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA. ....	71
FIGURA 3.9: MAPA METODOLÓGICO.....	74

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 75

FIGURA 4.1: (A), (B), (C) E (D) GRÁFICO COM CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 25, SEM <i>BRISE</i> . ....	76
FIGURA 4.2: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 23%, PAF 25, SEM <i>BRISE</i> . ....	76
FIGURA 4.3: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.1 E 4.2. ....	76
FIGURA 4.4: M1/PAF25/SB. ....	76
FIGURA 4.5: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 25, COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	77
FIGURA 4.6: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.5. ....	77
FIGURA 4.7: M1/PAF25/AHS. ....	77
FIGURA 4.8: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 50, SEM <i>BRISE</i> . ....	78
FIGURA 4.9: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 23%, PAF 50, SEM <i>BRISE</i> . ....	78
FIGURA 4.10: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.8 E 4.9. ....	78
FIGURA 4.11: M1/PAF50/SB. ....	78
FIGURA 4.12: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 50, COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	79
FIGURA 4.13: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.12. ....	79
FIGURA 4.14: M1/PAF50/AVS. ....	79
FIGURA 4.15: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 50, COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	80
FIGURA 4.16: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 23%, PAF 50, COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	80
FIGURA 4.17: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.15 E 4.16. ....	80
FIGURA 4.18: M1/PAF50/AHS. ....	80
FIGURA 4.19: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 75, SEM <i>BRISE</i> . ....	81
FIGURA 4.20: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 23%, PAF 75, SEM <i>BRISE</i> . ....	81
FIGURA 4.21: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.19 E 4.20. ....	81
FIGURA 4.22: M1/PAF75/SB. ....	81
FIGURA 4.23: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 75, COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	82
FIGURA 4.24: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.23. ....	82
FIGURA 4.25: M1/PAF75/AVS. ....	82
FIGURA 4.26: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 75, COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	83

FIGURA 4.27: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 23%, PAF 75, COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	83
FIGURA 4.28: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.26 E 4.27. ....	83
FIGURA 4.29: M1/PAF75/AHS.....	83
FIGURA 4.30: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 25, SEM <i>BRISE</i> . ....	88
FIGURA 4.31: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.30.....	88
FIGURA 4.32: M2/PAF25/SB.....	88
FIGURA 4.33: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 25, COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	89
FIGURA 4.34: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.33.....	89
FIGURA 4.35: M2/PAF25/AHS.....	89
FIGURA 4.36: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 50 SEM <i>BRISE</i> . ....	90
FIGURA 4.37: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 23%, PAF50 SEM <i>BRISE</i> . ....	90
FIGURA 4.38: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.36 E 4.37. ....	91
FIGURA 4.39: M2/PAF50/SB.....	91
FIGURA 4.40: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 50 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	91
FIGURA 4.41: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.40.....	92
FIGURA 4.42: M2/PAF50/AVS.....	92
FIGURA 4.43: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 50 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	92
FIGURA 4.44: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 23%, PAF50 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	93
FIGURA 4.45: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.43 E 4.44. ....	93
FIGURA 4.46: M2/PAF50/AHS.....	93
FIGURA 4.47: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M1, FS 82%, PAF 75 SEM <i>BRISE</i> . ....	94
FIGURA 4.48: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 23%, PAF75 SEM <i>BRISE</i> . ....	94
FIGURA 4.49: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.47 E 4.48. ....	95
FIGURA 4.50: M2/PAF75/SB.....	95
FIGURA 4.51: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 75 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	95
FIGURA 4.52: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.51.....	96
FIGURA 4.53: M2/PAF75/AVS.....	96

FIGURA 4.54: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 82%, PAF 75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	96
FIGURA 4.55: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M2, FS 23%, PAF75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	97
FIGURA 4.56: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.54 E 4.55. ....	97
FIGURA 4.57: M2/PAF75/AHS .....	97
FIGURA 4.58: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF25 SEM <i>BRISE</i> . ....	102
FIGURA 4.59: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.58. ....	102
FIGURA 4.60: M3/PAF25/SB .....	102
FIGURA 4.61: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF25 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	103
FIGURA 4.62: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.61. ....	103
FIGURA 4.63: M3/PAF25/AHS .....	103
FIGURA 4.64: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF50 SEM <i>BRISE</i> . ....	104
FIGURA 4.65: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 23%, PAF50 SEM <i>BRISE</i> . ....	104
FIGURA 4.66: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.64 E 4.65. ....	104
FIGURA 4.67: M3/PAF50/SB .....	104
FIGURA 4.68: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF50 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	105
FIGURA 4.69: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.68. ....	105
FIGURA 4.70: M3/PAF50/AVS.....	105
FIGURA 4.71: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF50 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	106
FIGURA 4.72: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 23%, PAF50 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	106
FIGURA 4.73: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.71 E 4.72. ....	106
FIGURA 4.74: M3/PAF50/AHS .....	106
FIGURA 4.75: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF75 SEM <i>BRISE</i> . ....	107
FIGURA 4.76: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 23%, PAF75 SEM <i>BRISE</i> . ....	107
FIGURA 4.77: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.75 E 4.76. ....	107
FIGURA 4.78: M3/PAF75/SB .....	107
FIGURA 4.79: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF75 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL. ....	108
FIGURA 4.80: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.79. ....	108

FIGURA 4.81: M3/PAF75/AVS .....	108
FIGURA 4.82: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 82%, PAF75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	109
FIGURA 4.83: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M3, FS 23%, PAF75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	109
FIGURA 4.84: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.82 E 4.83. ....	109
FIGURA 4.85: M3/PAF75/AHS .....	109
FIGURA 4.86: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF25 SEM <i>BRISE</i> . ....	114
FIGURA 4.87: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.86.....	114
FIGURA 4.88: M4/PAF25/SB.....	114
FIGURA 4.89: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF25 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	115
FIGURA 4.90: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.89.....	115
FIGURA 4.91: M4/PAF25/AHS .....	115
FIGURA 4.92: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF50 SEM <i>BRISE</i> . ....	116
FIGURA 4.93: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 23%, PAF50 SEM <i>BRISE</i> . ....	116
FIGURA 4.94: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.92 E 4.93. ....	117
FIGURA 4.95: M4/PAF50/SB.....	117
FIGURA 4.96: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF50 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL.....	117
FIGURA 4.97: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.96.....	118
FIGURA 4.98: M4/PAF50/AVS .....	118
FIGURA 4.99: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF50 COM <i>BRISE</i> VERTICAL.....	118
FIGURA 4.100: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.99.....	119
FIGURA 4.101: M4/PAF50/AHS .....	119
FIGURA 4.102: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF75 SEM <i>BRISE</i> . ....	119
FIGURA 4.103: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 23%, PAF75 SEM <i>BRISE</i> . ....	120
FIGURA 4.104: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.102 E 4.103. ....	120
FIGURA 4.105: M4/PAF75/SB.....	120
FIGURA 4.106: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF75 COM <i>BRISE</i> HORIZONTAL.....	121
FIGURA 4.107: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DA FIGURA 4.106.....	121

FIGURA 4.108: M4/PAF75/AVS .....	121
FIGURA 4.109: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 82%, PAF75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	122
FIGURA 4.110: (A), (B), (C) E (D) CURVAS <i>ISODA</i> . M4, FS 23%, PAF75 COM <i>BRISE</i> VERTICAL. ....	122
FIGURA 4.111: GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PORCENTAGEM DE ÁREA E O DA NAS 4 ORIENTAÇÕES DAS FIGURAS 4.109 E 4.110. ....	123
FIGURA 4.112: M4/PAF75/AHS .....	123
FIGURA 4.113: CONSUMO ENERGÉTICO SIMULADO POR DIFERENTES MÉTODOS. MODELOS ORIENTADOS PARA NORTE.....	130
FIGURA 4.114: CASOS DO MODELO 1 ORIENTADOS PARA NORTE. ....	132
FIGURA 4.115: CASOS DO MODELO 1 ORIENTADOS PARA SUL. ....	132
FIGURA 4.116: CASOS DO MODELO 2 ORIENTADOS PARA NORTE. ....	132
FIGURA 4.117: CASOS DO MODELO 2 ORIENTADOS PARA SUL. ....	133
FIGURA 4.118: CASOS DO MODELO 3 ORIENTADOS PARA NORTE. ....	133
FIGURA 4.119: CASOS DO MODELO 3 ORIENTADOS PARA SUL. ....	133
FIGURA 4.120: CASOS DO MODELO 4 ORIENTADOS PARA NORTE. ....	134
FIGURA 4.121: CASOS DO MODELO 4 ORIENTADOS PARA SUL. ....	134
FIGURA 4.122: RELAÇÃO DO CONSUMO COM A RAZÃO [AF/AP] E [AF/V]. ....	136
FIGURA 4.123: (A), (B), (C) E (D) CONSUMO DE ILUMINAÇÃO E DE AR CONDICIONADO RELACIONADOS COM DIFERENTES VOLUMETRIAS. ....	137
FIGURA 4.124: RELAÇÃO DO DA MÉDIO COM O CONSUMO DE ENERGIA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	138
FIGURA 4.125: ETAPAS PERCORRIDAS .....	138
FIGURA 4.126: CONSUMO ANUAL DE ENERGIA SIMULADO X EQUACIONADO PARA EDIFICAÇÕES. .	140
FIGURA 4.127: CONSUMO ANUAL DE ENERGIA SIMULADO X EQUACIONADO PARA EDIFICAÇÕES. .	141
FIGURA 4.128: CONSUMO ANUAL DE ENERGIA SIMULADO X EQUACIONADO PARA EDIFICAÇÕES. .	142
FIGURA 4.129: (A) E (B) INDICADOR DE CONSUMO PRODUZIDO PELA EQUAÇÃO EM FUNÇÃO DO FATOR SOLAR E DO PAF.....	144
FIGURA 4.130: (A) E (B) INDICADOR DE CONSUMO PRODUZIDO PELA EQUAÇÃO EM FUNÇÃO DE AVS E AHS. ....	145
FIGURA 4.131: INDICADOR DE CONSUMO PRODUZIDO PELA EQUAÇÃO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE.....	145
<b>5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>147</b>
QUADRO 5.1: QUADRO SÍNTESE .....	151

<b>APÊNDICE.....</b>	<b>159</b>
FIGURA A1: DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS NO MODELO 1 .....	164
FIGURA A2: DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS NO MODELO 2 E MODELO 4.....	164
FIGURA A3: DISTRIBUIÇÃO DAS LUMINÁRIAS NO MODELO 3 .....	164
FIGURA B1: RELATÓRIO COM VALORES DE DA .....	165
FIGURA B2: RELATÓRIO COM OS GANHOS INTERNOS.....	166
FIGURA C1: GRÁFICO DO MODELO 1 SIMULADO PELO MÉTODO DA RADIOSIDADE E PELO MÉTODO SPLITFLUX. ....	167
FIGURA C2: GRÁFICO DO MODELO 2 SIMULADO PELO MÉTODO DA RADIOSIDADE E PELO MÉTODO SPLITFLUX. ....	167
FIGURA C3: GRÁFICO DO MODELO 3 SIMULADO PELO MÉTODO DA RADIOSIDADE E PELO MÉTODO SPLITFLUX. ....	168
FIGURA C4: GRÁFICO DO MODELO 4 SIMULADO PELO MÉTODO DA RADIOSIDADE E PELO MÉTODO SPLITFLUX. ....	168
FIGURA D1: (A) E (B) CONSUMO DE ENERGIA COM OS CASOS DO MODELO 1 .....	169
FIGURA D2: (C) E (D) CONSUMO DE ENERGIA COM OS CASOS DO MODELO 2 .....	169
FIGURA D3: (E) E (F) CONSUMO DE ENERGIA COM OS CASOS DO MODELO 3.....	169
FIGURA D4: (G) E (H) CONSUMO DE ENERGIA COM OS CASOS DO MODELO 4 .....	170
QUADRO E1: DADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE SPSS 16.0 PARA A EQUAÇÃO PILOTO. ....	171
QUADRO E2: DADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE SPSS 16.0 PARA A EQUAÇÃO COM VARIÁVEIS ASSOCIADAS. ....	172
QUADRO E3: DADOS OBTIDOS PELO SOFTWARE SPSS 16.0 PARA A EQUAÇÃO FINAL. ....	173

# LISTA DE TABELAS

<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
TABELA 2.1: COMPORTAMENTO TÉRMICO DE ALGUNS VIDROS.....	41
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>54</b>
TABELA 3.1: DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....	56
TABELA 3.2: DESCRIÇÃO DA TIPOLOGIA PREDOMINANTE .....	56
TABELA 3.3: REFLETÂNCIAS DE SUPERFÍCIES EM AMBIENTES DE TRABALHO .....	57
TABELA 3.4: DESCRIÇÃO DA TIPOLOGIA PREDOMINANTE .....	58
TABELA 3.5: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA LÂMPADA UTILIZADA NO PROJETO LUMINOTÉCNICO.....	58
TABELA 3.6: FATORES DETERMINANTES DA ILUMINÂNCIA ADEQUADA. ....	59
TABELA 3.7: ILUMINÂNCIAS POR CLASSES DE TAREFAS VISUAIS.....	60
TABELA 3.8: PLANTA BAIXA DOS MODELOS COM SUAS DIFERENTES ALTURAS E PROFUNDIDADES. ..	61
TABELA 3.9: PROPRIEDADES DOS VIDROS.....	63
TABELA 3.10: MODELOS COM O PÉ DIREITO DE 2,70M.....	64
TABELA 3.11: MODELO COM O PÉ DIREITO DE 3,50M.....	64
TABELA 3.12: CARACTERÍSTICAS DO MODELO BASE.....	65
TABELA 3.13: DADOS DE ENTRADA PARA MODELOS SEM PROTEÇÃO SOLAR.....	67
TABELA 3.14: DADOS DE ENTRADA PARA MODELOS COM PROTEÇÃO SOLAR.....	68
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>75</b>
TABELA 4.1: VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 1.....	86
TABELA 4.1: (CONTINUAÇÃO) VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 1.....	87
TABELA 4.2: VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 2.....	100
TABELA 4.2: (CONTINUAÇÃO) VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 2.....	101
TABELA 4.3: VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 3.....	112
TABELA 4.3: (CONTINUAÇÃO) VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 3.....	113
TABELA 4.4: VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 4.....	125
TABELA 4.4: (CONTINUAÇÃO) VALORES DE DA OBTIDOS COM OS CASOS DO MODELO 4.....	126
TABELA 4.5: SÍNTESE DOS MODELOS COM DIFERENTES VARIÁVEIS E ALTURAS. ....	128



<b>APÊNDICE.....</b>	<b>159</b>
TABELA A1: LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR LUMINLUX T5 DE ALTA EFICIÊNCIA.....	159
TABELA A2: LUMINÁRIA INDELPA: DT5 1347 2X28W .....	159
TABELA A3: CÁLCULO LUMINOTÉCNICO PARA O MODELO 1 .....	160
TABELA A4: CÁLCULO LUMINOTÉCNICO PARA O MODELO 2 .....	161
TABELA A5: CÁLCULO LUMINOTÉCNICO PARA O MODELO 3 .....	162
TABELA A6: CÁLCULO LUMINOTÉCNICO PARA O MODELO 4 .....	163
<b>ANEXO .....</b>	<b>174</b>
TABELA A: TABELA T STUDENT UTILIZADA NA EQUAÇÃO.....	174

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
COP	<i>Coefficient of performance</i>
CSV	<i>comma separated value</i>
DC	<i>Daylight Coefficient</i>
DA	<i>Daylight Autonomy</i>
DF	<i>Daylight Factor</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FS	Fator Solar
IC	Indicador de Consumo
ILD	<i>Installed Lighting Power Density</i>
IRC	Índice de Reprodução de Cores
isoDA	<i>Iso Daylight Autonomy</i>
M1	Modelo 1
M2	Modelo 2
M3	Modelo 3
M4	Modelo 4
MBase	Modelo Base
PAF	Percentual de Área de Abertura na Fachada
PALN	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
PIB	Produto Interno Bruto
PROF	Profundidade – [razão da PROF/20]
SB	Sem <i>Brise</i>
SHOCC	<i>Strawberry Hill Overseas and Community Concern</i>
TRY	<i>Test Reference Yea</i>
UDI	<i>Useful Daylight Illuminances</i>

### Entidades e Programas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aqua	Alta Qualidade Ambiental

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BEN	Balanço Energético Nacional
BLAST	<i>Basic Local Alignment Search Tool</i>
CERL	<i>U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories</i>
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
DOE	<i>Department of Energy - USA</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LBNL	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NRCC	<i>National Research Council Canada</i>
OSU	<i>Oklahoma State University</i>
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PNE	Plano Nacional de Energia
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
UI	<i>University of Illinois</i>
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>

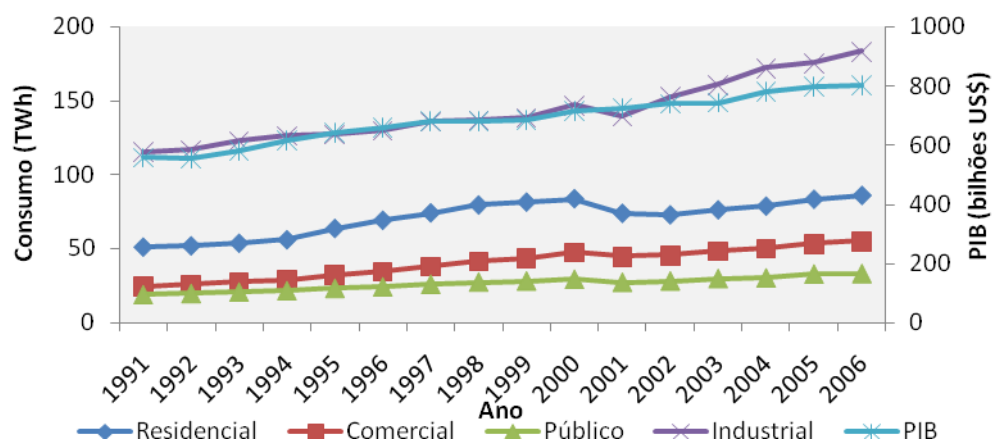
# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO .....	24
1.2 OBJETIVOS .....	26
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	27
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	27
1.3.1 MAPA CONCEITUAL .....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES .....	29
2.1.1 LEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	31
2.1.2 CERTIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO .....	33
2.2 INTEGRAÇÃO DA LUZ NATURAL COM A LUZ ARTIFICIAL.....	35
2.2.1 DISPOSITIVOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....	36
2.2.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL .....	41
2.2.3 MEDIDAS DINÂMICAS DE AVALIAÇÃO DA LUZ NATURAL .....	45
2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	47
2.3.1 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO .....	48
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>54</b>
3.1 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS.....	55
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DO MODELO PREDOMINANTE .....	55
3.1.2 MODELOS PARA SIMULAÇÕES .....	60
3.1.3 PLANO DE ANÁLISE .....	65
3.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS .....	67
3.2.1 SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA.....	67
3.2.2 SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....	67
3.2.3 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA INTEGRADA .....	68
3.2.4 ARQUIVO CLIMÁTICO .....	69
3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	70

3.3.1	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS .....	70
3.3.2	MODELO DE REGRESSÃO MÚLTIPLO.....	71
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>		<b>75</b>
4.1	COMPORTAMENTO DA LUZ NATURAL.....	75
4.1.1	ANÁLISE MODELO 1 .....	75
4.1.2	ANÁLISE MODELO 2 .....	88
4.1.3	ANÁLISE MODELO 3 .....	102
4.1.4	ANÁLISE MODELO 4 .....	114
4.2	INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NO CONSUMO DE ENERGIA .....	128
4.2.1	SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA X SIMULAÇÃO INTEGRADA .....	129
4.2.2	ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES INTEGRADAS .....	131
4.2.3	RELAÇÃO <i>DAYLIGHT AUTONOMY</i> (DA) COM O CONSUMO DE ENERGIA PARA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL .....	137
4.3	EQUAÇÃO DO INDICADOR DE CONSUMO (IC) .....	138
4.3.1	DESENVOLVIMENTO DA EQUAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA .....	138
4.3.2	VARIAÇÕES DO INDICADOR DE CONSUMO (IC) COM O USO DA EQUAÇÃO.....	143
4.3.3	LIMITAÇÕES DA EQUAÇÃO .....	146
4.3.4	POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	146
<b>5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>		<b>147</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	147
5.2	CONCLUSÕES.....	148
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	151
5.3.1	LIMITAÇÕES NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO .....	151
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>153</b>
<b>APÊNDICE.....</b>		<b>159</b>
<b>ANEXO .....</b>		<b>174</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo da energia gerada é uma realidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, tornando-se uma importante questão a ser enfrentada pela economia destes países. O Brasil se inclui neste grupo, embora o consumo de energia em seu território não seja tão elevado como o consumo de energia em países de área territorial equivalente, por exemplo, os Estados Unidos (EUA) e a Austrália (LAMBERTS e CARLO, 2004). O consumo no Brasil tem crescido de forma significativa nos últimos anos. A oferta de eletricidade do país em 2007 mostrou um aumento de 5,2% em relação a 2006, atingindo um montante de 484,5 TWh (BEN, 2007). Para suprir o aumento na demanda total por energia, a Matriz Energética Brasileira vem passando por alterações na sua estrutura desde 1973, com o incremento no uso das fontes renováveis e a energia hidráulica continua com supremacia na matriz de oferta de energia elétrica representando 85,2% do total (BEN, 2007).



**Figura 1.1: Gráfico da evolução do consumo de energia elétrica no Brasil.**

Fonte: BEN, 2007.

O crescimento do consumo de eletricidade no país pode ser visto na Figura 1.1, que apresenta a evolução do consumo nas edificações, atrelada ao aumento de 2,7% do Produto Interno Bruto, revelando que o crescimento da economia não representou, na mesma proporção, aumento na eficiência energética das edificações (BEN, 2007). Nota-se o crescente consumo até 2001, quando ocorreu uma queda de 6,6% devido à crise de abastecimento de eletricidade que se estabeleceu no país.

A participação das edificações no consumo total de energia elétrica brasileira vem crescendo ao longo do tempo devido ao acesso cada vez maior da população aos benefícios proporcionados pelas novas tecnologias. Estima-se que 42% da energia elétrica produzida no país seja consumida na construção, operação, manutenção e reciclagem das edificações. Esse consumo é distribuído entre os setores residencial (23%), comercial (11%) e público (8%) (PROCEL, 2007). No caso de prédios comerciais e públicos, o condicionamento de ar e a iluminação artificial são os grandes responsáveis pelo consumo (MME, 2007).

Preocupações com o gasto de energia e com o meio ambiente são questões que devem ser pensadas logo na primeira fase de projeto de uma edificação. Segundo Neves e Caram (2003), principalmente nos edifícios comerciais, tais preocupações não ocorrem, devido a utilização de modelos de edificações provenientes de outros países, como as caixas de vidro, utilizadas indiscriminadamente pelo seu valor estético, normalmente impróprio ao clima brasileiro. De modo geral, o projeto de edificações no Brasil recebe pouca ou nenhuma atenção quanto ao uso racional de energia. Isso ocorre devido à falta de uma legislação que imponha limites de consumo e da falta de profissionais qualificados para atuar nesse campo multidisciplinar.

As primeiras etapas do desenvolvimento de uma política de melhoria nos níveis de eficiência energética no país através de normalização ocorreram no ano de 2001, quando o Governo Federal publicou a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001a) e o Decreto nº 4059 (BRASIL, 2001b) sobre o uso racional da energia, indicando a necessidade da criação de indicadores técnicos referenciais do consumo e da eficiência de edificações. Atualmente, está em fase de experimentação o Regulamento para etiquetagem de eficiência energética de edificações que estabelece indicadores de eficiência energética para os edifícios não residenciais.

Nos edifícios de escritórios, os fatores que estão associados ao consumo de energia elétrica são: iluminação, condicionamento de ar e equipamentos como microcomputadores, impressoras, cafeteiras, refrigeradores etc. Em Florianópolis, cidade escolhida para o desenvolvimento do estudo, essas edificações geralmente possuem uma construção definida, em geral, formada por edifícios altos, com grandes áreas envidraçadas, permitindo a entrada exagerada dos raios solares e superaquecendo o ambiente interno (ver Figura 1.2).



(a) Shopping Top Tower



(b) Prime Tower

**Figura 1.2: Fotos de edificações comerciais em Florianópolis/SC.**

Fonte: Acervo pessoal, 2009.

A ausência da proteção solar externa nas aberturas dos ambientes permite a entrada da radiação solar direta e obriga o uso de protetores internos, como as cortinas e persianas, que tiram do ambiente a iluminação natural e induzem à utilização da iluminação artificial acarretando um aumento no consumo de energia elétrica. Supõe-se que tais problemas poderiam ser solucionados através de modificações na envoltória e suas aberturas, potencializando o uso da iluminação natural e diminuindo o consumo com energia elétrica.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO

Nas edificações contemporâneas de escritório a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo de energia junto com o sistema de condicionamento artificial. Isto pode ser revertido quando as edificações são dotadas de dispositivos mais eficazes, associados a estratégias e projetos que priorizam o aproveitamento da iluminação e ventilação natural. O uso da luz natural nessas edificações além de garantir níveis de iluminação adequados para as atividades humanas reduz a necessidade do uso da luz artificial, que em conjunto com um controle de iluminação artificial eficiente e a influência das aberturas e dos equipamentos, interfere nos ganhos térmicos no interior do ambiente e no consumo total de energia. Vale ressaltar que a luz natural está fartamente disponível no horário de uso das edificações não residenciais (período diurno: matutino e vespertino) (ver Figura 1.3).





**Figura 1.3: Consumo diário hipotético.**

Fonte: (Energy conservation, 2001 apud LIMA, 2007).

Como a luz do dia é extremamente variável, é necessário se aprofundar no conceito das medidas dinâmicas para avaliação da luz natural no interior dos ambientes. Com estas medidas é possível capturar o comportamento que ocorre entre um edifício, seus ocupantes e o clima local, através de uma base anual de dados, promovendo uma maior aproximação do projeto à realidade local (REINHART et al., 2006). Para isso, existem ferramentas de simulação de iluminação natural que permitem simulações de modelos com geometrias complexas. O *Daysim* é uma ferramenta de simulação computacional desenvolvida por Reinhart (2006), que calcula o perfil anual de iluminação interna utilizando arquivos climáticos, o mesmo utilizado no *EnergyPlus*, outro software de simulação de iluminação natural. Os *softwares* que utilizam o arquivo climático se diferenciam dos outros, por poder prever a quantidade de luz natural em um ambiente no curso de um ano inteiro, os softwares de simulação estática apenas simulam sob uma condição de céu determinada.

Algumas ferramentas são capazes de fazer uma análise integral entre os sistemas de iluminação natural, refrigeração e aquecimento, o *EnergyPlus* é uma delas, fornece resultados horários e realiza simulações termo-energéticas permitindo uma avaliação mais detalhada do desempenho da edificação. No entanto, o *EnergyPlus* possui algumas limitações no algoritmo do sistema de iluminação natural (WINKELMANN e SELKOWITZ, 1984). O que foi comprovado por Ramos (2008) que verificou uma grande influência do programa no cálculo da iluminação natural, tanto no cálculo da parcela de luz refletida no ambiente como no cálculo das iluminâncias externas que resultaram maiores do que as reais. Ou seja, o *EnergyPlus* superestima a quantidade de luz natural no interior do ambiente e,

## 1. Introdução

---

conseqüentemente, subestima o consumo de energia elétrica, usada na iluminação artificial.

Paralelo a isso, vários trabalhos têm comprovado que o aproveitamento da luz natural é capaz de proporcionar uma significativa economia de energia elétrica gasta em iluminação. No Brasil, algumas pesquisas já foram realizadas a fim de caracterizar edificações comerciais sob a ótica do consumo de energia elétrica, visando a importância do uso da iluminação natural (CARLO, PEREIRA e LAMBERTS, 2004; SOUZA, M. B., 2003). Souza (2003) propôs uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial e verificou que as estratégias de controle automático podem reduzir o consumo de energia elétrica gasta em iluminação, chegando a atingir um potencial de aproveitamento da luz natural máximo de 87%.

Por outro lado, Carlo (2008) elaborou uma metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações, que serviu de base para a concepção da certificação de eficiência energética brasileira para edificações não residenciais. O trabalho não abordou a questão do potencial do uso da iluminação natural e seu impacto na redução do consumo de energia elétrica, mas reconheceu sua importância na lista de sugestões de trabalhos futuros. Assim, o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ)<sup>1</sup> abrange apenas três aspectos das edificações: sistemas de iluminação artificial, de condicionamento de ar e o desempenho da envoltória.

Este trabalho pretende avançar na avaliação do impacto do uso da iluminação natural na redução do consumo de energia elétrica em edificações não residenciais, através do uso de simulação computacional, integrando os softwares *Daysim* e *EnergyPlus*, a fim de suprir as limitações deste último nos cálculos de iluminação natural. Surge, então, a seguinte pergunta de pesquisa: Qual o impacto do uso da iluminação natural no consumo energético de edificações não residenciais?

### 1.2 OBJETIVOS

---

<sup>1</sup> O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos representa uma ação lançada pela Eletrobrás através do programa Procel EDIFICA e aprovada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, em setembro de 2008, visa qualificar e quantificar o consumo de energia elétrica nas edificações.

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência energética considerando o aproveitamento da luz natural para a redução do consumo energético de edificações não residenciais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver modelos formais com características próprias para a avaliação da luz natural;
- Avaliar a iluminação e a redução do consumo de energia através do comportamento dinâmico da luz natural nas simulações energéticas, utilizando os *softwares Daysim e EnergyPlus*;
- Desenvolver uma correlação numérica entre as variáveis formais e eficiência energética em forma de equação de Indicador de Consumo (IC).

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia, Resultados e discussões e Conclusão. O **segundo capítulo** corresponde à revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento da dissertação. Inicia com assuntos relacionados a eficiência energética nas edificações, a luz natural e artificial na redução do consumo de energia elétrica e finaliza com aspectos da simulação computacional. O **terceiro capítulo** explica os procedimentos metodológicos utilizados, com o intuito de se alcançar os objetivos estabelecidos no primeiro capítulo. O **quarto capítulo** aponta os resultados encontrados nas simulações e as discussões feitas a partir dos mesmos. E, finalmente, o **quinto capítulo** apresenta as conclusões e considerações finais junto com as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Na seqüência segue o mapa conceitual do trabalho (Figura 1.4), ilustrando o processo pelo qual se busca alcançar os objetivos estabelecidos na pesquisa.

1.3.1 Mapa conceitual

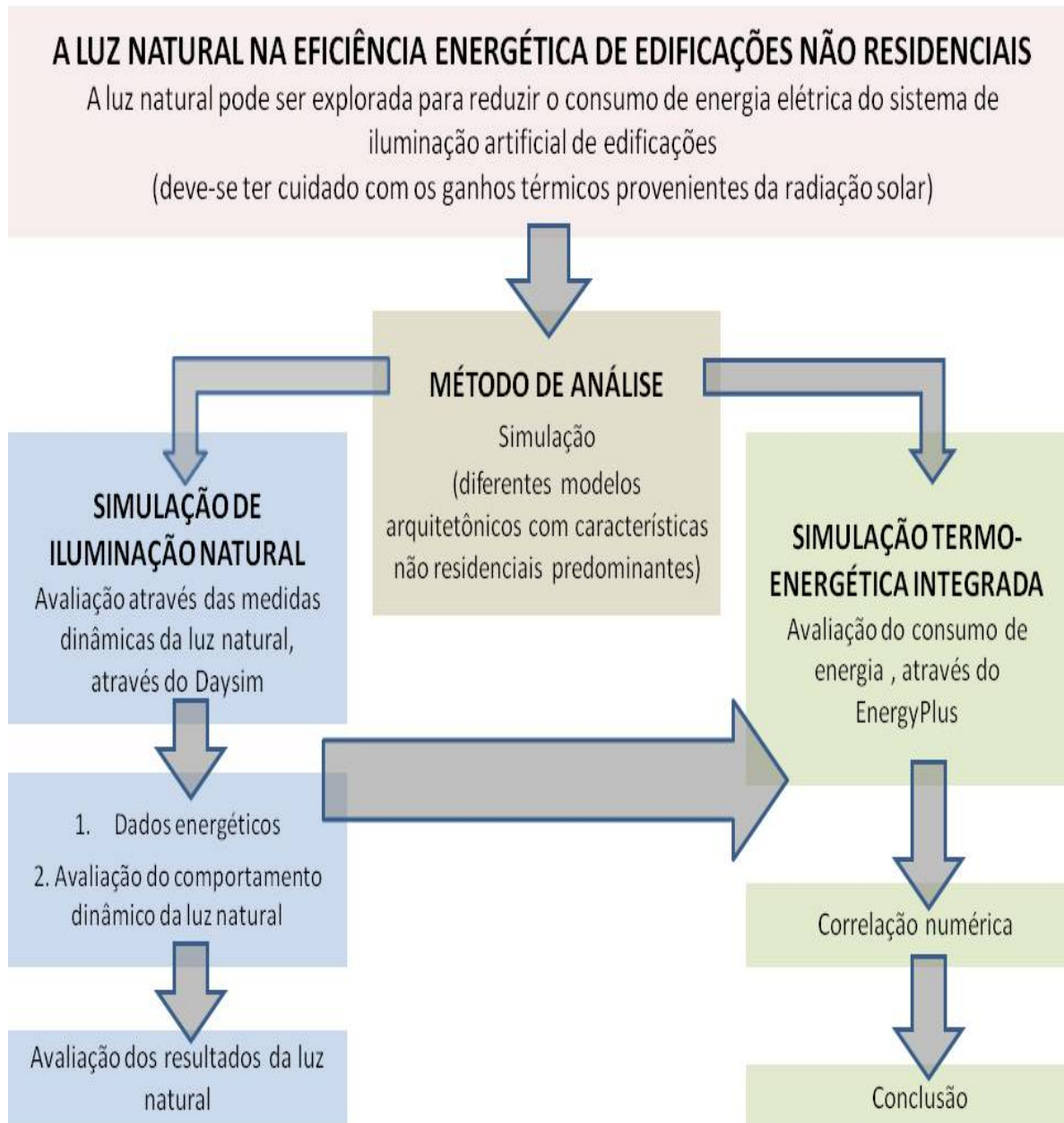


Figura 1.4: Mapa conceitual

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

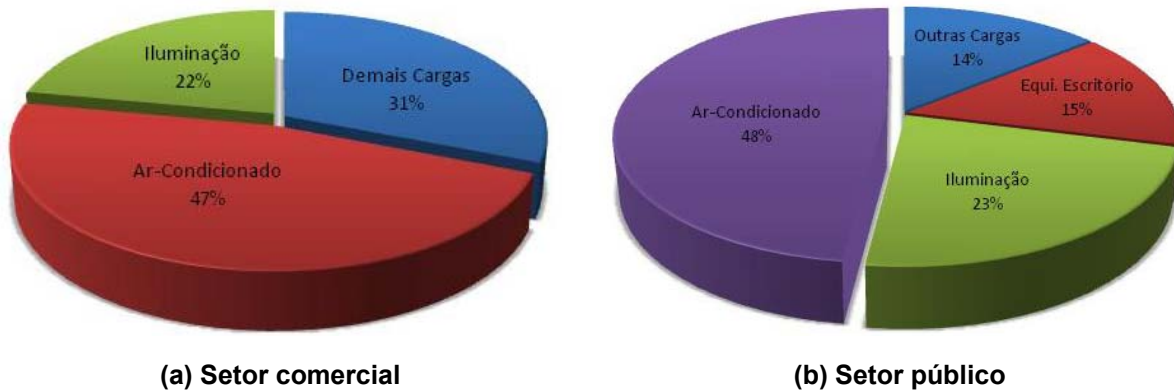
Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos assuntos relacionados ao tema do trabalho e encontra-se dividido em três partes. Aborda aspectos referentes a eficiência energética nas edificações, o uso integrado da iluminação natural e artificial para a redução do consumo de energia e programas de simulação computacional.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

Grande parte das edificações desperdiça relevantes oportunidades de poupar energia e custos por não considerar, os importantes avanços ocorridos nas áreas de arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologia construtiva vinculados à eficiência energética (EPE, 2005). O aumento do conhecimento sobre eficiência energética nas edificações entre os profissionais da construção civil, além de evitar a necessidade de maior produção de eletricidade no país, retornaria em benefício dos usuários como economia nos custos da obra e no consumo de energia. Assim, a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia, pois um edifício é mais eficiente energeticamente que o outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo energético (LAMBERTS et al., 2004).

No Brasil, pesquisas mostram que em relação ao uso final da energia, as edificações comerciais e públicas têm 70% do consumo voltados a gastos com iluminação artificial e ar-condicionado, chegando a 86% em bancos e escritórios. Nesses setores o gasto com iluminação artificial chega a 22% (comercial) e 23% (público) e o gasto com ar condicionado a 47% (comercial) e 48% (público) (PROCEL-ELETROBRÁS, 2007) (ver Figura 2.1)

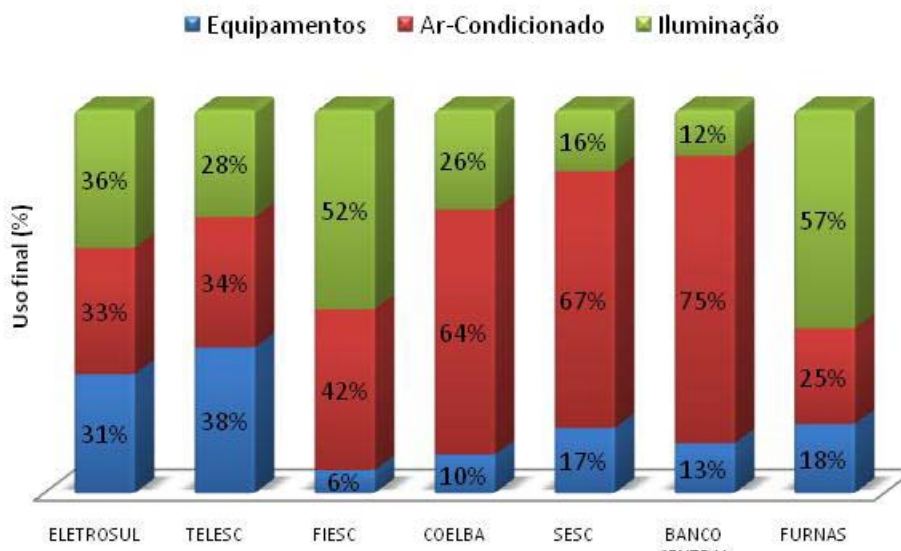
## 2. Revisão bibliográfica



**Figura 2.1: (a) e (b): Uso final de energia elétrica**

Fonte: Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil - PROCEL-ELETOBRÁS 2007.

O Projeto 6 Cidades, estudo desenvolvido e coordenado pelo PROCEL/ELETOBRÁS, desenvolveu uma metodologia com o objetivo de implantar reformas de *retrofit* para melhorias na eficiência energética em edificações públicas e comerciais em 6 cidades brasileiras: Florianópolis, Curitiba, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador e Brasília. Os prédios foram selecionados seguindo critérios para a determinação do potencial de conservação de energia, com uma posterior divulgação do Estado da Arte em eficiência energética nas edificações. Os dados da diversidade de usos finais obtidos para equipamentos, ar-condicionado e iluminação encontram-se na Figura abaixo.



**Figura 2.2: Diversidade de usos finais em edifícios comerciais.**

Fonte: Adaptado de Projeto 6 cidades/Procel *apud* LAMBERTS, 2008.

É evidente o grande potencial para a redução do consumo de energia com o aproveitamento dos recursos naturais: insolação, iluminação e ventilação, elementos primordiais para a diminuição dos gastos nos sistemas de iluminação artificial e de

ar-condicionado e obtenção da eficiência energética nas edificações não residenciais. Quando se analisa o panorama da evolução do consumo em relação à disponibilidade energética, percebe-se que construir com o clima é uma necessidade, não mais uma postura ecológica. Neste sentido, faz-se necessário o uso da arquitetura bioclimática, que usa os recursos ambientais, minimizando o consumo de energia para promover o conforto ambiental dos usuários, proporcionando adequadas condições de conforto térmico, luminoso e acústico (PROCEL/ELETROBRÁS, 2005).

A escolha das estratégias bioclimáticas deve ser feita em função do período de ocupação dos ambientes ao longo do dia e das estações. Com a utilização desses recursos, se faz possível a elaboração de projetos que levem em consideração a eficiência energética das edificações, não sendo restrito aos fatores climáticos, pois a edificação é uma grande consumidora de energia, tanto durante sua construção como, principalmente, ao longo de toda sua existência. Além disso, grande parte da complexidade característica da implantação tem sido transferida à envolvente do edifício - paredes, coberturas e aberturas.

Segundo Brandão (2004):

Na arquitetura, o partido arquitetônico é decisivo para o resultado positivo do uso de sistemas passivos de iluminação e condicionamento de ar, que aliados aos sistemas artificiais podem ser considerados como a primeira tecnologia para a eficiência energética da construção.

Isto se confirmou no estudo desenvolvido por Carlo et al. (2004) através de simulação computacional, o qual aplicou algumas prescrições de eficiência energética de uma proposta para um Código de Obras da cidade de Recife/PE no qual foi indicado o potencial de economia de energia elétrica de edificações de escritório. As avaliações foram limitadas a elementos da envoltória e iluminação, como tipos de vidros e proteções solares para as janelas e uso de controles do tipo liga-desliga no sistema de iluminação artificial quando houvesse luz natural suficiente no plano de trabalho. Os resultados obtidos mostraram uma economia de 7% a 21% para os modelos simulados. Esta economia pode ser expandida com outros modelos que englobem as diversas variáveis que interferem no consumo de energia de uma edificação.

### 2.1.1 Leis de Eficiência Energética

Uma série de medidas para racionalizar o consumo de energia elétrica é necessária quando se pretende controlar o crescimento do consumo de energia associado ao crescimento econômico do país. Em alguns países desenvolvidos como os EUA, Canadá, México, Reino Unido, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Filipinas, Chile, dentre outros, a crise de energia e o alto consumo no setor de edificações levaram à implementação de normas de eficiência energética. Essas normas comprovaram que os códigos de eficiência energética têm ajudado a alcançar maior eficiência em novas construções (GOULART, 2005). Um estudo realizado sobre normalização em eficiência energética em países em desenvolvimento mostrou que no Brasil, normas e códigos de eficiência energética em todos os setores consumidores, incluindo transporte e agroindústria, poderiam acarretar economias de cerca de 12% no consumo de energia em 20 anos (2000 a 2020) (DUFFIE, 1996).

As primeiras normas brasileiras de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, durante a crise do petróleo (GOULART, 2005). Em 2001, como consequência da crise de energia surge a primeira iniciativa para promover a eficiência energética no país: a Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). Em seguida foi publicado o Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, indicando que "os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, (...), bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (...)" (Brasil, 2001b).

Sancionada a Lei, algumas cidades brasileiras foram alvo de estudos para proposição de parâmetros de eficiência energética em seus Códigos de Obras. Salvador e Recife foram uma das primeiras cidades a avaliar e propor essas prescrições em seus Códigos de Obras (CARLO et al., 2003a, CARLO et al., 2003b, CARLO et al., 2004). A Lei Nº 10.295 também alavancou o processo de uso da regulamentação específica para estabelecer parâmetros de eficiência para equipamentos consumidores de energia. O conceito de certificação teve início com os aparelhos eletrodomésticos e avança para o âmbito das edificações, que fortaleceu o Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica lançou, no ano de 2003 o Procel – Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em



Edificações que visa construir as bases necessárias para reduzir o consumo de energia de edificações no Brasil (CARLO, 2008).

Atualmente outros planos vêm sendo desenvolvidos, como o Plano Nacional de Energia - PNE 2030 que tem o objetivo de planejar a longo prazo o setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas. O PNE é composto de uma série de estudos que buscam fornecer insumos para a formulação de políticas energéticas segundo uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis. O plano pretende apresentar trabalhos que podem ser viáveis em cada setor de atividade na economia brasileira, procurando situá-la em termos de sua aplicação, custo, evolução, agentes que poderiam estar envolvidos na sua disseminação e políticas que pudessem facilitar a sua introdução (EPE, 2007).

### 2.1.2 Certificação e Regulamentação

As atuais exigências de eficiência energética em edificações promovem o desenvolvimento de normas e ferramentas que possibilitam a otimização de construções novas ou existentes. Os sistemas de avaliação ambiental para edificações constituem em um grande avanço na busca por um desenvolvimento sustentável da arquitetura e das cidades. Diversos países da Europa, além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e Hong Kong, possuem um sistema de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios (GOULART, 2005). Na Europa os sistemas de avaliação se introduziram como um componente mais cultural e na América do Norte com uma visão mais econômica e de mercado. Na América Central e América do Sul ainda não se tem programas de avaliação ambiental, entretanto, certificações europeias e norte americanas são utilizadas como referência quando se busca a sustentabilidade nas edificações (MONTES, 2005).

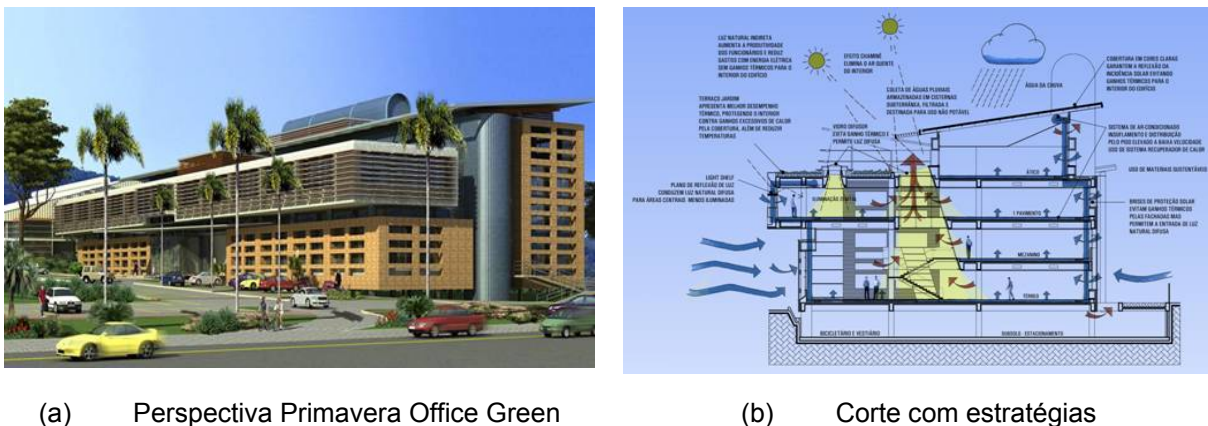
No Brasil, empresas e organizações que trabalham para um desenvolvimento sustentável lançaram a certificação Aqua<sup>2</sup> e a certificação LEED<sup>3</sup> adaptadas para a

---

<sup>2</sup> A certificação Aqua (Alta Qualidade Ambiental), lançada pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini, é baseada no sistema Francês HQE normas europeias, com indicadores adequados à realidade brasileira.

## 2. Revisão bibliográfica

realidade brasileira. Essas certificações estão sendo utilizadas no mercado de trabalho onde alguns projetos já estão sendo avaliados seguindo suas premissas como, por exemplo, o projeto do Primavera Office Green em Florianópolis, atualmente inscrito no USGBC para certificação no LEED NC, versão 2.1 (Figura 2.3).



(a) Perspectiva Primavera Office Green

(b) Corte com estratégias

**Figura 2.3: Edifício comercial desenvolvido tendo como objetivo uma certificação LEED.**

Fonte: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 09/05/2009.

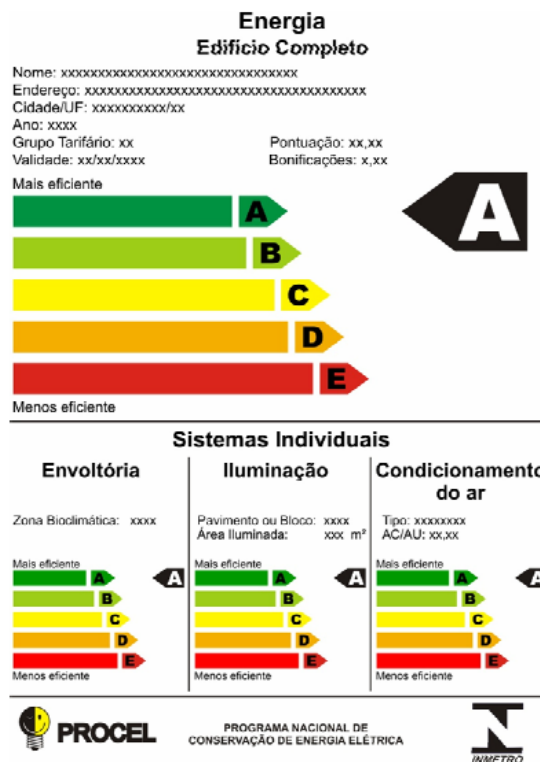
Além disso, trabalhos e pesquisas em várias universidades vem utilizando a experiência internacional para a elaboração, aplicação e fiscalização de Normas em eficiência energética nas edificações para a implementação da Lei de Eficiência Energética no Brasil (MONTES, 2005 e GOULART, 2005). Um exemplo é o trabalho de Carlo (2008), que desenvolveu uma equação de regressão linear multivariada para criar um indicador de eficiência energética do envoltório das edificações.

A proposta do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos é especificar os requisitos técnicos e os métodos para a classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. O Regulamento se encontra em período de teste e a sua aplicação será voluntária por um tempo, sendo depois obrigatória para todas as edificações comerciais, de serviços e públicas.

O Regulamento irá auxiliar na redução do aumento do consumo energético, exigindo das edificações uma eficiência mínima estabelecida através da avaliação prescritiva ou simulações do consumo de energia elétrica de edificações que

<sup>3</sup> O LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é uma certificação de Edifícios Verdes desenvolvida pela USGBC (United States Green Building Council), nos Estados Unidos. É um sistema de classificação mundialmente aceito e reconhecido que está sendo adaptado a realidade brasileira pelo Green Building Council Brasil.

representem a realidade nacional e de avaliações de custos. A criação de uma etiqueta com um nível de eficiência a ser usada em novas edificações é uma iniciativa que pode auxiliar os consumidores a exigirem edificações com maior eficiência energética do que o mínimo exigido pela regulamentação e mais economia nos seus custos operacionais. Entretanto, alguns ajustes ainda precisam ser feitos, já que a regulamentação só considera alguns aspectos na avaliação da edificação, como a envoltória, o sistema de iluminação artificial e o sistema de ar condicionado (ver Figura 2.4) (REGULAMENTAÇÃO, 2008). Aproveitar a disponibilidade da luz natural reduz o consumo de luz artificial e energia elétrica, que por consequência diminui o consumo e aumenta o desempenho energético dessas edificações.



**Figura 2.4: Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE.**

Fonte: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, 2009.

## 2.2 INTEGRAÇÃO DA LUZ NATURAL COM A LUZ ARTIFICIAL

Nos últimos anos, quando se começou a falar mais sistematicamente sobre conservação e racionalização do uso da energia elétrica, o aspecto da integração entre luz natural e artificial passou a assumir importância cada vez maior. A partir daí a iluminação complementar tornou-se um parâmetro importante no projeto das edificações. O uso da luz natural em edificações pode reduzir o consumo de energia

## 2. Revisão bibliográfica

---

elétrica quando explorada de forma integrada com os sistemas de iluminação artificial. A iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia, a economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização.

A concepção dada à iluminação em qualquer projeto tem de ser única. A iluminação natural deve ser pensada juntamente com a artificial para que se possa propor uma solução integrada. Isto pode ser feito de diversas maneiras, devendo o projetista conhecer o comportamento dos dispositivos utilizados para iluminação natural e dos componentes do sistema de iluminação artificial, integrando-os em um único sistema. Dentro dessa idéia, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deve ser desativada ou reduzida. Para isso, alguns sistemas de controle podem ser empregados.

Projetos desenvolvidos, considerando a busca da luz natural, chegam a alcançar a iluminância requisitada nos interiores de 80% a 90% das horas diurnas do ano economizando consideráveis quantidades de energia elétrica (VIANNA e GONÇALVES, 2001). A integração da luz artificial com a luz natural pode fornecer melhores resultados em termos de redução no consumo de energia nessas edificações. Souza (1995) analisou o comportamento energético de prédios de escritórios que fazem o aproveitamento da luz natural e avaliou, através de simulações computacionais, parâmetros como a relação área de janela/área de parede, profundidade das salas, condições de envidraçamento dentre outros, para um edifício de escritório localizado em Florianópolis. Percebeu que o aproveitamento da iluminação natural poderia reduzir o consumo total de energia elétrica deste edifício em até 35%. Souza (2003), também desenvolveu o PALN (Percentual de Aproveitamento da Luz Natural), uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial. O PALN indica o período em que é possível utilizar a luz natural para substituir ou complementar a iluminação artificial no ambiente interno.

### 2.2.1 Dispositivos de iluminação natural

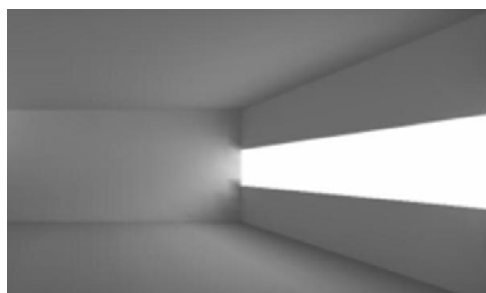
O conceito de iluminação natural envolve o aproveitamento de todos os componentes internos e externos a uma edificação que podem ser beneficiados pelo uso da luz natural. Os dois objetivos primordiais de um bom projeto de iluminação natural são proporcionar luz suficiente para uma tarefa visual eficaz e assegurar um ambiente luminoso confortável e apropriado ao seu fim, além de representar uma grande economia de energia na edificação. Uma boa iluminação natural no interior de um edifício depende das dimensões internas do ambiente, da distribuição das aberturas, e do tipo de esquadria utilizada (HOPKINSON et al, 1975).

### 2.2.1.1 Aberturas laterais

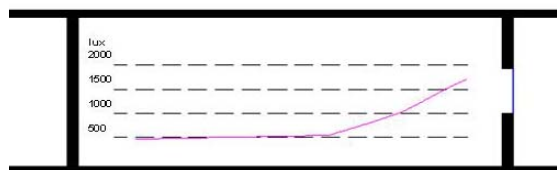
A principal função de uma abertura é a de proporcionar aos ocupantes o contato visual com o mundo exterior e permitir que a luz penetre no interior de um edifício em tal quantidade e com tal distribuição que resulte em uma iluminação interior satisfatória. Dentro de certos limites, quanto maior for a área de uma abertura, maior será a quantidade de luz recebida no interior do ambiente. Embora a janela permita a penetração da luz do dia, não é exclusivamente dela que dependem a quantidade e a qualidade da iluminação interior. É uma função do tamanho, formato e disposição das janelas, mas também das propriedades refletoras das superfícies interiores, representando todos estes elementos uma significativa contribuição para a iluminação interna (HOPKINSON et al., 1975).

A iluminação natural lateral é a mais utilizada nas edificações. Uma boa iluminação lateral se baseia na adequada localização das janelas em relação ao interior e nas características que cada tipo de fechamento tem, analisados do ponto de vista luminotécnico. Uma característica marcante da iluminação lateral é sua diversidade em termos de distribuição pelo local. Nos ambientes iluminados lateralmente, o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela, ocasionando uma iluminação irregular, especialmente em ambientes muito profundos, onde as áreas próximas a janela são bem iluminadas, enquanto a poucos metros adiante o ambiente pode se mostrar bastante sombrio (ver Figura 2.5) (PEREIRA, 1993).

## 2. Revisão bibliográfica



(a) vista interna



(b) curva de iluminância

**Figura 2.5: (a) e (b): Sala iluminada unilateralmente, demonstrando deficiências quanto à uniformidade luminosa.**

Fonte: DIDONÉ e BITTENCOURT, 2006.

A função de uma abertura num ambiente pode ser dividida em quatro grandes grupos: ganhos térmicos, visualização do ambiente externo, ventilação e iluminação natural. Os recentes avanços tecnológicos ajudaram a fazer da janela um aliado nos esforços para conservar a energia elétrica com o uso da luz natural. Usadas corretamente, as janelas podem minimizar os ganhos solares não desejados no verão e as perdas de calor no inverno, sem perda da iluminação natural (MILLS, 2005). É interessante pensar na janela como uma luminária. A janela é uma fonte de luz e possui características e implicações óticas distintas para o conforto visual.

Analisando salas de diferentes tamanhos, diferentes geometrias e diferentes orientações, Ghisi (2002) concluiu que utilizando Áreas Ideais de Janelas em edificações com condicionamento artificial em Florianópolis e fazendo-se a integração do sistema de iluminação artificial com a iluminação natural pode-se obter economias no consumo de energia com iluminação variando de 20,6% a 86,2%.

### 2.2.1.2 Aberturas zenitais

A iluminação zenital tem como uma de suas principais características uma maior uniformidade de distribuição da luz em relação à iluminação lateral, já que as aberturas estão uniformemente distribuídas pela área de cobertura e têm suas projeções paralelas ao plano de utilização. Com relação a espaços de grandes dimensões, a utilização da luz natural zenital é adequada, por serem estas áreas normalmente destinadas a funções produtivas, laborativas, que exigem boa uniformidade e quantidade de luz. A distribuição da luz no interior de um local com iluminação zenital depende fundamentalmente de dois fatores: da forma das

aberturas zenitais e da altura entre o plano de trabalho e o elemento zenital (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

A combinação da janela com a abertura zenital pode controlar a quantidade e melhorar a distribuição de luz natural no espaço. Os sistemas para a luz natural que utilizam a luz do zênite e do céu de maneira eficiente, a guia com mais profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes. Podem ter o mesmo efeito de proteção solar que normalmente se consegue com os dispositivos de sombreamento externo, reduzindo as temperaturas internas devido à diminuição da carga térmica. Além disso, estes sistemas podem reduzir os custos de energia para a luz artificial e possibilitam maior liberdade de disposição nos locais de trabalho.

### 2.2.1.3 Proteção solar

Ao projetar proteções solares deve-se pensar na sua influência sobre a luz natural e na visibilidade para o exterior. As proteções solares quando bem projetadas podem garantir que os raios solares passem pelas aberturas transparentes apenas nos períodos necessários. A forma, o tamanho, a posição e o material dos artifícios de sombreamento dependem diretamente do clima, do uso da edificação e da origem da luz a ser excluída: direta, difusa, com ângulos baixos ou altos dependendo da hora do dia, da orientação da fachada e da época do ano. Os protetores solares podem ser externos, internos e incorporados dentro da própria envoltória da fachada; podem ser fixos ou reguláveis, manuais ou automatizados (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

A adição de elementos junto à abertura modifica a trajetória e a quantidade da luz natural transmitida, afetando a iluminação natural no interior das edificações. Essa influência ocorre em razão do bloqueio/filtração parcial da luz natural incidente na abertura, e da variação da direção da luz para o ambiente interno por causa dos múltiplos processos de reflexões entre os elementos de controle solar. A luz natural admitida no interior de um ambiente sofre alterações quantitativas e de distribuição espacial, em função das características geométricas e da refletância dos elementos de controle solar, ocorrendo desde a recepção de iluminação natural insuficiente até a excessiva (BOGO, 2007).

## 2. Revisão bibliográfica

---

Em relação à eficiência das proteções, os raios de sol de inclinações elevadas são facilmente excluídos por proteções horizontais externas, os raios de baixa inclinação pela sua profundidade de alcance são os mais difíceis de serem excluídos. Por essa razão, as fachadas leste e oeste são as mais difíceis de serem protegidas e as estruturas verticais são as mais indicadas para esses casos. Em qualquer situação de clima, céu ou função do edifício, a melhor opção de proteção contra o sol direto é o uso de protetores reguláveis, sejam eles horizontais ou verticais, já que exercem a dupla função de bloquear os raios solares e participar dos sistemas de ventilação cruzada. Da mesma maneira que bloqueiam o sol, sistemas de venezianas reguláveis incorporadas tanto no exterior como na face interior das janelas, são capazes de refletir pelas suas faces superiores a luz difusa para o teto, estendendo o alcance da iluminação até as partes do interior mais distante da janela (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Um estudo sobre o impacto causado pela ausência e pelo uso de protetores solares no consumo de energia elétrica em edificações hoteleiras adotou modelos arquitetônicos não apropriados para o clima local. Foi possível observar que os dispositivos de proteção solar, ao impedirem a passagem da radiação solar direta, possibilitam uma diminuição dos ganhos térmicos no interior do ambiente reduzindo o consumo de energia decorrente do uso do sistema de ar-condicionado, com variações entre 2% e 6%. As alterações na configuração arquitetônica promoveram um eficiente desempenho luminoso no interior dos quartos (ver Figura 2.6) (DIDONÉ e BITTENCOURT, 2008). Os *brises* protegem da radiação solar direta possibilitando uma diminuição do ganho de calor no interior do ambiente, além de favorecerem a reflexão da luz natural para as partes mais profundas, aumentando a uniformidade luminosa.



**Figura 2.6: O efeito da luz natural obtido com proteção solar no interior do ambiente.**

Fonte: DIDONÉ e BITTENCOURT, 2008.

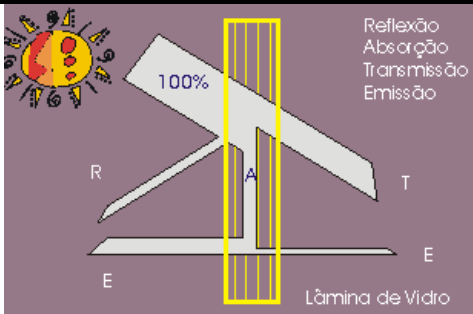
### 2.2.1.4 Vidros



Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis que têm funções específicas nas edificações: permitir a iluminação natural do espaço interior e estabelecer uma conexão visual com o exterior, por isso, podem gerar problemas térmicos, acústicos, econômicos e construtivos que dificultam o cumprimento rigoroso daquelas funções (RIVERO, 1985). O tipo de vidro utilizado nas edificações depende das necessidades de luz natural e do desempenho térmico do sistema de abertura. Hoje existem vários tipos de vidro disponíveis para controlar as perdas ou os ganhos de calor. Existem vidros e películas absorventes, reflexivos, vidros duplos ou triplos com tratamento de baixa emissividade, vidros espectralmente seletivos e combinações destes tipos entre si.

As propriedades ópticas são importantes para o estudo do ganho de calor solar através de vidros e outros materiais utilizados em janelas e aberturas. Quando a energia radiante incide sobre uma superfície transparente ela é absorvida ( $\alpha$ ), refletida ( $\rho$ ) ou transmitida ( $\sigma$ ). Para satisfazer a lei da conservação de energia, a soma da transmissividade, refletividade e absorptividade têm de ser igual a 1, ou 100% da energia que incide sobre o material ( $\alpha + \rho + \sigma = 1$ ). Para materiais opacos a transmissividade é igual a zero, então a soma da refletividade mais a absorptividade é igual a 1 (LAMBERTS et al., 2004 e ASHRAE, 2001a). A Tabela 2.1 apresenta o percentual transmitido, absorvido e refletido por alguns tipos de vidro.

**Tabela 2.1: Comportamento térmico de alguns vidros.**

Tipo de vidro	$\sigma$	$\alpha$	$\rho$	Propriedades físicas do vidro
Comum	0,85	0,07	0,08	 <p>Reflexão Absorção Transmissão Emissão</p> <p>Lâmina de Vidro</p>
Absorvente claro	0,52	0,41	0,07	
Absorvente médio	0,31	0,63	0,06	
Absorvente escuro	0,09	0,86	0,05	
Refletor médio	0,25	0,42	0,33	
Refletor escuro	0,11	0,42	0,47	
Absorvente exterior / câmara de ar / comum	0,32	0,62	0,06	

Fonte: RIVERO, 1985.

## 2.2.2 Sistema de iluminação artificial

O projeto e a análise do sistema de iluminação artificial seguem um processo similar àquele usado no projeto e na análise do sistema de iluminação natural,

## 2. Revisão bibliográfica

---

considerando a função do espaço e a quantidade necessária de luz (ROBBINS, 1986). No sistema de iluminação artificial a escolha da lâmpada a ser utilizada deverá estar ligada às suas características de reprodução, temperatura e aparência de cor, rendimento, vida útil, custo e relação com o sistema adotado. Já a luminária relaciona-se diretamente com o sistema a ser escolhido, controlando e distribuindo a luz da lâmpada através da sua curva de distribuição, dado essencial para qualquer projeto (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

O uso indiscriminado da iluminação artificial tem conseqüências sérias do ponto de vista econômico, que podem implicar em gasto excessivo, desperdício de energia e em maiores custos de instalação e manutenção. Os sistemas de iluminação artificial são agentes de peso no consumo da energia total de edificações, onde em edifícios não residenciais o uso da luz natural, em combinação com a artificial, pode alcançar economias de 30% a 70% (VIANNA e GONÇALVES, 2001). Para um sistema de iluminação artificial eficiente pode-se reduzir consideravelmente a energia gasta com iluminação artificial substituindo lâmpadas incandescentes por fluorescentes comuns ou compactas. A utilização de luminárias mais eficientes e de reatores eletrônicos também é aconselhável. Bem como, a adoção de sensores de presença, onde o tempo que as lâmpadas permanecem acesas é apenas o necessário para que os usuários possam se locomover ao local desejado, desligando-se automaticamente o circuito em alguns minutos.

O avanço tecnológico e o crescente interesse em conservar energia elétrica resultaram na criação de diferentes tipos de lâmpadas que servem para diversos usos e aplicações. Lâmpadas eficientes economizam energia através da sua alta eficiência luminosa e da manutenção do fluxo luminoso durante a sua vida. As lâmpadas fluorescentes têm melhorado continuamente desde o seu surgimento e tornaram-se a fonte de luz eficiente mais utilizada, um exemplo são as lâmpadas T8, que surgiram na década de 80 para substituir as lâmpadas T12. Na década de 90, com intenção de substituir as lâmpadas T8, começam a ser utilizadas as lâmpadas T5, mais econômicas, eficientes e com pouca utilização dos recursos naturais (vidro, metal e fósforo). Porém, as T5 devem ser utilizadas em luminárias próprias, além de operarem para reatores eletrônicos projetados exclusivamente para a tecnologia. Outro ponto não muito favorável para a nova tecnologia é em relação ao

aproveitamento do reator, a lâmpada T5 tem uma performance mais pobre do que a lâmpada T8, que são 13% mais eficientes (ASHRAE, 2008).

### 2.2.2.1 Controle

O uso de controles de iluminação apropriados é essencial para a real contribuição da luz natural no uso eficiente da energia minimizando o gasto com a luz artificial. A importância dos controles de iluminação não deve ser subestimada. Alguns estudos mostraram que em edifícios comerciais convencionais a escolha pelo controle pode proporcionar uma melhora de 30 a 40% no uso da iluminação (BAKER et al., 2002). Os sistemas de controle são basicamente de três tipos: os sensores de ocupação, que consistem em um detector de movimento (ondas ultrassônicas ou de radiação infravermelha), que enviam um sinal para a unidade de controle, e controla a potência da luz; os sistemas com controle fotoelétrico, que identificam a presença de luz natural, fazendo a diminuição ou até mesmo o bloqueio da luz artificial de maneira automática (*dimmers*); e, os sistemas de programação do tempo, que gerenciam o ligar e desligar dos sistemas de iluminação em edifícios, funcionando com o desligamento ou diminuição da luz durante os horários sem ocupação, ou com atividades que requeiram menor nível de iluminação.

A distribuição racional dos circuitos permite acionamento independente das luminárias e proporciona uma redução no consumo de energia. Em edifícios com plantas profundas, tais como escritórios de planta livre, os espaços próximos as aberturas geralmente obtêm luz natural adequada, enquanto os espaços internos requerem luz artificial permanente. O projeto dos circuitos de luz deve contemplar por zonas, com o intuito de apagar as luminárias dos setores onde a iluminação natural é suficiente. Este acionamento pode ser manual ou automático. A ASHRAE (2008) recomenda, em escritórios de planta livre, que os sensores sejam conectados de forma automática e em escritórios privados, a utilização dos sensores infravermelhos e do interruptor, pré-ajustados em automático e manual.

### 2.2.2.2 Usuário

O comportamento dos ocupantes tem um efeito significativo sobre o consumo energético de uma edificação. Uma edificação que foi projetada para ser energeticamente eficiente pode falhar no seu objetivo se os ocupantes tiverem um comportamento de desperdício energético. De outra forma, um comportamento consciente pode conseguir economizar e até baixar o valor das contas de energia. O ideal seria que o projetista após definido o projeto, passasse ao proprietário da edificação instruções de como usar a edificação.

Atualmente, muitos estudos estão sendo feitos utilizando modelos comportamentais para simulações em eficiência energética, avaliando o impacto do tipo de controle de iluminação no consumo total da energia. Os Modelos Comportamentais predizem o comportamento dos usuários em função do ambiente e podem fornecer respostas à dinâmica da iluminação. O *Lightswitch2002* é um desses modelos comportamentais, que prediz a resposta de diversos tipos de controle, da opção manual de um interruptor à combinação de *dimmers* e sensores de presença, prediz as respostas dos ocupantes à dinâmica da iluminação no controle de sistemas de iluminação e cortinas. Além disso, considera usuários ativos e passivos. Os usuários *ativos* no controle de cortinas e luzes são mais econômicos, consumo de iluminação de usuários *passivos* tende a um uso contínuo de iluminação artificial (BOURGEOIS et al., 2006).

Os modelos comportamentais apresentam muita precisão, porém necessitam da caracterização do tipo de ocupantes e padrões de ocupação do ambiente. Atualmente, o método que trabalha com estas informações é o SHOCC<sup>4</sup> através do *Lightswitch2002*, que requer dados de entrada detalhados do tempo médio de estada dos usuários, dados referentes a chegada e saída dos usuários, o tempo médio de intervalos e refeições, etc (BOURGEOIS et al., 2006).

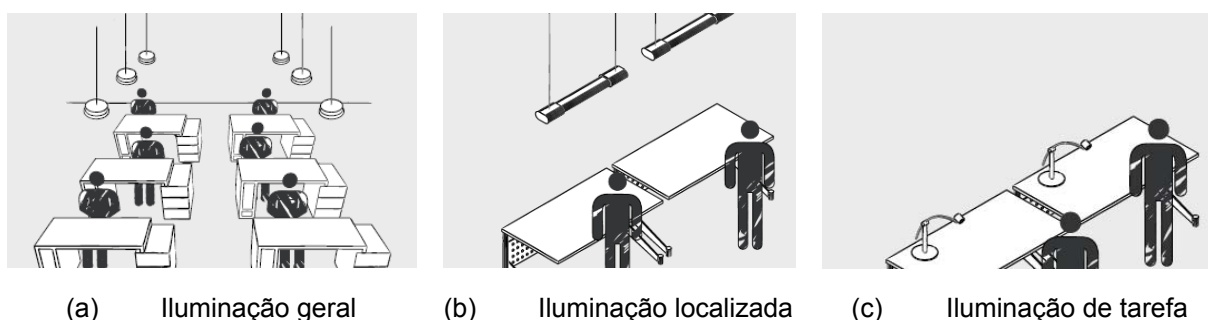
### 2.2.2.3 Iluminação de tarefa

Emprega-se a iluminação de tarefa quando é necessária uma iluminação suplementar próximo às tarefas visuais para a realização de trabalhos específicos. Esta procedimento permite a previsão de níveis de iluminação mais altos para as tarefas visuais, enquanto se mantém a iluminação geral a níveis mais baixos. As

---

<sup>4</sup> O SHOCC é modelo comportamental avançado que foi desenvolvido baseado na ocupação horária para ser utilizado em programas de simulação energética de edificações (BOURGEOIS et al., 2006).

áreas circundantes da tarefa visual necessitam de menos iluminação que o local da tarefa propriamente dita. Recomenda-se que a iluminação ambiental seja pelo menos 33% da iluminação da tarefa, para conforto e adaptação do usuário, evitando desconfortos como o ofuscamento. Isto significa que boa parte da área interna de um edifício pode ter seu nível de iluminação diminuído, reduzindo também o consumo de energia. Fontoynt (1999) diz que nos ambientes com grande quantidade de luz natural, tais soluções são interessantes desde que, a iluminação indireta possa ser utilizada em menos de 50% do tempo em que o ambiente é ocupado (ver Figura 2.7).



**Figura 2.7: Diferentes formas de iluminar**

Fonte: OSRAM, 2008.

### 2.2.3 Medidas dinâmicas de avaliação da luz natural

Atualmente muitas pesquisas em todo o mundo têm sido realizadas buscando maneiras para melhor compreender e aplicar a luz natural nas edificações e avaliar o seu potencial de aproveitamento (MATOS et al., 2007). Essas análises podem ser feitas através de simulação computacional, que podem ser estáticas ou dinâmicas. Uma simulação estática expressa resultados na forma de imagens fotorealísticas ou valores de iluminância, em relação a um céu de referencia, como o *Daylight Factor* (DF) <sup>5</sup>. Já as simulações dinâmicas, rendem séries anuais de iluminâncias e são usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. São elas: *Daylight Autonomy* (DA), *Useful Daylight Illuminances* (UDI) e o Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN).

O DF oferece uma prospecção limitada no desempenho da iluminação natural, por ser fundamentado em um valor da iluminação com um único tipo de céu,

<sup>5</sup> O fator da luz do dia é a relação da iluminância interna de um ponto no interior do ambiente com a iluminância horizontal externa desobstruída sob o céu nublado padrão da CIE (fórmula:  $E_{int}/E_{ext} \times 100\%$ ) (MOORE, 1985).

o céu encoberto. Porém, esta medida persiste como a avaliação dominante da iluminação natural. Para a maioria dos profissionais, a consideração de qualquer medida quantitativa da luz natural começa e termina com o DF (NABIL; MARDALJEVIC, 2005). Como limitação, não leva em consideração estações, horas, radiação solar direta, condições variáveis do céu, orientação ou posição (REINHART et al., 2006).

Com a necessidade de análises mais precisas, surgem as medidas dinâmicas de avaliação da iluminação natural que são expressas em séries anuais de iluminâncias e podem ser usadas como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural e no controle da iluminação para economia de energia. Logo abaixo algumas definições:

***Daylight Autonomy (DA)***: é definida como uma porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminância pode ser mantido, apenas pela iluminação natural (REINHART e MORRISON, 2003). Um alto valor de DA não é uma garantia para a economia de energia elétrica, pois independe do sistema de iluminação artificial instalado e do tipo de controle. Além disto, este índice não permite a identificação de situações onde os níveis de iluminação são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao conforto visual e a carga térmica (MATOS et al., 2007).

***Useful Daylight Illuminances (UDI)***: é dada pela freqüência da iluminância em um determinado tempo de acordo com faixas pré-estabelecidas. O índice permite verificar qual porção do ambiente possui valores úteis (não muito baixos, nem valores que possam causar ofuscamento ou ganho de calor), e qual a porcentagem de ocorrência durante um ano (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Diferente do convencional DF, o DA e o UDI foram designados para ajudar a interpretação da análise do arquivo climático que emprega a realidade, a variação temporária do céu e as condições do sol e os níveis horários de iluminação natural absoluta.

Souza (2003) desenvolveu o **Percentual de Aproveitamento da Luz Natural (PALN)**, que além de estimar a quantidade de energia que pode ser economizada através do aproveitamento da luz natural, também permite a comparação entre diversas estratégias de controle da iluminação artificial. Para obtenção do PALN, o

ambiente é dividido em zonas de iluminação que são caracterizadas por áreas que apresentam uma distribuição de iluminâncias com características similares.

### 2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A avaliação do desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. Com o uso do computador foi possível desenvolver modelos computacionais para representar o comportamento térmico, luminoso e energético de edificações, através da simulação de diferentes cenários, permitindo a análise de alternativas de eficiência energética quando a edificação está em fase de projeto ou após a construção.

Através de programas de simulação computacional é possível avaliar os projetos a partir de suas características dimensionais, componentes construtivos, sistema de iluminação ou de condicionamento de ar, além de informações do padrão de uso e ocupação da edificação (ver Figura 2.8). Pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução. Para isso, é necessário dispor de informações climáticas disponíveis nos arquivos de dados climáticos horários (8.760 horas do ano) que são utilizados para representar as condições externas à edificação, tais como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e ventos (MENDES et al., 2005 e MOREIRA et al., 2005).



Figura 2.8: Simulação integrada ao projeto

As ferramentas de simulação também podem servir de suporte na aplicação de normas de eficiência energética e no projeto de edificações de alta eficiência. Para a obtenção de bons resultados neste sentido, a prática de simulação deve estar incorporada na rotina de projeto dos escritórios de arquitetura e engenharia.

Entretanto, o uso de simulação de edificações no Brasil ainda está concentrado nas instituições de ensino e pesquisa, com pouca transferência da tecnologia para o setor privado (MENDES et al., 2005).

### 2.3.1 Programas de simulação

As primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas na década de 70. Em seguida, surgiram operações em ambiente *Unix*, sob o qual foram desenvolvidas algumas ferramentas computacionais utilizadas até hoje, entre elas o *DOE-2*, *BLAST*, *RADIANCE* e *ESP-r*, os três primeiros desenvolvidos nos Estados Unidos e o último desenvolvido na Escócia, Reino Unido. A partir da década de 90 empresas e grupos de pesquisas se engajaram no desenvolvimento de interfaces para esses programas, compatíveis com o sistema operacional Windows, onde programas mais modernos e complexos, como o *EnergyPlus*, o *Fluent*, o *CEX* e o *Phoenics*, puderam ser desenvolvidos (MENDES et al., 2005).

Atualmente, no *Building Energy Tools Directory*<sup>6</sup>, uma página da internet mantida pelo Departamento de Energia dos EUA que reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis, existe mais de 345 programas de simulação listados. Além disso, alguns países vêm desenvolvendo programas menos complexos para serem utilizados com mais facilidade pelos usuários e difundido no meio comercial. A *EQUA*<sup>7</sup>, uma empresa da Suécia, vem gerando programas de simulação em edificações, baseados na tecnologia *IDA* desde 1998. E, na Inglaterra, foi desenvolvido o programa *Design Builder*<sup>8</sup>, para ser utilizado como interface, facilitando o manuseio no programa *EnergyPlus*.

Alguns desses programas computacionais são destinados a análise térmica, luminosa e energética de edificações e seus sistemas permitem identificar soluções para a redução de gastos com energia elétrica. Os programas simuladores facilitam as análises, que geralmente possuem um grande número de dados para o cálculo do desempenho termo-energético e luminoso de edificações, possibilitando a partir

---

<sup>6</sup> [http://www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory)

<sup>7</sup> <http://www.equa.se/>

<sup>8</sup> <http://www.designbuilder.co.uk/>



da análise dos resultados das simulações, a obtenção de orientações para as decisões de projeto.

Moreira et al. (2005) cita diversos trabalhos que já foram realizados em várias partes do mundo fazendo uso de programas de simulação computacional com o objetivo de avaliar as condições termo-energéticas de edificações (LAM et al., 1997; LAM, 2000; GHISI e TINKER, 2005). Moreira et al. (2005) cita também, alguns estudos que foram realizados no Brasil, na cidade de Florianópolis, através de simulações computacionais para analisar a influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios (GÓMEZ e LAMBERTS, 1995) e a eficiência energética de edifícios de escritórios (LEE et al., 2001; GHISI e LAMBERTS, 1998; WESTPHAL e LAMBERTS, 2000).

Outros trabalhos, citados por Reinhart et al. (2006), foram desenvolvidos com o intuito de analisar as condições luminosas das edificações, no qual os programas fornecem um processo de cálculo para prever a quantidade de luz natural em um ambiente e para quantificar as luminâncias e iluminâncias em determinados pontos da edificação (MARDALJEVIC, 2000; REINHART e ANDERSEN, 2006; REINHART e WALKENHORST, 2001). Esses estudos têm demonstrado que o *RADIANCE* combinado com o *Daylight Coefficient* e o Modelo de Céu de Perez calcula de forma confiável a iluminância e luminância no interior do ambiente. No quadro abaixo se pode observar alguns programas computacionais que realizam simulações dinâmicas da luz natural através do *RADIANCE* (REINHART et al., 2006).

**Quadro 2.1: Programas de simulação computacional de iluminação natural dinâmica.**

Programa	Programa Simulador	Algoritmos de Simulação dinâmica	Sites (último acesso em Out 2008)
Adeline	Radiance	céu estatístico	<a href="http://www.ibp.fhg.de/wt/adeline/">www.ibp.fhg.de/wt/adeline/</a>
Daysim	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.daysim.com">www.daysim.com</a>
ESP-r	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm">www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm</a>
Ligtswitch Wizard	Radiance	daylight coefficients & Perez	<a href="http://www.buildwiz.com">www.buildwiz.com</a>
SPOT	Radiance	céu de simulação anual da CIE	<a href="http://www.archenergy.com/SPOT">www.archenergy.com/SPOT</a>

Fonte: adaptado de REINHART et al., 2006.

Na seqüência serão apresentados, mais detalhadamente, os programas escolhidos para serem utilizados neste trabalho.

### 2.3.1.1 EnergyPlus

## 2. Revisão bibliográfica

---

O programa computacional *EnergyPlus* foi criado a partir da junção de características de dois programas, *BLAST* e *DOE-2*, e desenvolvido em conjunto com: *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories (CERL)*, *University of Illinois (UI)*, *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*, *Oklahoma State University (OSU)*, *GARD Analytics* e *Department of Energy (DOE)*. É um *software* de simulação termo-energética que trabalha com o balanço de calor do *BLAST*, com um ar condicionado genérico, programas de iluminação natural e novos algoritmos de transferência de calor e fluxo de ar entre zonas (CRAWLEY et al., 1999).

O programa estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior com base na caracterização do edifício ou da sala a ser estudada e leva em consideração a geometria, componentes construtivos, cargas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação (CRAWLEY et al., 1999). Programas de simulação como o *EnergyPlus*, unem a simulação termo-energética com o cálculo da iluminação natural, utilizando o modelo de céu dinâmico desenvolvido por Perez et al. (1990), onde as iluminâncias são calculadas a partir do arquivo climático utilizado nas simulações.

Na simulação de iluminação natural o programa determina o impacto do aproveitamento da luz natural no consumo de energia de acordo com as condições ambientais e os tipos de controle de iluminação e gerenciamento das aberturas em função da disponibilidade de luz natural e ocorrência de ofuscamento. O cálculo da iluminação natural deriva do programa *DOE-2* (ENERGYPLUS, 2007a), por isso, o programa trabalha melhor em ambientes que possuem formato cúbico, sem divisória interna. O método *Split Flux* não é recomendado para ambientes em que a profundidade medida da janela à parede dos fundos seja três vezes maior do que a altura do pé direito. Neste caso, o método pode superestimar em duas vezes ou mais, a iluminação interna refletida na parede dos fundos (WINKELMANN e SELKOWITZ, 1984).

Para verificar o comportamento do método *Split Flux*, Wilkelmann e Selkowitz (1984) fizeram dois tipos de estudos de validação: no primeiro, as análises paramétricas foram feitas para testar a sensibilidade de cada processo do cálculo e verificar alguns parâmetros de projeto, como a influência do tamanho da janela, a transmitância do vidro e a refletância das superfícies internas, que foram examinadas sob uma variedade de condições de céu e do sol; no segundo estudo,

foi feita uma comparação através de três diferentes métodos: o uso do programa *DOE-2*, o uso do programa *SUPERLITE* e medidas feitas em modelos de escala no simulador de céu do laboratório de *Lawrence Berkeley* (LBL). Os resultados mostraram que com o *DOE-2*, no modelo profundo, o método *Split Flux* superestimou a iluminação através das inter-reflexões internas.

Ramos (2008) avaliou, em seu estudo, o cálculo da iluminação natural através da comparação das iluminâncias internas calculadas com as simulações realizadas pelos programas *EnergyPlus*, *Daysim/Radiance* e *Troplux*. A principal conclusão deste trabalho foi a verificação das deficiências existentes no programa *EnergyPlus* que tem maior influência no cálculo da iluminação natural, como: o cálculo da parcela de luz refletida no ambiente, e o cálculo das iluminâncias externas maiores que as reais. Surge, então, a necessidade de desenvolvimento de um modelo de céu dinâmico mais adequado às características de céu encontrado em Florianópolis, a cidade analisada.

### 2.3.1.2 Daysim

O *Daysim* é um programa de análise da luz natural, desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC), que utiliza o algoritmo do *RADIANCE*<sup>9</sup> para calcular eficientemente as iluminâncias e luminâncias internas de um ambiente no período de um ano (REINHART, 2006). O programa trabalha com dados anuais através de arquivos climáticos, os mesmos utilizados no programa *EnergyPlus*, que contém uma série horária de dados solares, convertendo as séries horárias em séries sub-horárias.

O programa simula a iluminação natural através do *Daylight Coefficient*, baseando-se no programa *RADIANCE*, que utiliza o método do raio traçado (Ray-trace), e o modelo de céu de Perez et al. (1990), para desta forma, possibilitar a simulação das iluminâncias sob qualquer condição de céu (REINHART e WALKENHORST, 2001). Com a plataforma do programa *RADIANCE* integrado ao método de *Daylight Coefficient*, o *Daysim* calcula o perfil anual de iluminação

---

<sup>9</sup> O *RADIANCE* é um programa de simulação baseado no comportamento físico da luz, desenvolvido nos Estados Unidos, na Universidade da Califórnia. O programa prediz a distribuição de iluminâncias e luminâncias em edificações sob condições de céu definidas. Possui um mecanismo baseado no método de cálculo Ray-trace largamente utilizado e aceito na avaliação de iluminação natural em edificações (WARD, 1993).

## 2. Revisão bibliográfica

---

natural. O uso desse método pelo *Daysim* viabiliza o tempo de simulação para todas as horas do ano, evitando a necessidade de simular todas as condições de céu para se traçar o perfil anual de iluminação (REINHART, 2006).

A simulação é realizada a partir de um modelo tridimensional do ambiente a ser analisado. O modelo é importado de programas como o *Ecotect* e o *Sketchup*. No modelo são definidas as propriedades ópticas das superfícies, e, do arquivo climático, de onde são retirados dados como latitude, longitude e radiação. Além do cálculo das iluminâncias, o programa permite o cálculo do *Daylight Factor* (DF), *Useful Daylight Illuminance* (UDI) e *Daylight Autonomy* (DA) para cada ponto de referência. Outra possibilidade é a verificação do consumo da iluminação artificial de acordo com diferentes padrões de uso (número de pessoas no local e horas de permanência), iluminância de projeto e potência e sistema de controle da iluminação artificial.

O *Daysim* integra um algoritmo comportamental chamado *Lightswitch*, que busca prever as ações dos sistemas de controle de iluminação ou de usuários no controle do sistema de iluminação em relação ao nível de iluminação. Esse modelo permite a simulação sub-horária do uso da iluminação a partir do comportamento dinâmico de iluminação e possibilita exportar um relatório de utilização dos sistemas de iluminação e cortinas em todas as horas do ano (BOURGEOIS et al., 2006).

### 2.3.1.3 EnergyPlus e Daysim

Com o intuito de verificar a distribuição anual da iluminação natural no ambiente e o potencial de redução do consumo energético proveniente do uso da luz natural, em função das limitações do *EnergyPlus*, podem ser utilizados dois programas de simulação: o *Daysim*, para a análise anual de iluminação e o *EnergyPlus* para a verificação do desempenho energético da edificação. Versage (2008) fez um estudo onde foi analisando a integração dos resultados de controle de iluminação do programa *Daysim* na simulação energética do programa *EnergyPlus*. Segundo Koti e Addison (2007), nenhum programa de simulação computacional tem simulado com precisão a união da iluminação natural e o consumo energético de edificações.

O *Daysim* calcula o perfil anual de iluminâncias e luminâncias internas através de arquivos climáticos do *EnergyPlus* e trabalha com o algoritmo do *RADIANCE*. Quando se faz uma análise da iluminação natural, o *Daysim* gera automaticamente um arquivo de dados (\*.intgain.csv) que contém a carga elétrica gasta com iluminação e fica armazenado em seu sub-diretório "res". O arquivo contém os resultados anuais da simulação detalhados, em intervalos de tempo, de hora em hora (REINHART, 2006). Entendendo o problema do *EnergyPlus* e o funcionamento dos dois programas, *EnergyPlus* e *Daysim*, surge a idéia de integrar os resultados do *Daysim* no *EnergyPlus*.

Bokel (2007) publicou um trabalho onde a demanda total de energia foi calculada através de um programa térmico dinâmico, o *Capsol*, que simula a energia anual demandada pela iluminação, aquecimento e resfriamento, usando os dados de saída do *Daysim* (\*.intgain.csv). Koti e Addison (2007) também mostraram essa combinação do *Daysim* com o *DOE-2* como uma boa possibilidade.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho e encontra-se dividida em três etapas: a primeira etapa aborda a construção dos modelos adotados a partir de um levantamento de edifícios de escritórios feito na cidade de Florianópolis/SC; a segunda etapa é dedicada à proposta de simulação com os *softwares Daysim* e *EnergyPlus*; e a terceira etapa descreve como os resultados são analisados. A metodologia foi baseada na avaliação e comparação do desempenho luminoso e energético de modelos com diferentes variáveis de edifícios de escritórios, através de simulação computacional. As etapas metodológicas utilizadas estão apresentadas na seqüência:

A **primeira etapa** se refere aos levantamentos de dados, retirados de trabalhos já realizados, das tipologias e usos de edificações não residenciais na cidade de Florianópolis/SC, para definição da tipologia predominante nos edifícios de escritórios, elaboração e construção dos modelos para simulação, com base na tipologia predominante, e escolha das variáveis a serem investigadas através de simulações computacionais (SANTANA, 2006).

A **segunda etapa** contém as simulações computacionais necessárias para o andamento do estudo, que foram divididas em três tipos: simulação termo-energética através do *software EnergyPlus*, utilizando modelos base, para a comparação com os resultados da simulação integrada; simulação de iluminação natural através do *software Daysim*, para avaliar o comportamento dinâmico da luz natural e obter os dados energéticos (luz artificial) necessários para a simulação energética integrada; e a simulação energética integrada através do *software EnergyPlus* para a obtenção dos dados referentes ao consumo energético dos modelos analisados, utilizados também no desenvolvimento da correlação numérica.

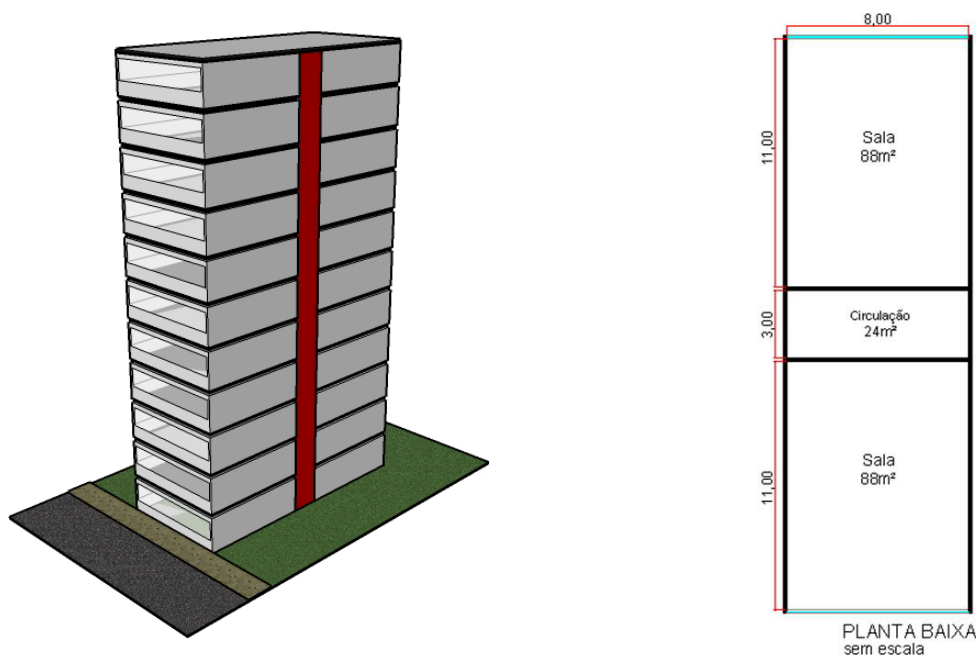
A **terceira etapa** processa e analisa os resultados obtidos nas simulações, finalizando com o desenvolvimento de uma equação que correlaciona os dados de consumo energético e considera as variáveis mais significativas para o desempenho da luz natural no interior das edificações, a fim de se obter o potencial de aproveitamento da luz natural.

### 3.1 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Para a definição e construção dos modelos em estudo foi necessário obter informações referentes às edificações não residenciais na cidade de Florianópolis/SC.

#### 3.1.1 Características do modelo predominante

Para a elaboração do modelo predominante de edifício de escritórios na cidade de Florianópolis/SC, foram levantados dados da literatura e de trabalhos já realizados. Como o de Santana (2006), que desenvolveu uma metodologia de levantamento de dados de edificações para verificar as características geométricas mais comuns em edifícios de escritórios. Foram analisados 35 edifícios em relação à caracterização construtiva e 41 escritórios em relação ao padrão de ocupação e uso de equipamentos. Esses dados serviram de base para a elaboração de um modelo representativo da realidade construtiva local, com modelo padrão de 8m de largura por 25m de comprimento e pé direito de 2,70m. O edifício tem 11 pavimentos, com uma área de 200m<sup>2</sup> por pavimento, que corresponde a duas salas e um corredor central (Ver Figura 3.1).



**Figura 3.1: Visualização do modelo analisado.**

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2006.

## 3.1.1.1 Parâmetros construtivos

As características construtivas adotadas para as paredes, cobertura e piso correspondem aos materiais mais encontrados na amostra do trabalho de Santana (2006). As paredes externas são constituídas de tijolos cerâmicos com reboco em ambas as faces e a cobertura é composta por telhas de fibrocimento e laje de concreto. Na Tabela 3.1 pode ser visto os materiais utilizados para a construção dos modelos.

Tabela 3.1: Descrição das propriedades dos materiais

Elementos	Rugosidade	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)
<b>Parede interna</b>					
Argamassa de reboco	rugoso	2,5	1,15	2000	1000
Tijolo cerâmico	rugoso	10	0,9	1232	920
<b>Laje intermediária</b>					
Argamassa de reboco	rugoso	2,5	1,15	2000	1000
Laje de concreto	rugoso	15	1,75	2200	1000
Piso cerâmico 1	rugoso	1,9	0,14	530	900
<b>Piso</b>					
Laje de concreto	rugoso	15	1,75	2200	1000
Argamassa de reboco	rugoso	2,5	1,15	2000	1000
Piso cerâmico 2	rugoso	1	0,9	1600	920
<b>Parede externa</b>					
Argamassa de reboco	rugoso	2,5	1,15	2500	1000
Tijolo cerâmico	rugoso	10	0,9	2900	920
<b>Cobertura</b>					
Telha de fibrocimento	rugoso	0,7	0,95	1900	840
Laje de concreto	rugoso	8	1,75	2200	1000

Fonte: SANTANA, 2006.

As transmitâncias obtidas para esses materiais e suas respectivas absorptâncias, referentes à radiação solar, estão apresentadas na Tabela 3.2. A absorptância da parede corresponde à cor cinza, e a absorptância da cobertura corresponde à cor da telha de fibrocimento.

Tabela 3.2: Descrição da tipologia predominante

Transmitância Térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Paredes	2,47
	Cobertura	2,42
Capacidade Térmica [KJ/(m <sup>2</sup> .K)]	Paredes	200
	Cobertura	187
Absortância	Paredes	0,65
	Cobertura	0,70

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2006.



As refletâncias internas dos ambientes, relacionadas com a luz, não foram obtidas nos levantamentos. Optou-se por utilizar as refletâncias de ambientes de trabalho sugeridas por STEFFY (1990) apud (SOUZA, 2003) já que são valores baseados em refletâncias reais e não valores teóricos (ver Tabela 3.3).

**Tabela 3.3: Refletâncias de superfícies em ambientes de trabalho**

Superfície	Refletância	Material
Pisos	10 a 20%	Carpete
		Madeira
		Lajota
Tetos	70% ou mais	Gesso
		Tetos pintados com cores claras
Paredes	30 a 50%	Paredes pintadas com cores médias

Fonte: Adaptado de STEFFY, 1990 apud SOUZA, 2003.

Com base nas refletâncias sugeridas na Tabela 3.3, adotou-se os valores de 70% para teto, 50% para paredes e 20% para o piso.

### 3.1.1.2 Uso de equipamentos e padrão de ocupação

Os equipamentos mais comuns apresentados nos levantamentos de Santana (2006) foram: aparelhos de ar condicionado, cafeteiras, computadores, fax, lâmpadas, geladeiras, impressoras, ventiladores, filtro d'água e rádio, que através de monitoramentos apresentou uma densidade térmica média de  $9,7\text{W/m}^2$ . A mesma densidade adotada neste trabalho.

O sistema de condicionamento de ar utilizado é composto por um aparelho de janela, que opera durante o horário de uso da edificação (8h às 18h) para manter a temperatura interna entre  $18^\circ$  e  $24^\circ\text{C}$ . Optou-se pelo aparelho de janela por ser um modelo mais simples, comumente encontrado em edificações de escritórios e de fácil aquisição. O sistema de condicionamento de ar foi modelado com a Etiqueta de Eficiência A do INMETRO com um COP (*Coefficient of Performance*) para resfriamento de 3,19 W/W dimensionado de acordo com a área do protótipo em estudo. A taxa de infiltração foi fixada em uma renovação de ar por hora.

Em relação ao padrão de ocupação, os períodos com ocupação mais intensa são das 8h às 12h e das 14h às 18h. Isso ocorre devido ao horário de almoço e horários que comumente não possuem expediente, portanto, adotou-se nas

simulações, o período de 8h às 18h. A Tabela 3.4 apresenta de forma simplificada os dados de uso de equipamentos e padrão de ocupação utilizados nas simulações computacionais.

**Tabela 3.4: Descrição da tipologia predominante**

Ocupação média (m <sup>2</sup> /pessoa)		
Densidade de carga interna (W/m <sup>2</sup> )	Iluminação	7
	Equipamentos	9,7
Padrão de uso (horas)	Ocupação	8 – 18
	Iluminação	8 – 18
	Equipamentos	8 – 18
Características do sistema de condicionamento de ar	Tipo	Aparelho de janela
	Capacidade de refrigeração (BTU/h)	Ideal para o protótipo <sup>10</sup>
	COP (W <sub>térmico</sub> /W <sub>elétrico</sub> )	3,19

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2006 e CARLO, 2008.

### 3.1.1.3 Sistema de Iluminação artificial

O sistema de iluminação artificial foi definido a partir de um projeto luminotécnico de iluminação geral, feito com o Método dos Lumens, para quantificar o número de luminárias necessárias com o cálculo da Iluminância do ambiente (ver Apêndice A). Os ambientes são compostos por luminárias de embutir de alta eficiência e aletas metálicas que impedem o ofuscamento. Cada luminária contém 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 28W (ver Tabela 3.5) que proporcionam uma densidade de potência instalada de 7W/m<sup>2</sup>. Para a iluminância de projeto adotada ver item 3.1.1.4.

**Tabela 3.5: Especificação técnica da lâmpada utilizada no projeto luminotécnico.**

Código comercial OSRAM	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)	IRC	Vida útil (horas)
T5 FH28W/840HE	28	2600	95	4000	85	18000

Fonte: Catálogo OSRAM

<sup>10</sup> Para climatizar as diferentes zonas a capacidade de resfriamento do aparelho de condicionamento de ar varia de acordo com o consumo do modelo. Neste trabalho optou-se por dimensionar o sistema mais adequado para cada zona através do *EnergyPlus*.

No controle da iluminação artificial foi utilizado um sistema automático *dimmerizável* para garantir que a iluminação artificial seja diminuída ou desligada quando a luz natural alcançar os níveis de iluminação desejados.

#### 3.1.1.4 Níveis de iluminação recomendados

A NBR 5413 – Iluminância de Interiores serviu como guia para a verificação do tipo de iluminância recomendado. De acordo com a Norma é necessário avaliar três fatores para a determinação da iluminância adequada: idade do usuário, velocidade e precisão da tarefa e refletância do fundo da tarefa (ver Tabela 3.6).

**Tabela 3.6: Fatores determinantes da iluminância adequada.**

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	1
<i>Idade</i>	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
<i>Velocidade e precisão</i>	Sem importância	Importante	Crítica
<i>Refletância do fundo da tarefa</i>	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%

Fonte: ABNT, 1992.

Conforme os fatores determinantes para as atividades de escritório foi adotado o valor de iluminância média de 500 lux. Esse valor foi alcançado considerando a idade dos usuários do ambiente de escritório inferior a 40 anos, a velocidade e precisão de suas tarefas são sem importância, por não se tratar de atividades arriscadas, e a refletância do fundo da tarefa ser de cor clara, somando um peso de -2, que equivalente a menor taxa de iluminância indicada para a atividade (ver tabela 3.7).

**Tabela 3.7: Iluminâncias por classes de tarefas visuais.**

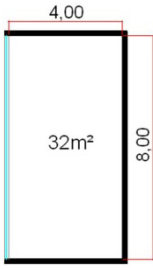
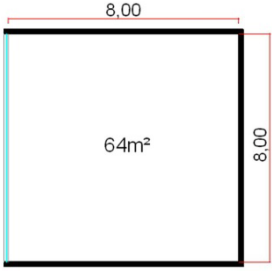
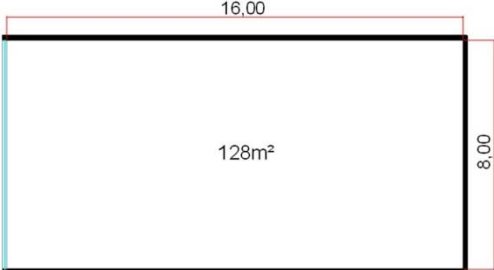
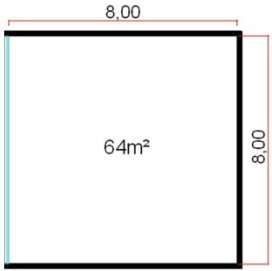
Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	<b>500</b> - 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
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT, 1992.

### 3.1.2 Modelos para simulações

A partir da definição da tipologia predominante definiram-se os modelos para as análises. Foram modeladas e simuladas diferentes salas de escritório, representadas por um paralelepípedo ortogonal dividido em piso, paredes e teto, com a fachada frontal medindo 8m de largura e a profundidade variando em 4m, 8m e 16m (ver Tabela 3.8). As profundidades de 4m e 16m foram escolhidas de forma que, mantendo a largura da fachada, fosse possível analisar duas salas com dimensões proporcionais e aberturas em lados diferentes. Todos os modelos possuem pé direito de 2.70m, com exceção do modelo 4, que também foi avaliado com pé direito de 3.50m, para um estudo da influência da altura ambiente na distribuição da luz natural. Assim, foi possível uma avaliação mais completa da influência da luz natural, comparando os diferentes resultados de iluminação e do consumo de energia.

Tabela 3.8: Planta baixa dos modelos com suas diferentes alturas e profundidades.

MODELOS	PROFUNDIDADE	ALTURA
Modelo 1	 <p>4,00 32m<sup>2</sup> 8,00 PLANTA BAIXA sem escala</p>	Pé direito = 2.70m
Modelo 2	 <p>8,00 64m<sup>2</sup> 8,00 PLANTA BAIXA sem escala</p>	
Modelo 3	 <p>16,00 128m<sup>2</sup> 8,00 PLANTA BAIXA sem escala</p>	
Modelo 4	 <p>8,00 64m<sup>2</sup> 8,00 PLANTA BAIXA sem escala</p>	Pé direito = 3.50m

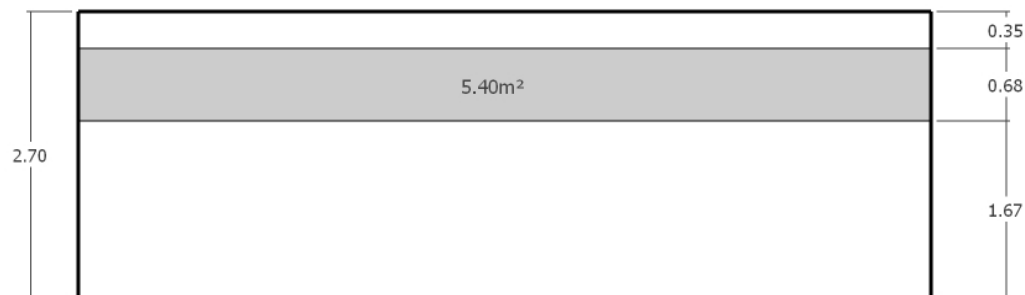
Os modelos foram avaliados nas quatro orientações cardiais: norte (0°), leste (90°), sul (180°) e oeste (270°) e, para uma análise do comportamento da luz natural, o entorno não foi levado em consideração. Na seqüência estão descritos os modelos utilizados nas simulações e suas diferentes variáveis.

### 3.1.2.1 Modelos paramétricos

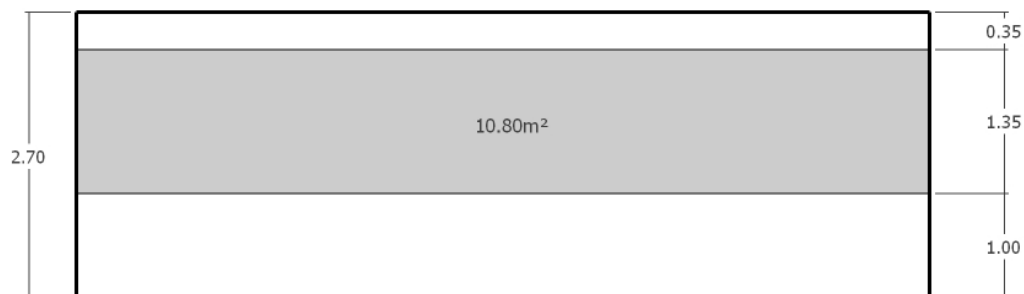
Os modelos paramétricos, ou modelos com diferentes variáveis, têm a finalidade de formar um conjunto de dados com diversas combinações de parâmetros construtivos que interferem no comportamento da luz natural. Diante dos resultados obtidos com as simulações, será possível estabelecer quais são os parâmetros mais adequados para a economia de energia a partir do aproveitamento da luz natural. Os parâmetros em estudo e suas respectivas variações serão explanados a seguir.

#### 3.1.2.1.1 *Tamanho da janela*

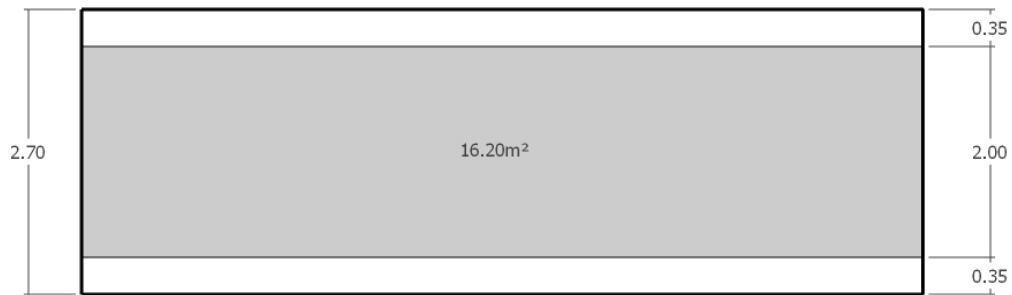
Para a análise da influência da luz natural e do consumo de energia com relação à dimensão das áreas de janela, foram estabelecidas razões de abertura. Foram simulados casos com PAF (Percentual de Área de Abertura na Fachada) igual a 0.25, 0.50 e 0.75, ou seja, a área da janela corresponde, respectivamente, a 25%, 50% e 75% da área da parede. Para todos os modelos foi adotada uma janela em fita com largura padrão de 8m, equivalente à largura entre paredes. E para o ajuste do PAF variou-se apenas a altura da janela (ver Figura 3.2).



(a) PAF = 25%



(b) PAF = 50%

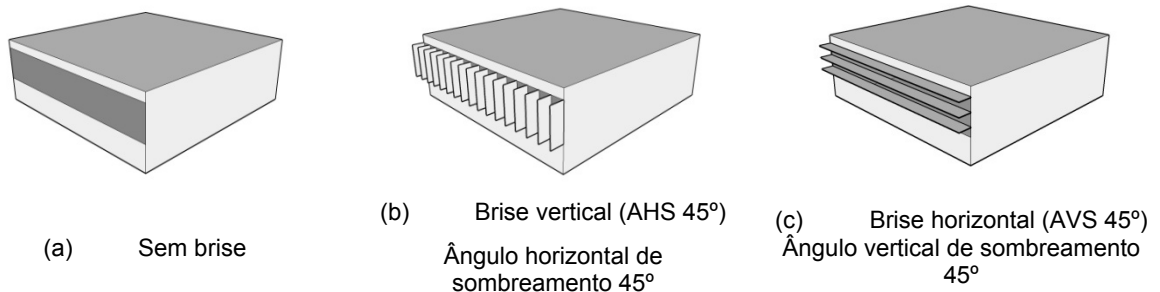


(c) PAF = 75%

**Figura 3.2: (a), (b) e (c): Dimensões das janelas de acordo com o PAF utilizado.**

### 3.1.2.1.2 Proteção solar

Para a análise das variações dos elementos de proteção solar, foram simulados 3 casos: um sem elementos de proteção solar e dois providos de elementos de proteção solar. Nos dois casos, a proteção solar vertical ou horizontal são formados por placas de refletância de 50%, com 50cm x tamanho da janela, intercaladas a cada 50cm, formando um ângulo de sombreamento de 45° (ver Figura 3.3). Os *brises* possuem cor cinza com refletância de 0.50.

**Figura 3.3: Características dos casos relacionados ao fator de projeção.**

### 3.1.2.1.3 Fator Solar dos vidros

Este trabalho avaliou dois tipos de vidros, a partir do ganho de calor por radiação solar, para uma melhor verificação na economia de energia. São dois vidros simples, com lâmina incolor de 6mm, no qual, um possui Fator Solar de 0.82, que equivale a uma grande parcela de luz transmitida e o outro com Fator Solar de 0.23, que equivale a um vidro com uma pequena parcela de luz. As propriedades dos vidros foram retiradas da biblioteca do *EnergyPlus* v.3.0. Na Tabela a seguir se pode ver mais detalhadamente os vidros utilizados.

**Tabela 3.9: Propriedades dos vidros.**

### 3. Metodologia

Vidro	Espessura (m)	Fator solar	Solar			Visível			Condutividade (W/m-K)
			Transm.	Reflet. (frente)	Reflet. (atrás)	Transm.	Reflet. (frente)	Reflet. (atrás)	
82 CLEAR	0.006	0.82	0.775	0.071	0.071	0.881	0.080	0.080	0.90
23 REF CLEAR	0.006	0.23	0.110	0.270	0.430	0.140	0.310	0.350	0.90

Fonte: EnergyPlus/DataSets – v.3.0, 2008.

#### 3.1.2.1.4 Altura do ambiente

A altura do pé direito de um ambiente é um parâmetro que influencia significativamente a distribuição da luz natural em ambientes iluminados lateralmente. Para essa análise foi necessário criar um modelo com o pé direito mais alto, de 3,50m (Modelo 4), para comparar com o modelo com pé direito de 2,70m (Modelo 2). O Modelo 4 será avaliado com as mesmas variações utilizadas no Modelo 2, mantendo a mesma área de janela, que significa um percentual de abertura na fachada diferente. O modelo também será simulado com os dois tipos de vidros (FS 0.82 e FS de 0.23), ausente de proteção solar e com proteção solar vertical e horizontal (ver Figura 3.4).

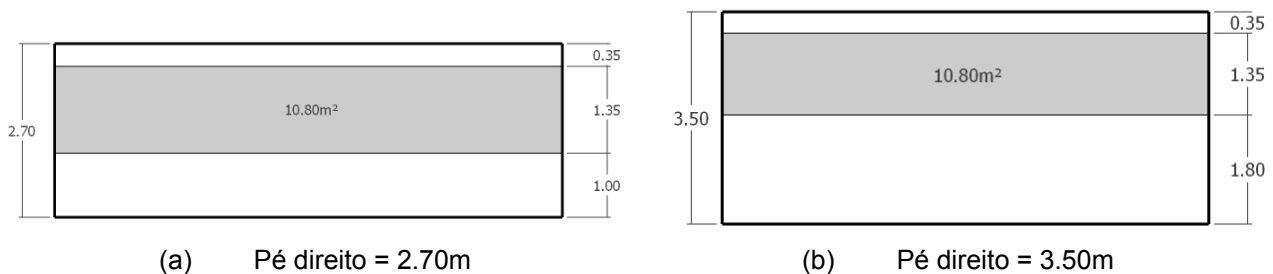


Figura 3.4: Modelos com diferentes alturas.

Nas duas Tabelas abaixo estão sintetizadas as características dos modelos simulados com suas respectivas variações.

Tabela 3.10: Modelos com o pé direito de 2,70m.

Modelos	Profundidade (m)	PAF %	FS	Proteção Solar		Orientação
				AHS (graus)	AVS (graus)	
Modelo 1	4m	25%	0.82	0	0	Norte
Modelo 2	8m	50%	0.23	45	0	Sul
Modelo 3	16m	75%		0	45	Leste
						Oeste

Tabela 3.11: Modelo com o pé direito de 3,50m.



Modelo	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	FS	Proteção Solar		Orientação
			AHS (graus)	AVS (graus)	
Modelo 4	5.40m <sup>2</sup>	0.82	0	0	Norte Sul Leste Oeste
	10.80m <sup>2</sup>	0.23	45	0	
	16.20m <sup>2</sup>		0	45	

Foram construídos e avaliados 72 modelos com diferentes variáveis, totalizando **576 simulações**: 288 simulações no *Daysim* e 288 simulações no *EnergyPlus*.

### 3.1.2.2 Modelo base

O modelo base serve de referência para as análises dos resultados das simulações dos modelos paramétricos. Optou-se por um protótipo que representasse uma baixa eficiência no uso da luz natural, com características que induzissem uma baixa eficiência energética na edificação. O modelo apresenta um sistema de iluminação artificial ligado durante todo o período de ocupação, sem sensores fotoelétricos *dimmerizáveis*, o PAF de 75% e FS de 0,82. Foi construído um modelo base para cada um dos quatro modelos em estudo (ver Tabela 3.12).

**Tabela 3.12: Características do Modelo base.**

Modelo Base	Profundidade (m)	Pé direito (m)	PAF (%)	FS	AHS (graus)	AVS (graus)
MBase 1	4,00	2,70	75	0,82	0	0
MBase 2	8,00	2,70	75	0,82	0	0
MBase 3	16,00	2,70	75	0,82	0	0
MBase 4	8,00	3,50	75	0,82	0	0

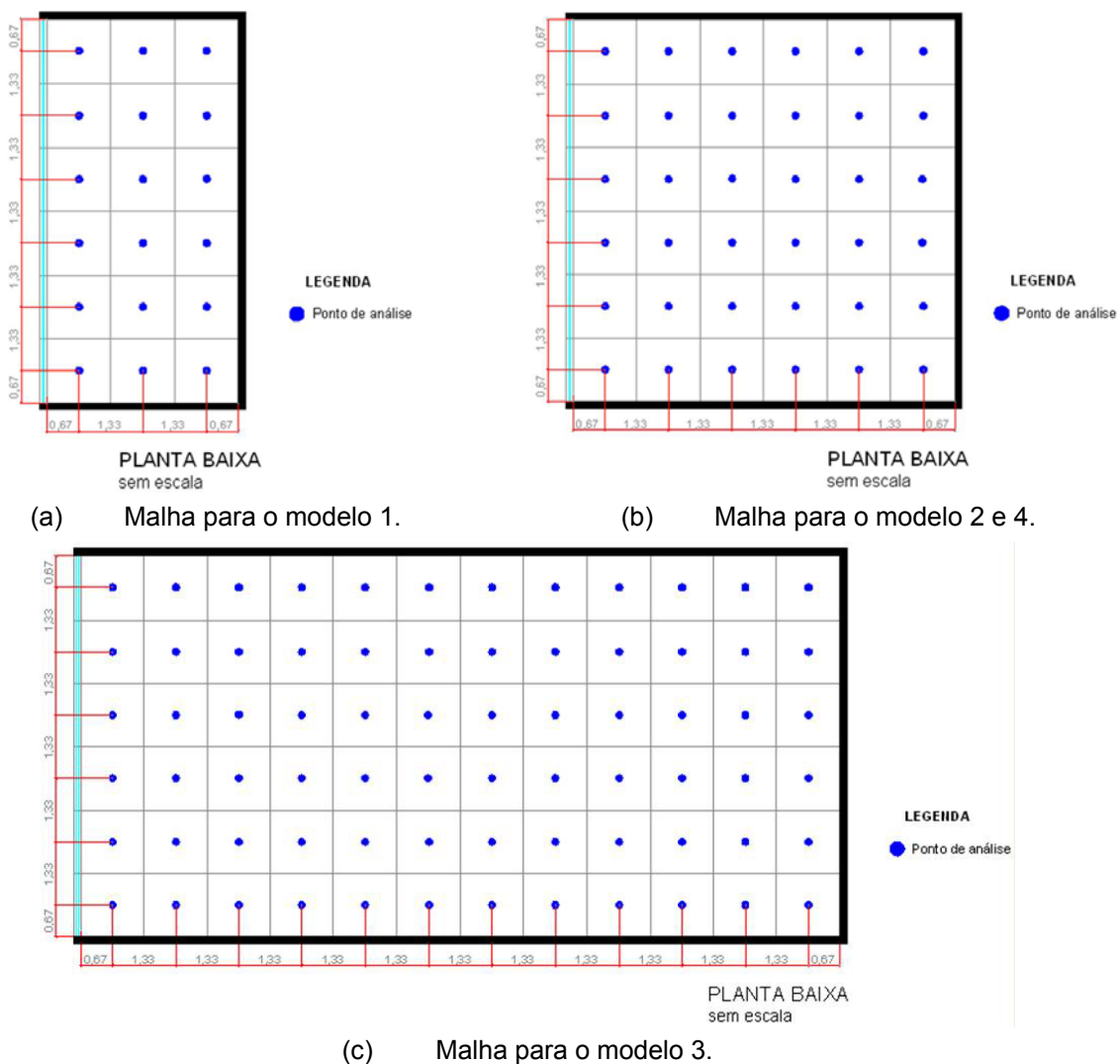
Os modelos base foram utilizados nas simulações termo-energéticas para serem comparados com os modelos paramétricos. Para isso, foram simulados nas 4 orientações em estudo (norte, sul, leste e oeste), totalizando **16 simulações**.

### 3.1.3 Plano de análise

Para a avaliação do *Daylight Autonomy* (DA) no plano de trabalho as simulações foram realizadas em uma quantidade de pontos suficiente para caracterizar um plano de análise. O plano de análise foi definido com mais pontos do

### 3. Metodologia

que o mínimo recomendado pela NBR15215-4<sup>11</sup> por se tratar de uma análise computacional, porém, devido a limitações do programa computacional, não foi possível uma malha com mais pontos do que o proposto. O ambiente interno está dividido em áreas iguais, formando uma malha onde as medidas são dadas no centro de cada área. A malha de pontos é uma superfície horizontal situada a 75cm de altura do piso, com os pontos distanciados 1,33m entre si e 0,67m da parede (ver Figura 3.5). A quantidade de pontos da malha vai variar de acordo com o tamanho do ambiente em estudo.



**Figura 3.5: Malhas de pontos do plano de análise.**

Para a avaliação do consumo de energia elétrica considerou-se todos os pontos de análise como sensores do plano de trabalho controlados por um sensor fotoelétrico situado no centro do ambiente.

<sup>11</sup> NBR 15215-4: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de Medição.

## 3.2 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

As simulações foram divididas em três etapas. Primeiramente, realizou-se a simulação termo-energética com os modelos base, utilizando o *software EnergyPlus*; em seguida, a simulação de iluminação natural nos modelos paramétricos, através do *software Daysim*; e para finalizar, a simulação integrada, para obtenção dos dados de consumo energético total no *EnergyPlus* inserindo o controle do sistema de iluminação obtido no *Daysim*.

### 3.2.1 Simulação termo-energética

A simulação termo-energética foi realizada com o uso do *software EnergyPlus* versão 3.0 e dos modelos base. Os resultados obtidos serviram de referência comparativa para os resultados das simulações dos modelos com diferentes variáveis.

### 3.2.2 Simulação de iluminação natural

As simulações de iluminação natural foram realizadas com o *software Daysim*, que fornece dados para a avaliação da luz natural (*Daylight Autonomy - DA*) e dados horários de acionamento da iluminação artificial pelo controle automatizado.

Para iniciar as simulações foi necessário preparar os modelos computacionais em um programa CAD, o *Daysim* aceita modelagem em diversos softwares, contanto que o arquivo seja exportado no formato 3ds. Neste trabalho optou-se pelo *SketchUp*<sup>12</sup> por ser um programa CAD tridimensional, de fácil e rápido manuseio. Após inserir o modelo no *Daysim* os parâmetros da simulação devem ser configurados. Como o *Daysim* simula a iluminação através do *RADIANCE*, seu tutorial sugere alguns dados de entrada que devem ser inseridos de acordo com as características do modelo utilizado (ver Tabela 3.13 e Tabela 3.14).

**Tabela 3.13: Dados de entrada para modelos sem proteção solar.**

<sup>12</sup> Programa de fácil entendimento e grande popularidade entre projetistas e estudantes. A versão gratuita pode ser adquirida no site <http://www.sketchup.com/>.

### 3. Metodologia

Ambient bounces	ambient division	Ambient Sampling	Ambient accuracy	ambient resolution	direct threshold	direct sampling
5	1000	20	0.1	300	0	0

**Tabela 3.14: Dados de entrada para modelos com proteção solar.**

Ambient bounces	ambient division	Ambient Sampling	Ambient accuracy	ambient resolution	direct threshold	direct sampling
7	1500	100	0.1	300	0	0

Após cada simulação, o programa produz um relatório com os valores de DA para cada ponto da malha e um relatório CSV (*comma separated value*), com os dados de consumo da iluminação artificial, necessário para o cálculo do consumo de energia elétrica (ver Apêndice B). Este último foi utilizado como controle de iluminação para a simulação integrada no *EnergyPlus*.

#### 3.2.3 Simulação energética integrada

Com a simulação energética integrada foi possível avaliar o impacto na economia de energia a partir do aproveitamento da luz natural. A simulação é realizada pelo *EnergyPlus* que permite obter dados referentes ao consumo energético de cada ambiente em estudo. A simulação energética é possível com a integração do relatório gerado pelo *Daysim* e os valores horários de ocupação e acionamento da iluminação.

Para os dados de entrada no programa de simulação, foram utilizadas as características construtivas, de uso e ocupação dos modelos e o relatório do controle de iluminação artificial obtido na simulação de iluminação. O sistema de iluminação utilizado no *Daysim* possui um controle de sensores fotoeléticos *dimmerizáveis* que regulam a intensidade de energia para iluminação conforme a disponibilidade de luz natural e mantém o ambiente com um nível de iluminação constante. A iluminação é ativada através de um único interruptor liga/desliga perto da porta e a fotocélula consome 2W em *standby*.

Antes de utilizar o Relatório com os ganhos internos (CSV) no *EnergyPlus* os dados devem ser convertidos, já que o *EnergyPlus* e o *Daysim* trabalham com unidades de iluminação diferentes, Watts e ILD, respectivamente. Sendo assim, os valores de *Installed Lighting Power Density* do relatório do *Daysim* foram convertidos

em uma relação de potência instalada: dividindo a densidade de potência do relatório pela potência instalada ( $7W/m^2$ ) que resultou em um valor percentual de utilização da potência instalada em toda a sala.

Desta forma foi possível utilizar os valores horários do fator da potência como Schedule de controle do sistema de iluminação no *EnergyPlus*. A Schedule deve ser inserida como ilustra a figura abaixo.

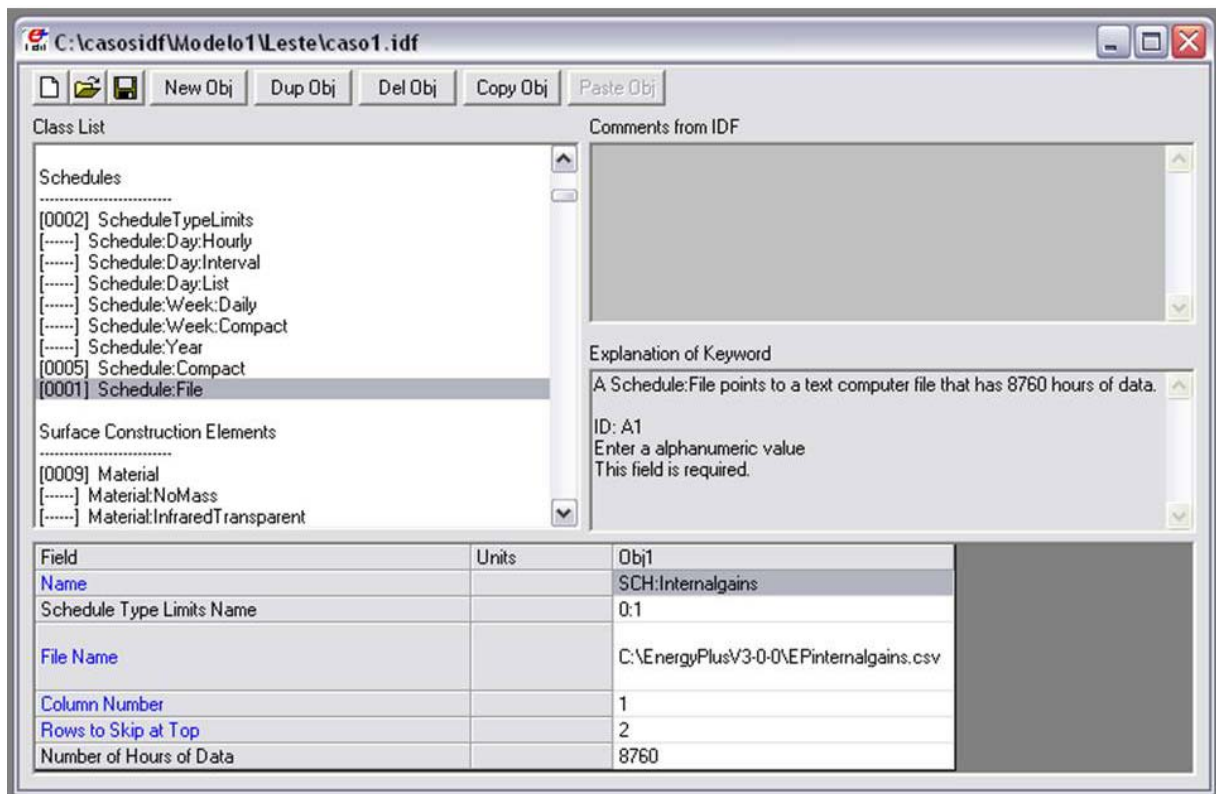


Figura 3.6: Como configura no *EnergyPlus*

### 3.2.4 Arquivo climático

As simulações foram realizadas, em ambos os programas, com o uso de um arquivo de dados meteorológico do tipo TRY (*Test Reference Year*). Os arquivos climáticos TRY baseiam-se num banco de dados climáticos que resultam num ano de referência relativo ao clima local, considerado como típico de cada localidade. Os arquivos de referência TRY incluem variáveis como: mês, dia e hora; temperatura de bulbo seco e bulbo úmido; velocidade dos ventos, temperatura do solo; pressão barométrica; tipo de céu e radiação solar.

Neste trabalho, foi adotado como dado de entrada o arquivo climático TRY de referência para a cidade de Florianópolis/SC, disponibilizado no site do Laboratório

de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br>).

### 3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos com as simulações foram tratados e analisados por diferentes métodos. Para a análise dos dados das simulações computacionais adotaram-se métodos gráficos e para a elaboração da correlação numérica foi adotado um método analítico com o uso de ferramentas estatísticas.

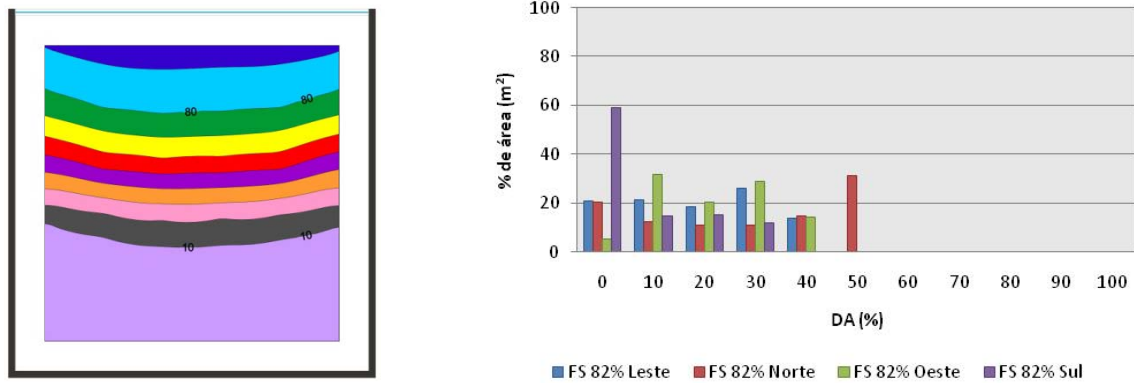
#### 3.3.1 Simulações computacionais

As simulações de iluminação natural, termo-energéticas e integradas foram avaliadas pelo método gráfico que permitiu ilustrar e relacionar tanto a distribuição anual da luz natural no ambiente e focalizar uma abordagem quantitativa para avaliar numericamente a contribuição da luz natural na visualização do consumo de energia elétrica, como relacionar o consumo com diversos parâmetros avaliados.

Com os dados de iluminação natural, o método gráfico possibilitou uma análise sobre o resultado final da iluminação e sobre as tendências de distribuição do fluxo luminoso, criando gráficos de curvas *Iso Daylight Autonomy (isoDA)* das diferentes situações, representando o plano de análise. Foi possível também, produzir um conjunto de referências do comportamento da luz natural de todas as situações estudadas, no qual se avaliou o desempenho dos modelos quanto aos níveis de iluminação e analisou as tendências de iluminação pelas áreas dos ambientes. Os gráficos *isoDA*, similares a mapas topográficos, foram desenvolvidos com o uso do *software WinSurf 5.0*. Os resultados obtidos através da malha de pontos do plano de análise em posição cartesiana, do programa de simulação, com valores de DA, foram inseridas nas planilhas do *WinSurf* para formar os gráficos de curva *isoDA*. Desta forma pode-se identificar o comportamento da iluminação natural e conhecer os diferentes valores de DA por metro quadrado (m<sup>2</sup>) nos espaços delimitados pelas curvas (ver Figura 3.8).

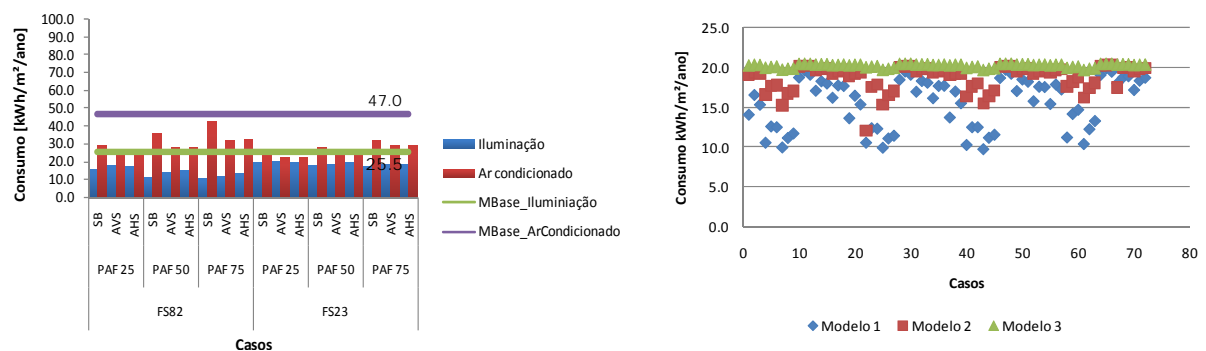
O levantamento de área se tornou possível através do *software Autodesk Map 3D*, um programa tipo CAD, no qual os arquivos do *WinSurf* salvo no formato *.dxf* foram inseridos e tratados para se obter o valor da área ocupado por cada faixa cor.

Os dados foram sintetizados no formato de gráficos, no *Microsoft Excel*, que relacionam a porcentagem de área de cada ambiente pelos valores de DA obtidos nas simulações (ver Figura 3.7).



**Figura 3.7: Método gráfico para análise da iluminação natural.**

Os dados obtidos com as simulações termo-energéticas e com as simulações integradas também foram sistematizados em forma de gráficos no *Microsoft Excel*. Os gráficos apresentam relações entre o consumo de energia com os modelos em estudo e suas variáveis. As análises são feitas por grupos e entre os modelos com o intuito de caracterizar a influência da luz natural no consumo de energia em relação as diferentes soluções em estudo (ver Figura 3.8).



**Figura 3.8: Método gráfico para análise do consumo de energia.**

### 3.3.2 Modelo de regressão múltiplo

Para a elaboração do modelo de regressão utilizou-se o software SPSS 16.0, o qual permite desenvolver um Indicador de Consumo (IC) para avaliar a eficiência energética da edificação com a influência da luz natural. Os dados utilizados foram obtidos na simulação computacional integrada, que forneceu dados do consumo de energia para os modelos. Esses dados foram analisados pelo software gerando uma

equação que relacionou as seis variáveis em estudo e permitiu a elaboração de um indicador de eficiência energética com o uso da iluminação natural em edificações.

O modelo de equação foi utilizado para a avaliação do sistema de iluminação natural, verificando as prováveis inter-relações entre as variáveis estudadas como a área de abertura, o fator solar do vidro, os ângulos verticais e horizontais de sombreamento e a profundidade do ambiente. Com a equação, espera-se avaliar a eficiência entre diferentes tipos de edificações, através dos diversos parâmetros que interferem no consumo de energia.

O modelo de regressão multivariada envolve situações em que há mais de um regressor. O programa fornece as estatísticas de uma reta usando o método dos mínimos quadrados para obter uma equação linear que ajuste os dados, retornando uma matriz que descreve a mesma. A relação que pode descrever esse modelo é:

#### Equação 3.1

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \epsilon$$

Onde o valor de **y**, variável resposta ou a explicar é uma função dos valores de **x** regressores ou explicativos. Os valores de **β** são coeficientes que correspondem a cada valor de **x**, e **ε** é um valor constante, que pode ser igual a zero.

A tendência linear de **y** das seis variáveis **x** inseridas pode ser descrita como:

- **y** corresponde ao consumo de energia elétrica;
- **x** corresponde às variáveis consideradas relevantes para o aproveitamento da luz natural no desempenho energético de edificações;
- **n** corresponde ao número de variáveis **x** utilizadas na equação.

Após a obtenção da equação utilizando o *software* citado, algumas análises foram realizadas. Essas análises incluíram:

- O **coeficiente de determinação ou de explicação ( $r^2$ )** é freqüentemente usado para julgar a adequação de um modelo de regressão que fornece a proporção de valores explicados pelo modelo adotado;

#### Equação 3.2



$$r^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T} = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T}$$

- O **desvio padrão** para a estimativa de y; que é usado como medida de dispersão ou variabilidade.
- E, o **teste t** (t Student), que indica se um coeficiente de inclinação é adequado para prever o valor estimado da variável resposta. O valor de t calculado para a amostra compara-se com o valor da tabela estatística, através do t crítico, que serviu para testar a igualdade das médias do consumo utilizado (simulado) com as médias dos consumos obtidos pela equação. Na medida em que o valor absoluto de t é maior que o valor crítico, a variável independente em questão será importante para prever o valor estimado da variável dependente.

### Equação 3.3

$$H_0 : \beta_1 = \beta_{1,0}$$

$$H_0 : \beta_1 \neq \beta_{1,0}$$

Na seqüência pode-se observar um mapa metodológico que apresenta de forma sintetizada a metodologia descrita neste capítulo (ver Figura 3.9).



Figura 3.9: Mapa metodológico

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e análises obtidos durante a pesquisa a partir da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior. Inicialmente é analisado o comportamento da luz natural nos diferentes modelos em estudo através dos valores de *Daylight Autonomy* (DA) obtidos com as simulações no *software Daysim*; Em seguida são apresentados os resultados das simulações termo-energéticas e das simulações integradas, no *software EnergyPlus*, com os modelos base e os modelos de diferentes parâmetros; Para finalizar, é aplicado um método estatístico para o desenvolvimento da equação do Indicador de Consumo (IC) da contribuição da luz natural em relação ao consumo de energia.

### 4.1 COMPORTAMENTO DA LUZ NATURAL

A análise do comportamento da iluminação natural, realizada através do uso da medida dinâmica do *Daylight Autonomy* (DA), indica a porcentagem das horas ocupadas por ano em que o nível de iluminância de 500 lux, adotado como iluminância de projeto, é mantido no ambiente apenas com o uso da luz natural. Para melhor ilustrar, a análise é apresentada pelo método gráfico, com curvas isoDA (*Iso Daylight Autonomy*), onde cada valor de DA é representado por uma cor. Cada cor apresenta um valor de DA obtido em determinada quantidade de área do ambiente. Os resultados encontrados foram sistematizados e separados em quatro grupos para serem discutidos. Os grupos foram divididos pelo tipo de modelo, de acordo com a volumetria do ambiente. Cada grupo possui 72 casos formados pela combinação de 5 variáveis: orientação, Fator Solar, Percentual de Área de Fachada, Ângulo Vertical de Sombreamento e Ângulo Horizontal de Sombreamento. As várias condições estudadas encontram-se descritas a seguir:

#### 4.1.1 Análise Modelo 1

Como descrito na metodologia, as salas do Modelo 1 (M1) possuem dimensões de 8,00m de largura por 4,00m de profundidade e pé direito de 2,70m.

4. Resultados e discussões

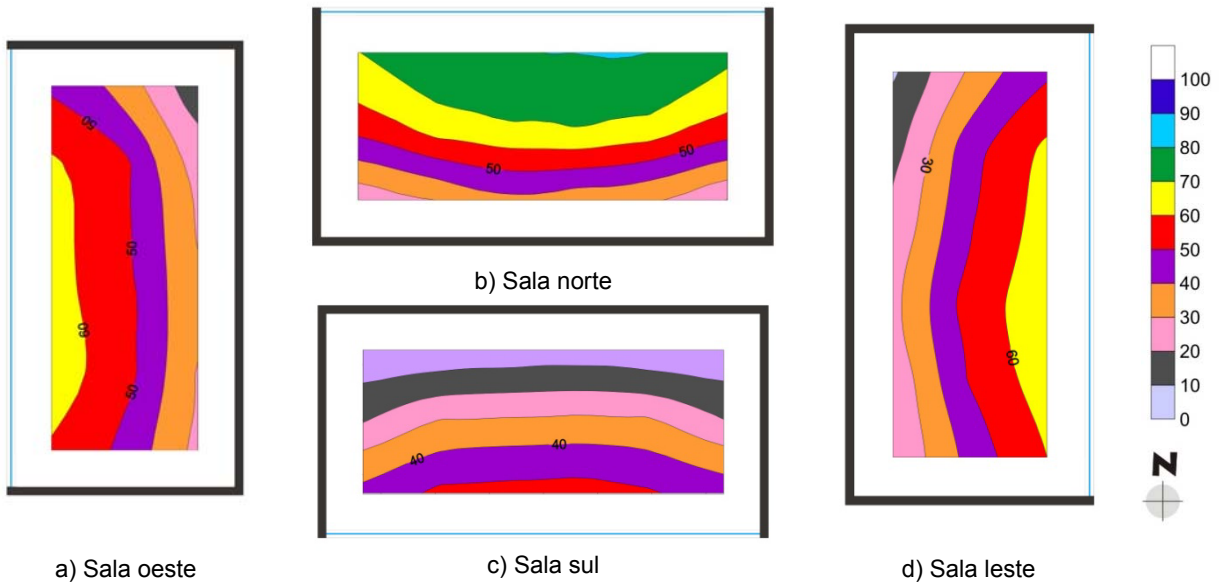


Figura 4.1: (a), (b), (c) e (d) gráfico com curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 25, sem brise.

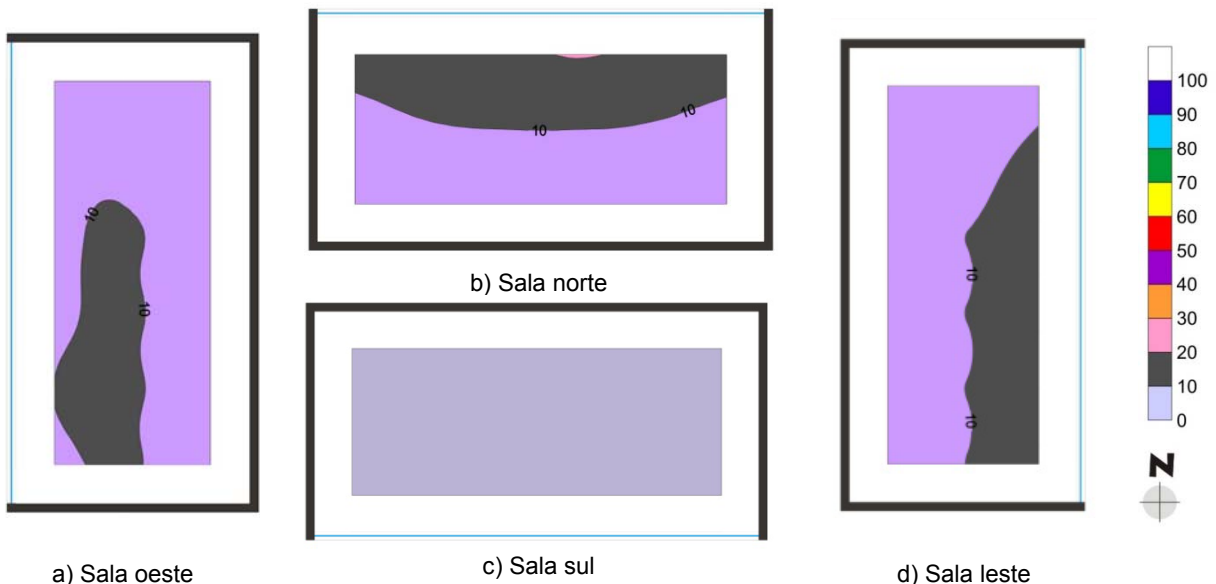


Figura 4.2: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 23%, PAF 25, sem brise.

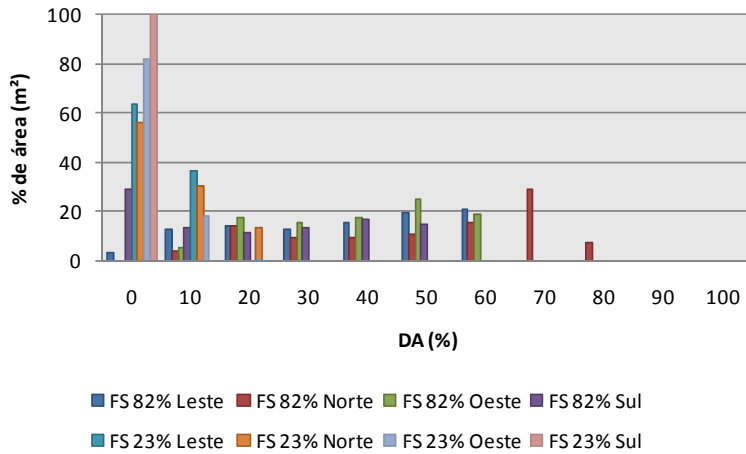


Figura 4.3: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.1 e 4.2.

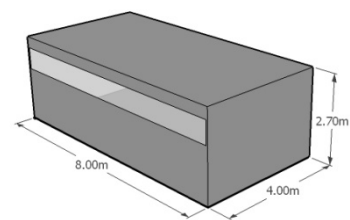


Figura 4.4: M1/PAF25/SB

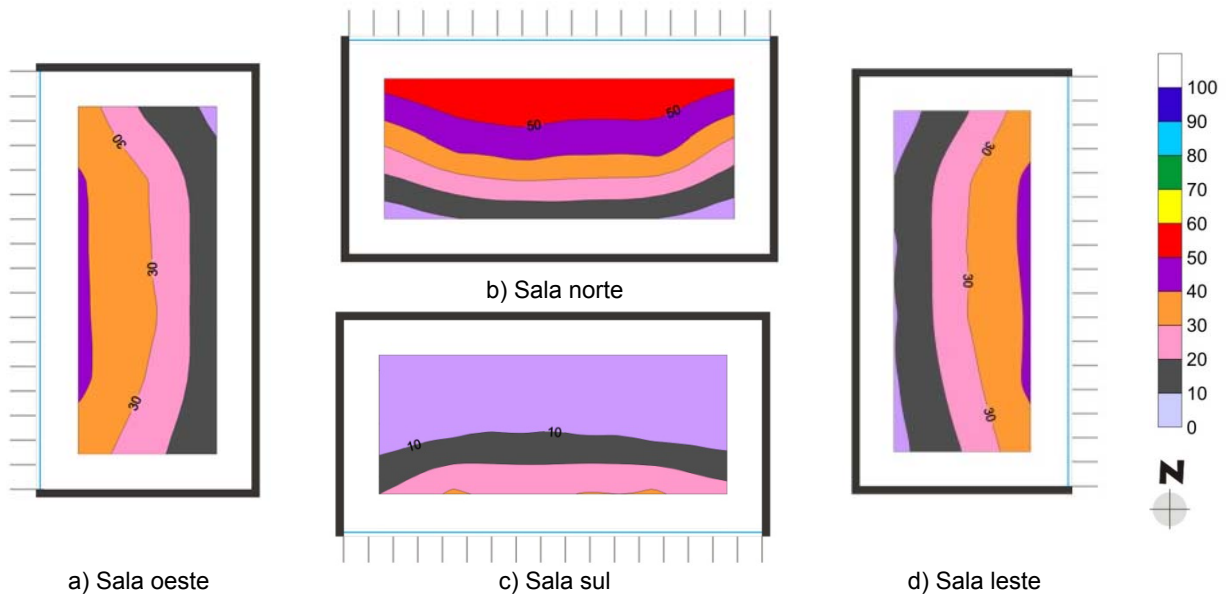


Figura 4.5: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 25, com *brise* vertical.

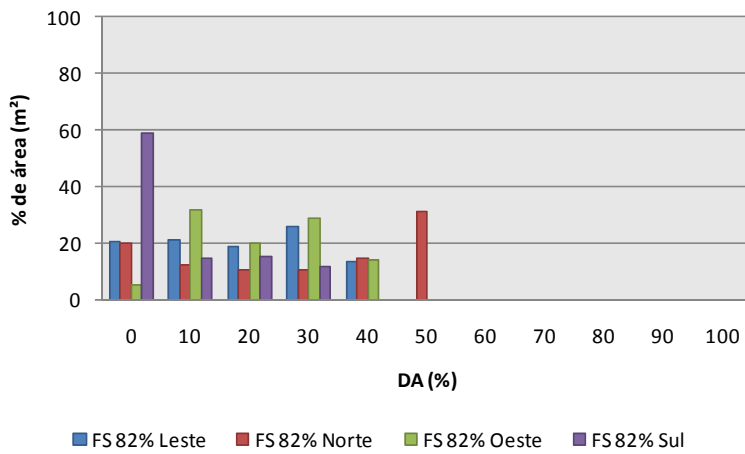


Figura 4.6: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.5.

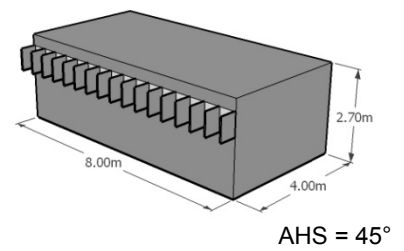


Figura 4.7: M1/PAF25/AHS

4. Resultados e discussões

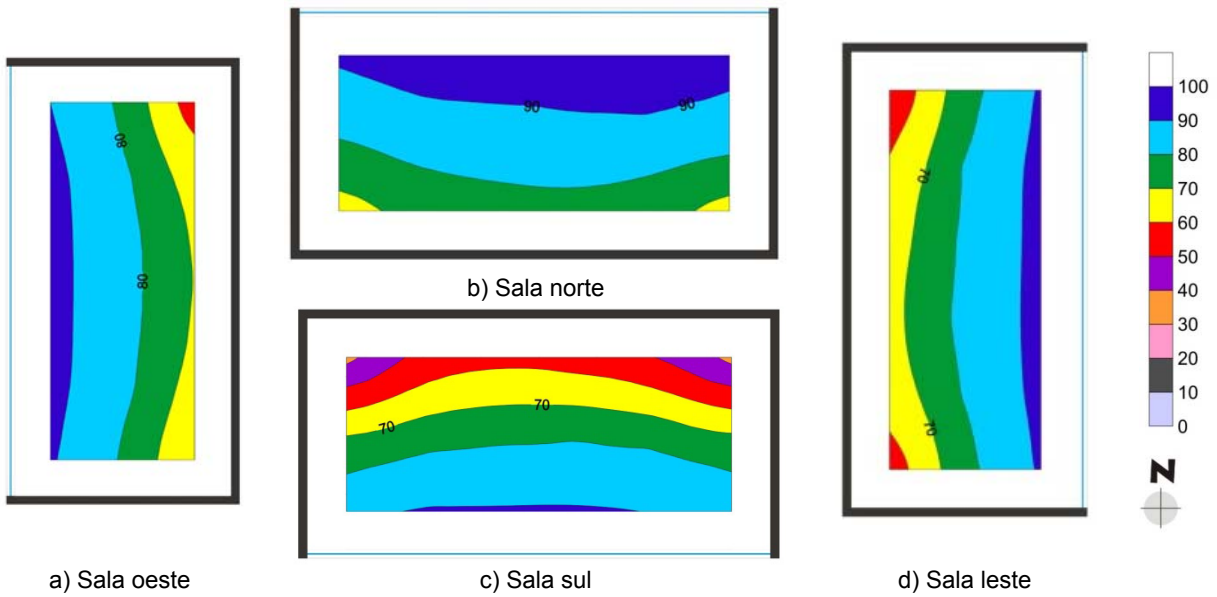


Figura 4.8: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M1, FS 82%, PAF 50, sem brise.

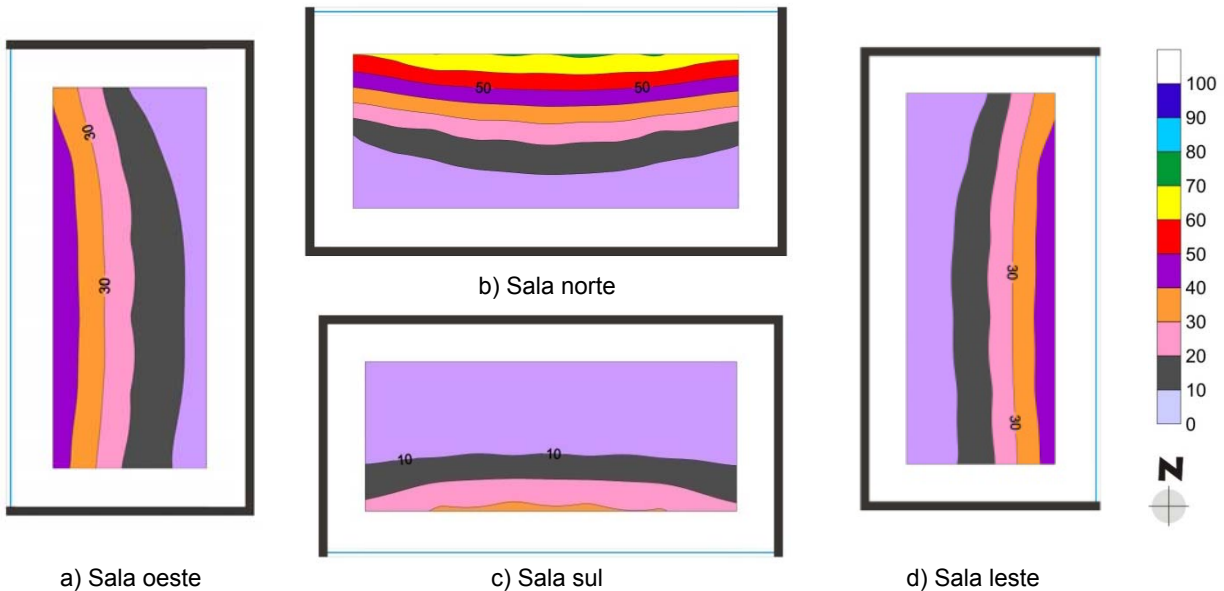


Figura 4.9: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M1, FS 23%, PAF 50, sem brise.

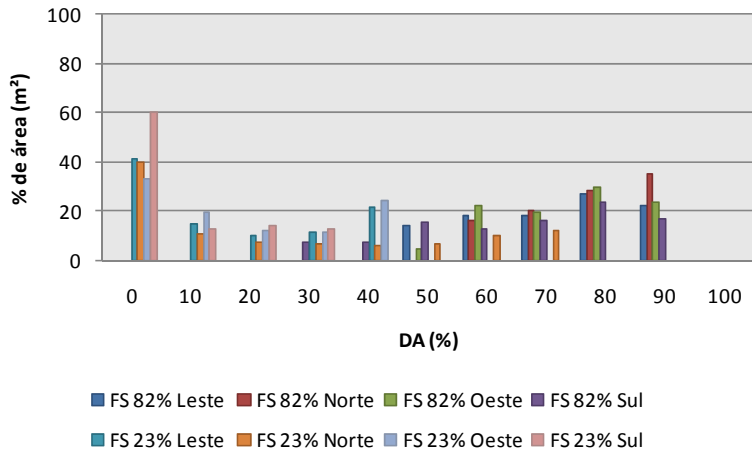


Figura 4.10: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.8 e 4.9.

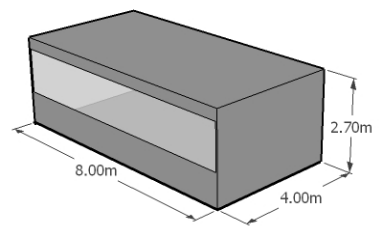


Figura 4.11: M1/PAF50/SB

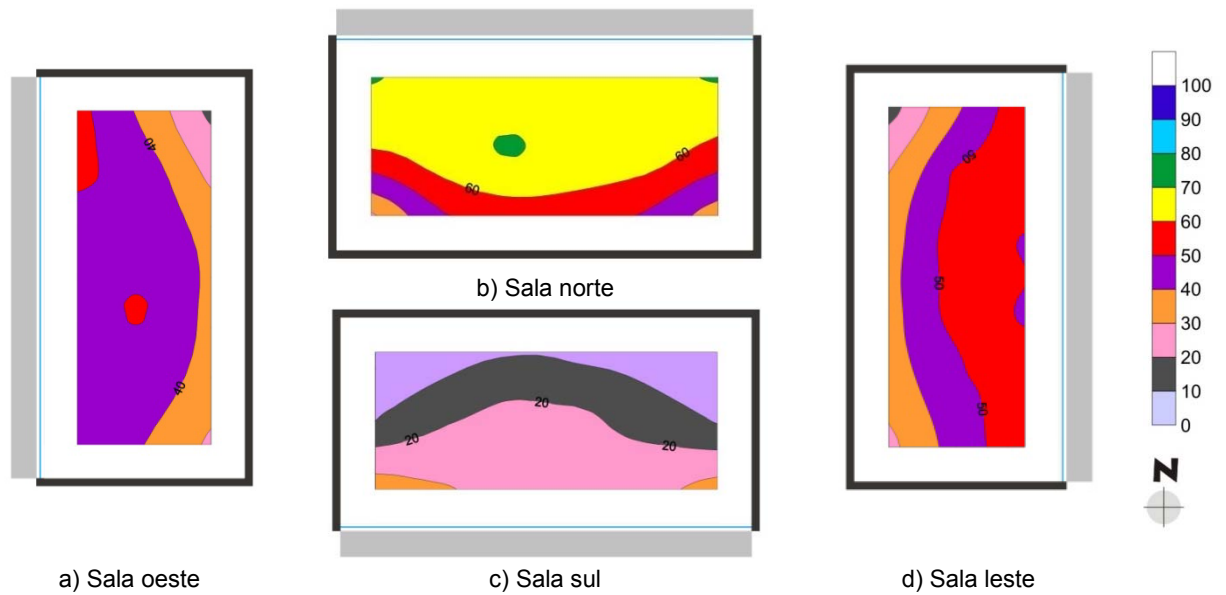


Figura 4.12: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 50, com *brise* horizontal.

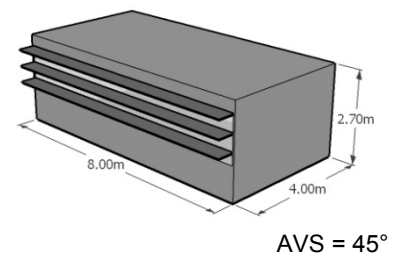
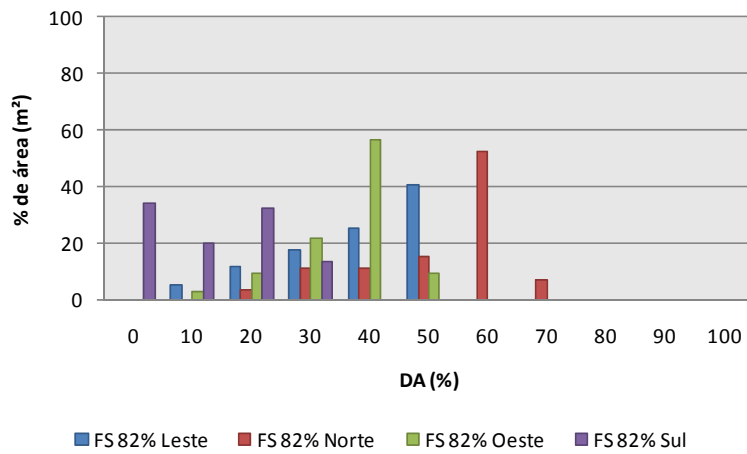


Figura 4.13: Gráfico da relação entre a percentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.12.

Figura 4.14: M1/PAF50/AVS

4. Resultados e discussões

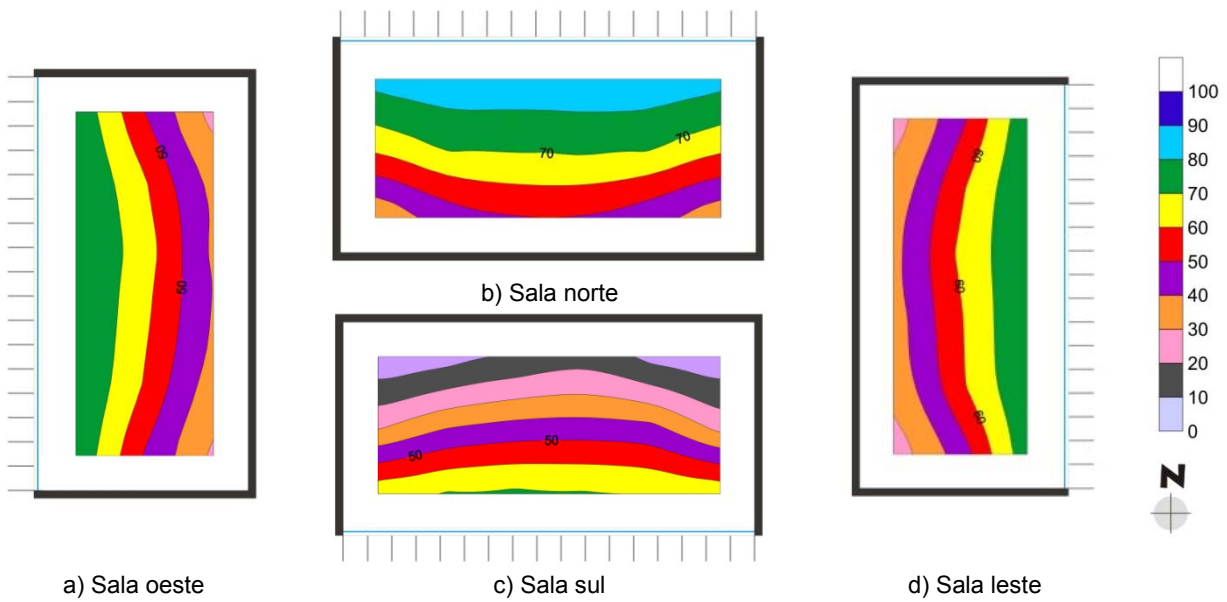


Figura 4.15: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 50, com *brise* vertical.

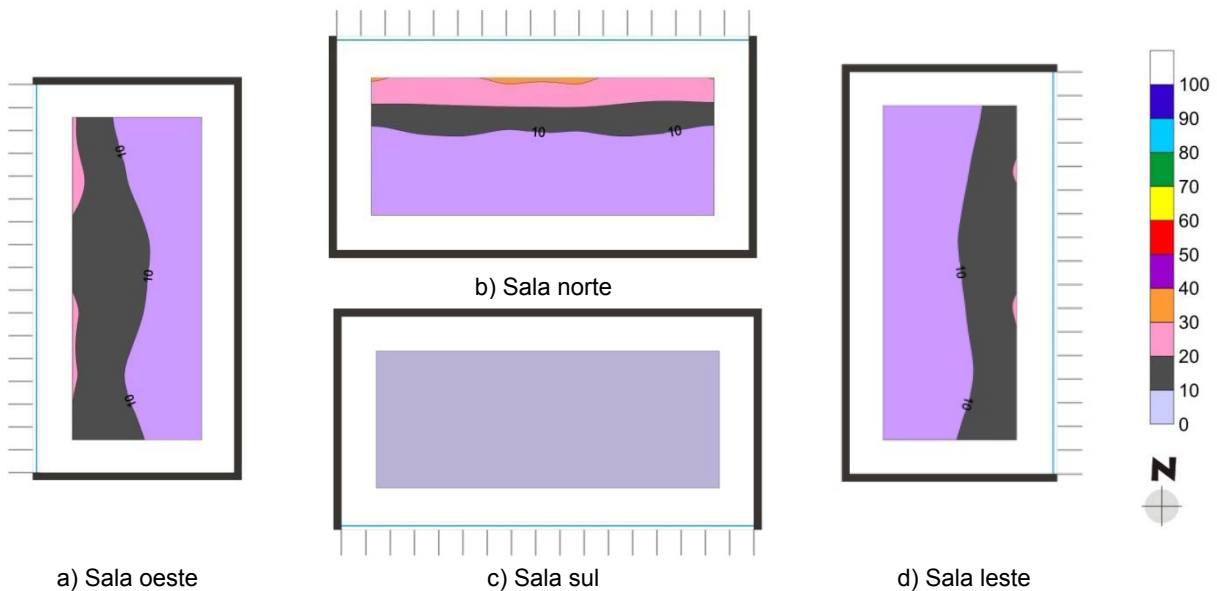


Figura 4.16: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 23%, PAF 50, com *brise* vertical.

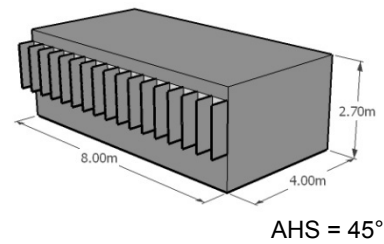
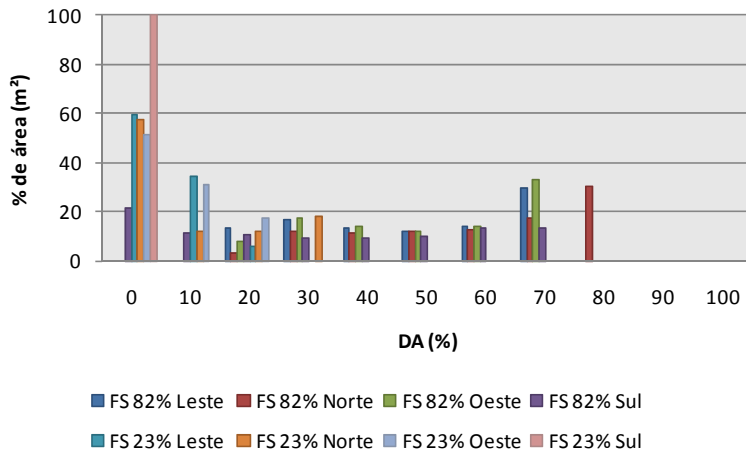


Figura 4.17: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.15 e 4.16.

Figura 4.18: M1/PAF50/AHS



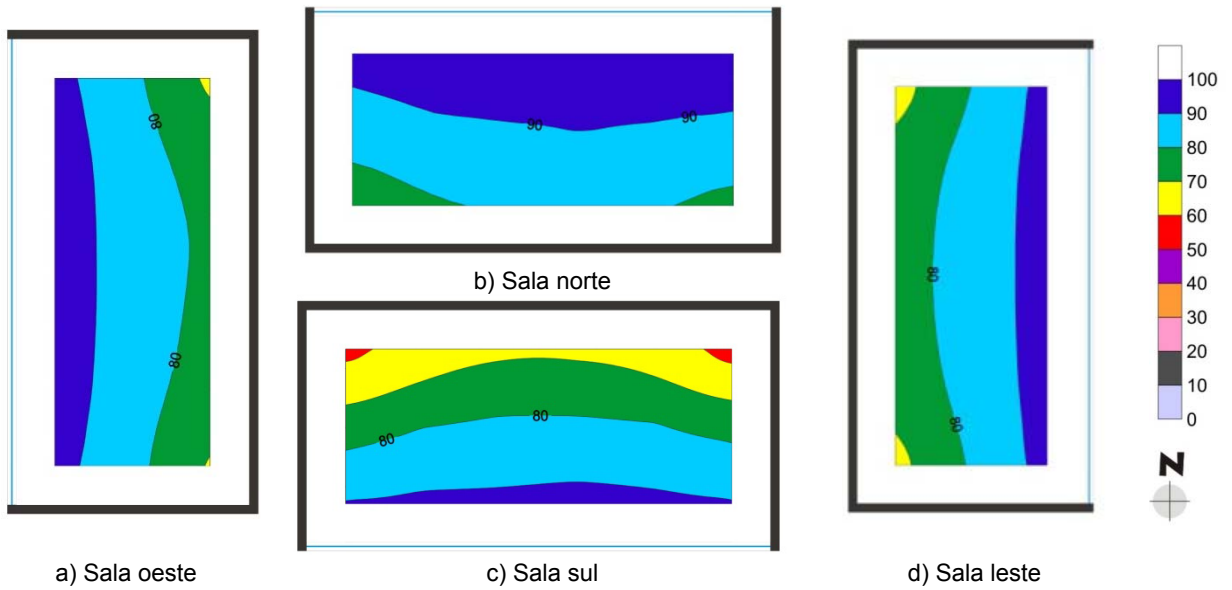


Figura 4.19: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 75, sem brise.

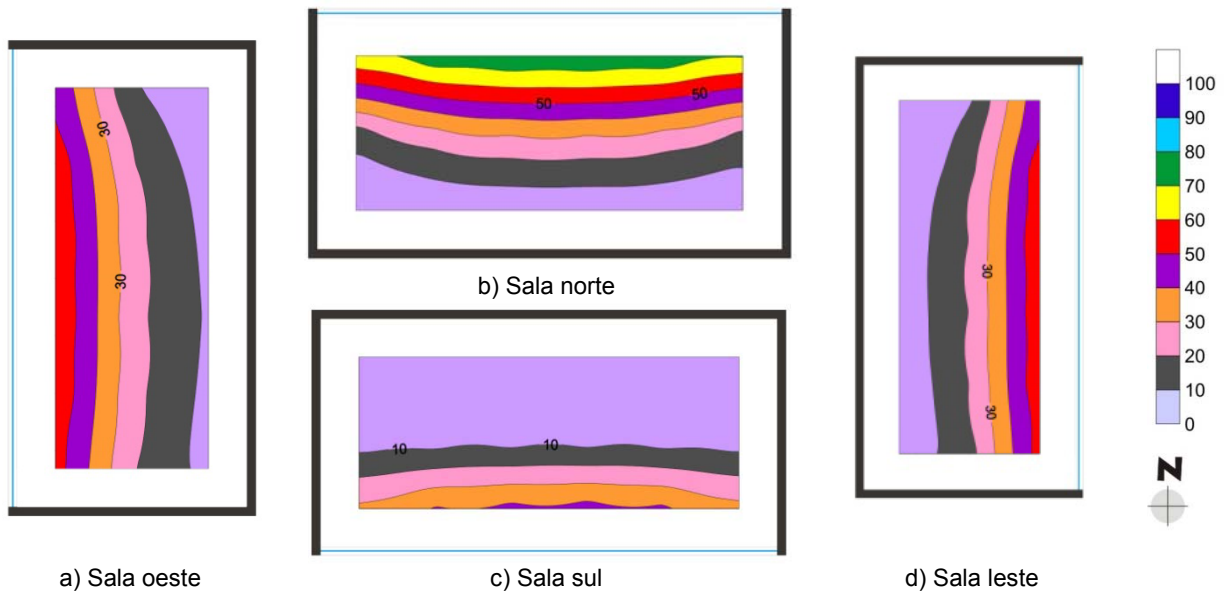


Figura 4.20: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 23%, PAF 75, sem brise.

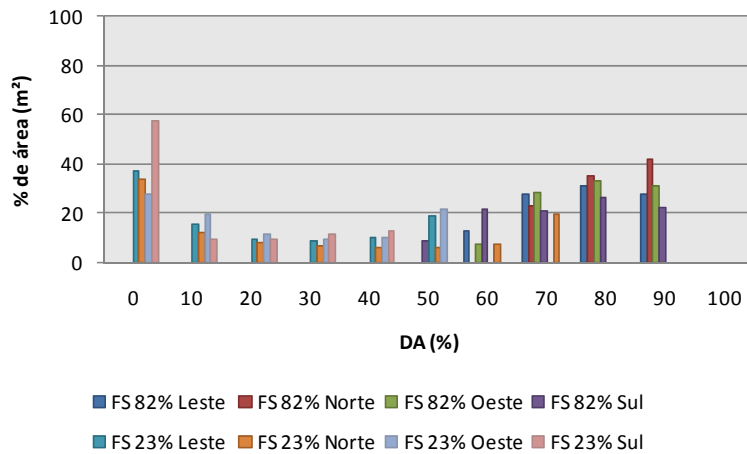


Figura 4.21: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.19 e 4.20.

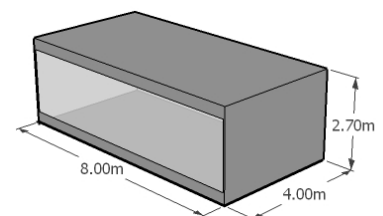


Figura 4.22: M1/PAF75/SB

4. Resultados e discussões

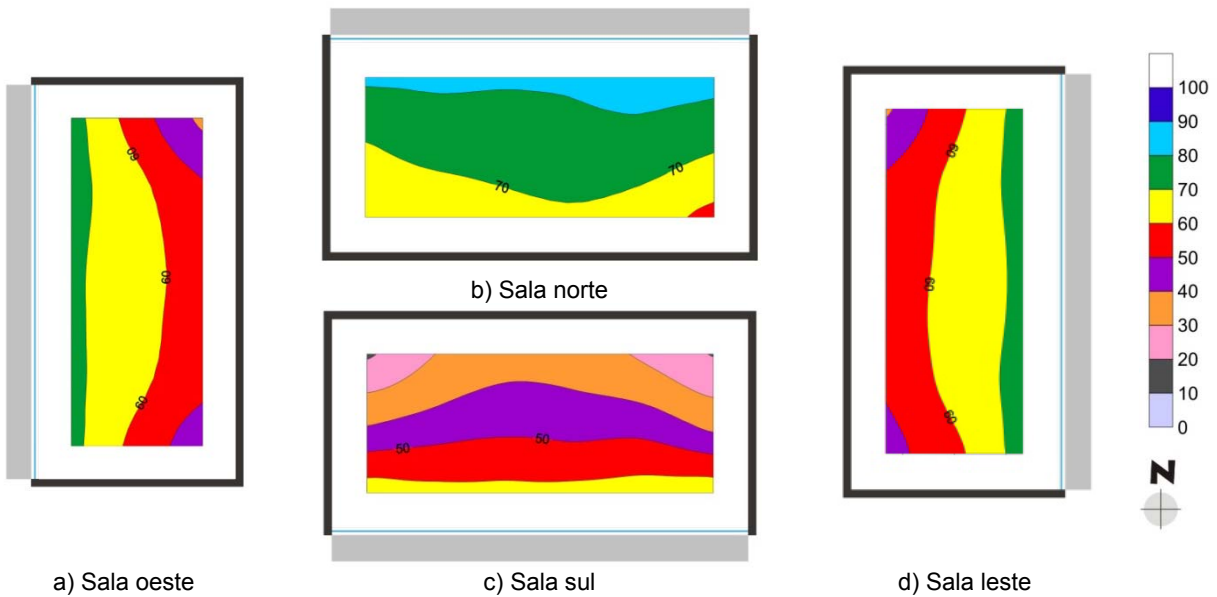


Figura 4.23: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M1, FS 82%, PAF 75, com brise horizontal.

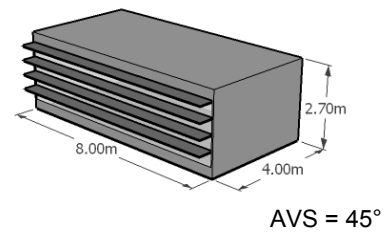
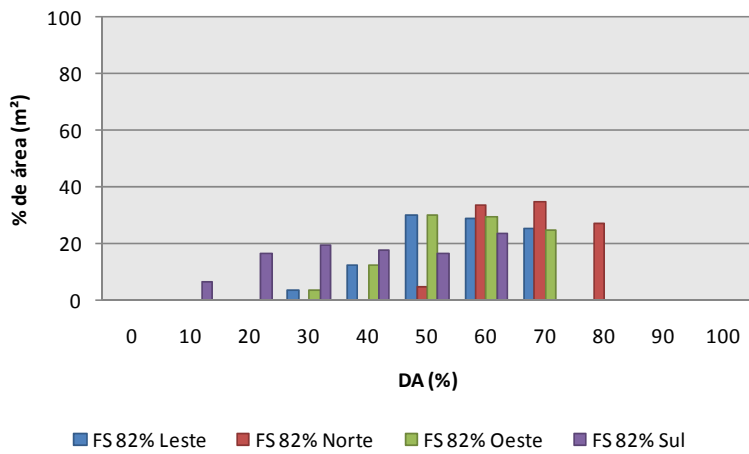


Figura 4.24: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.23.

Figura 4.25: M1/PAF75/AVS

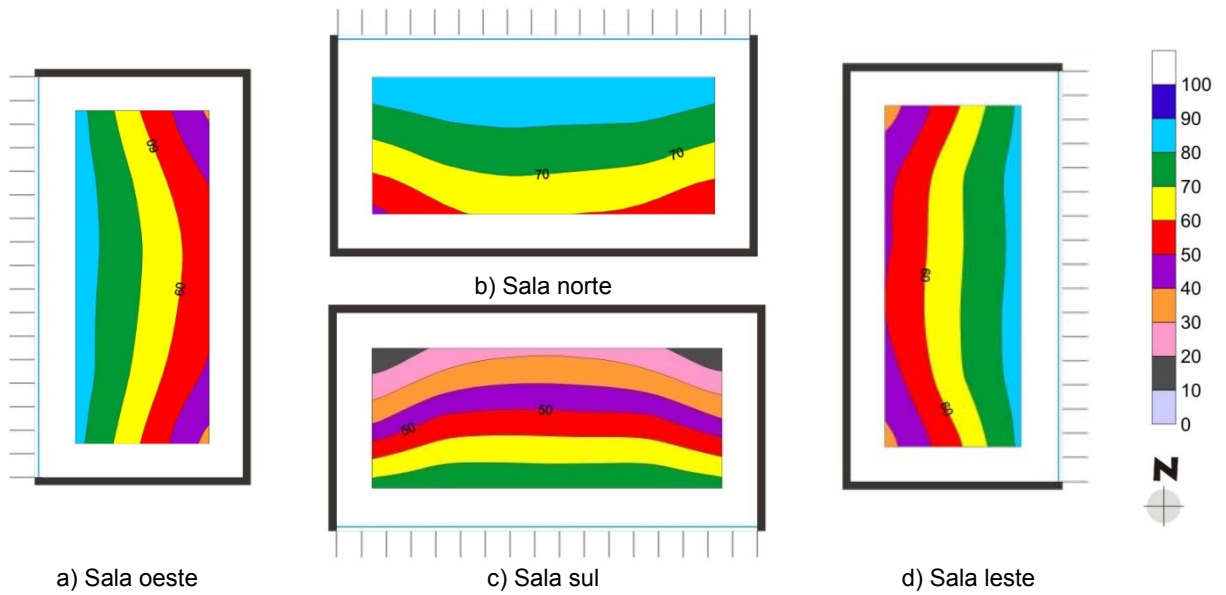


Figura 4.26: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 75, com *brise* vertical.

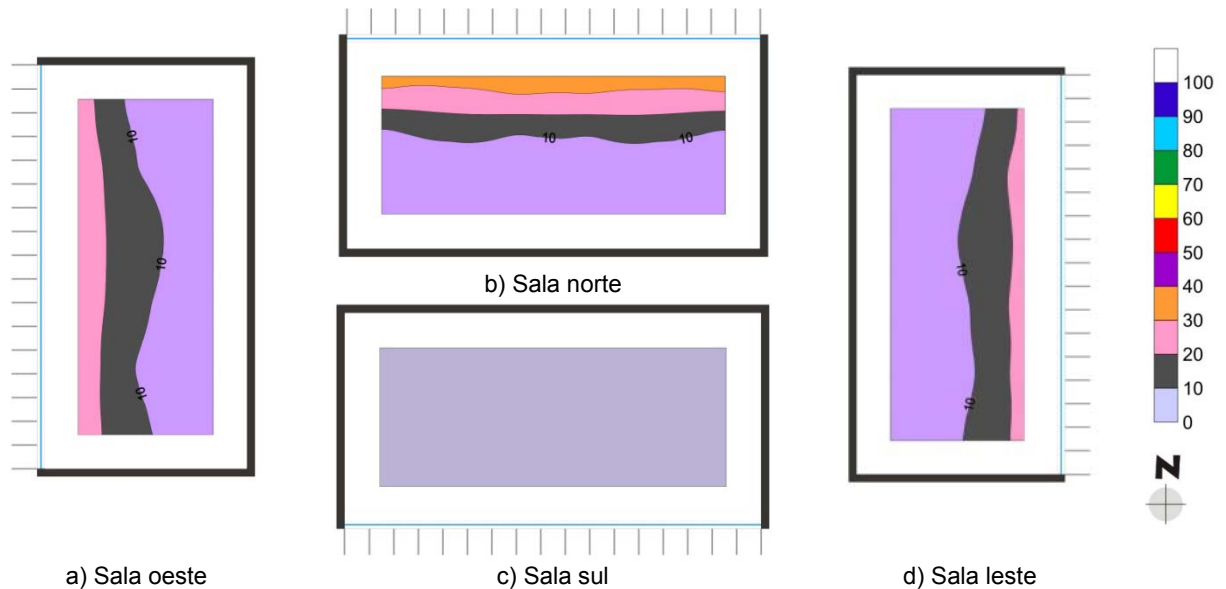


Figura 4.27: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 23%, PAF 75, com *brise* vertical.

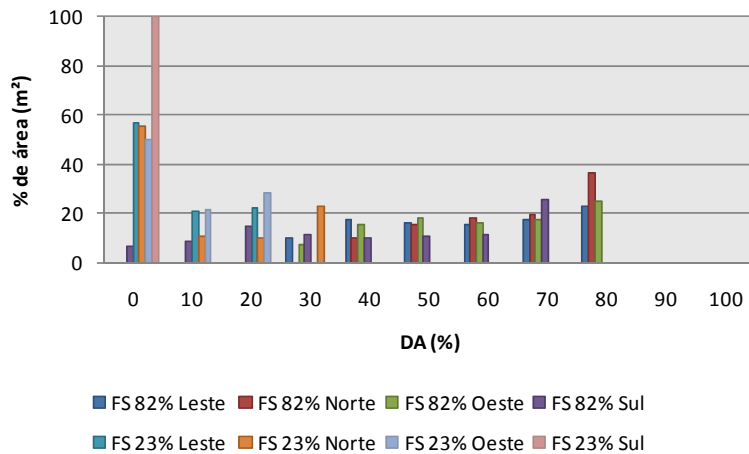


Figura 4.28: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.26 e 4.27.

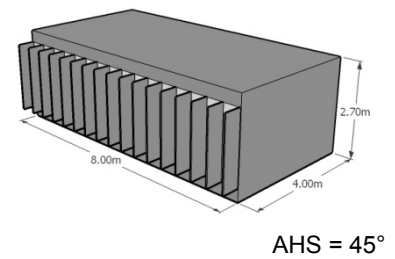


Figura 4.29: M1/PAF75/AHS

Através dos casos apresentados pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos diferentes parâmetros em estudo.

A **orientação** é um parâmetro que interfere nos valores obtidos no interior do ambiente. Entre as orientações estudadas a fachada norte é a que apresenta valores mais altos, chegando a um DA de 90% em 42% da área do caso M1/PAF75/SB com FS 82% e DA de 70% em 19% da área do mesmo modelo com FS 23%. A orientação leste e oeste apresentam valores bem parecidos em quase todos os casos, obtendo um DA máximo de 90% em 28% da área da sala voltada para leste e 31% da área da sala voltada para oeste, 9% a mais do que os valores obtidos com o vidro de FS 23% (ver Figura 4.19 e 4.20). A orientação sul é a que apresenta os valores mais baixos, por ser a orientação que menos recebe sol, devido a posição geográfica e condições atmosféricas da cidade em estudo, tendo seu máximo no caso M1/PAF75/SB com um DA de 90% em 23% da área.

A **proteção solar** é um parâmetro que interfere significativamente no comportamento da luz natural no ambiente. O uso da proteção solar horizontal (AVS), com refletância de 0.50, permitiu ambientes menos iluminados quando comparado aos ambientes com proteção solar vertical (AHS). A proteção solar horizontal, devido às interreflexões internas, pode proporcionar um maior valor de DA para a região mais afastada da janela, como no caso M1/PAF50/AVS (ver Figura 4.13). Os valores obtidos com o uso da proteção solar estão relacionados ao tamanho da abertura e tipo de vidro. Quanto menor o tamanho da abertura e mais escuro o vidro menor o valor de DA no ambiente. O uso da proteção solar horizontal com o vidro escuro faz com que muitas salas tenham 100% de sua área com DA igual a 0%. Em apenas duas situações a proteção solar horizontal (AVS) permitiu ambientes com valores de DA maiores do que 0, nos casos M1/PAF50/AVS e M1/PAF75/AVS (ver Tabela 4.1).

O **percentual de abertura na fachada** (PAF) também é um parâmetro bastante significativo para o comportamento da luz. O tamanho da abertura influencia a quantidade de luz natural disponível no ambiente, já que quanto maior o PAF, maior o valor de DA obtido. Como exemplo pode-se observar três casos com vidro claro e fachada voltada para a orientação norte, o caso M1/PAF25/SB, o caso M1/PAF50/SB e o caso M1/PAF75/SB que obtiveram, respectivamente, 29% da área com DA de 70, 35% da área com DA de 90 e 42% da área com DA de 90. Percebe-

se que conforme o tamanho da abertura aumenta maior é a porcentagem de área e o valor de DA no interior do ambiente (ver Tabela 4.1).

O **Fator solar** é um parâmetro que pode aumentar ou diminuir diretamente a quantidade de iluminação no interior do ambiente independente das outras variáveis. Já que a cor do vidro determina a quantidade de luz que entra no ambiente. Os resultados mostraram que o FS de 82%, correspondente ao vidro claro, proporcionou maiores valores de DA do que os vidros escuros com FS de 23%. O FS de 23% reduziu em mais de 50% a iluminação dos ambientes. Todos os casos com esse tipo de vidro não tiveram luz natural na região mais afastada da janela, chegando nos casos com AVS, a um DA igual a 0 em 100% da área do ambiente. Nesses casos a iluminação artificial deve ser acionada a fim de alcançar o valor de iluminância de projeto determinado e suprir a ausência da luz natural, aumentando o consumo de energia.

A Tabela 4.1 apresenta a porcentagem de área atendida por determinado valor de DA nos 72 casos simulados do Modelo 1. Na tabela, os modelos grifados em amarelo, FS82/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AHS, FS23/PAF50/AVS e FS23/PAF75/AVS, são os que apresentaram valores de DA entre 0% e 10%. Seus dados não foram apresentados nas figuras, mas seus valores encontram-se descritos na tabela abaixo.

#### 4. Resultados e discussões

Tabela 4.1: Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 1.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS82/PAF25/SB	Leste	4	13	15	13	15	20	21	0	0	0	0
	Norte	0	4	15	9	10	11	16	29	7	0	0
	Oeste	0	5	18	15	17	25	19	0	0	0	0
	Sul	29	14	12	14	17	15	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/SB	Leste	64	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	56	30	14	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	82	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AVS	Leste	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	81	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	94	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AHS	Leste	21	21	19	26	14	0	0	0	0	0	0
	Norte	20	12	11	11	15	31	0	0	0	0	0
	Oeste	5	32	20	29	14	0	0	0	0	0	0
	Sul	59	15	15	12	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AHS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	93	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/SB	Leste	0	0	0	0	0	14	19	18	27	22	0
	Norte	0	0	0	0	0	0	16	20	29	35	0
	Oeste	0	0	0	0	0	5	23	20	30	23	0
	Sul	0	0	0	7	8	16	13	16	24	17	0
FS23/PAF50/SB	Leste	41	15	10	11	22	0	0	0	0	0	0
	Norte	40	11	7	7	6	7	10	12	0	0	0
	Oeste	33	20	12	11	24	0	0	0	0	0	0
	Sul	60	13	14	13	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AVS	Leste	0	5	12	18	25	40	0	0	0	0	0
	Norte	0	0	3	11	11	15	52	7	0	0	0
	Oeste	0	3	9	22	56	9	0	0	0	0	0
	Sul	34	20	32	14	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.1: (continuação) Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 1.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS23/PAF50/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AHS	Leste	0	0	13	17	14	12	14	29	0	0	0
	Norte	0	0	3	12	11	12	13	18	30	0	0
	Oeste	0	0	8	18	14	13	14	33	0	0	0
	Sul	22	11	11	9	10	10	13	14	0	0	0
FS23/PAF50/AHS	Leste	59	34	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	57	12	12	18	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	52	31	18	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/SB	Leste	0	0	0	0	0	0	13	28	31	28	0
	Norte	0	0	0	0	0	0	0	23	35	42	0
	Oeste	0	0	0	0	0	0	7	28	33	31	0
	Sul	0	0	0	0	0	9	22	21	26	23	0''
FS23/PAF75/SB	Leste	37	16	9	9	10	19	0	0	0	0	0
	Norte	34	12	8	7	6	6	7	19	0	0	0
	Oeste	28	20	11	10	10	22	0	0	0	0	0
	Sul	57	10	9	11	13	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AVS	Leste	0	0	0	3	12	30	29	26	0	0	0
	Norte	0	0	0	0	0	5	34	35	27	0	0
	Oeste	0	0	0	4	13	30	29	24	0	0	0
	Sul	0	6	17	19	18	16	24	0	0	0	0
FS23/PAF75/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AHS	Leste	0	0	0	10	18	16	15	18	23	0	0
	Norte	0	0	0	0	10	15	18	19	37	0	0
	Oeste	0	0	0	7	15	18	16	17	25	0	0
	Sul	7	9	15	12	10	11	11	26	0	0	0
FS23/PAF75/AHS	Leste	57	21	23	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	55	11	10	23	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	50	22	28	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 4.1.2 Análise Modelo 2

As salas do Modelo 2 (M2) possuem dimensões de 8,00m de largura por 8,00m de profundidade e pé direito de 2,70m.

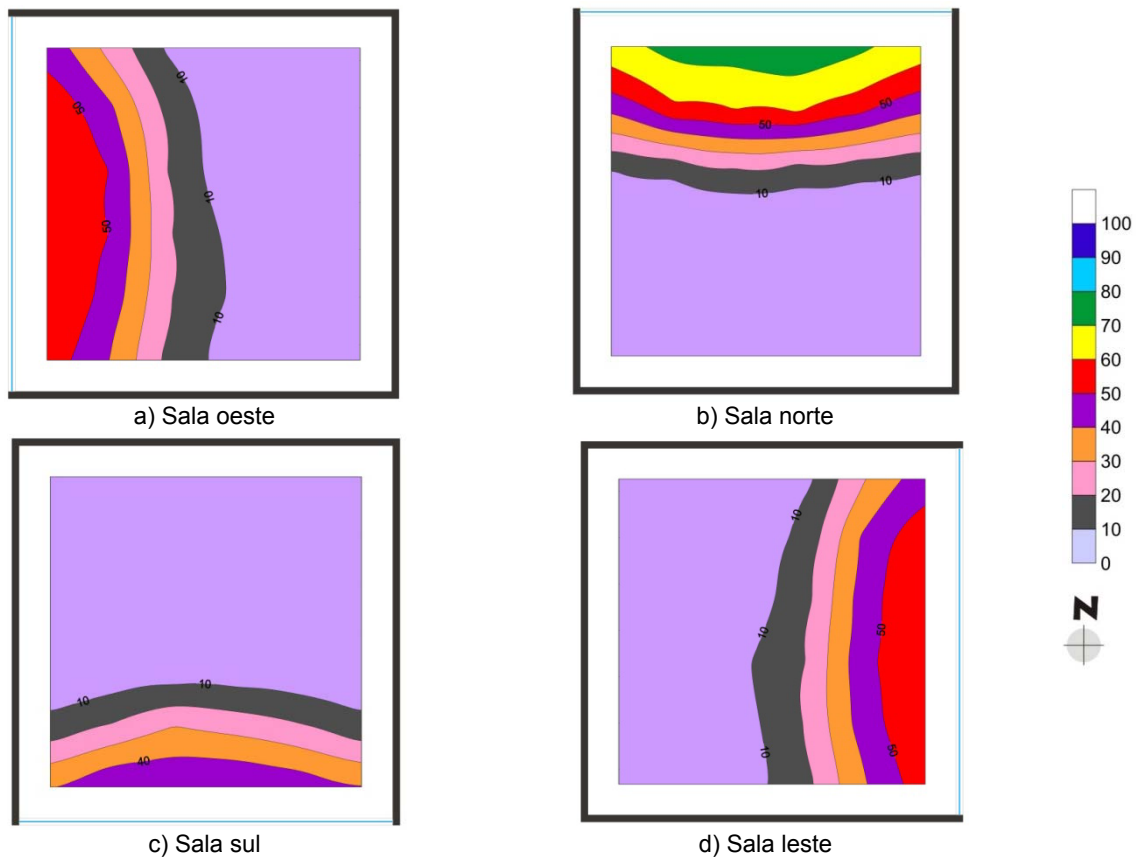


Figura 4.30: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 82%, PAF 25, sem brise.

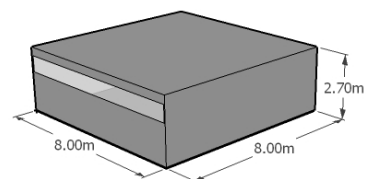
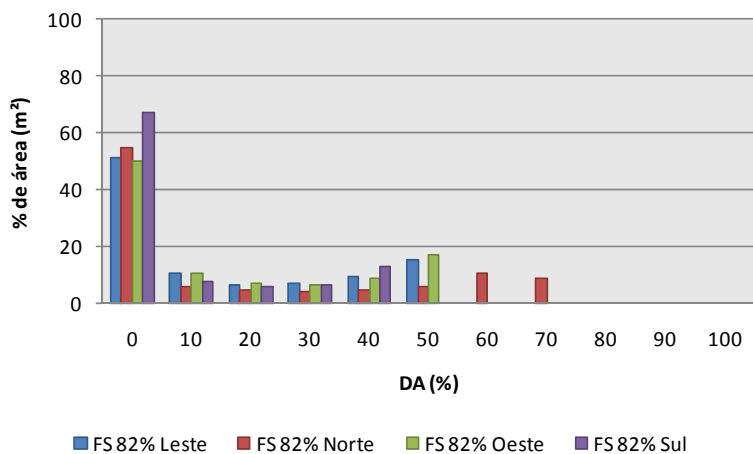


Figura 4.31: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.30.

Figura 4.32: M2/PAF25/SB



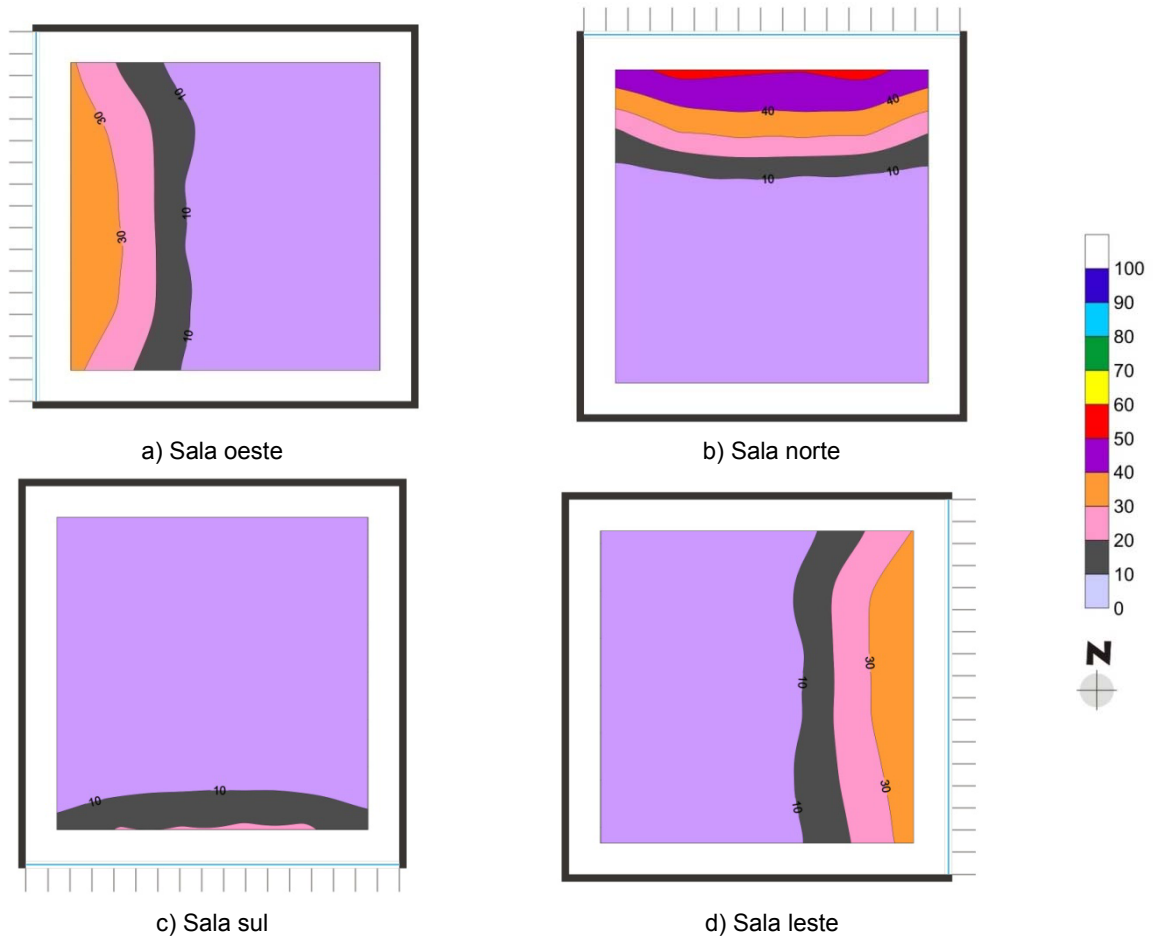


Figura 4.33: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M2, FS 82%, PAF 25, com *brise* vertical.

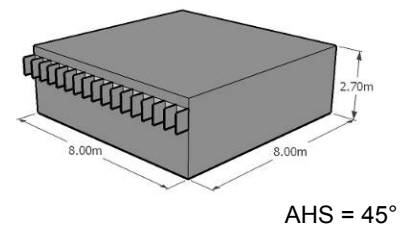
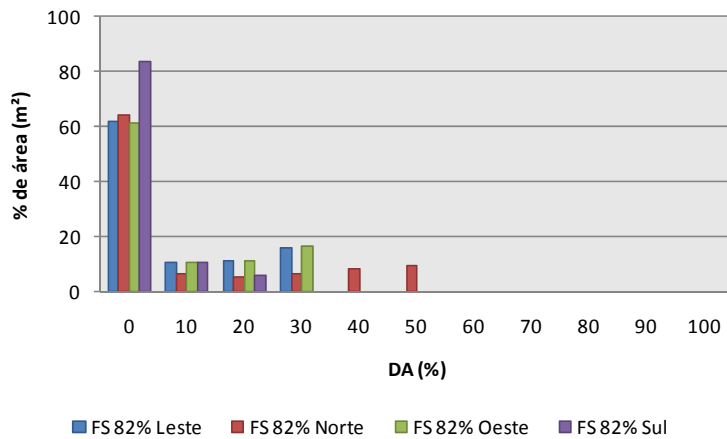


Figura 4.34: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.33.

Figura 4.35: M2/PAF25/AHS

#### 4. Resultados e discussões

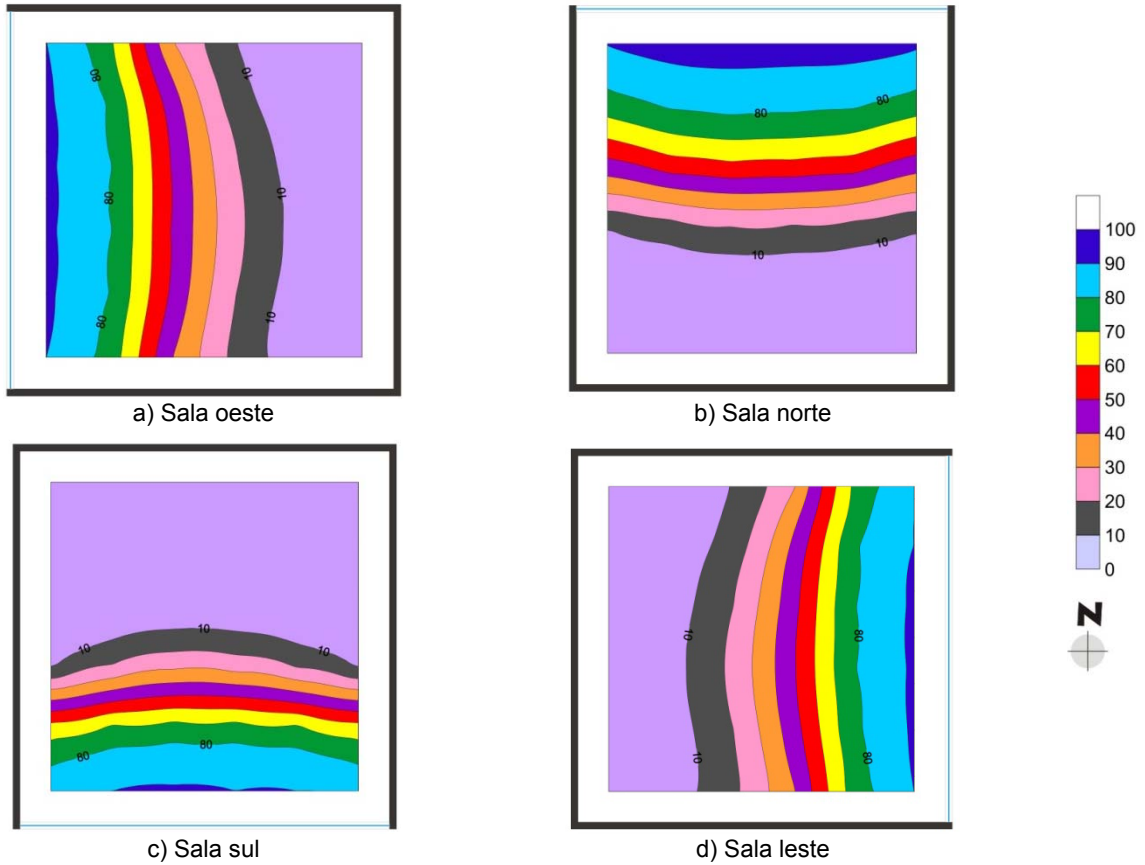


Figura 4.36: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M2, FS 82%, PAF 50 sem *brise*.

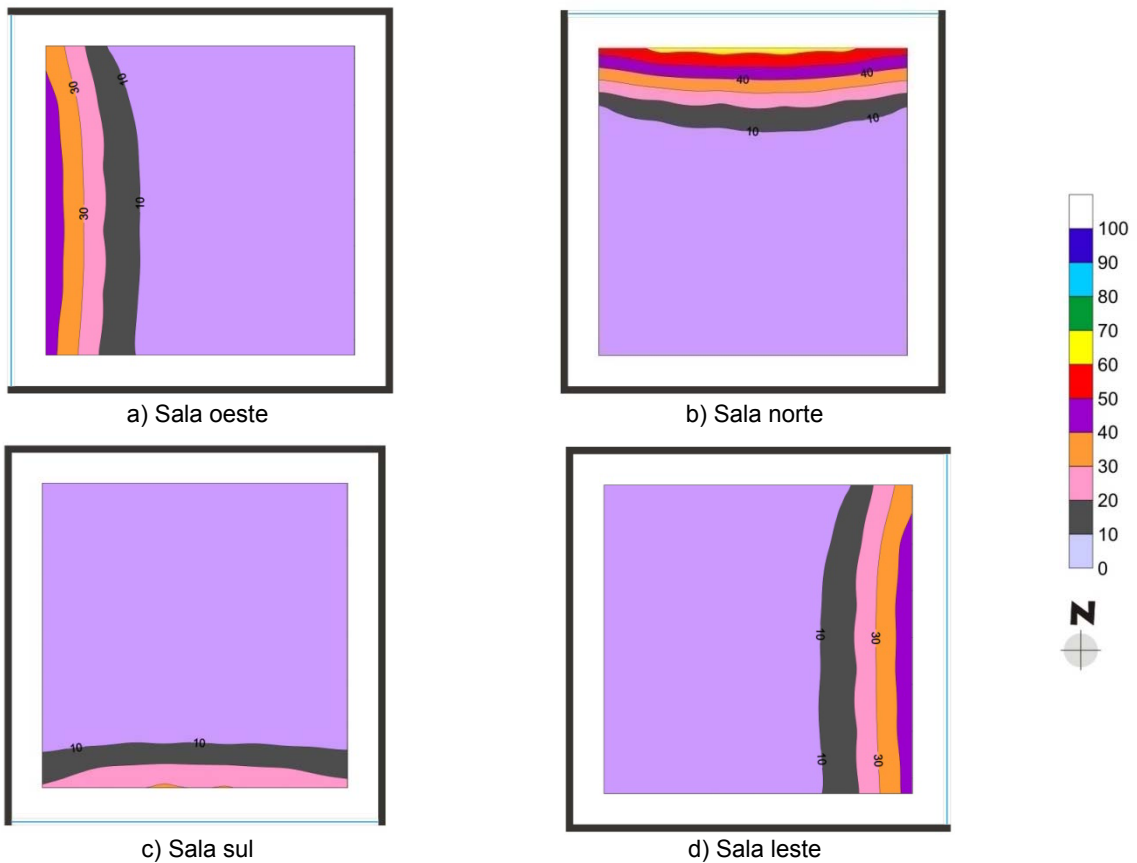


Figura 4.37: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M2, FS 23%, PAF50 sem *brise*.

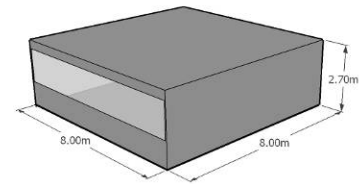
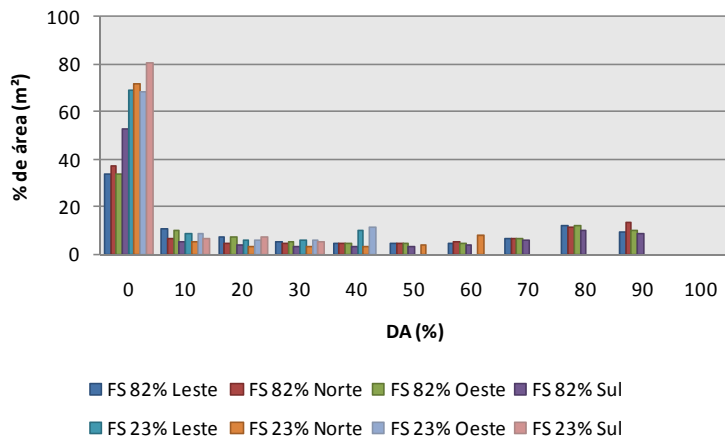


Figura 4.38: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.36 e 4.37.

Figura 4.39: M2/PAF50/SB

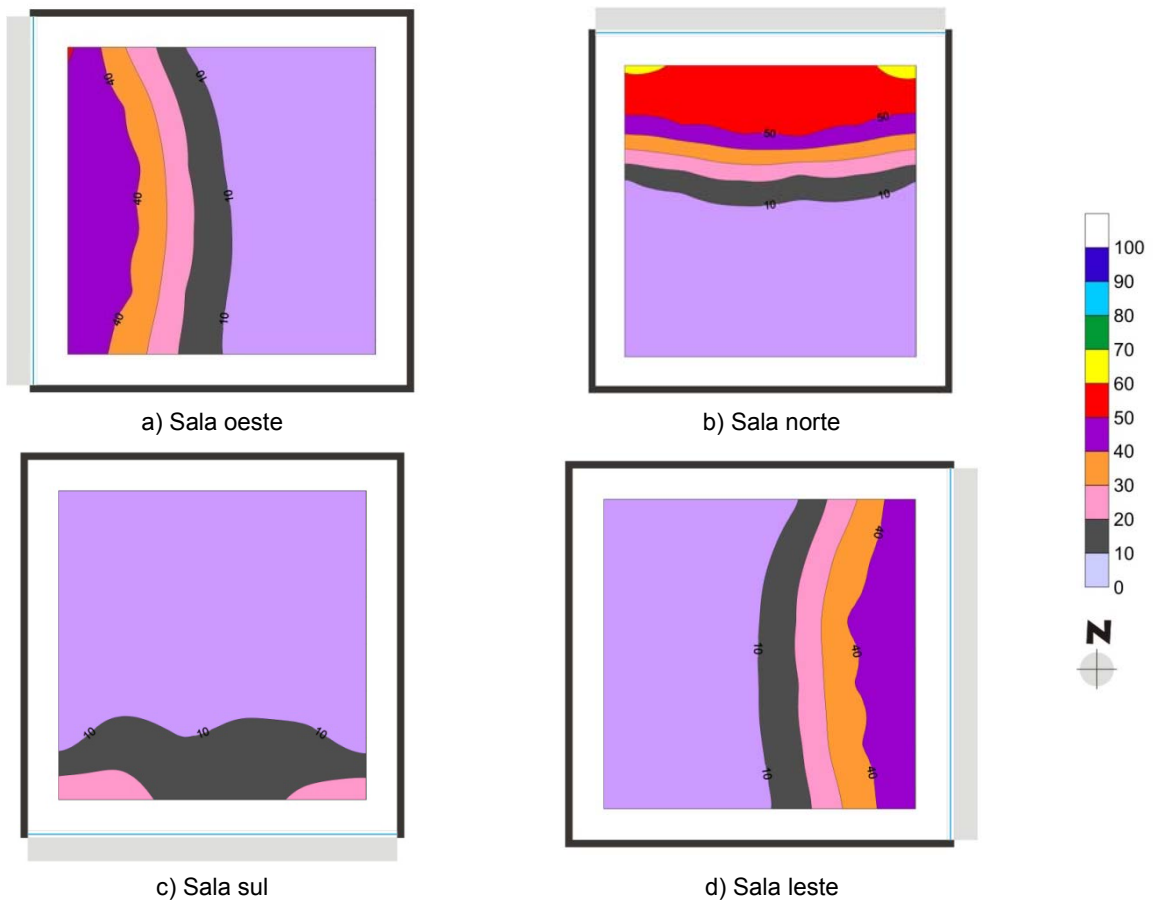


Figura 4.40: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 82%, PAF 50 com brise horizontal.

4. Resultados e discussões

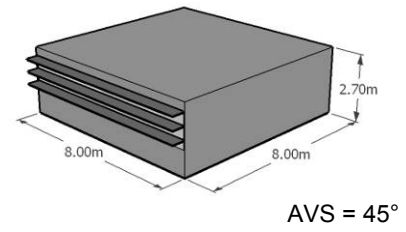
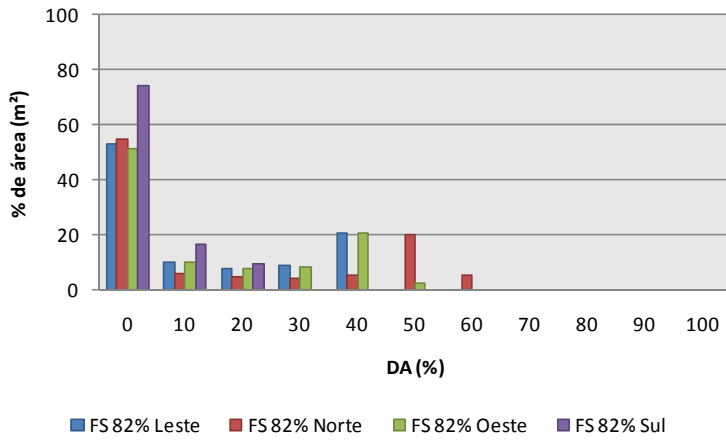


Figura 4.41: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.40.

Figura 4.42: M2/PAF50/AVS

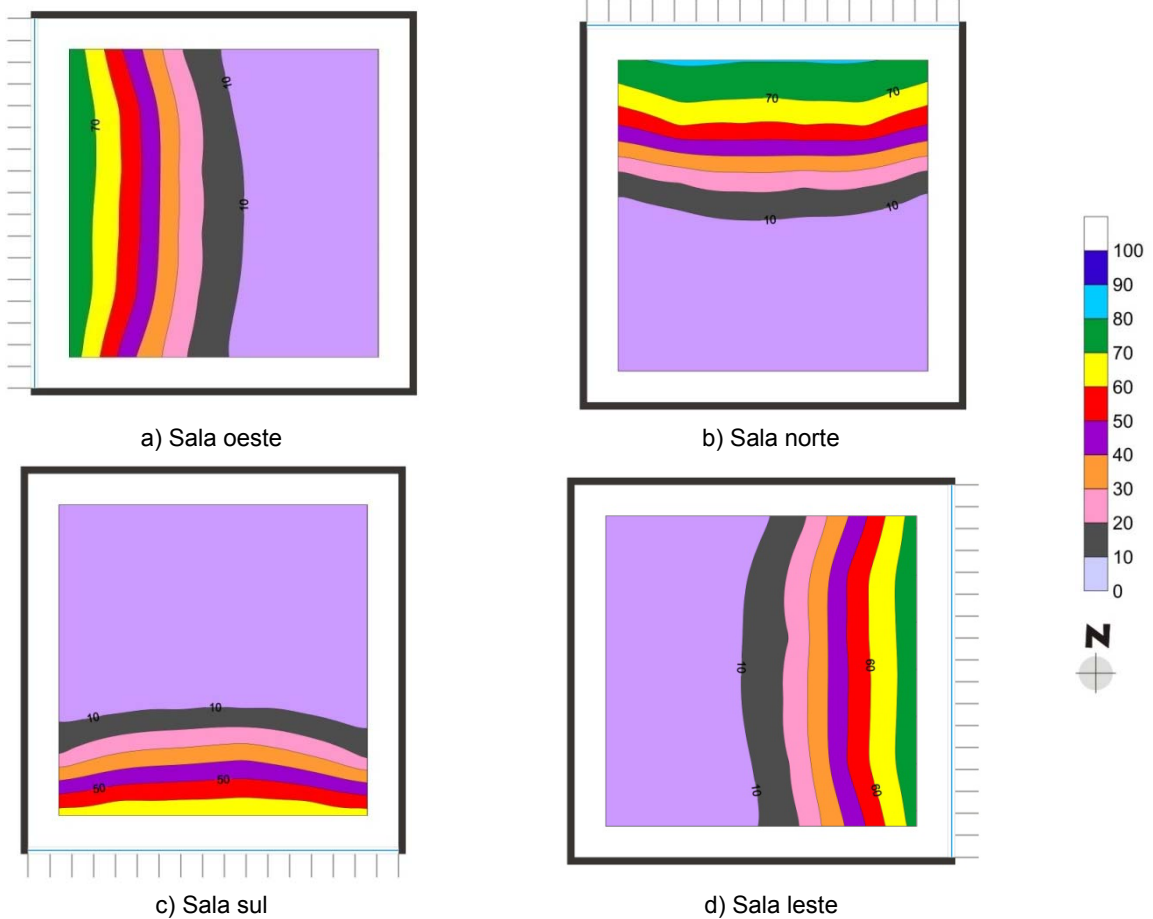


Figura 4.43: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 82%, PAF 50 com brise vertical.

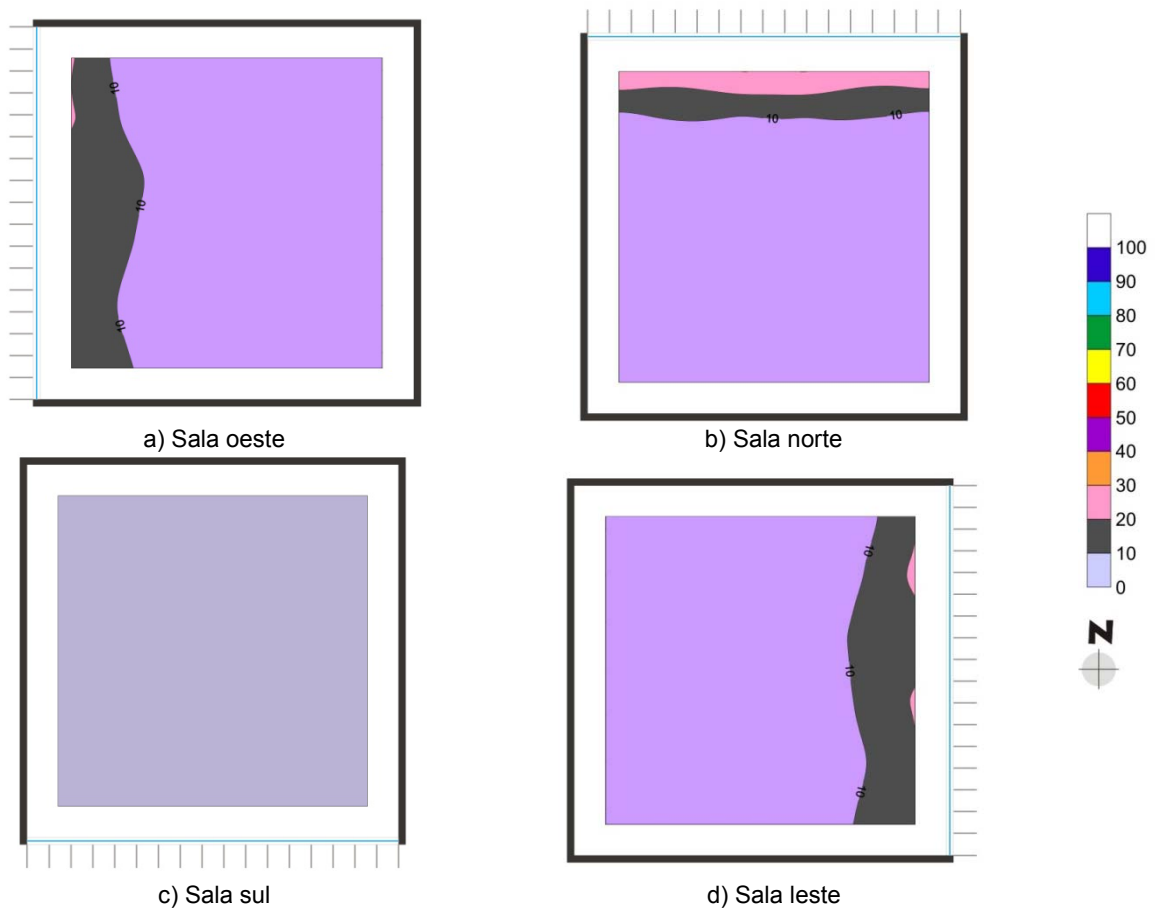


Figura 4.44: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M2, FS 23%, PAF50 com *brise vertical*.

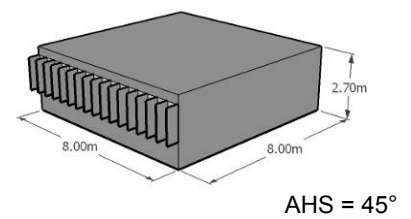
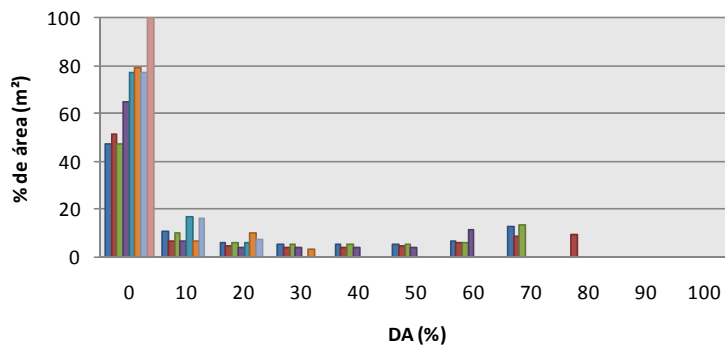


Figura 4.45: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.43 e 4.44.

Figura 4.46: M2/PAF50/AHS

#### 4. Resultados e discussões

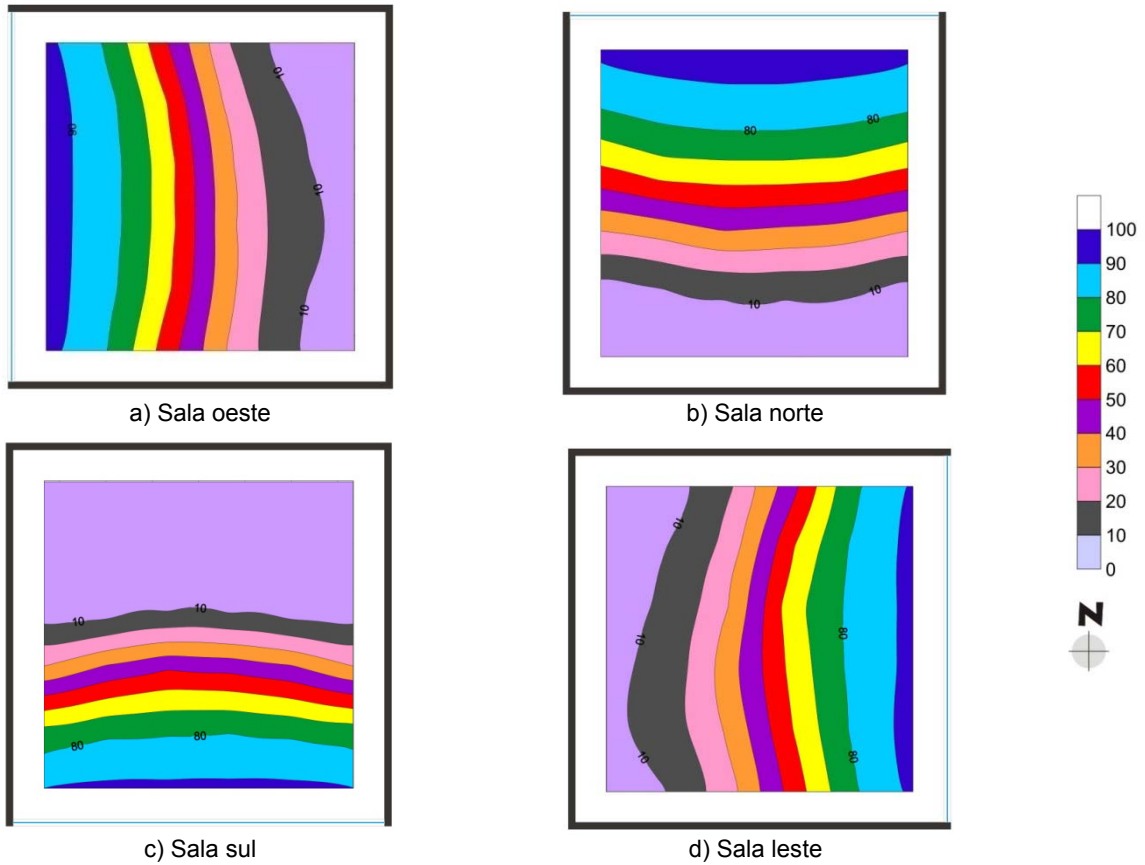


Figura 4.47: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M1, FS 82%, PAF 75 sem brise.

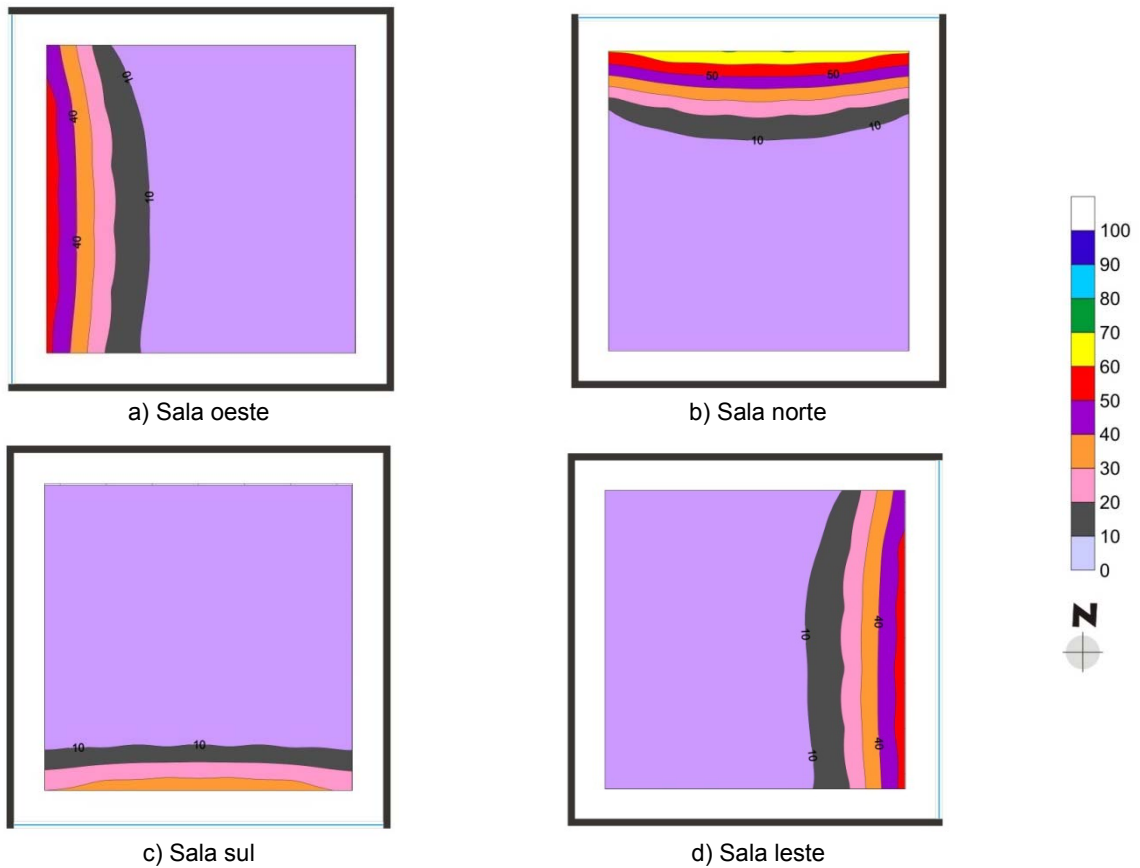


Figura 4.48: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M2, FS 23%, PAF75 sem brise.

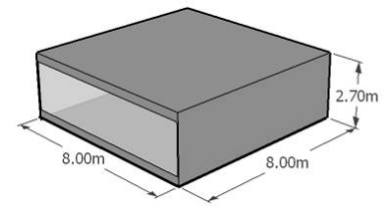
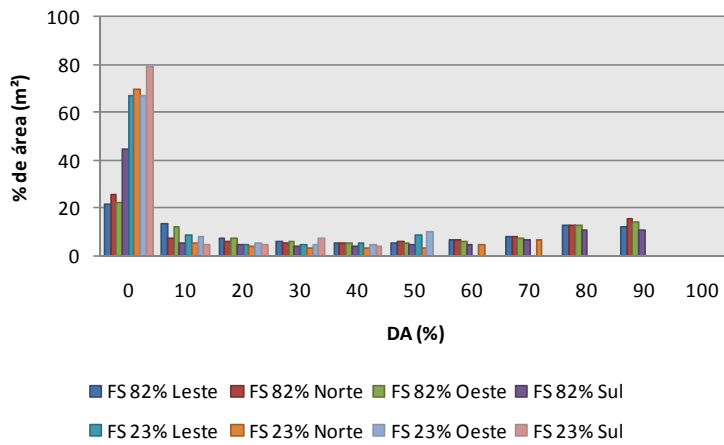


Figura 4.49: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.47 e 4.48.

Figura 4.50: M2/PAF75/SB

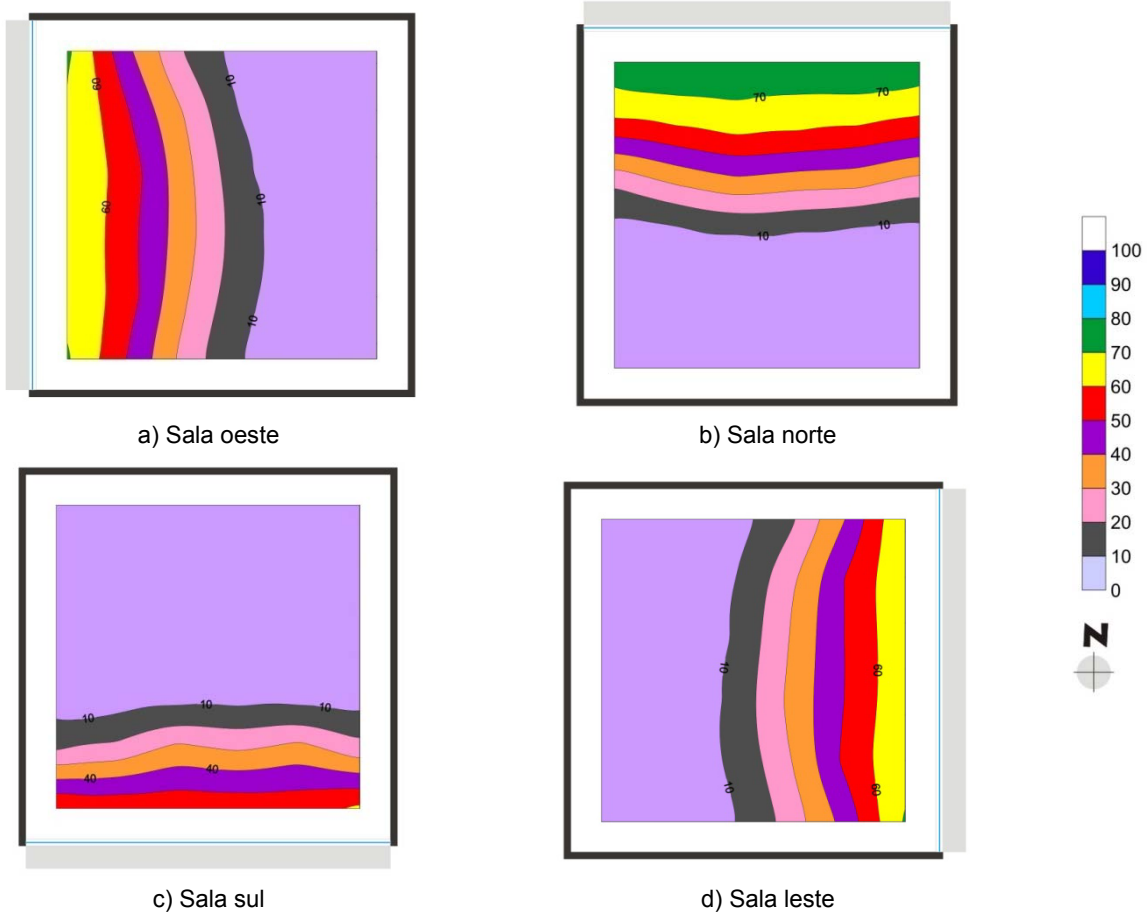


Figura 4.51: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 82%, PAF 75 com brise horizontal.

4. Resultados e discussões

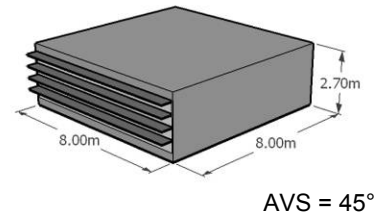
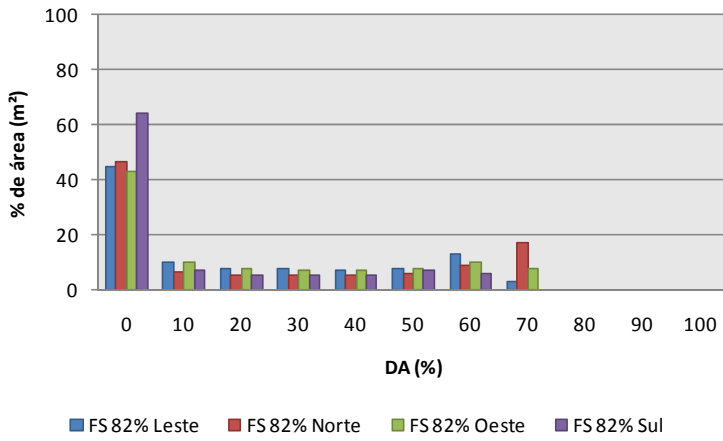


Figura 4.52: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.51.

Figura 4.53: M2/PAF75/AVS

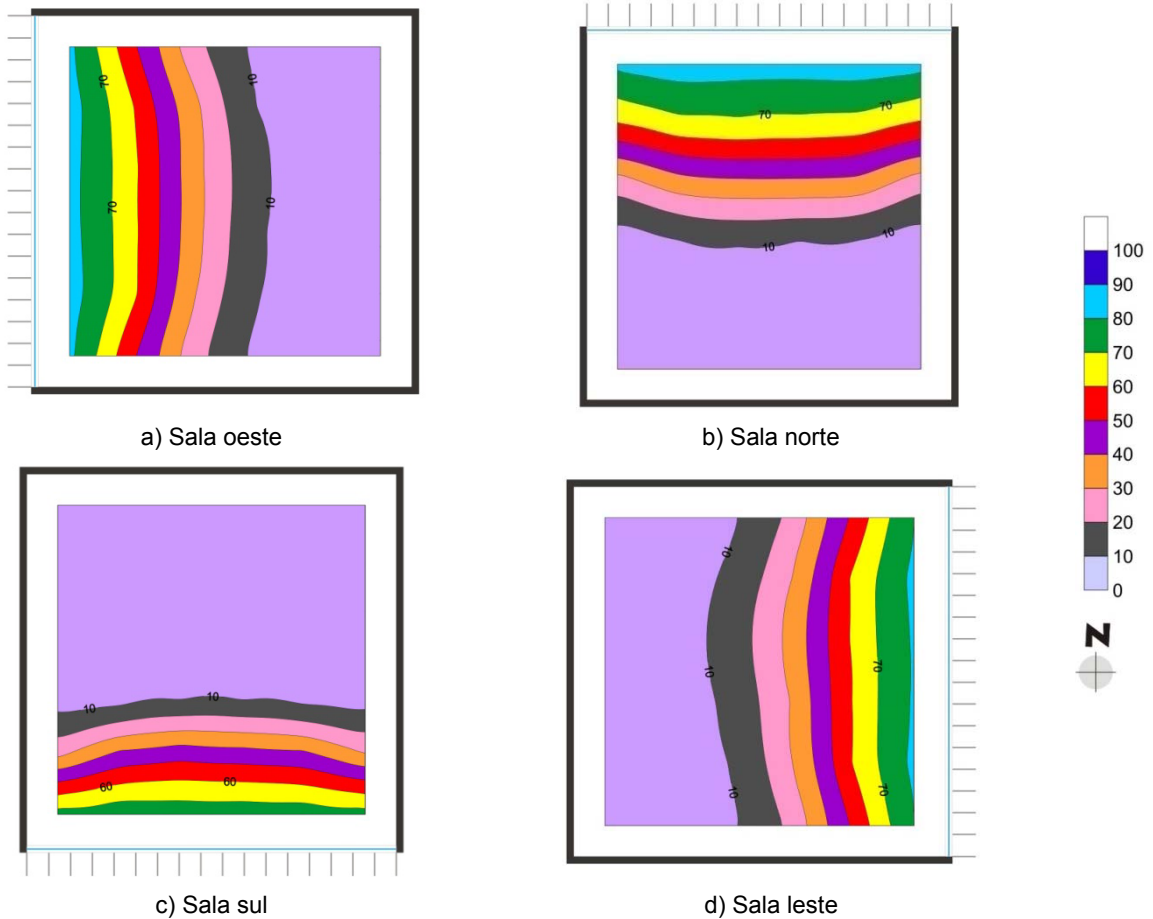


Figura 4.54: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 82%, PAF 75 com brise vertical.



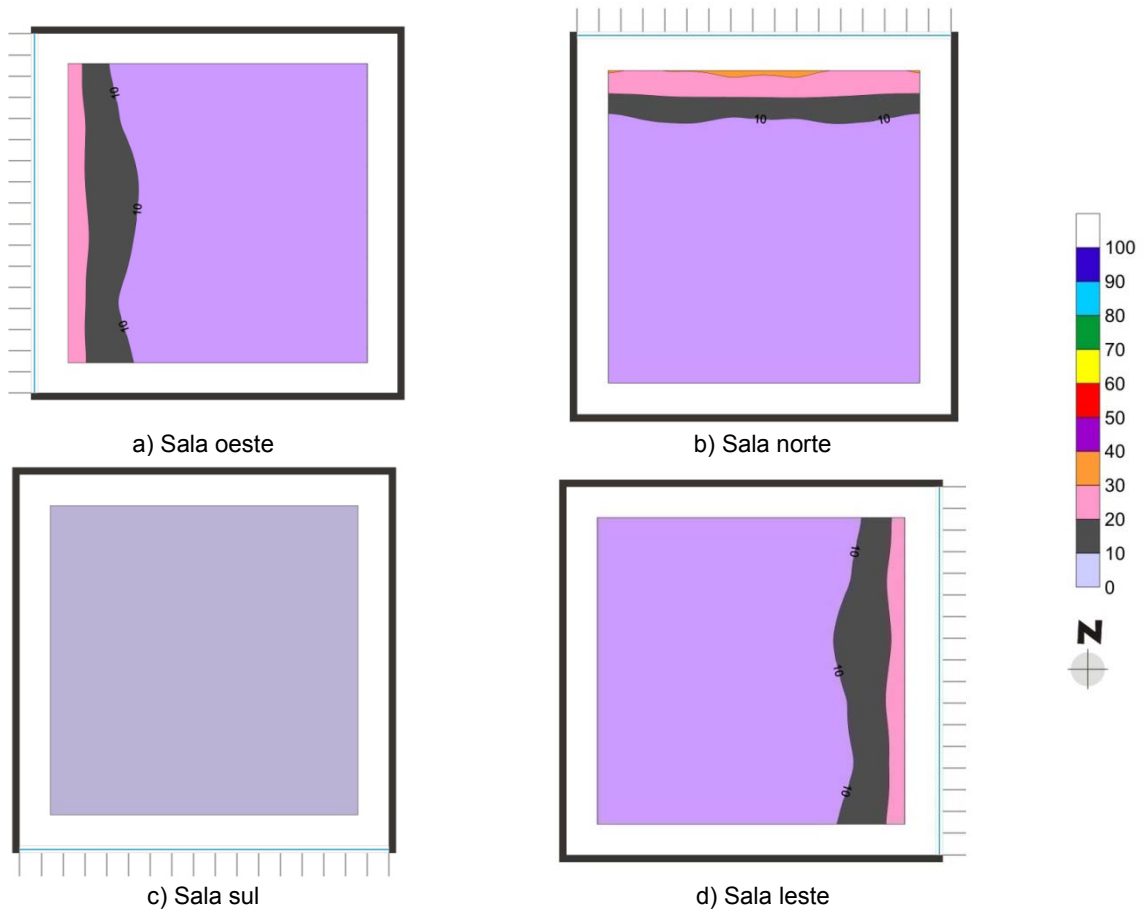


Figura 4.55: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M2, FS 23%, PAF75 com brise vertical.

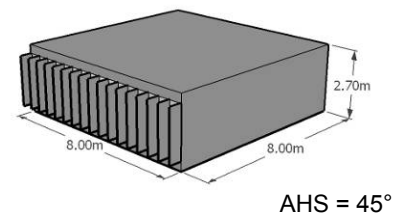
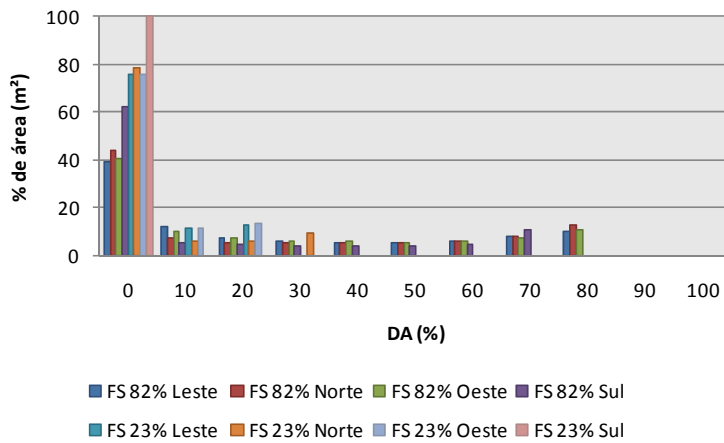


Figura 4.56: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.54 e 4.55.

Figura 4.57: M2/PAF75/AHS

Através dos casos apresentados do Modelo 2 pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos diferentes parâmetros em estudo.

A **orientação**, no Modelo 2, também é um parâmetro que interfere nos valores obtidos no interior do ambiente. Entre as orientações estudadas, a fachada norte continua sendo a que apresenta valores mais altos, chegando a um DA de 90% em 16% da área do caso M2/PAF75/SB, 12% a mais do que com o vidro de FS de 23%. A orientação leste e oeste apresentam valores parecidos em quase todos os casos, obtendo um DA máximo de 90% em 12% da área da sala voltada para leste e 14% da área da sala voltada para oeste, no mesmo caso anterior; A orientação sul continua apresentando os valores mais baixos, tendo seu máximo no caso M2/PAF75/SB com um DA de 90% em 11% da área (ver Figura 4.47).

A **proteção solar** também interfere significativamente no comportamento da luz no ambiente. Os casos ausentes de proteção solar são os que possuem os maiores valores de DA por metro quadrado. Como no Modelo 1, o uso da proteção solar horizontal (AVS) permitiu ambientes menos iluminados quando comparado aos ambientes com proteção solar vertical (AHS). Utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não foi uma boa alternativa para avaliar o aproveitamento da luz natural. Cada orientação demanda um tipo de proteção específico. Muitos casos, principalmente os com a fachada voltada para a orientação sul, apresentaram baixos valores de DA em todo o ambiente. Os casos que apresentaram valores mais satisfatórios de DA, em determinada porcentagem de área, são providos de proteção vertical, maior abertura e vidro claro (ver Figura 4.54). Todos os casos com FS de 23% e proteção horizontal tiveram valores de DA entre 0 e 10 (ver Tabela 4.2).

Como observado, o **percentual de abertura na fachada** (PAF) continua com as áreas próximas à janela mais iluminadas alcançando um DA de 90% nos modelos com PAF 50 e PAF 75 sem proteção solar. Em todos os modelos as áreas do fundo da sala não conseguem obter o nível de 500 lux em nenhum momento do ano, resultando em um DA de 0%. Mesmo com o uso de proteção solar os casos com PAF 75 alcançaram valores de DA de 70% e 80% na região próxima à janela (ver Figura 4.49 e Figura 4.54).

Comparando com o modelo 1, percebe-se que quanto menor a **profundidade** do ambiente maior é a porcentagem de área que apresenta altos valores de DA. Isso pode ser observado entre os casos M1/PAF75/SB e M2/PAF75/SB, ambos apresentaram os valores de DA mais altos por possuírem grandes aberturas, porém os valores de DA do M1 ficaram entre 60 e 90 DA e os valores de DA do M2 entre 0 e 90 DA, já que a luz natural não atinge a região dos fundos da sala.

Em relação ao **Fator Solar**, o comportamento foi semelhante ao ocorrido nos casos do Modelo 1, a diferença encontra-se nos valores de DA pela porcentagem de área. Como o Modelo 2 é mais profundo do que o modelo 1 os casos com FS de 23% chegaram a um DA máximo de 30%, sendo que 50% dos casos estudados neste item apresentaram DA igual a 0% em 100% do ambiente.

Como no item anterior, A Tabela 4.2 apresenta a porcentagem de área atendida por determinado valor de DA nos 72 casos simulados do Modelo 2. Na tabela, os modelos grifados em amarelo, FS23/PAF25/SB, FS82/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AHS, FS23/PAF50/AVS e FS23/PAF75/AVS, são os que apresentaram valores de DA entre 0% e 10%. Seus dados não foram apresentados nas figuras, mas seus valores encontram-se descritos na tabela abaixo.

#### 4. Resultados e discussões

Tabela 4.2: Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 2.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS82/PAF25/SB	Leste	51	11	7	7	9	15	0	0	0	0	0
	Norte	55	6	4	4	5	6	11	9	0	0	0
	Oeste	50	11	7	7	9	17	0	0	0	0	0
	Sul	67	7	6	7	13	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/SB	Leste	94	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	97	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AHS	Leste	62	11	11	16	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	64	7	5	6	8	9	0	0	0	0	0
	Oeste	61	11	11	17	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	84	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AHS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	97	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/SB	Leste	34	11	7	6	5	5	5	7	12	9	0
	Norte	37	7	5	4	4	5	6	7	12	13	0
	Oeste	34	10	7	6	5	5	5	7	12	10	0
	Sul	53	5	4	3	3	3	4	6	10	9	0
FS23/PAF50/SB	Leste	69	9	6	6	10	0	0	0	0	0	0
	Norte	72	5	4	3	3	4	8	0	0	0	0
	Oeste	68	9	6	6	11	0	0	0	0	0	0
	Sul	80	7	8	5	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AVS	Leste	53	10	8	9	21	0	0	0	0	0	0
	Norte	54	6	5	4	5	20	5	0	0	0	0
	Oeste	51	10	8	8	21	2	0	0	0	0	0
	Sul	74	16	10	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.2: (continuação) Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 2.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS23/PAF50/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AHS	Leste	48	11	6	6	5	6	7	13	0	0	0
	Norte	51	7	5	4	4	5	6	9	9	0	0
	Oeste	47	10	6	6	5	5	6	14	0	0	0
	Sul	65	6	4	4	4	4	12	0	0	0	0
FS23/PAF50/AHS	Leste	77	17	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	79	7	10	3	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	77	16	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/SB	Leste	22	13	8	6	6	6	7	8	13	12	0
	Norte	26	8	6	6	6	6	7	8	13	16	0
	Oeste	23	12	7	6	6	6	6	8	13	14	0
	Sul	45	5	5	4	4	4	5	7	11	11	0
FS23/PAF75/SB	Leste	67	9	5	5	5	9	0	0	0	0	0
	Norte	70	5	4	3	3	3	5	7	0	0	0
	Oeste	67	8	5	5	5	10	0	0	0	0	0
	Sul	79	5	5	7	4	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AVS	Leste	44	10	8	7	7	8	13	3	0	0	0
	Norte	46	7	5	5	5	6	9	17	0	0	0
	Oeste	43	10	8	7	7	8	10	8	0	0	0
	Sul	64	7	5	5	5	7	6	0	0	0	0
FS23/PAF75/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AHS	Leste	39	12	7	6	5	6	6	8	10	0	0
	Norte	44	7	6	5	5	5	6	8	13	0	0
	Oeste	41	10	7	6	6	6	6	7	11	0	0
	Sul	62	5	5	4	4	4	5	11	0	0	0
FS23/PAF75/AHS	Leste	76	11	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	79	6	6	9	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	75	11	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 4.1.3 Análise Modelo 3

As salas do Modelo 3 possuem dimensões de 8,00m de largura por 16,00m de profundidade e pé direito de 2,70m.

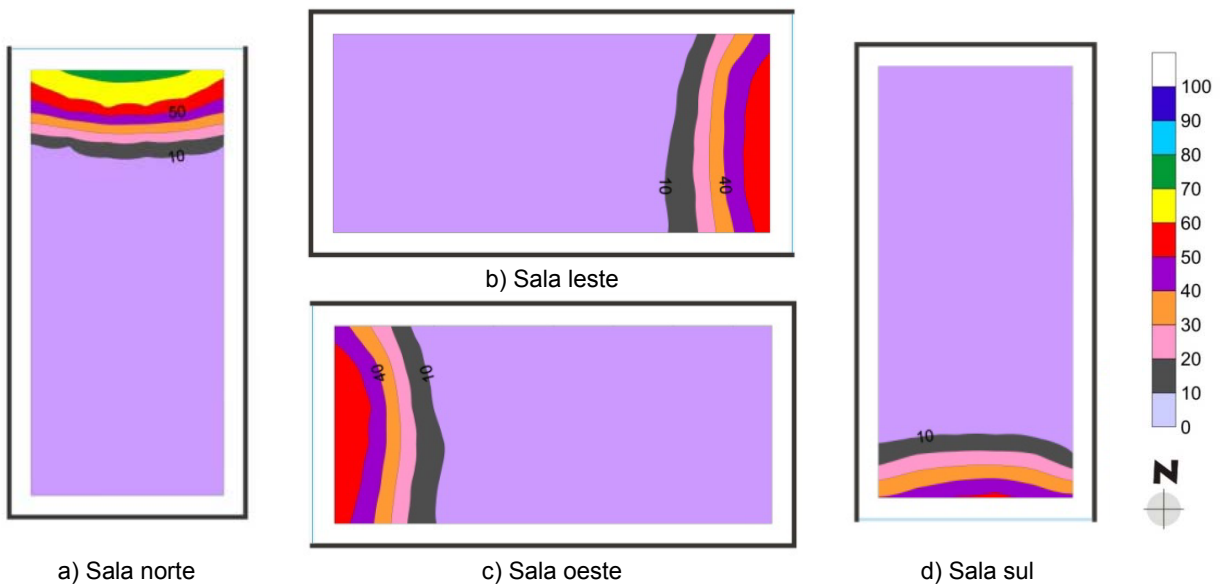


Figura 4.58: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 82%, PAF25 sem *brise*.

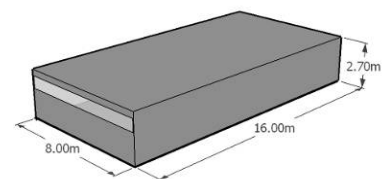
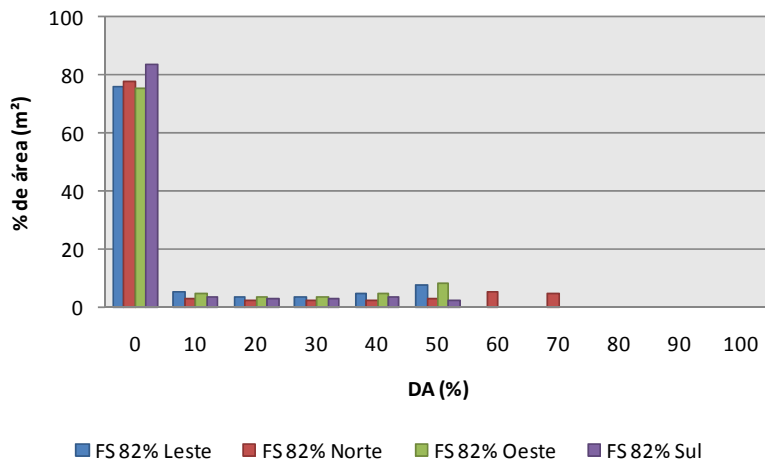


Figura 4.60: M3/PAF25/SB

Figura 4.59: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.58.

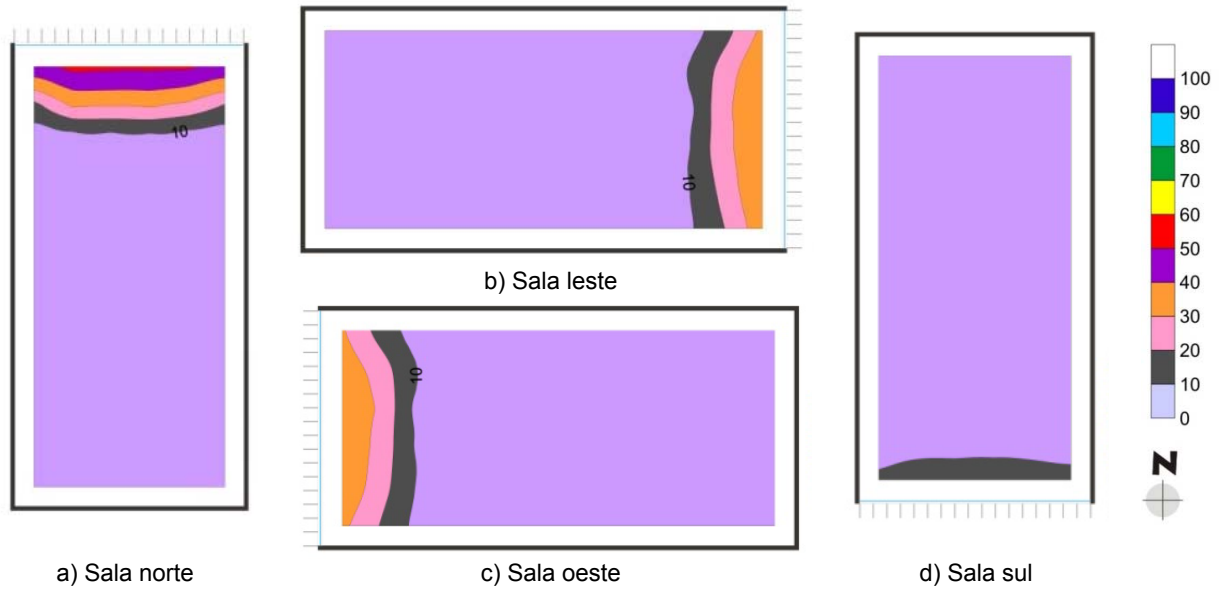


Figura 4.61: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 82%, PAF25 com *brise* vertical.

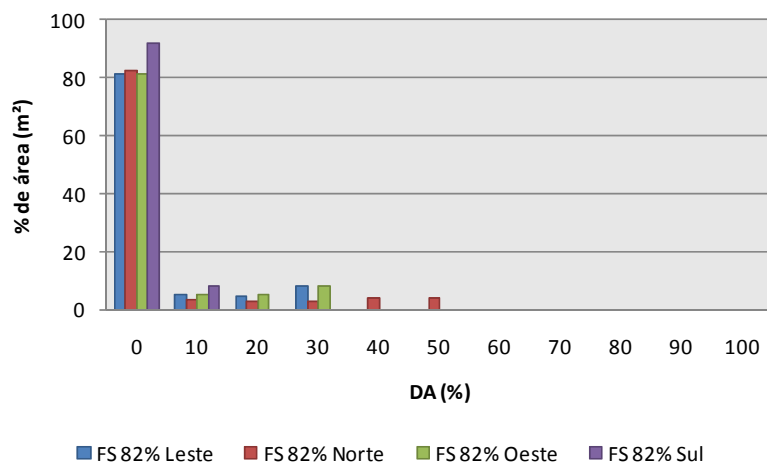


Figura 4.62: Gráfico da relação entre a percentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.61.

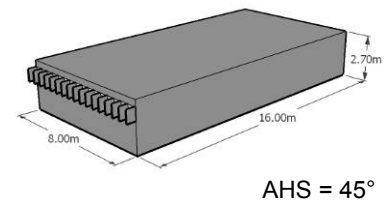


Figura 4.63: M3/PAF25/AHS

#### 4. Resultados e discussões

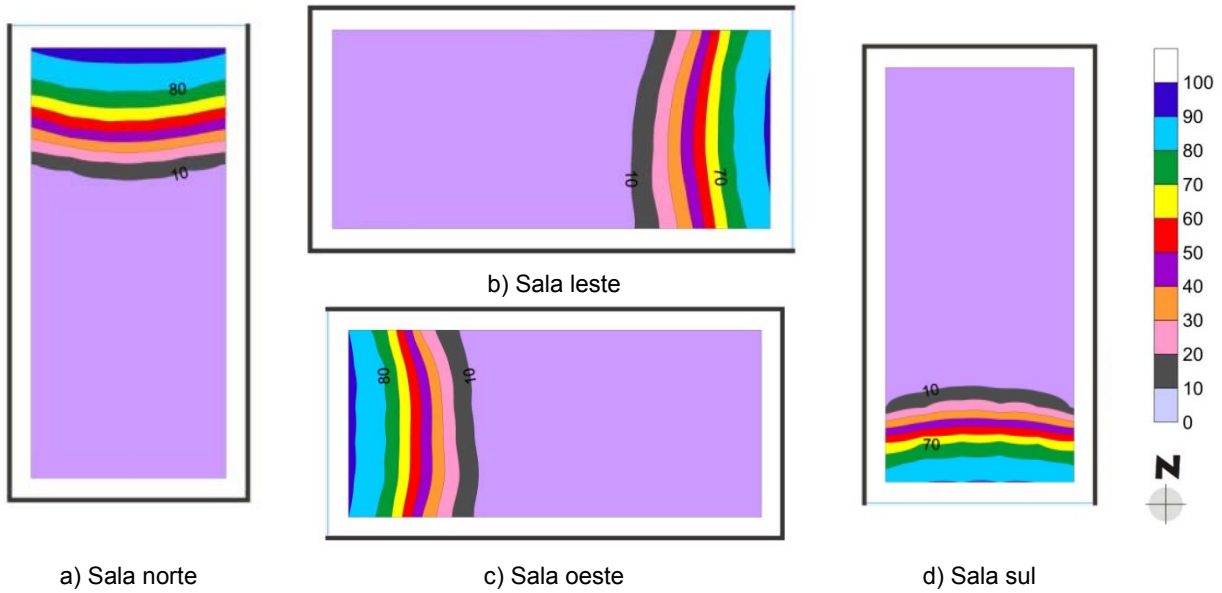


Figura 4.64: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 82%, PAF50 sem *brise*.

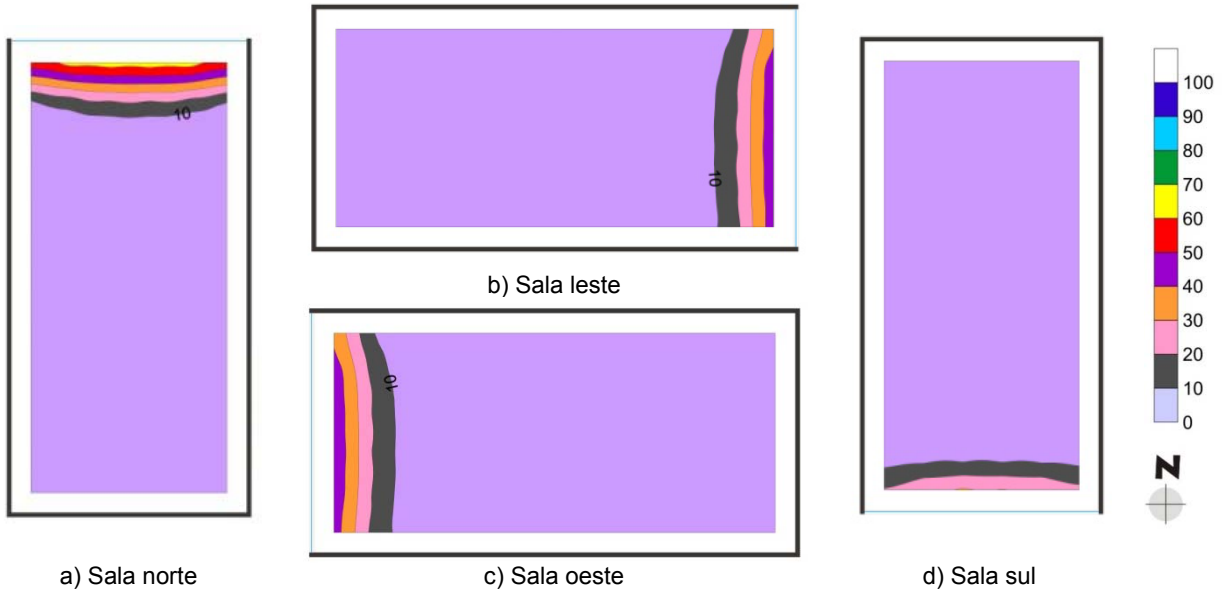


Figura 4.65: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 23%, PAF50 sem *brise*.

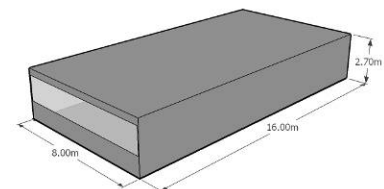
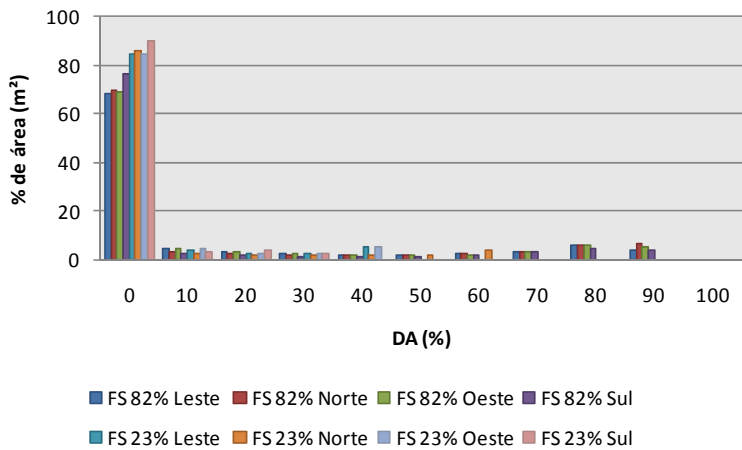


Figura 4.66: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.64 e 4.65.

Figura 4.67: M3/PAF50/SB



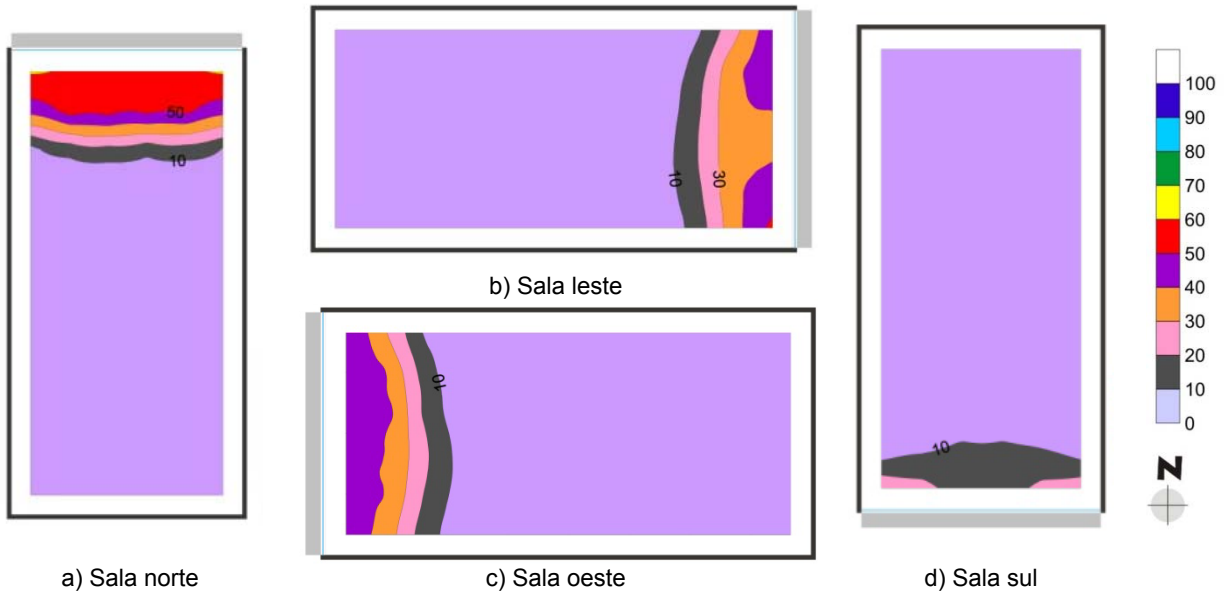


Figura 4.68: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 82%, PAF50 com *brise* horizontal.

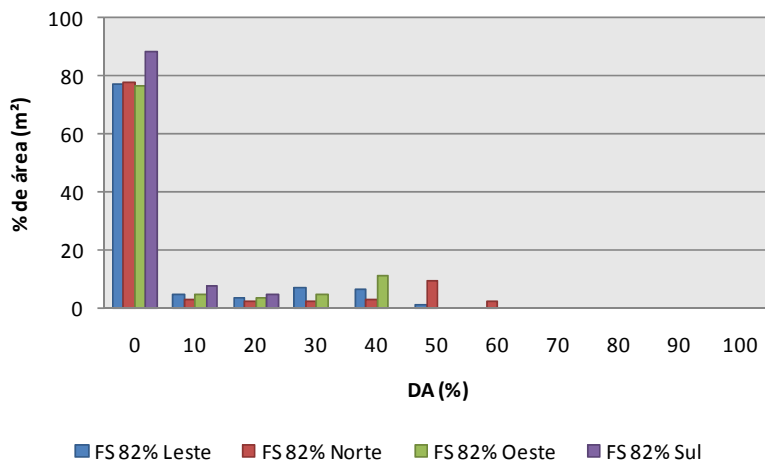


Figura 4.69: Gráfico da relação entre a percentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.68.

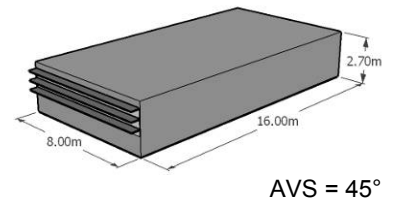


Figura 4.70: M3/PAF50/AVS

#### 4. Resultados e discussões

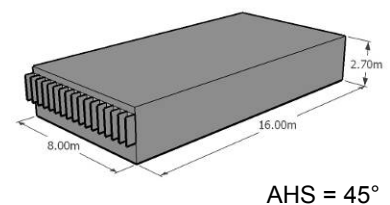
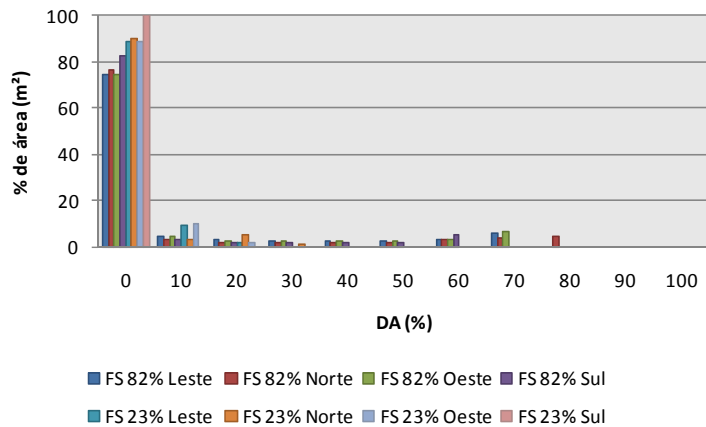
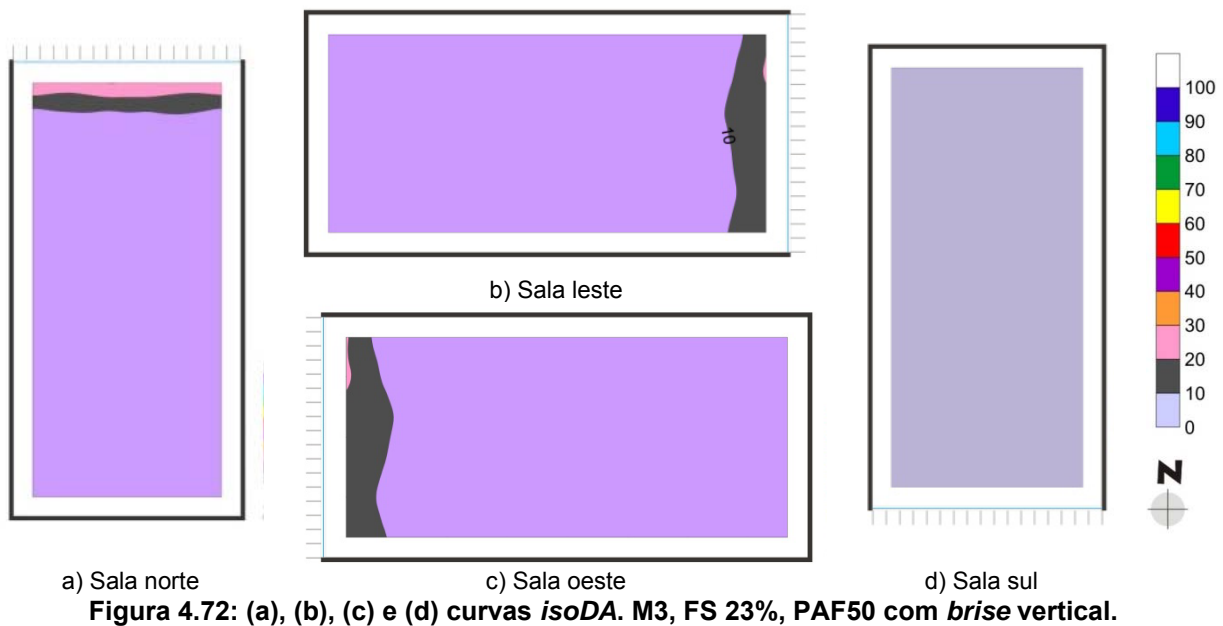
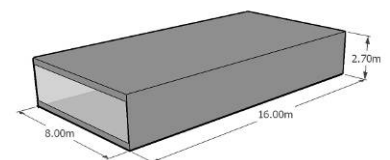
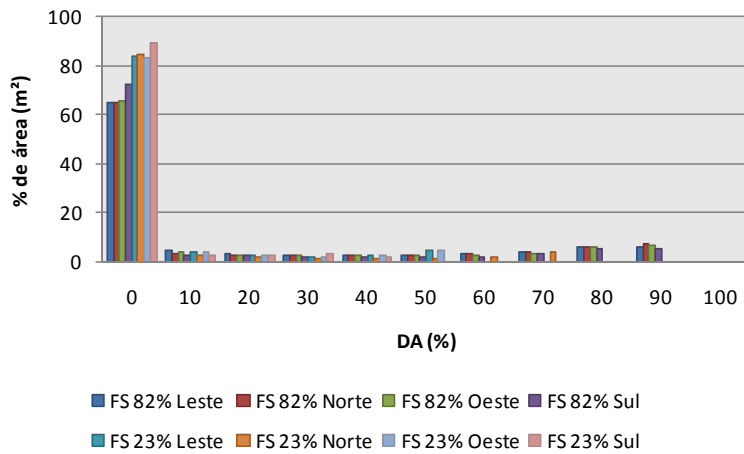
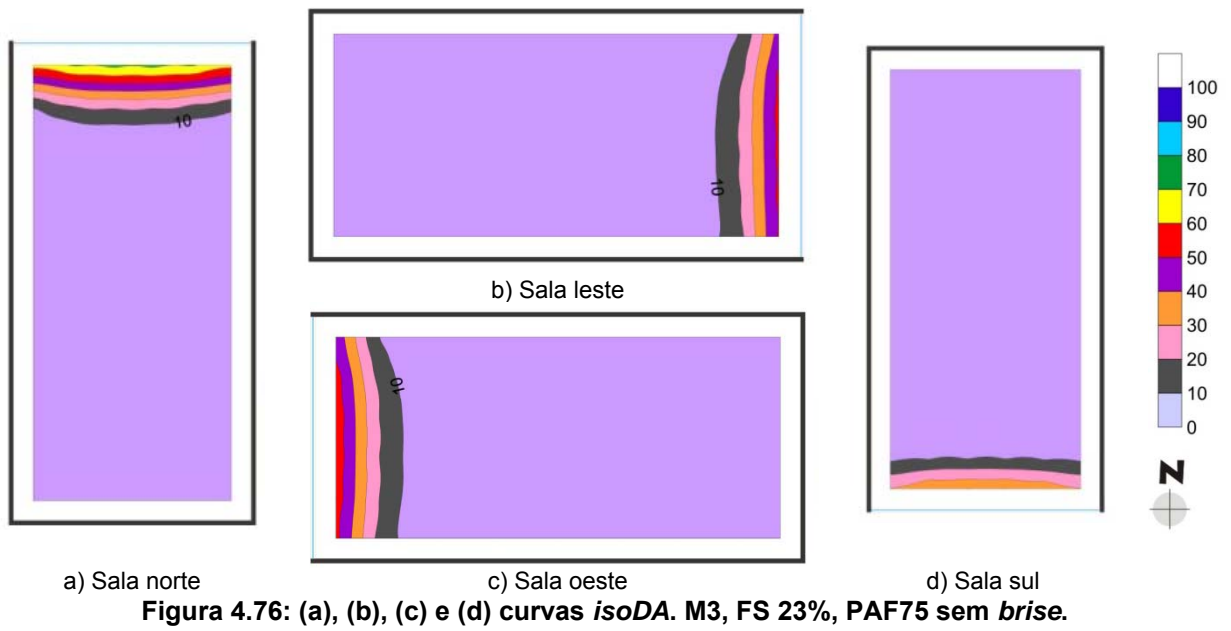
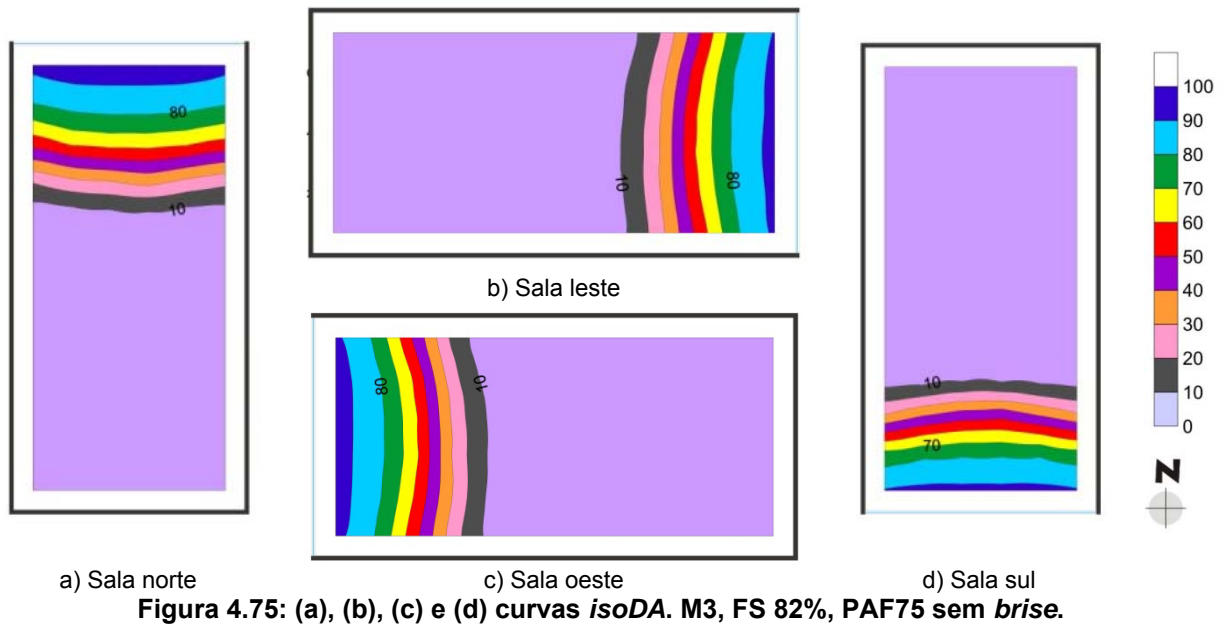


Figura 4.73: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.71 e 4.72.

Figura 4.74: M3/PAF50/AHS



4. Resultados e discussões

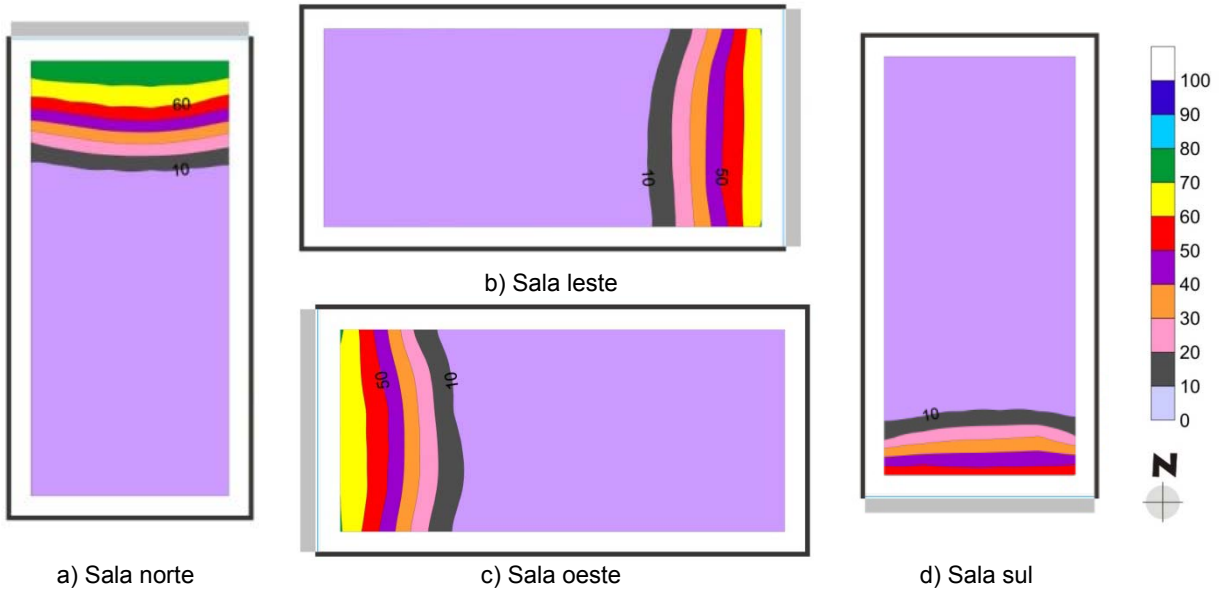


Figura 4.79: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M3, FS 82%, PAF75 com brise horizontal.

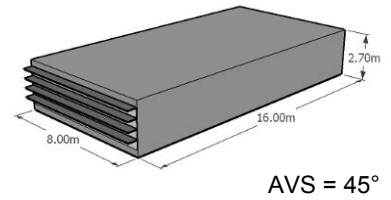
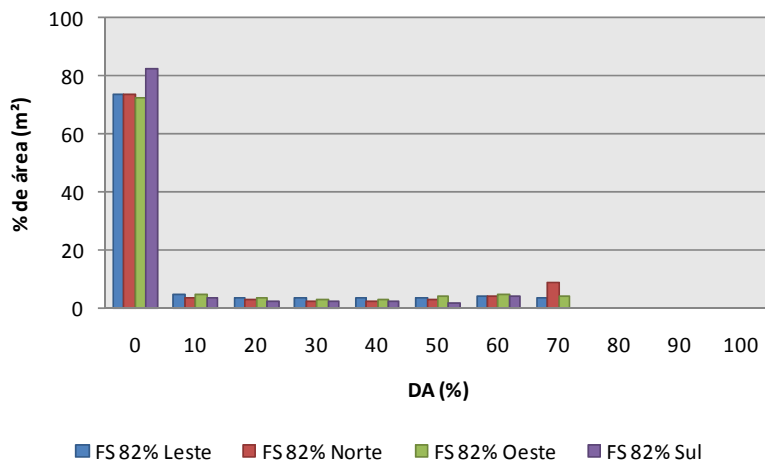


Figura 4.80: Gráfico da relação entre a percentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.79.

Figura 4.81: M3/PAF75/AVS

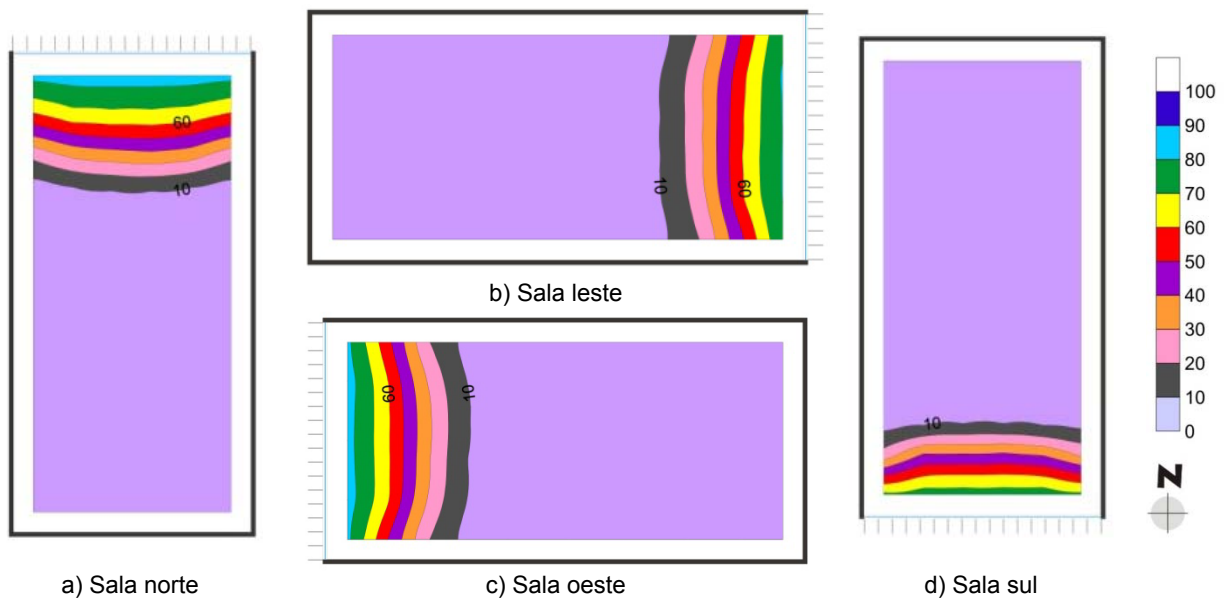


Figura 4.82: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 82%, PAF75 com *brise* vertical.

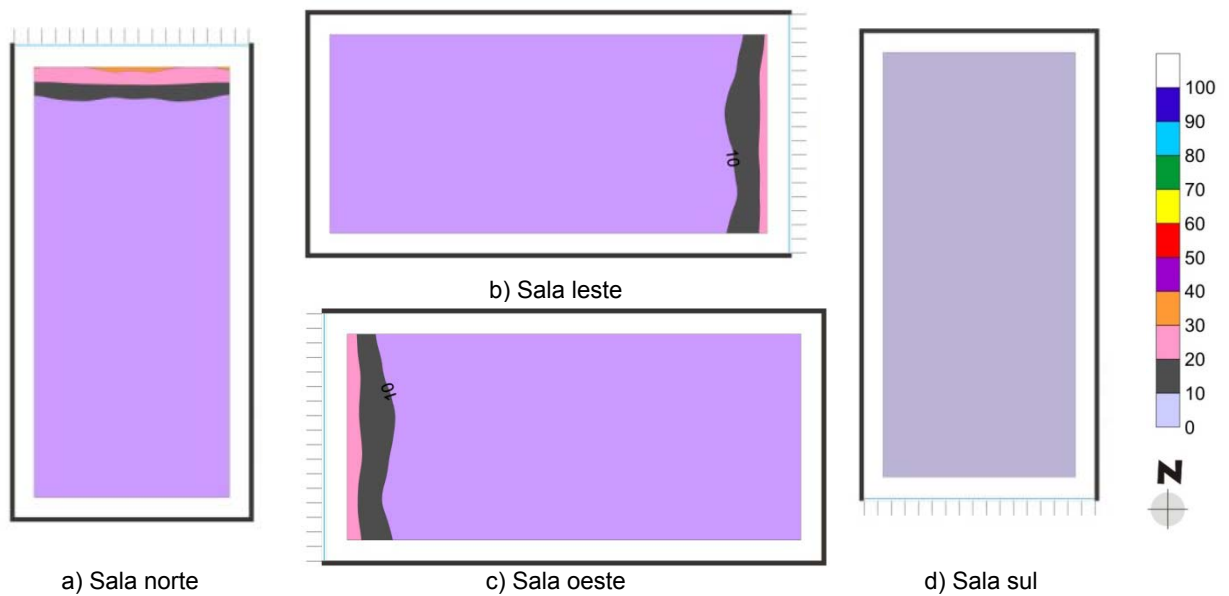


Figura 4.83: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M3, FS 23%, PAF75 com *brise* vertical.

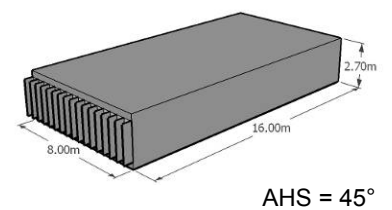
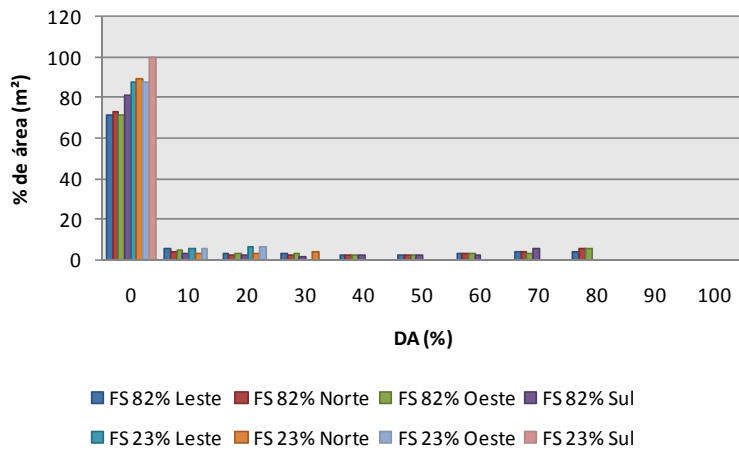


Figura 4.84: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.82 e 4.83.

Figura 4.85: M3/PAF75/AHS

Através dos casos apresentados do Modelo 3 pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos diferentes parâmetros em estudo.

A **orientação**, como nos outros modelos, também interfere nos valores obtidos no interior do ambiente. A orientação norte apresenta valores mais altos e a orientação sul valores mais baixos. Entre as orientações estudadas, a fachada norte continua sendo a que apresenta valores mais altos, chegando a um DA de 90% em 8% da área do caso M3/PAF75/SB, metade do obtido com o Modelo 2. A orientação leste e oeste apresentam valores iguais na maioria dos casos, tanto com FS de 82% como com FS de 23%. A orientação sul tem seu máximo no caso M3/PAF75/SB com um DA de 90% em 5% da área e o mínimo com o DA de 0% em toda a sala de 7 casos estudados, como ocorrido com os casos do Modelo 1 e 2 com FS 23% (ver Tabela 4.1, 4.2 e 4.3).

O uso da **proteção solar** com o vidro escuro fez com que muitas salas possuíssem 100% de sua área com DA igual a 0%. Isso ocorreu em todas as situações com proteção solar horizontal (AVS). A proteção solar vertical, como nos modelos anteriores, apresentou o melhor caso com o M3/PAF75/AHS e o pior com o M3/PAF25/AHS, onde 92% da área tiveram DA igual a 0% (ver Tabela 4.3).

Como nos modelos 1 e 2, quanto maior o **percentual de abertura na fachada** (PAF), maior o valor de DA obtido. Como as salas são providas de iluminação unilateral, apenas a região próxima a abertura é iluminada, alcançando um DA de 90% nos modelos com PAF 50 e PAF 75 sem proteção solar. Entretanto esses altos valores de DA atingem menos do que 10% da área do ambiente. Em todos os modelos as áreas do fundo da sala não conseguem obter o nível de 500 lux em nenhum momento do ano, necessitando de iluminação artificial para complementar a iluminância requerida.

Percebe-se que os casos dos Modelos 1, 2 e 3 possuem valores de DA semelhantes, o que diferencia é a porcentagem de área em que isso ocorre. Quanto maior a **profundidade** do ambiente menor é a porcentagem de área para um alto valor de DA. Os valores de DA obtido nos casos do Modelo 1 atingem uma grande porcentagem de área, alcançando a região mais afastada da janela. Os valores de DA obtidos com os casos do Modelo 2 são os mesmos valores obtidos com os casos do Modelo 3, que possui o dobro da profundidade do Modelo 2 e,

conseqüentemente, apresenta a metade de DA por metro quadrado do Modelo 2 (ver Figuras 4.20, 4.47 e 4.75). Variando-se a profundidade das salas nota-se que as salas menos profundas são as que apresentam um maior potencial de economia de energia gasta em iluminação artificial.

De uma forma geral, maiores aberturas atingem mais facilmente a iluminância de projeto desejada em ambientes de menor profundidade. Porém, podem gerar maior ganho de calor e níveis de iluminação em excesso na região próxima à janela. Isto evidencia a necessidade de que sejam criadas recomendações não apenas quanto ao tamanho das janelas, mas também quanto a profundidade máxima dos ambientes.

Nas salas mais profundas, o **Fator Solar** se comportou de forma semelhante aos outros Modelos. Porém, quando utilizado o FS de 23%, 50% dos casos apresentaram DA igual a 0 em todo o ambiente. Com o FS de 82% a iluminação natural consegue a atingir um terço da área do ambiente.

A porcentagem de área atendida por determinado valor de DA nos 72 casos simulados do Modelo 3 pode ser vista na Tabela 4.3. Na tabela, os modelos grifados em amarelo, FS23/PAF25/SB, FS82/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AHS, FS23/PAF50/AVS e FS23/PAF75/AVS, são os que apresentaram valores de DA entre 0% e 10%. Seus dados não foram ilustrados nas figuras, mas seus valores encontram-se descritos na tabela seguinte.

#### 4. Resultados e discussões

Tabela 4.3: Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 3.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS82/PAF25/SB	Leste	76	5	3	3	5	8	0	0	0	0	0
	Norte	78	3	2	2	2	3	5	5	0	0	0
	Oeste	76	5	3	3	4	8	0	0	0	0	0
	Sul	83	4	3	3	4	3	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/SB	Leste	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	97	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AHS	Leste	81	5	5	9	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	82	4	3	3	4	4	0	0	0	0	0
	Oeste	81	5	5	8	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	92	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AHS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/SB	Leste	68	5	3	3	2	2	2	3	6	4	0
	Norte	69	3	2	2	2	2	3	3	6	6	0
	Oeste	69	4	3	3	2	2	2	3	6	5	0
	Sul	77	3	2	2	2	2	2	3	5	4	0
FS23/PAF50/SB	Leste	84	4	3	3	5	0	0	0	0	0	0
	Norte	86	3	2	2	2	2	4	0	0	0	0
	Oeste	84	4	3	3	6	0	0	0	0	0	0
	Sul	90	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AVS	Leste	77	5	4	7	6	1	0	0	0	0	0
	Norte	78	3	2	2	3	9	3	0	0	0	0
	Oeste	76	5	4	4	11	0	0	0	0	0	0
	Sul	88	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0



Tabela 4.3: (continuação) Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 3.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS23/PAF50/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AHS	Leste	74	5	3	3	3	3	3	6	0	0	0
	Norte	76	3	2	2	2	2	3	4	5	0	0
	Oeste	74	5	3	3	3	3	3	7	0	0	0
	Sul	82	3	2	2	2	2	6	0	0	0	0
FS23/PAF50/AHS	Leste	88	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	90	3	6	1	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	88	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/SB	Leste	65	5	3	3	3	3	3	4	6	6	0
	Norte	65	4	3	2	2	3	3	4	6	8	0
	Oeste	65	4	3	3	3	3	3	4	6	7	0
	Sul	73	3	2	2	2	2	2	3	5	5	0
FS23/PAF75/SB	Leste	84	4	3	2	3	5	0	0	0	0	0
	Norte	85	3	2	2	2	2	2	4	0	0	0
	Oeste	83	4	3	2	3	5	0	0	0	0	0
	Sul	89	3	2	3	2	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AVS	Leste	73	5	4	3	3	4	4	3	0	0	0
	Norte	73	4	3	2	2	3	4	9	0	0	0
	Oeste	73	5	3	3	3	4	5	4	0	0	0
	Sul	82	4	3	2	3	2	4	0	0	0	0
FS23/PAF75/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AHS	Leste	71	5	3	3	3	3	3	4	4	0	0
	Norte	73	4	3	2	3	3	3	4	6	0	0
	Oeste	71	5	3	3	3	3	3	4	5	0	0
	Sul	81	3	2	2	2	2	2	5	0	0	0
FS23/PAF75/AHS	Leste	88	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	89	3	3	4	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	88	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 4.1.4 Análise Modelo 4

Como descrito na metodologia, as salas do Modelo 4 (M4) possuem dimensões de 8,00m de largura por 8,00m de profundidade e pé direito de 3,50m. O Modelo 4 teve o Modelo 2 como referência, a diferença entre eles é na altura do pé direito e no peitoril da janela, por isso os dois grupos de Modelos podem ter seus resultados comparados.

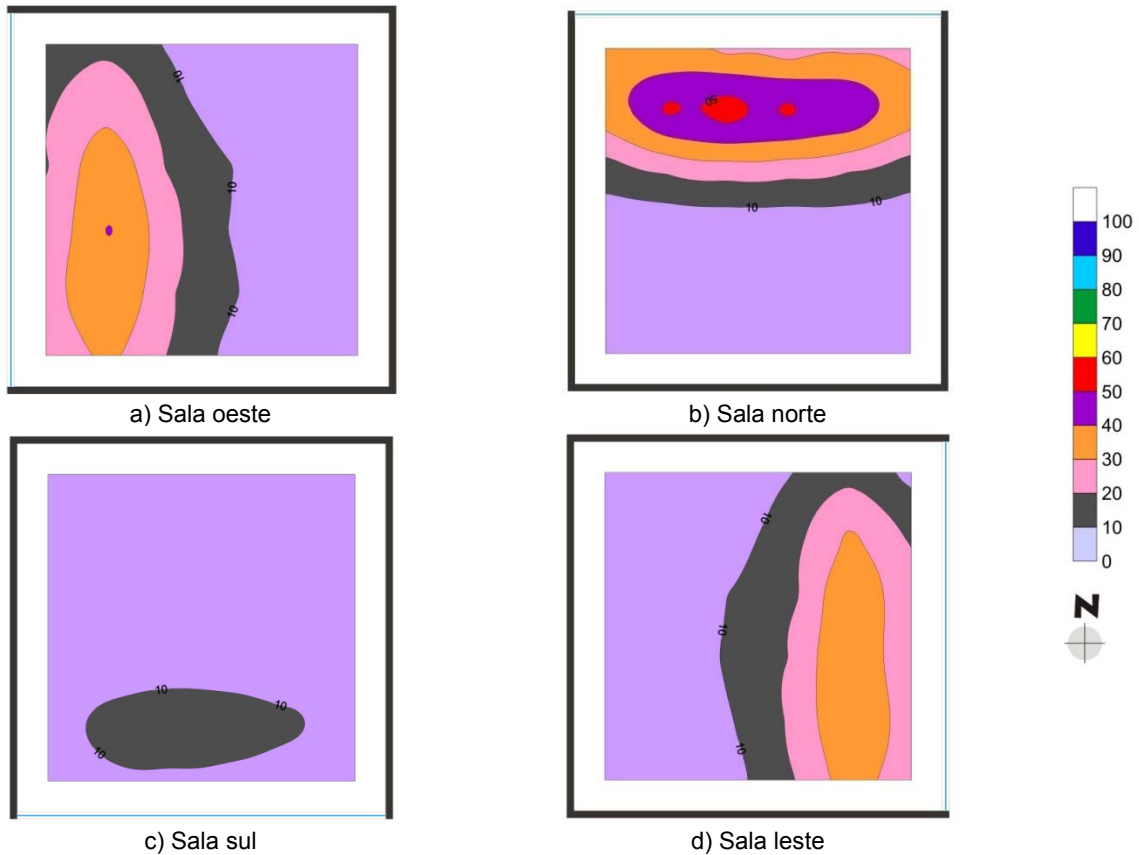


Figura 4.86: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF25 sem *brise*.

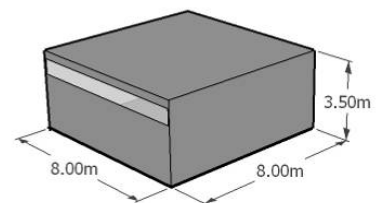
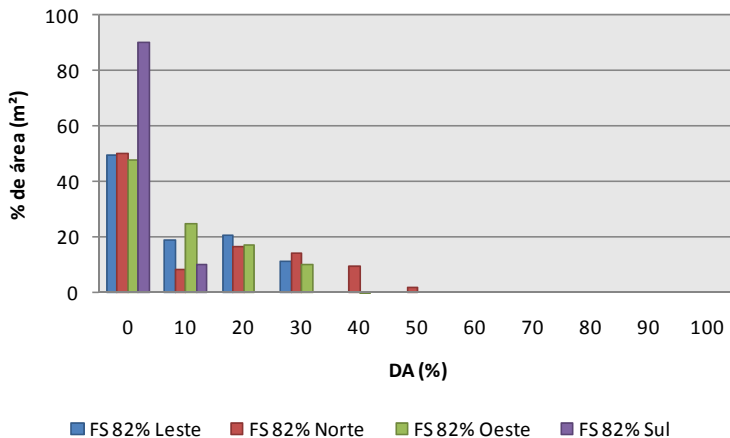


Figura 4.88: M4/PAF25/SB

Figura 4.87: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.86.

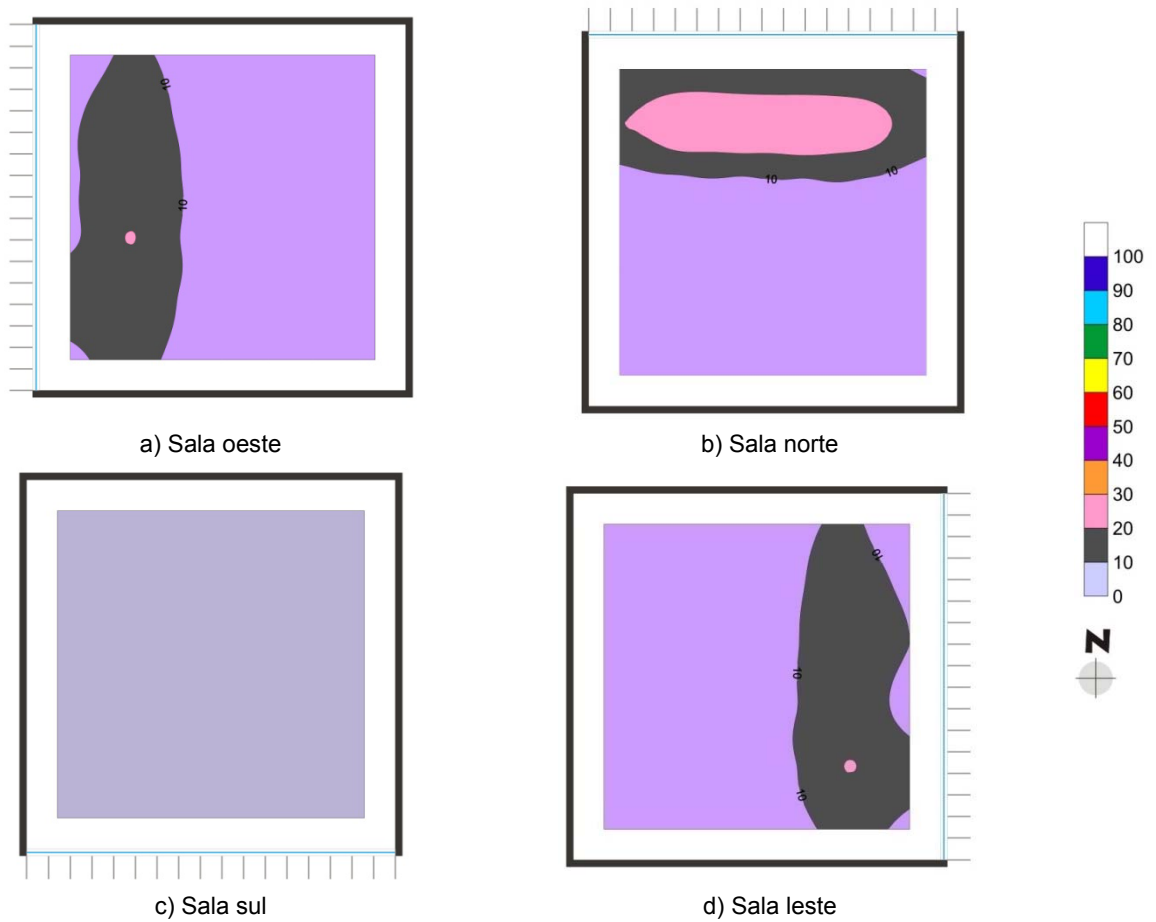


Figura 4.89: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF25 com *brise* vertical.

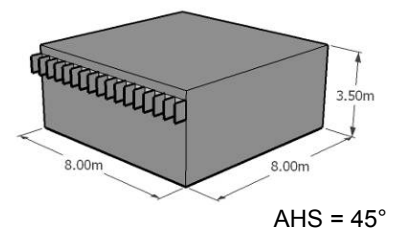
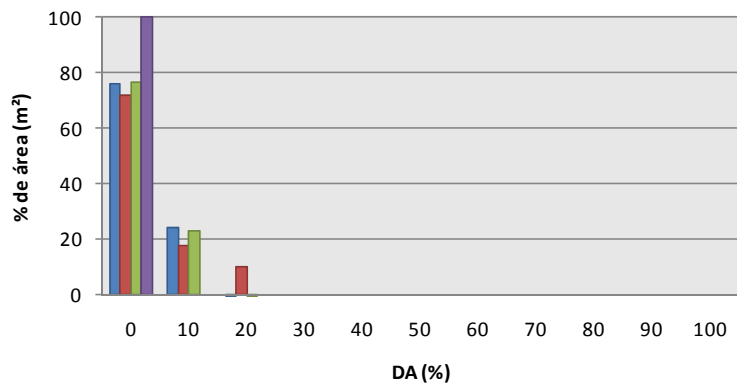


Figura 4.90: Gráfico da relação entre a percentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.89.

Figura 4.91: M4/PAF25/AHS

#### 4. Resultados e discussões

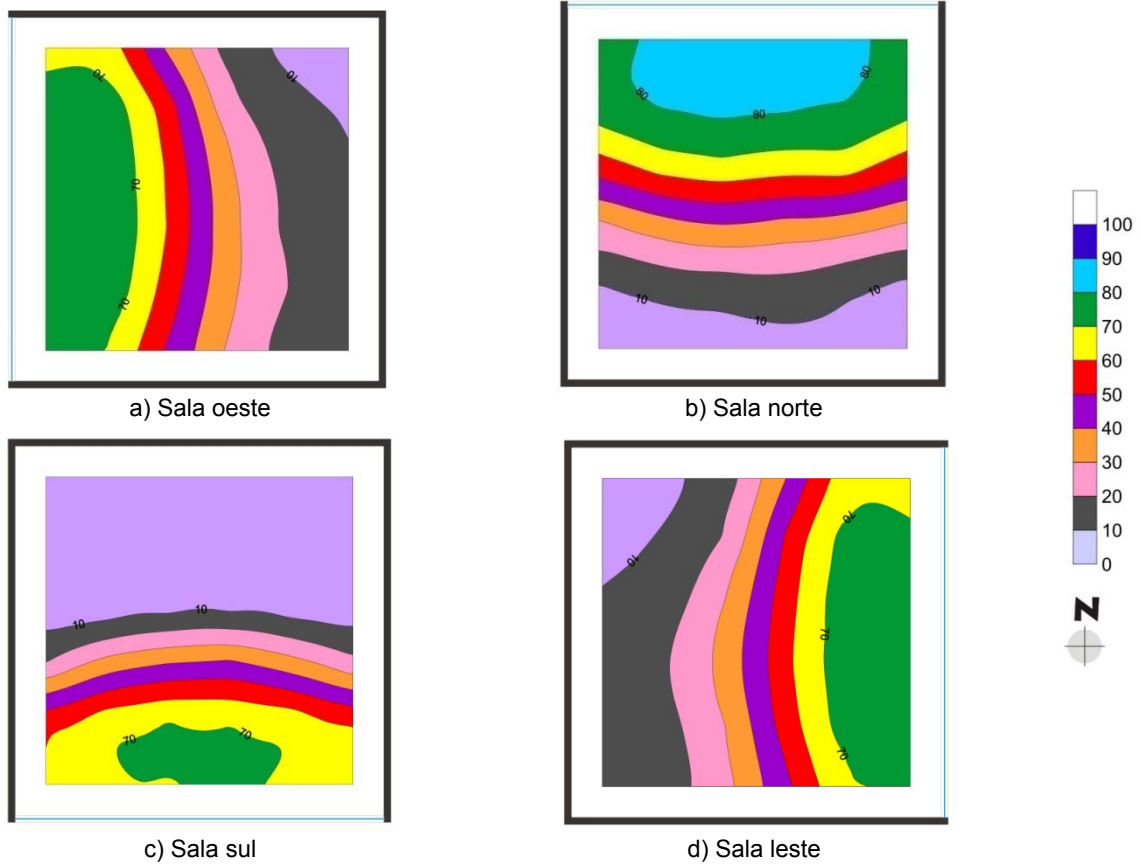


Figura 4.92: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF50 sem *brise*.

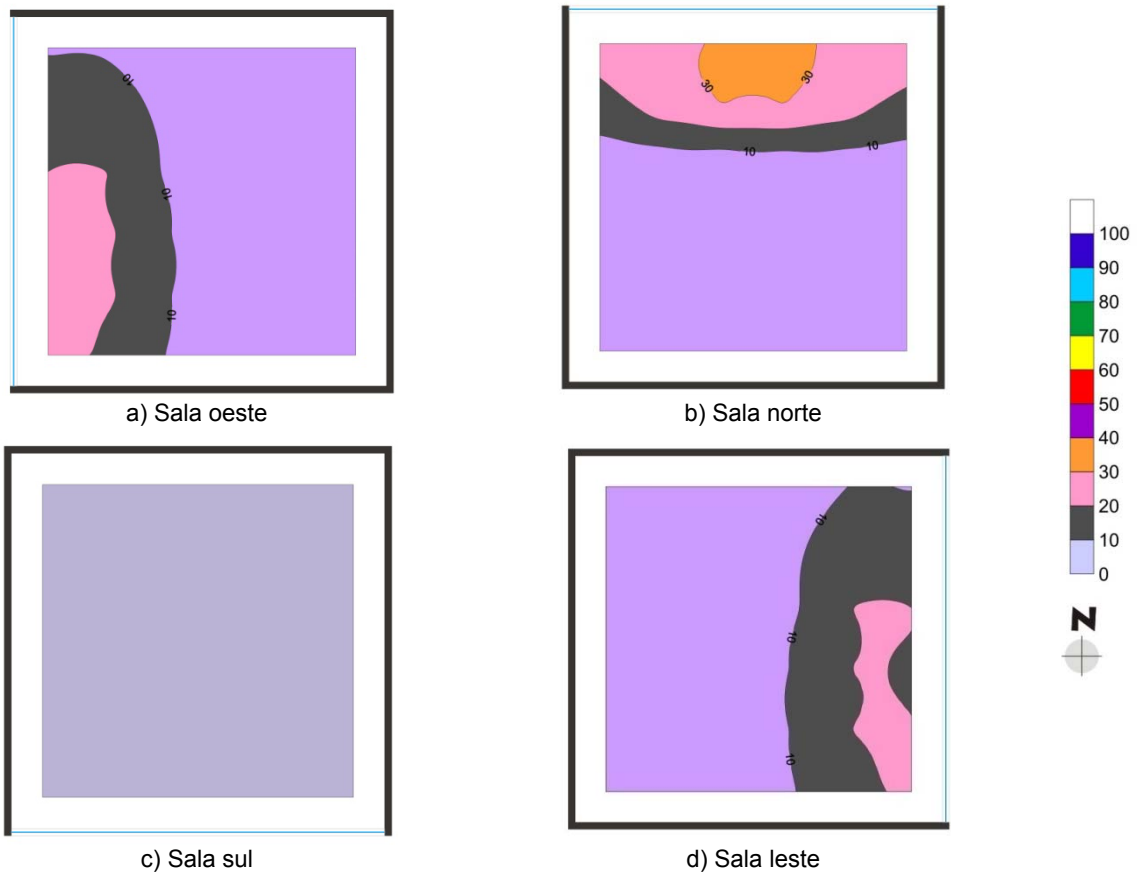


Figura 4.93: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 23%, PAF50 sem *brise*.

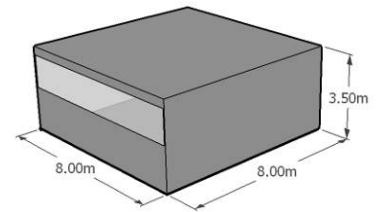
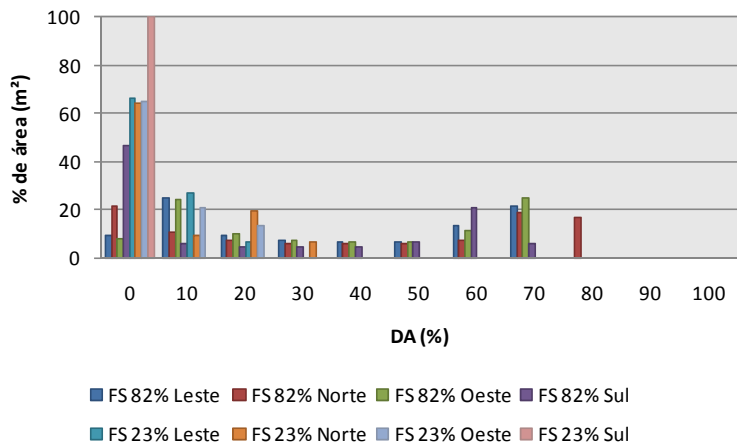


Figura 4.94: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.92 e 4.93.

Figura 4.95: M4/PAF50/SB

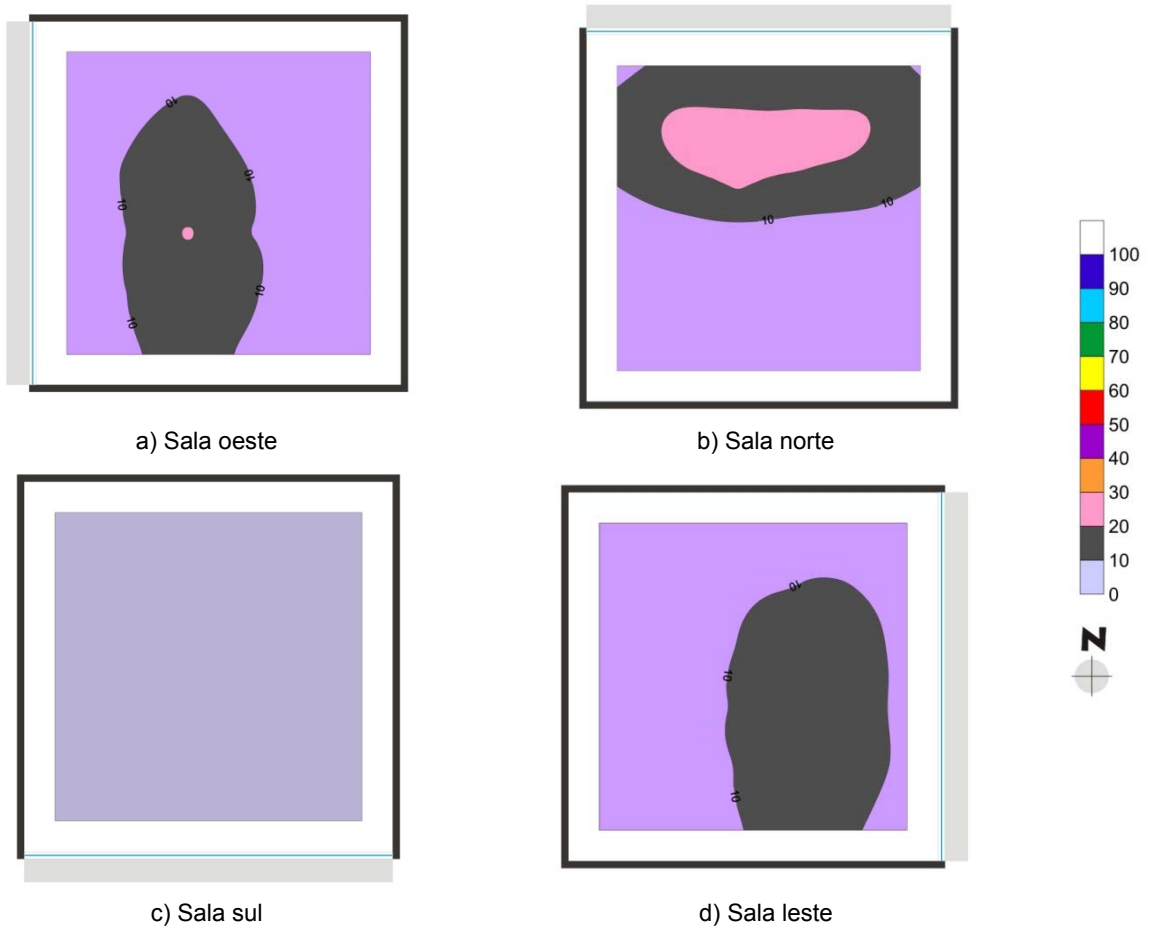


Figura 4.96: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF50 com *brise* horizontal.

#### 4. Resultados e discussões

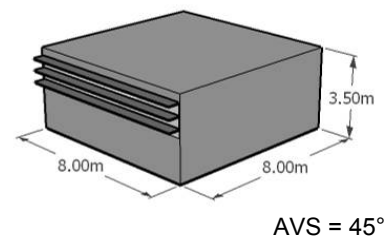
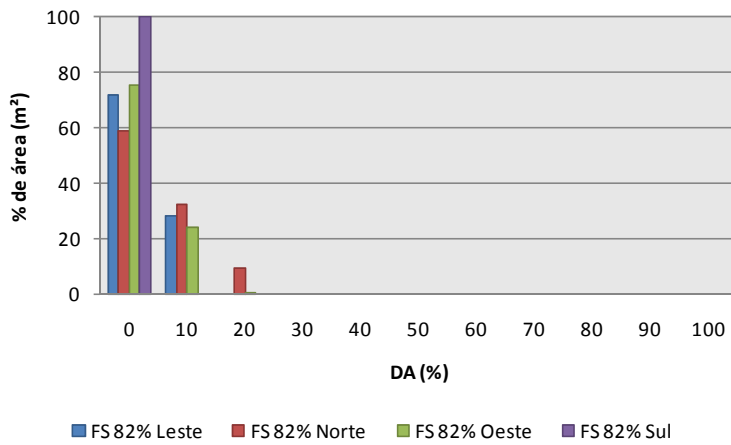


Figura 4.97: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.96.

Figura 4.98: M4/PAF50/AVS

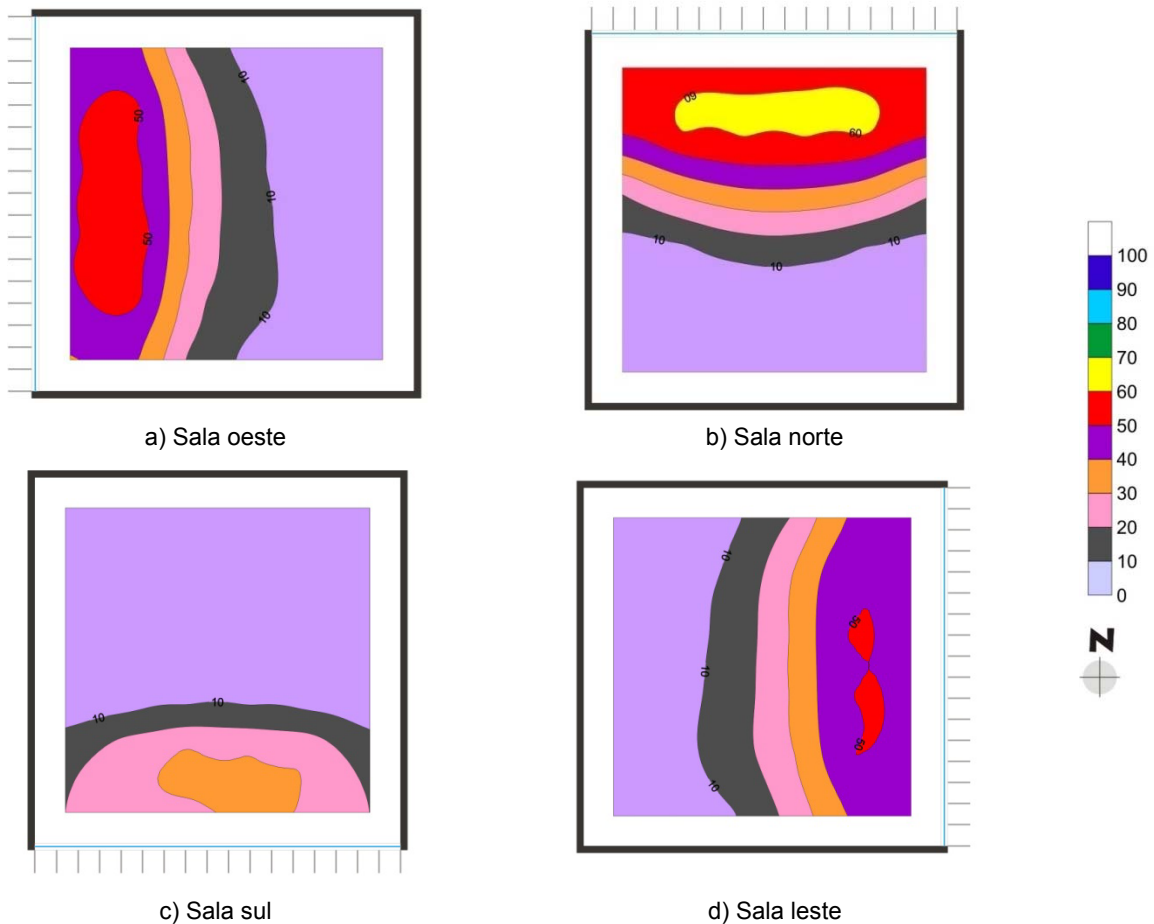


Figura 4.99: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF50 com *brise* vertical.

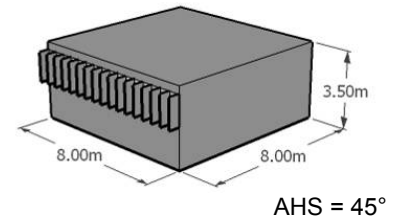
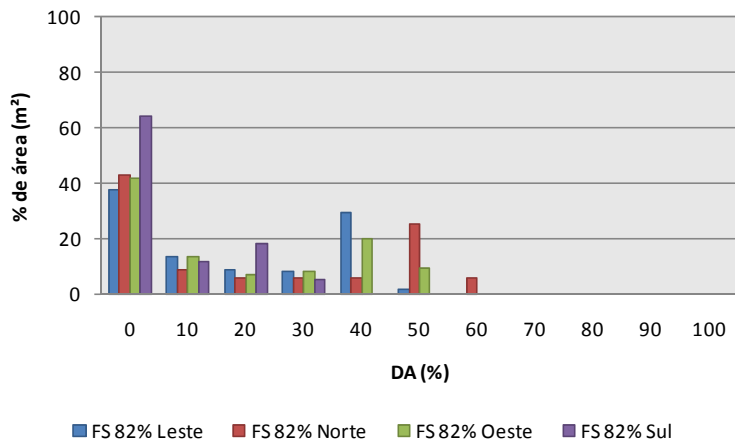


Figura 4.100: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.99.

Figura 4.101: M4/PAF50/AHS

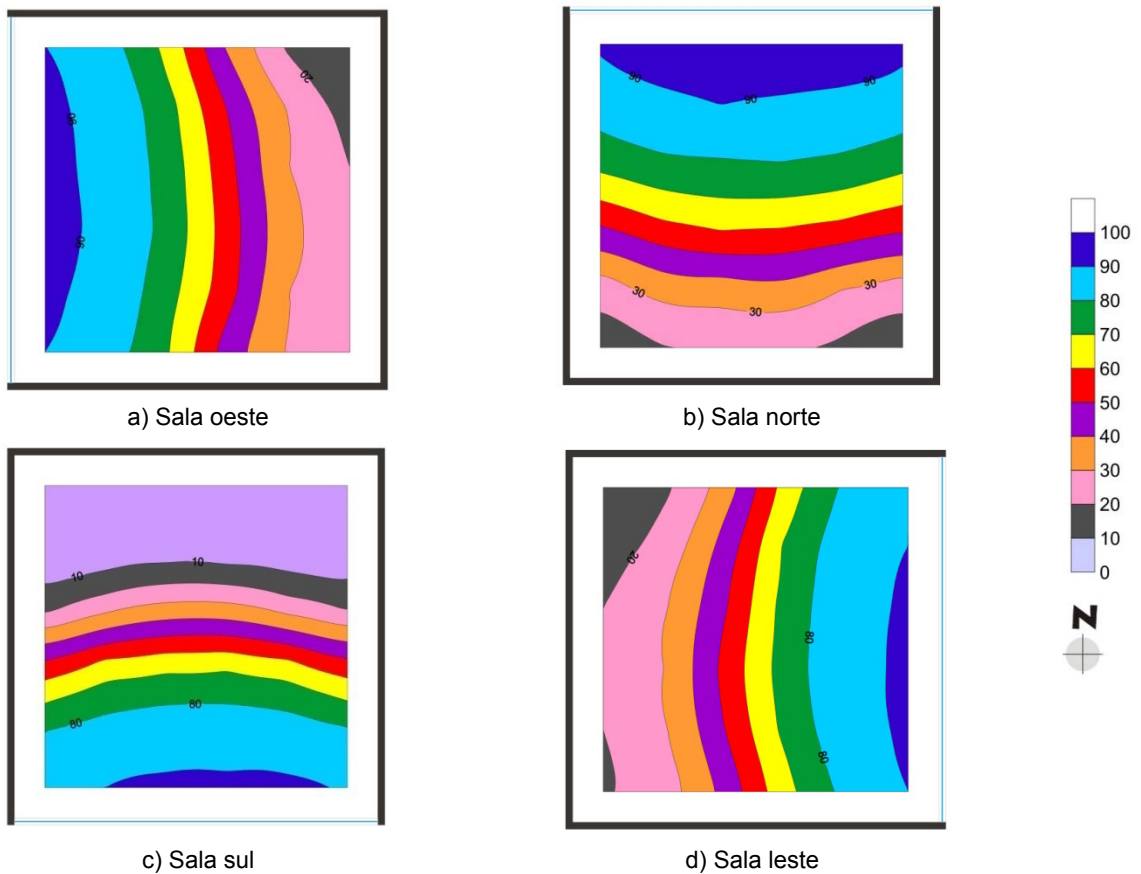


Figura 4.102: (a), (b), (c) e (d) curvas isoDA. M4, FS 82%, PAF75 sem brise.

4. Resultados e discussões

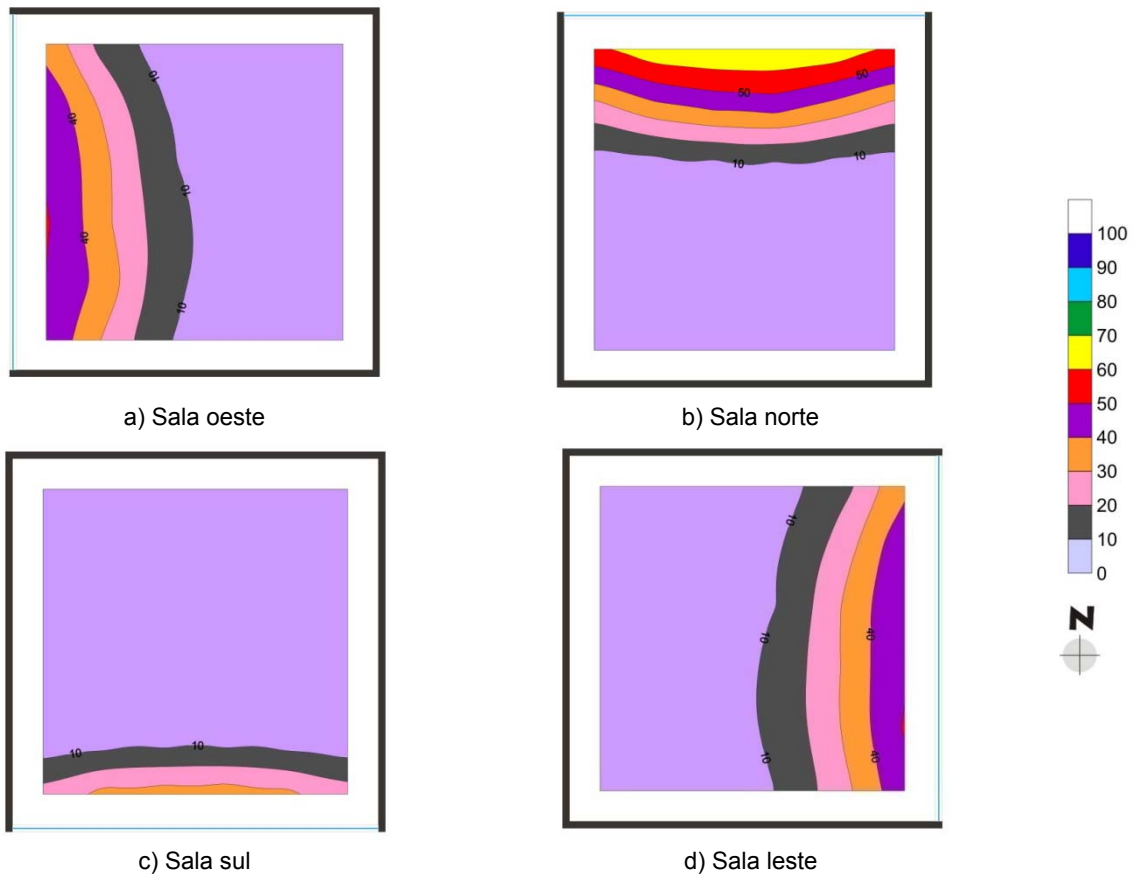


Figura 4.103: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 23%, PAF75 sem brise.

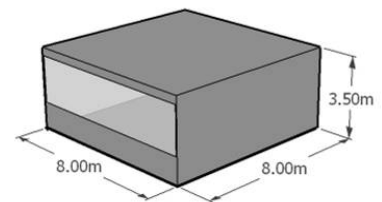
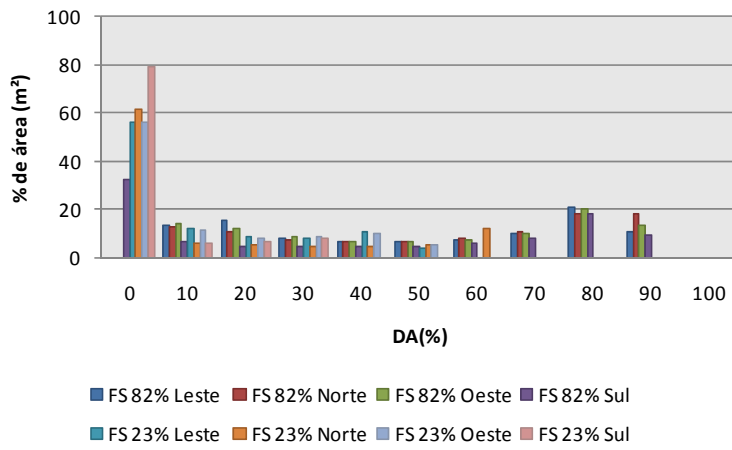


Figura 4.104: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.102 e 4.103.

Figura 4.105: M4/PAF75/SB



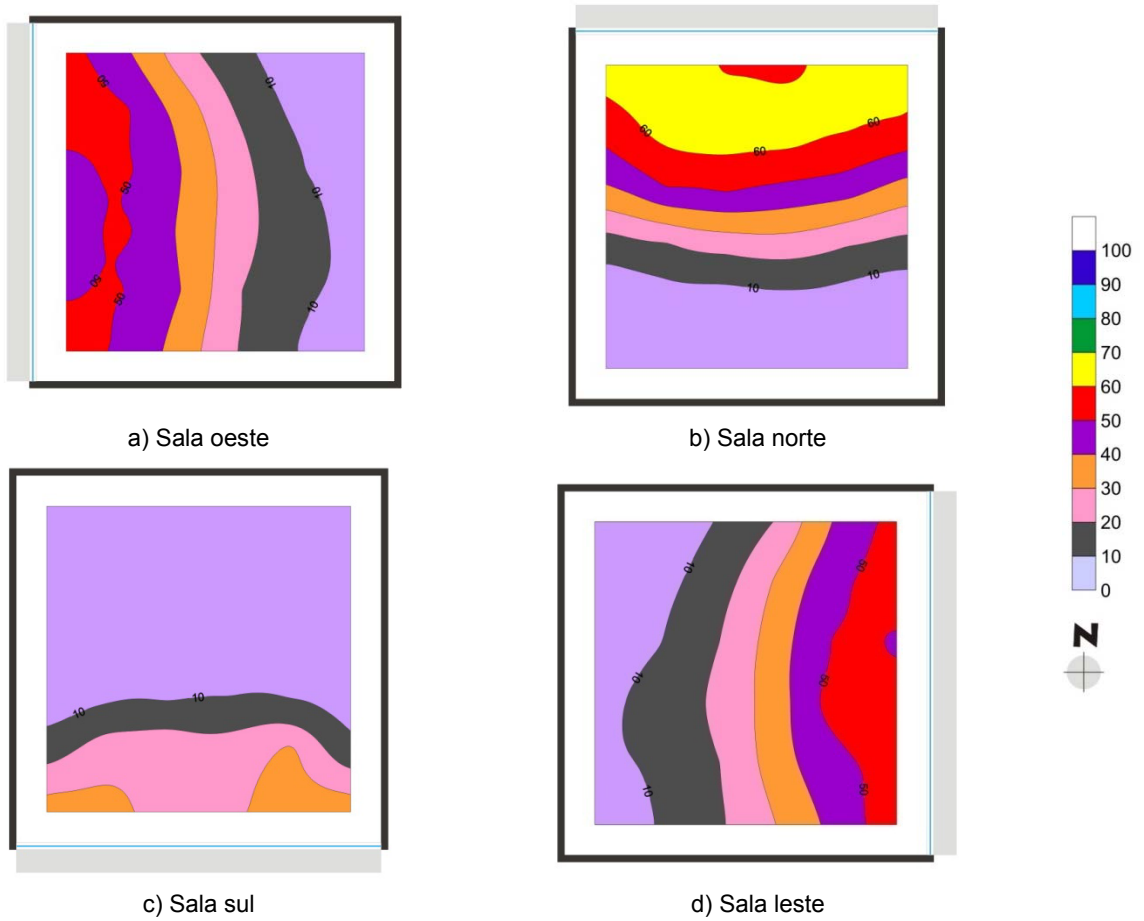


Figura 4.106: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF75 com *brise* horizontal.

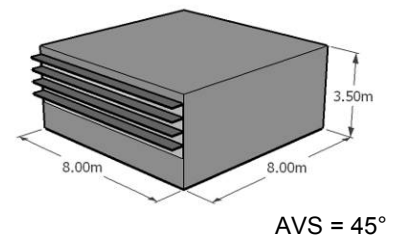
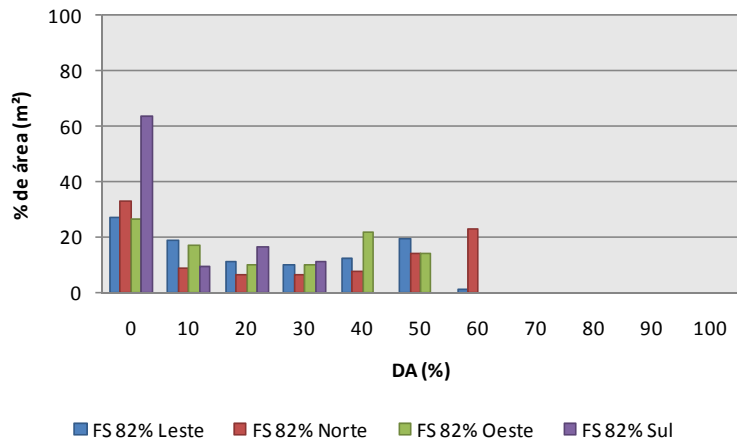


Figura 4.107: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações da Figura 4.106.

Figura 4.108: M4/PAF75/AVS

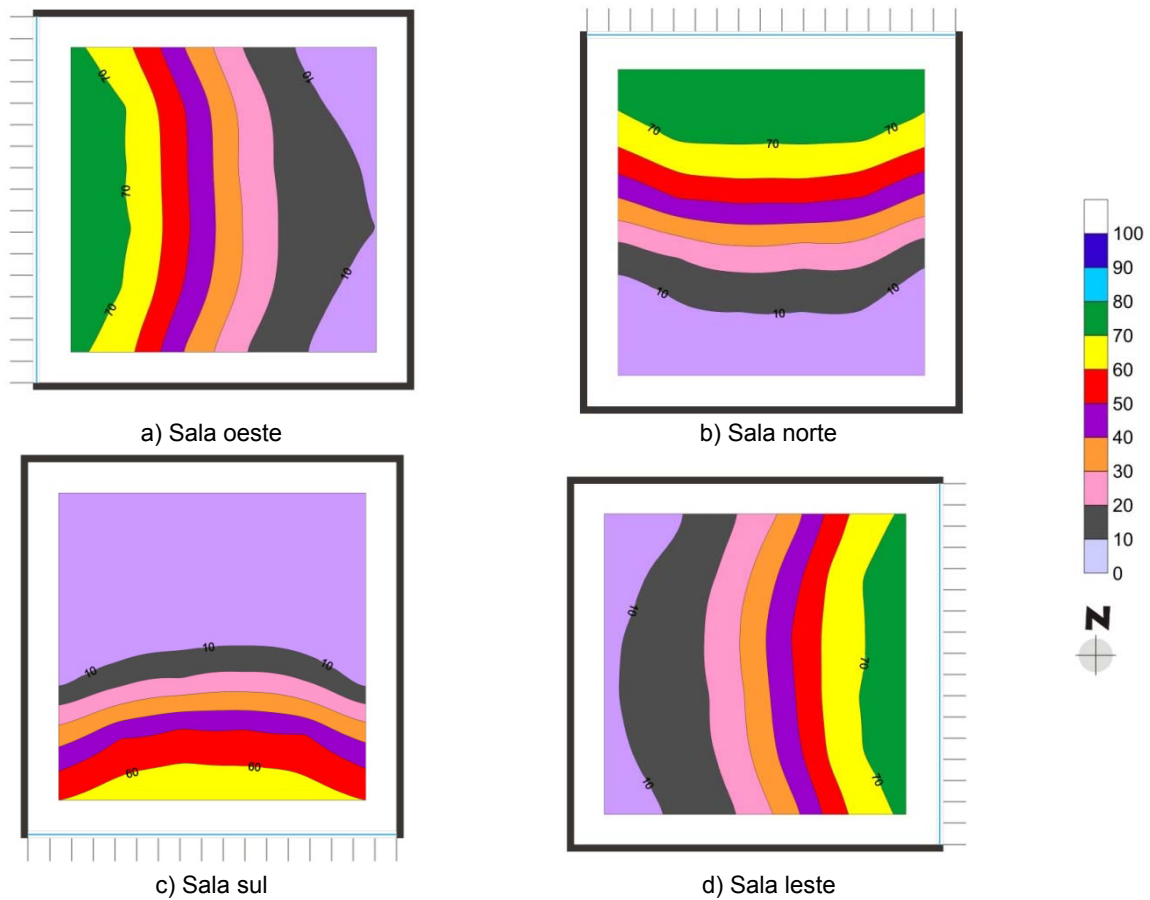


Figura 4.109: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 82%, PAF75 com *brise* vertical.

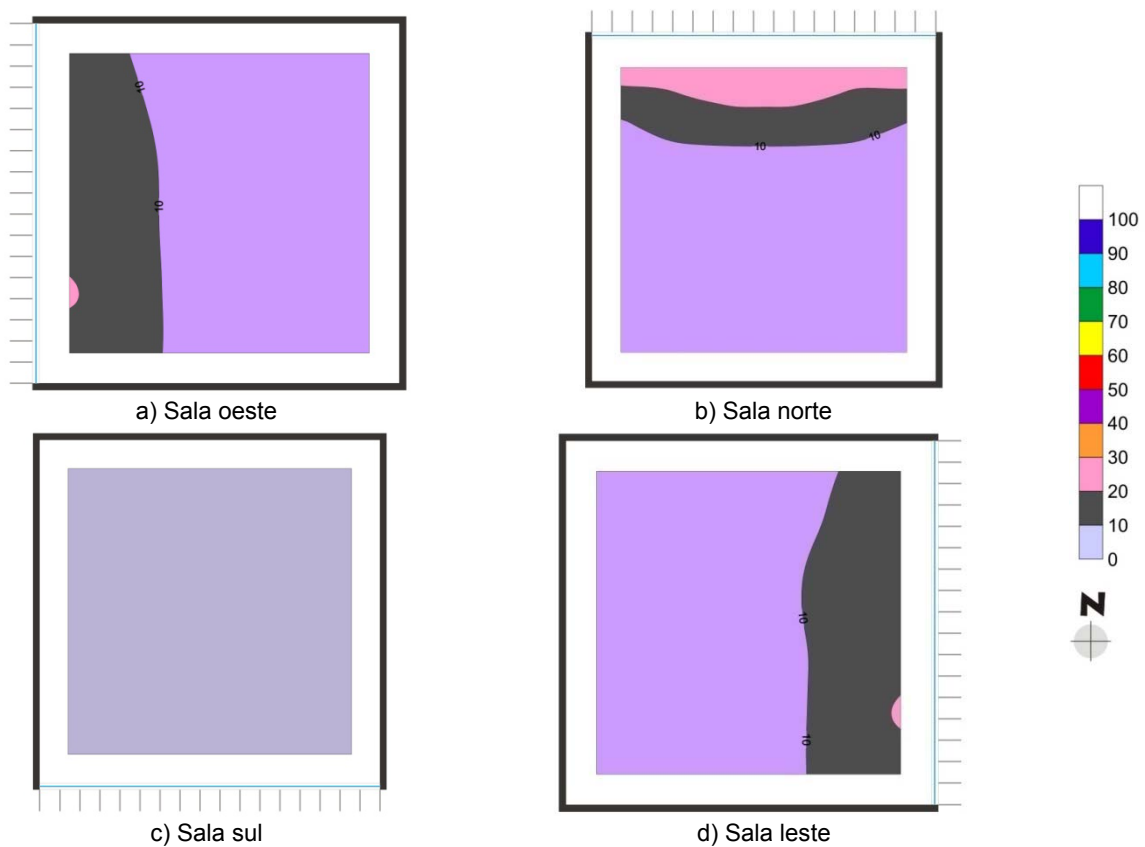


Figura 4.110: (a), (b), (c) e (d) curvas *isoDA*. M4, FS 23%, PAF75 com *brise* vertical.

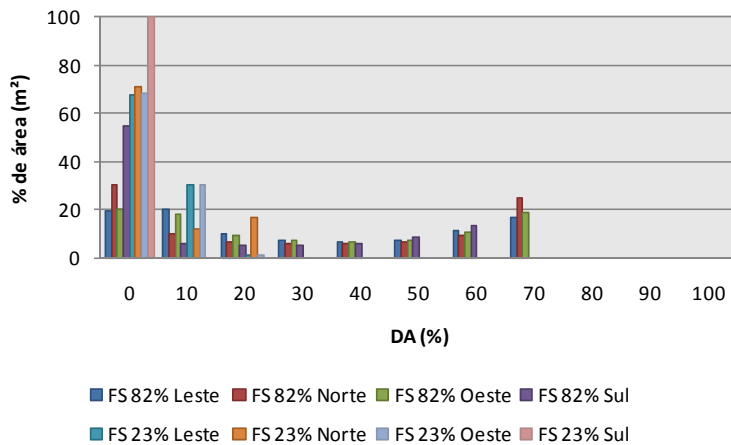


Figura 4.111: Gráfico da relação entre a porcentagem de área e o DA nas 4 orientações das Figuras 4.109 e 4.110.

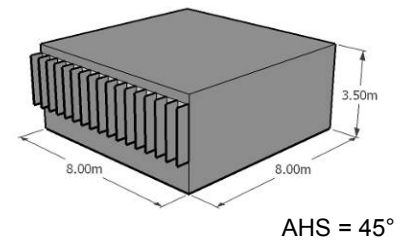


Figura 4.112: M4/PAF75/AHS

Através dos casos apresentados do Modelo 4 pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos diferentes parâmetros em estudo.

A **orientação**, como nos outros modelos, pouco interfere nos valores obtidos no interior do ambiente, a maior diferença ocorre na orientação sul, que possui valores mais baixos quando comparada com as outras orientações. A fachada norte continua apresentando valores mais altos, alcançando um DA de 90% em 19% da área do caso M4/PAF75/SB, 4% a mais do que no Modelo com pé direito de 2,70m. A orientação leste e oeste apresentam valores parecidos em quase todos os casos, obtendo um DA máximo de 90% em 11% da área da sala com fachada voltada para leste e 14% da área da sala com fachada voltada para oeste, no mesmo caso anterior. A orientação sul teve seu máximo no caso M4/PAF75/SB com um DA de 90% em 10% da área e o mínimo com um DA de 0% em toda a sala dos casos M4/PAF25/AVS, M4/PAF25/AHS e M4/PAF50/AVS (ver Tabela 4.4).

Como visto anteriormente, a **proteção solar** tem grande influência no comportamento da luz no ambiente. Os casos ausentes de proteção solar continuam sendo os que possuem os maiores valores de DA por metro quadrado. O uso da proteção solar horizontal (AVS), em alguns casos, permite que a faixa do centro da sala tenha valores de DA mais alto do que a faixa próxima à janela (ver Figuras 4.96 e 4.76). A proteção solar vertical propicia valores de DA mais elevado do que a proteção horizontal (ver Figura 4.104 e Figura 4.107). Os valores mais baixos foram com o uso da proteção horizontal (AVS) e vidro com FS de 23%, onde todos os casos tiveram 100% de sua área com DA igual a 0% (ver Tabela 4.4).

Em relação ao **percentual de abertura na fachada (PAF)**, as áreas próximas à janela continuam sendo mais iluminadas do que os fundos da sala, que com exceção dos casos M4/PAF50/SB e M4/PAF75/SB, possuem a área do fundo do ambiente com DA igual a 0%, não alcançando os 500 lux em nenhum período do ano. O PAF 25 com o vidro de FS 23%, não proporcionou iluminação em nenhum dos casos, já que apresentou DA igual a 0% em todo o ambiente. Percebe-se que diminuir a profundidade e aumentar a altura do pé direito, permite que uma maior porcentagem de área do ambiente possua níveis mais altos de DA, inclusive nos fundos da sala. Necessitando de menos iluminação artificial para atingir os níveis de iluminância recomendados.

Quando comparado com os casos do Modelo 2, pode-se analisar a influência da **altura** do pé direito e do peitoril da janela. Quanto mais alta a abertura mais uniforme é a distribuição da iluminação no interior do ambiente, alcançando as faixas mais afastadas da janela, além disso, os valores de DA aumentam e a porcentagem de área de cada valor também. Entretanto, com o uso do FS 23 e o PAF 25 a quantidade de DA na área próxima à janela foram reduzidas, fazendo com que o Modelo 2, com pé direito de 2,70m fosse mais iluminado do que o Modelo 3, já que a quanto mais alta a janela menor é a iluminação na faixa próxima a ela (ver Tabela 4.2 e 4.4). De uma forma geral, percebe-se que as salas menos profundas e mais altas são as que apresentam um maior potencial de economia de energia gasta em iluminação artificial.

Em relação ao **Fator Solar** utilizado, o FS de 23% reduziu muito o valor de DA fazendo com que 64% dos casos estudados neste item tivessem DA igual a 0% em 100% do ambiente.

Na tabela 4.4, os modelos grifados em amarelo, FS23/PAF25/SB, FS82/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AVS, FS23/PAF25/AHS, FS23/PAF50/AVS, FS23/PAF50/AHS e FS23/PAF75/AVS, são os que apresentaram valores de DA entre 0% e 10%. Seus dados não foram apresentados nas figuras, mas seus valores encontram-se descritos na tabela abaixo.

Tabela 4.4: Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 4.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS82/PAF25/SB	Leste	49	19	20	11	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	50	8	16	14	10	2	0	0	0	0	0
	Oeste	48	25	17	10	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/SB	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF25/AHS	Leste	76	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	72	18	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	77	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF25/AHS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/SB	Leste	9	25	10	7	7	7	14	22	0	0	0
	Norte	22	11	7	6	6	6	7	19	17	0	0
	Oeste	8	24	10	7	7	7	11	25	0	0	0
	Sul	46	6	5	4	5	7	21	6	0	0	0
FS23/PAF50/SB	Leste	66	27	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	64	10	19	7	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	65	21	14	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AVS	Leste	72	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	59	32	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	75	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 4. Resultados e discussões

Tabela 4.4: (continuação) Valores de DA obtidos com os casos do Modelo 4.

Casos	% de área por orientação (m <sup>2</sup> )	DA (%)										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
FS23/PAF50/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF50/AHS	Leste	38	14	9	8	29	2	0	0	0	0	0
	Norte	43	9	6	6	6	25	6	0	0	0	0
	Oeste	42	14	7	8	20	9	0	0	0	0	0
	Sul	64	12	18	6	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF50/AHS	Leste	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	90	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/SB	Leste	0	14	15	8	7	7	7	10	21	11	0
	Norte	0	13	11	7	7	7	8	11	18	19	0
	Oeste	0	14	12	9	7	7	7	10	21	14	0
	Sul	33	7	5	5	4	5	6	8	18	10	0
FS23/PAF75/SB	Leste	56	12	9	8	11	4	0	0	0	0	0
	Norte	61	6	5	5	5	6	12	0	0	0	0
	Oeste	56	12	8	9	10	5	0	0	0	0	0
	Sul	79	6	7	8	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AVS	Leste	27	19	11	10	12	20	1	0	0	0	0
	Norte	33	9	7	7	7	14	23	0	0	0	0
	Oeste	27	17	10	10	22	14	0	0	0	0	0
	Sul	64	9	16	11	0	0	0	0	0	0	0
FS23/PAF75/AVS	Leste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FS82/PAF75/AHS	Leste	20	20	10	7	7	7	12	17	0	0	0
	Norte	31	10	7	6	6	7	9	25	0	0	0
	Oeste	20	19	9	8	7	7	11	19	0	0	0
	Sul	55	6	5	5	6	9	14	0	0	0	0
FS23/PAF75/AHS	Leste	67	31	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Norte	71	12	17	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oeste	68	30	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sul	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 4.1.5 Síntese dos resultados do comportamento da luz natural

Como apresentado nos itens anteriores os modelos elaborados para o estudo do comportamento da luz natural obtiveram diferentes resultados de DA de acordo com as variáveis geométricas utilizadas na sua composição.

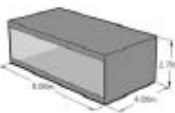

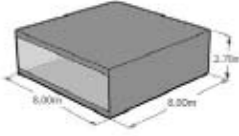
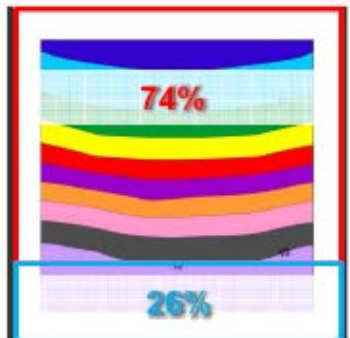
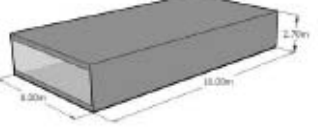
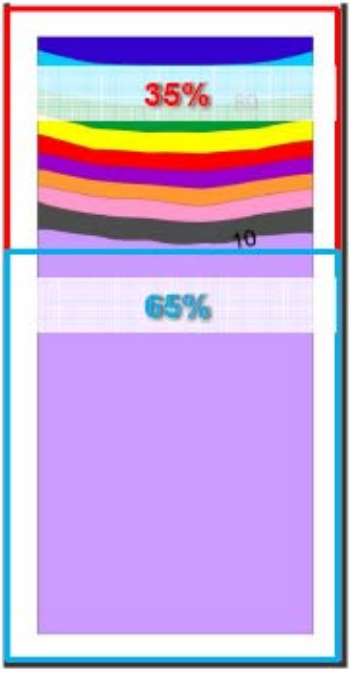
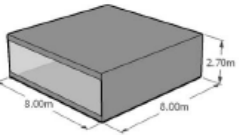
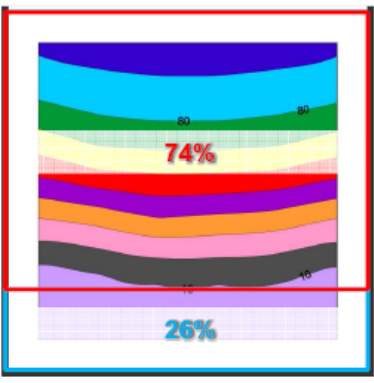
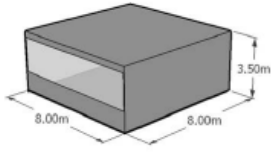
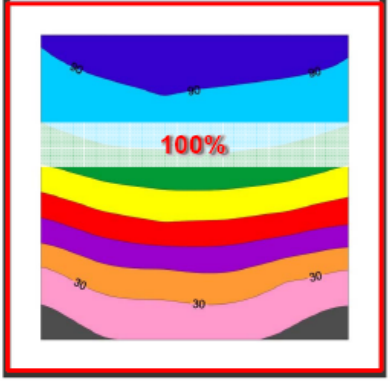
A **orientação**, em todos os casos, apresentou valores mais baixos nos modelos voltados para Sul e valores mais altos nos modelos voltados para Norte. Os modelos voltados para Leste e Oeste tiveram valores de DA semelhantes. Os modelos sem **proteção solar** apresentaram valores mais altos, seguido dos modelos com *brise* vertical (AHS) já os modelos com *brise* horizontal (AVS) apresentaram os menores valores de DA. Os modelos com o **PAF** de 75% apresentaram os maiores valores e conforme o PAF diminui os valores diminuem, sendo os modelos com PAF de 25% os de valores mais baixos. Em relação ao **fator solar**, o vidro claro (com FS 82%) apresentou valores mais altos e o vidro escuro (com FS 23%) os menores valores de DA por porcentagem de área.

De forma geral, em relação as variáveis relacionadas a abertura, os modelos orientados para Norte, sem proteção solar, com PAF de 75% e FS de 82% foram os que obtiveram maiores valores de DA em uma maior porcentagem de área. Os modelos orientados para Sul, com *brise* horizontal (AVS), PAF de 25% e FS de 23% apresentaram os menores valores de DA por porcentagem de área.

A Tabela 4.5 ilustra uma síntese dos modelos em relação à **profundidade** e a **altura**. Os gráficos *isoDA* possuem duas marcações: a marcação vermelha corresponde a porcentagem de área do modelo, com valores entre 10% a 100% de DA e a marcação azul corresponde a porcentagem de área com valores entre 0% a 9% de DA. De acordo com os gráficos pode-se observar que conforme a profundidade aumenta a porcentagem de área com altos valores de DA diminuem. Como pode ser visto no Modelo 1, com profundidade de 4m, que possui 100% de sua área com autonomia da luz natural, já o Modelo 3, com profundidade de 16m possui apenas 35% de sua área com autonomia da luz natural. O mesmo pode ser constatado em relação à altura. O aumento do pé direito elevou em 26% a porcentagem de área com autonomia da luz natural, permitindo que o ambiente tivesse 100% de sua área com DA alcançando os 500 lux estipulados.

4. Resultados e discussões

Tabela 4.5: Síntese dos modelos com diferentes variáveis e alturas.

PROFUNDIDADE		
Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
 	 	 
ALTURA		
Modelo 2	Modelo 4	
 	 	

4.2 INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL NO CONSUMO DE ENERGIA



Este item apresenta os resultados obtidos nas simulações termo-energéticas e nas simulações integradas. Os modelos base utilizados nas simulações termo-energéticas servem para comparar os valores obtidos nas 288 simulações integradas com os modelos de diferentes parâmetros.

#### 4.2.1 Simulação termo-energética x Simulação integrada

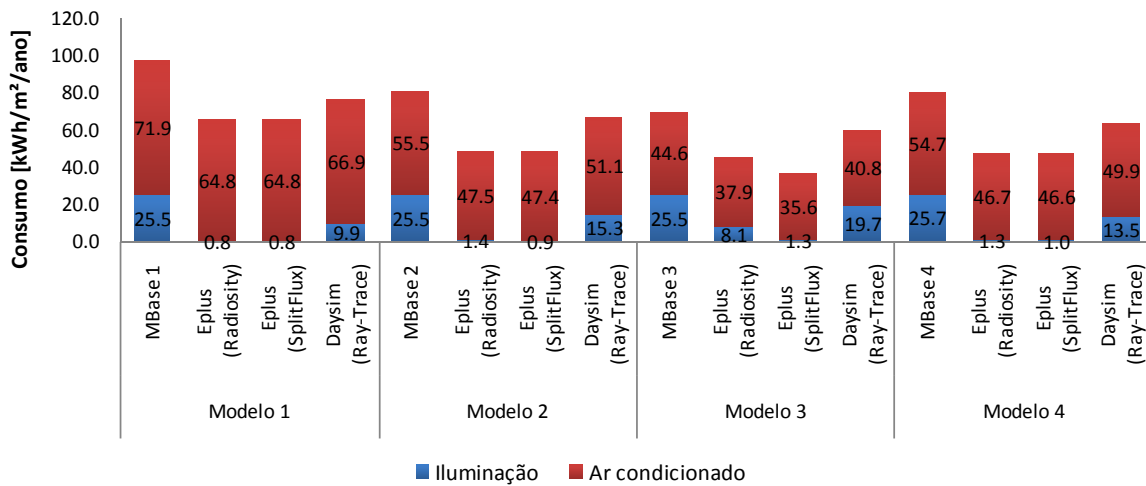
Inicialmente será apresentado a comparação entre os resultados obtidos com a simulação do consumo energético, com o aproveitamento da iluminação natural, através do sistema de controle de iluminação do *software EnergyPlus* e da integração dos resultados de controle de iluminação do *software Daysim* na simulação energética do *EnergyPlus*.

Nas simulações realizadas pelo *EnergyPlus* foram levantados valores de consumo de energia por uso final em, iluminação, ar condicionado e equipamentos de cada caso em estudo. Para esta análise foram comparados os resultados adquiridos pelo Modelo base, que possui iluminação artificial ligada durante todo o período de ocupação; pelos Modelos simulados com sistema de controle de iluminação do *EnergyPlus*<sup>13</sup>, que simula a luz natural pelo método *split flux* e o método da radiosidade; e, pelos Modelos simulados com o sistema de controle de iluminação do *Daysim*, que utiliza o método ray-trace para simular a iluminação natural. Ambos os *softwares* levam em consideração o uso da luz natural no consumo de energia (ver Figura 4.113).

---

<sup>13</sup> A iluminação natural pode ser simulada no *EnergyPlus* por dois diferentes métodos: o método *Split Flux* pelo comando *Daylighting:Controls* e o método da Radiosidade pelo comando *DElight*.

#### 4. Resultados e discussões



**Figura 4.113: Consumo energético simulado por diferentes métodos. Modelos orientados para norte.**

O uso do controle de iluminação, nas simulações com o *EnergyPlus* e com o *Daysim*, proporcionou uma redução do consumo, já que os ganhos internos provenientes da iluminação artificial diminuíram. O consumo com ar condicionado apresentou valores elevados nos Modelos base (MBase). O ar condicionado se refere apenas ao resfriamento do ambiente. O consumo com aquecimento apresentou valores de no máximo 12kWh/ano, decidiu-se por não incluir o aquecimento nas análises. O baixo consumo com aquecimento, para o clima de Florianópolis, foi consequência do calor gerado pelos equipamentos e usuários no período de ocupação, por se tratar de ambientes de trabalho, as cargas internas foram altas e suficientes para aquecer o ambiente no inverno.

Os valores de consumo obtidos com iluminação artificial são diferentes para cada método e modelo simulados, exceto para o MBase. No Modelo base, os consumos com iluminação foram os mesmos para os quatro modelos, pois o sistema de iluminação artificial permanece ligado durante todo o período de ocupação. Os dois tipos de controle simulados no *EnergyPlus*, pelo método da radiosidade e pelo método *split flux*, apresentaram valores semelhantes e próximos de 1 kWh/m²/ano, que corresponde a mais de 94% na redução do consumo com iluminação artificial quando comparado ao MBase. Com exceção do modelo 3, que pelo método da radiosidade, obteve um consumo de 8,1 kWh/m²/ano, uma redução de 68% no consumo de energia em relação ao MBase. Já o consumo com iluminação obtido pelo *Daysim*, apresentou uma redução de, aproximadamente, 50% em relação ao

MBase. Dependendo da profundidade do ambiente, o *Daysim* pode apresentar valores no consumo com iluminação 10 vezes maior do que o *EnergyPlus*.

Esses dados comprovam as restrições do *EnergyPlus* para a simulação de iluminação natural. As limitações do método *split flux* foram confirmadas e o método da radiosidade, inserido em versões mais recentes do *software*, também apresentou o mesmo problema. Ambos os métodos utilizados pelo programa superestimam os valores de iluminância, reduzindo em até 97% o consumo com iluminação artificial, que por sua vez reduz o consumo com ar condicionado. Esse ciclo interfere no valor do consumo de energia total. O uso da simulação integrada é uma alternativa para contornar esse problema, já que a integração dos valores de iluminação natural obtidos pelo *Daysim* junto com a simulação energética do *EnergyPlus*, apresentaram resultados mais autênticos.

Para se alcançar elevadas taxas de redução da iluminação artificial é necessário ter iluminação natural atendendo o nível de iluminância mínimo na maior parte do tempo e na maior área do ambiente. Esses resultados podem ser observados na seção anterior, onde foram apresentados os dados de DA obtidos com as simulações de iluminação natural pelo *Daysim*, e possibilitou constatar o potencial de economia em iluminação através da disponibilidade da luz natural.

#### 4.2.2 Análise das simulações integradas

Nas simulações integradas realizadas pelo *EnergyPlus* foram levantados valores de consumo de energia por uso final em equipamentos, iluminação e ar condicionado de cada caso em estudo. Como o consumo em equipamentos não irá interferir nas análises, por ser igual para todos os casos, só serão apresentados os consumos com ar condicionado e iluminação. Todas as simulações têm como referência comparativa os resultados do Modelo base (MBase), que considera a iluminação artificial ligada durante todo o período de ocupação.

Os resultados estão apresentados em gráficos formados por colunas e linhas. As colunas representam os valores de consumo obtido com as simulações integradas dos Modelos com diferentes parâmetros (vermelho – ar condicionado e azul – iluminação) e as linhas representam os valores de consumo obtido com as

#### 4. Resultados e discussões

simulações termo-energéticas para os Modelos base de cada grupo de Modelo (roxo – ar condicionado e verde – iluminação).

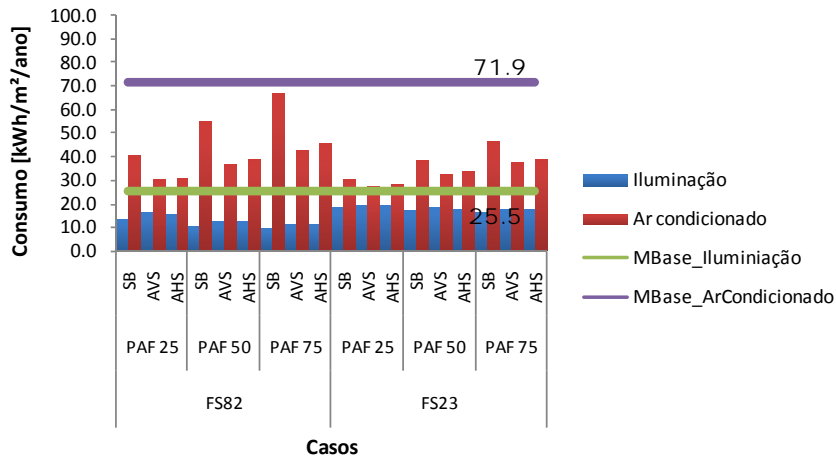


Figura 4.114: Casos do Modelo 1 orientados para norte.

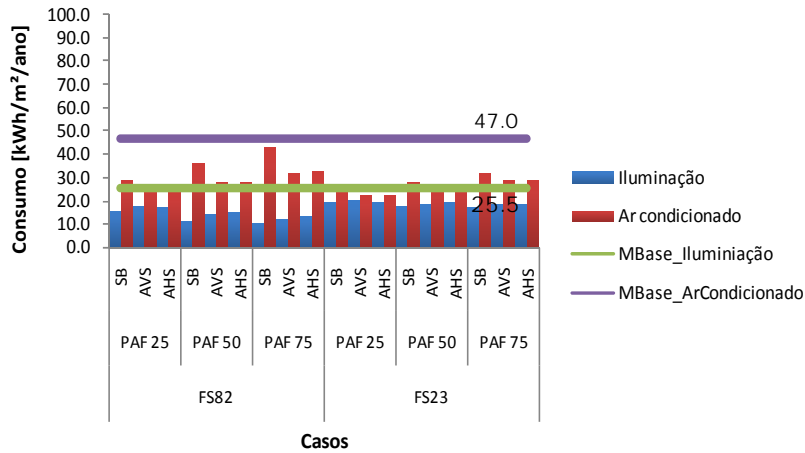


Figura 4.115: Casos do Modelo 1 orientados para sul.

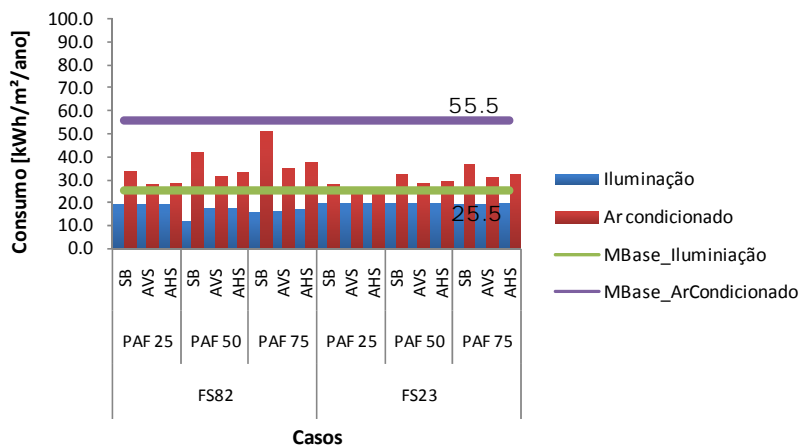


Figura 4.116: Casos do Modelo 2 orientados para norte.

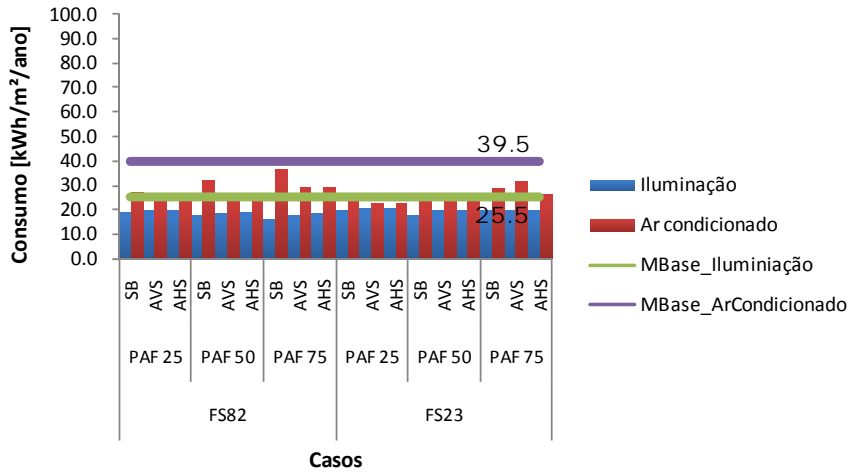


Figura 4.117: Casos do Modelo 2 orientados para sul.

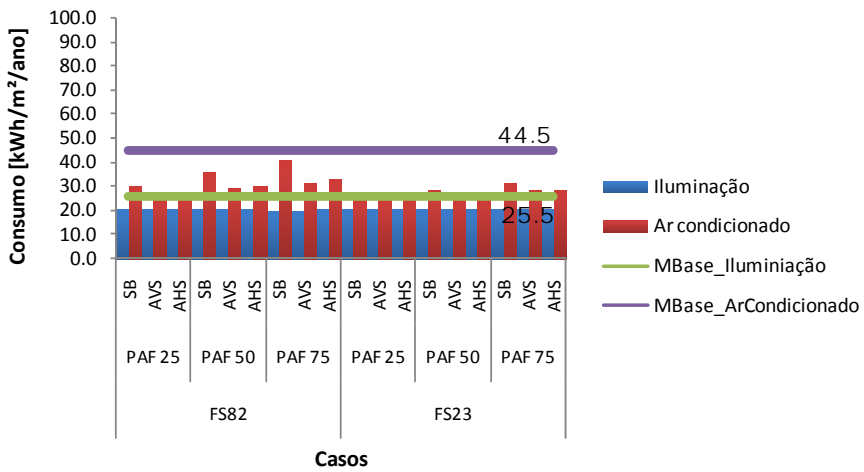


Figura 4.118: Casos do Modelo 3 orientados para norte.

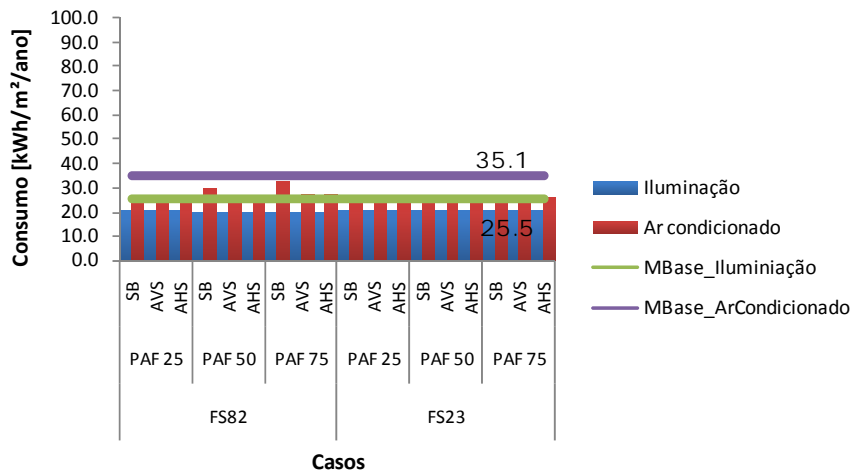


Figura 4.119: Casos do Modelo 3 orientados para sul.

#### 4. Resultados e discussões

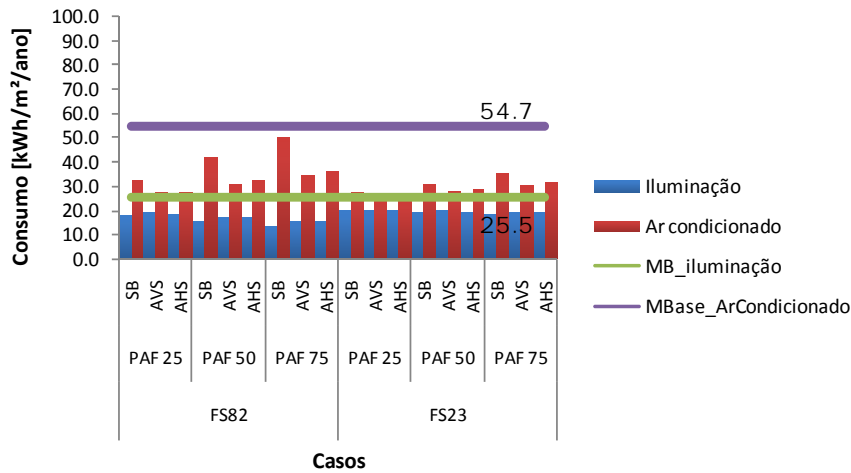


Figura 4.120: Casos do Modelo 4 orientados para norte.

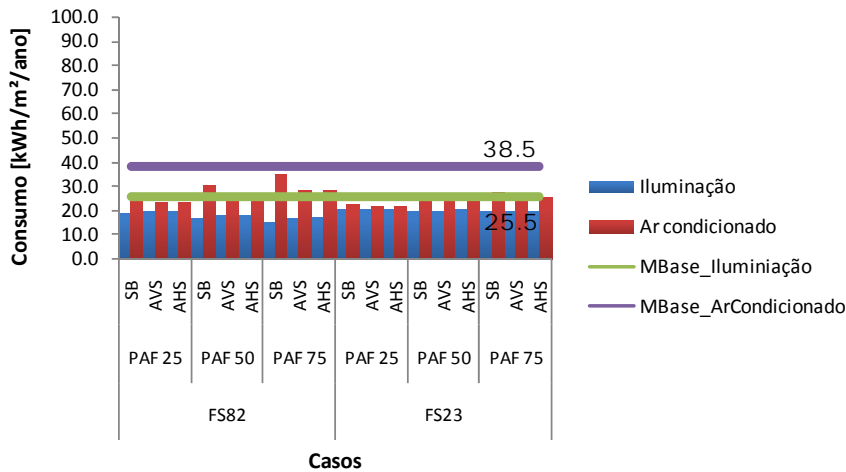


Figura 4.121: Casos do Modelo 4 orientados para sul.

As figuras acima contêm os dados obtidos nas 288 simulações integradas. Optou-se por apresentar apenas a orientação norte e sul de cada Modelo. As orientações leste e oeste tiveram valores totais de consumo bem semelhantes à orientação norte, seus dados podem ser vistos no apêndice D. A orientação sul obteve os menores valores de consumo por uso final, porém maiores em relação ao consumo de iluminação, já que em Florianópolis, devido à localização geográfica, é a orientação que menos recebe luz natural.

Na análise do consumo energético referente ao sistema de iluminação artificial percebe-se, nos modelos em estudo, que o consumo com iluminação está diretamente relacionado a profundidade do ambiente, quanto menor a profundidade da sala, ou seja, a distância entre a janela e os fundos do ambiente, maior é a quantidade de área atingida pela luz natural e menor é o consumo com luz artificial. Isso pode ser constatado quando se compara os três modelos com diferentes

profundidades (ver Figura 4.114, Figura 4.116 e Figura 4.118). Todos os casos do Modelo 3, com profundidade de 16m, apresentam luz natural apenas na região próxima a abertura. Isso faz com que mais de 50% da área do ambiente necessite da iluminação artificial ligada durante todo o período de ocupação para atingir a iluminância de projeto determinada. Em relação a altura do ambiente os resultados foram semelhantes em quase todos os casos, a sala com menor pé direito proporciona uma maior redução no consumo apenas nos casos sem proteção solar (ver Figura 4.116 e 4.120).

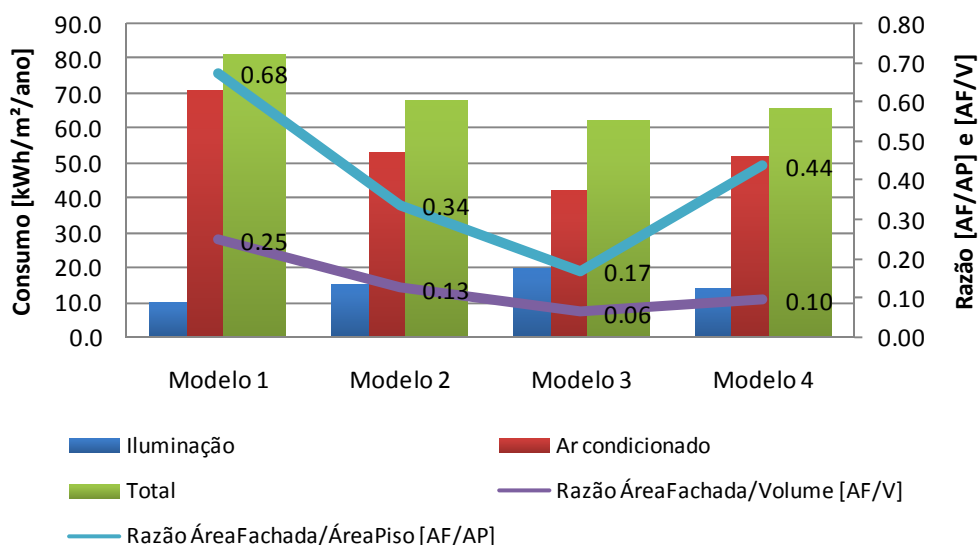
Como dito anteriormente, a redução do consumo com iluminação, pelo aproveitamento da luz natural, influencia positivamente o comportamento do ar condicionado, que apresenta um menor consumo de energia, devido à redução das cargas internas provenientes do sistema de iluminação artificial. Isto acontece em todas as orientações e pode ser observado quando se compara com o MBase, quanto menor é o consumo com iluminação artificial, menor é o consumo com ar condicionado. Alguns casos, com Fator Solar de 23% e com proteção solar, apresentaram uma redução no consumo de ar condicionado de 50% do valor do MBase (ver Figura 4.115 e 4.120).

Na análise dos diferentes modelos avaliados observou-se que todos os Modelos com o PAF de 75%, com FS de 82% e sem proteção solar apresentaram o menor consumo com iluminação artificial, porém maior consumo com ar condicionado. Esses casos apresentam os maiores valores de DA por porcentagem de área e, conseqüentemente, um maior ganho de carga térmica proveniente da radiação solar, devido aos materiais utilizados e a ausência de proteção solar.

Os resultados obtidos com os diferentes modelos tornaram possível identificar uma tendência na relação entre o consumo de energia e parâmetros geométricos, devido ao ganho de calor proveniente das trocas térmicas. Na análise do consumo com iluminação artificial identificou-se uma tendência com a razão da área de fachada pela área de piso e na análise do consumo com ar condicionado a tendência foi identificada pela razão da área de fachada pelo volume do modelo.

Essa tendência pode ser observada na Figura 122, que ilustra um dos casos simulados como exemplo, o caso orientado para Norte, com PAF de 75%, FS de 82% e sem proteção solar. No gráfico as colunas se referem, respectivamente, ao consumo com iluminação artificial, ar condicionado e consumo total, a linha azul

corresponde a razão da área de fachada pela área de piso [AF/AP] e a linha roxa corresponde a razão da área de fachada pelo volume do modelo [AF/V].



**Figura 4.122: Relação do consumo com a razão [AF/AP] e [AF/V].**

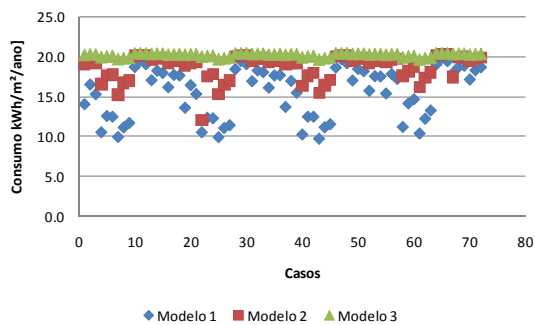
Como os ambientes em estudo foram modelados com apenas uma fachada voltada para o ambiente externo, proporcionando ganho de calor pelas trocas térmicas, acarretou em uma incomum relação entre as formas geométricas e o consumo de energia. Já que os modelos mais compactos foram os que apresentaram o maior valor de consumo por unidade de volume, diferente do que normalmente acontece nas construções arquitetônicas mais compactas, como por exemplo, os edifícios de formas cúbicas, que por serem compactos permitem um menor ganho/perda de calor no interior do ambiente pelas trocas térmicas.

Analisando a relação entre o consumo com iluminação artificial e a razão [AF/AP] percebe-se que quanto maior a razão [AF/AP] menor o consumo com iluminação artificial já que os ambientes menos profundos e mais altos apresentam uma melhor distribuição da luz natural. Na relação do consumo com ar condicionado e a razão [AF/V], ocorre o inverso, quanto maior a razão [AF/V] maior o consumo com ar condicionado. Ou seja, as formas geométricas de menores volumes, possuem um maior consumo por unidade de volume, o que confirma o parágrafo anterior.

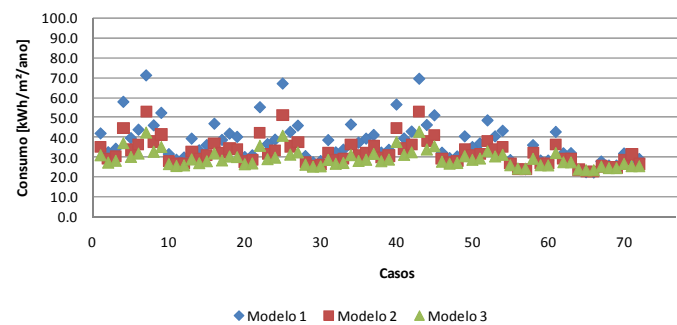
Essa tendência pode ser observada na Figura 4.123 que apresenta o gráfico com todos os resultados de todos os modelos simulados. Os gráficos (a) e (c) se



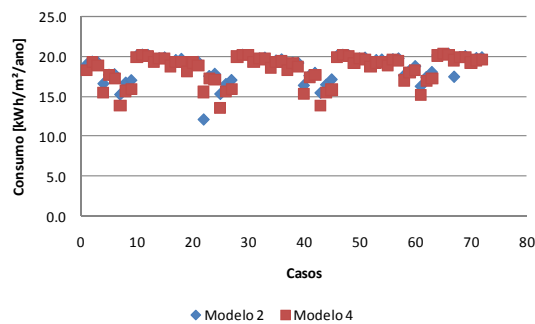
referem ao consumo com iluminação artificial e os gráficos (b) e (d) se referem ao consumo com ar condicionado. Cada cor representa um diferente grupo de modelos.



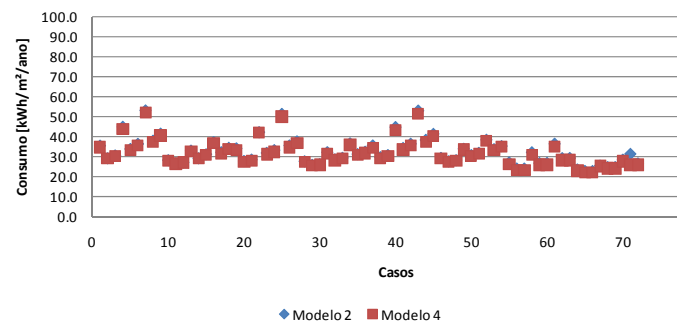
(a) Iluminação – diferentes profundidade



(b) Ar condicionado – diferentes profundidades



(c) Iluminação – diferentes alturas



(d) Ar condicionado – diferentes alturas

**Figura 4.123: (a), (b), (c) e (d) Consumo de iluminação e de ar condicionado relacionados com diferentes volumetrias.**

### 4.2.3 Relação *Daylight Autonomy* (DA) com o consumo de energia para iluminação artificial

A influência da luz natural no consumo de energia também pode ser observada através da medida dinâmica da luz natural, *Daylight Autonomy* (DA). A Figura a seguir apresenta a relação do DA com o consumo de energia de iluminação artificial. O gráfico contém no eixo das ordenadas os valores de consumo e no eixo das abcissas os valores de DA médio, obtidos através da soma de todos os pontos do *grid* no plano de análise e dividido pelo número de pontos.

Pode-se observar que quanto maior o DA, menor o consumo com iluminação artificial. Grande parte dos casos se concentra na faixa entre 0% e 20% de DA, resultado dos casos do Modelo 2 e do Modelo 3, que por serem profundos possuem poucas ou nenhuma hora do ano atingindo os 500 lux da iluminância de projeto. Esses baixos valores de DA proporcionam um consumo com iluminação artificial que

varia aproximadamente entre 15 kWh/m<sup>2</sup>/ano e 20 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Já um alto valor de DA pode reduzir o consumo para menos de 10 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

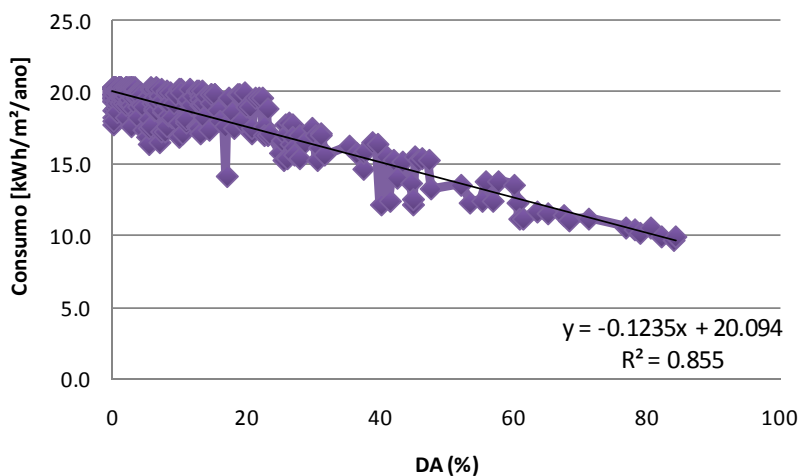


Figura 4.124: Relação do DA médio com o Consumo de energia de iluminação artificial.

#### 4.3 EQUAÇÃO DO INDICADOR DE CONSUMO (IC)

Esta seção apresenta o desenvolvimento da equação para avaliação da eficiência de edificações com o uso da luz natural e alguns testes, com a aplicação da equação desenvolvida, para a obtenção do Indicador de Consumo (IC).

##### 4.3.1 Desenvolvimento da equação para avaliação da eficiência

Para a avaliação da eficiência energética focando o consumo de energia foram considerados 216 casos das alternativas simuladas. Considerou-se os casos do Modelo 1, Modelo 2 e Modelo 3 por possuírem as mesmas variáveis: profundidade, orientação, PAF (porcentagem de abertura na fachada), FA (fator solar) AVS (ângulo vertical de sombreamento) e AHS (ângulo horizontal de sombreamento). Para a obtenção da equação de regressão multivariada algumas etapas foram percorridas:

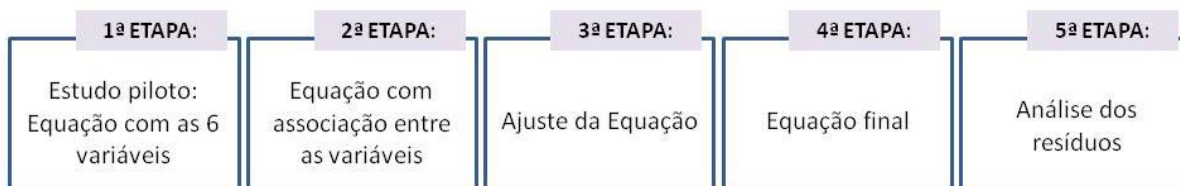


Figura 4.125: Etapas percorridas

Inicialmente, foi realizado um estudo piloto pelo software SPSS 16.0 para a elaboração de uma equação com as seis variáveis em estudo. Foram inseridos no software os valores de consumo obtidos pelas simulações computacionais e os dados das variáveis. A equação obtida no estudo piloto segue o padrão da Equação 4.1, denominada neste trabalho de modelo geral. De acordo com os dados de entrada a equação obtida pelo software foi (ver Equação 4.2):

#### Equação 4.1

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$$

onde:

y = dependente, função dos valores de x independentes (corresponde ao consumo)

$\beta$  = coeficiente (corresponde aos valores obtidos pelo software)

x = função independente (corresponde as variáveis)

n = número de variáveis

#### Equação 4.2

$$IC_{LuzNat} = 82,39 + 15,282 \times PAF - 11,18 \times AVS - 8,799 \times AHS + 5,303 \times FS - 6,1 \times PROF$$

onde:

$IC_{LuzNat}$  = Indicador de consumo com o uso da Luz Natural [kWh/m<sup>2</sup>/ano];

PAF = Porcentagem de abertura na fachada [%];

AVS = Ângulo vertical de sombreamento [grau];

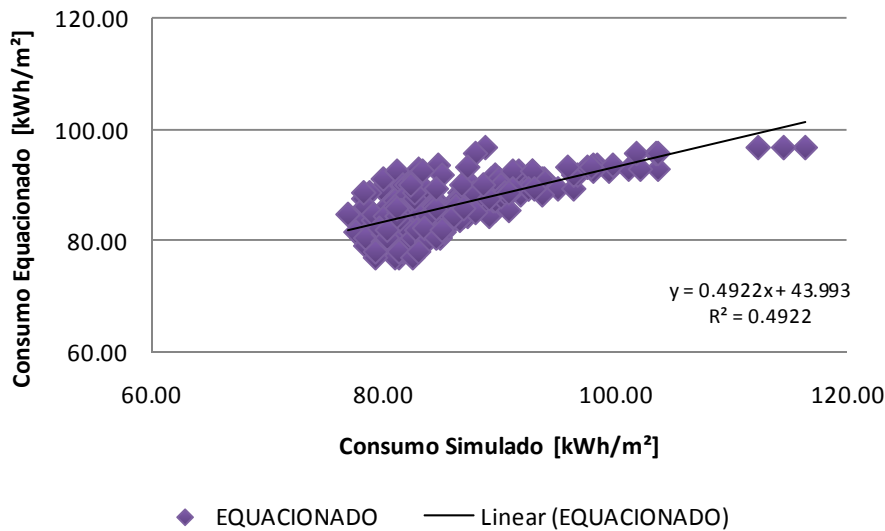
AHS = Ângulo horizontal de sombreamento [grau];

FS = Fator solar [%];

PROF = Profundidade [razão (PROF/20)].

Das seis variáveis utilizadas para a elaboração da equação, a variável orientação foi excluída pelo software por não contribuir significativamente para o modelo. Os valores utilizados na equação deve estar entre 0 e 1. Para a variável PROF utiliza-se uma razão do valor da profundidade do ambiente por 20 (PROF/20), já que para a equação em desenvolvimento, é possível avaliar ambientes com profundidade de até 20m. A Figura 4.124 apresenta a correlação dos dados do consumo Equacionado – referente aos valores obtidos com o uso da equação – e os dados do consumo Simulado – referente aos valores obtidos com a simulação

computacional integrada, no *EnergyPlus*. A correlação resultou num coeficiente de correlação (r) de 0,70 e um coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) de 0,4922.



**Figura 4.126: Consumo anual de energia Simulado X Equacionado para edificações.**

Após avaliar a influência das variáveis utilizadas individualmente na equação, optou-se por associá-las com o intuito de elaborar uma equação que apresentasse um resultado mais satisfatório. A Equação 4.3 foi desenvolvida com as mesmas variáveis da equação Estudo piloto. As associações foram realizadas através de divisões e/ou multiplicações entre as variáveis de acordo com suas relações e desempenho apresentado. As associações foram: PAF/PROF; FSxPAF, PAFxAVSxFS/PROF, PAFxAHSxFS/PROF, PAFxAVSxFS e PAFxAHSxFS.

#### **Equação. 4.3**

$$IC_{LuzNat} = 79.033 + 3,347 \times PAF/PROF + 23,109 \times FS \times PAF - 7,433 \times PAF \times AVS \times FS/PROF - 5,34 \times PAF \times AHS \times FS/PROF - 20,903 \times PAF \times AVS \times FS - 18,20 \times PAF \times AHS \times FS$$

onde:

$IC_{LuzNat}$  = Indicador de consumo com o uso da Luz Natural [kWh/m<sup>2</sup>/ano];

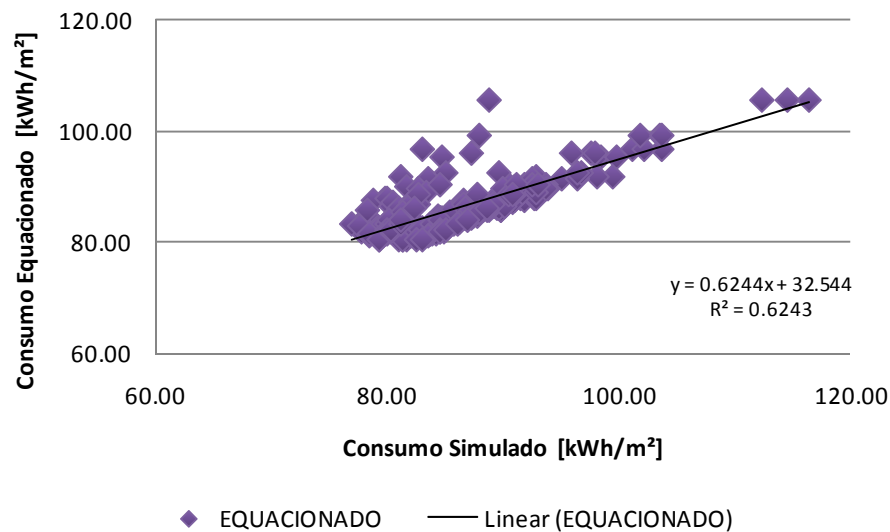
PAF = Porcentagem de abertura na fachada [%];

AVS = Ângulo vertical de sombreamento [grau];

AHS = Ângulo horizontal de sombreamento [grau];

FS = Fator solar [%];

PROF = Profundidade [razão (PROF/20)].



**Figura 4.127: Consumo anual de energia Simulado X Equacionado para edificações.**

A Figura 4.127 apresenta o modelo linear ajustado cujo coeficiente de correlação, obtido com os dados do consumo Equacionado e os dados do consumo Simulado, refere-se à Equação 4.3. A presente análise resultou em um coeficiente de correlação linear ( $r$ ) de 0,79 e um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,6243. Estes coeficientes são melhorados ao considerar 95% dos valores em torno da reta de regressão, considerando este valor como o nível de confiança<sup>14</sup> adequado para realizar a análise dos dados. Após o ajuste, os coeficientes de correlação ( $r$ ) e de determinação ( $r^2$ ) foram respectivamente 0,89 e 0,8028, sendo a Equação final resultante obtida a partir de 205 casos (ver Equação 4.4).

#### Equação. 4.4

$$IC_{LuzNat} = 78,090 + 4,187 \times PAF/PROF + 27,779 \times FS \times PAF - 9,510 \times PAF \times AVS \times FS/PROF - 4,384 \times PAF \times AHS \times FS/PROF - 26,188 \times PAF \times AVS \times FS - 28,795 \times PAF \times AHS \times FS$$

onde:

<sup>14</sup> Intervalos de confiança são construídos para indicar que em x% das vezes que essa experiência for repetida, aquele valor seja detectado no estudo. São valores arbitrados segundo a ótica do pesquisador para atribuir alto grau de confiabilidade ao trabalho. Os valores usuais partem de 80%, 90%, 95%, 97,5%, 99%, 99,5% ou 99,9%. É de bom senso, utilizar um valor intermediário que permita analisar o grau de confiabilidade coerente com a realidade (MONTGOMERY et. al, 2003).

#### 4. Resultados e discussões

$IC_{LuzNat}$  = Indicador de consumo com o uso da Luz Natural [kWh/m<sup>2</sup>/ano];

PAF = Porcentagem de abertura na fachada [%];

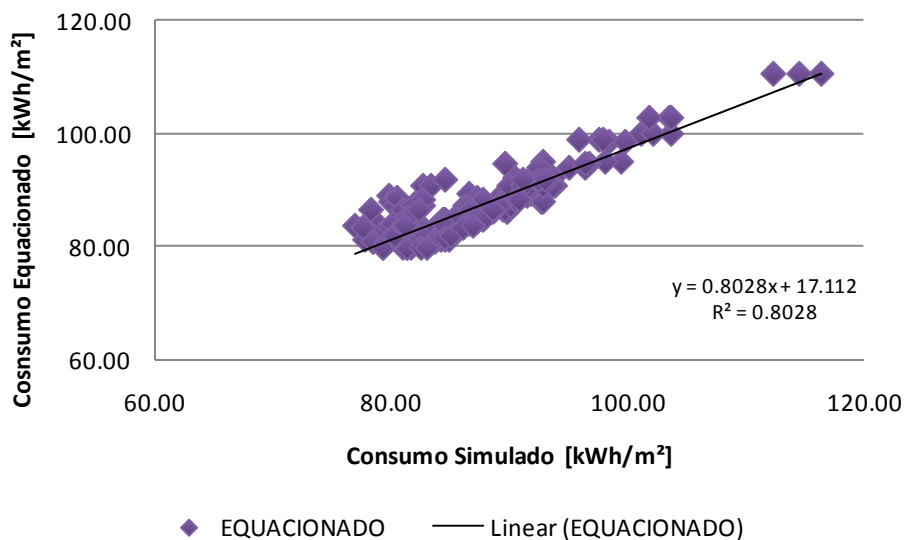
AVS = Ângulo vertical de sombreamento [grau];

AHS = Ângulo horizontal de sombreamento [grau];

FS = Fator solar [%];

PROF = Profundidade [razão (PROF/20)].

Após a obtenção da Equação final e da análise de seus coeficientes, os valores do desvio padrão e do teste t também foram obtidos. Os dados avaliados resultaram em um desvio padrão de 2,90 e o teste t mostrou que as médias das amostras simuladas e equacionadas são consideradas iguais. Utilizando as variâncias referentes a cada coeficiente adotado na equação, o t calculado foi de 90,85.



**Figura 4.128: Consumo anual de energia Simulado X Equacionado para edificações.**

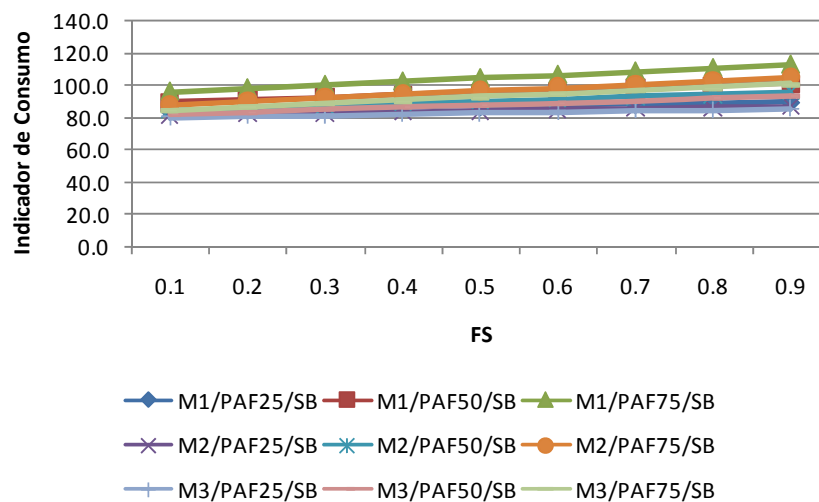
A Figura 4.128 apresenta os consumos anuais simulados versus o consumo produzido pela equação. Os dados fonte para desenvolvimento da equação apresentaram consumos concentrados entre 80kWh/m<sup>2</sup> e 120kWh/m<sup>2</sup>. Sendo os três pontos mais afastados correspondentes a salas do Modelo 1, com menor área, PAF de 75%, FS de 0.82, sem proteção solar.

Vale ressaltar que o consumo não é influenciado apenas pelas variáveis arquitetônicas utilizadas nas simulações, os parâmetros já padronizados como eficiência do ar condicionado, densidade de carga interna e padrão de uso, também interferem no consumo da edificação. Esses dados foram fixados e tidos como

constantes a fim de não intervirem no consumo, já que o trabalho pretende avaliar o aproveitamento da luz natural na redução do consumo energético de edificações não residenciais.

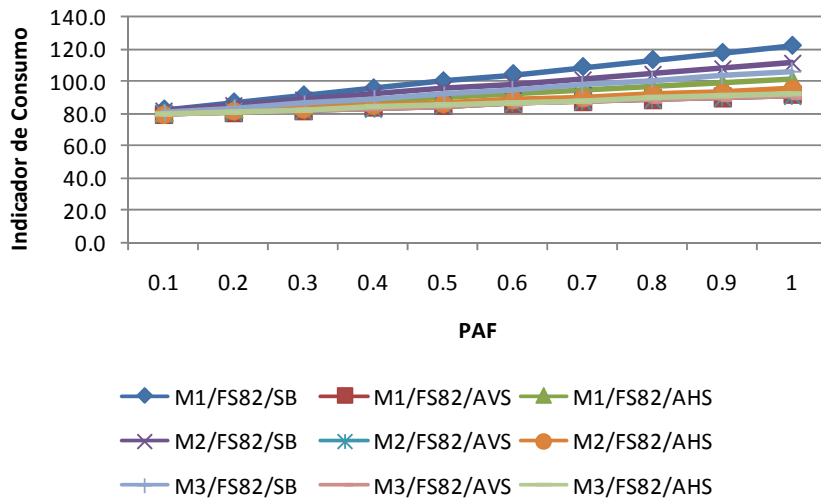
#### 4.3.2 Variações do Indicador de Consumo (IC) com o uso da equação

Alguns testes foram realizados com a equação desenvolvida a fim de se observar variações nos parâmetros utilizados. A Figura 4.129a apresenta o comportamento do IC em diferentes tipos de Fator Solar e a Figura 4.129b apresenta o comportamento do IC em diversos tamanhos de aberturas (PAF). Através dos gráficos é possível visualizar o crescimento do consumo com o aumento do FS e do PAF, quando se observa a inclinação das retas no aumento do FS de 0,10 para 0,90 e no aumento do PAF de 0,10 pra 1,00. Para exemplificar, no caso M3/PAF75/SB o aumento do FS elevou o IC em 16,6 kWh/m<sup>2</sup> e no caso M1/FS82/SB o aumento do PAF, elevou o IC em 39,3 kWh/m<sup>2</sup>.



(a) Fator Solar

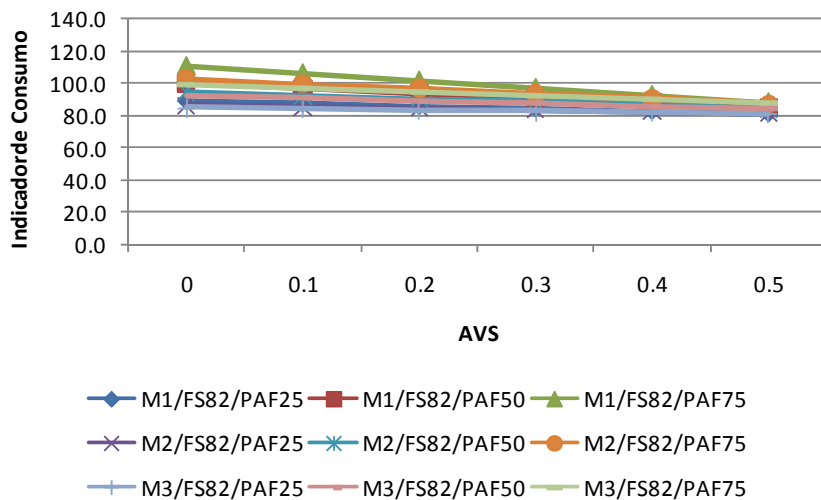
#### 4. Resultados e discussões



(b) Porcentagem de Abertura na Fachada

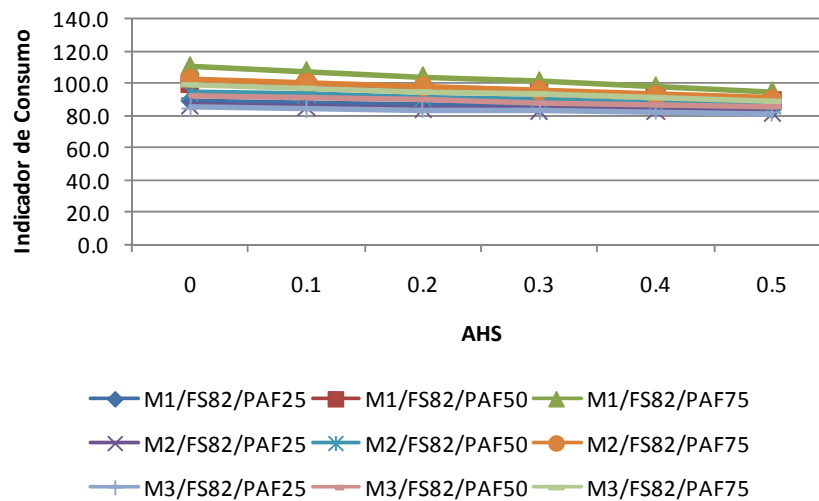
**Figura 4.129: (a) e (b) Indicador de Consumo produzido pela equação em função do Fator Solar e do PAF.**

Já as proteções solares, diferente do FS e do PAF, apresentaram uma redução no IC conforme o aumento do ângulo de sombreamento. Isso acontece devido ao sombreamento proporcionado na janela, que reduz a carga térmica no interior do ambiente. Os valores do IC obtidos com o uso do Ângulo de Sombreamento Vertical (AVS), referente às proteções horizontais e do Ângulo de Sombreamento Horizontal (AHS), referente às proteções verticais, podem ser vistos na Figura 4.130a e 4.130b. Os valores decrescem em todos os casos mostrados, atingindo uma redução de 22,7 kWh/m<sup>2</sup> no caso M1/FS82/PAF75 com o uso do AVS e uma redução de 15,6 kWh/m<sup>2</sup> com o uso do AHS.



(a) Ângulo Vertical de Sombreamento

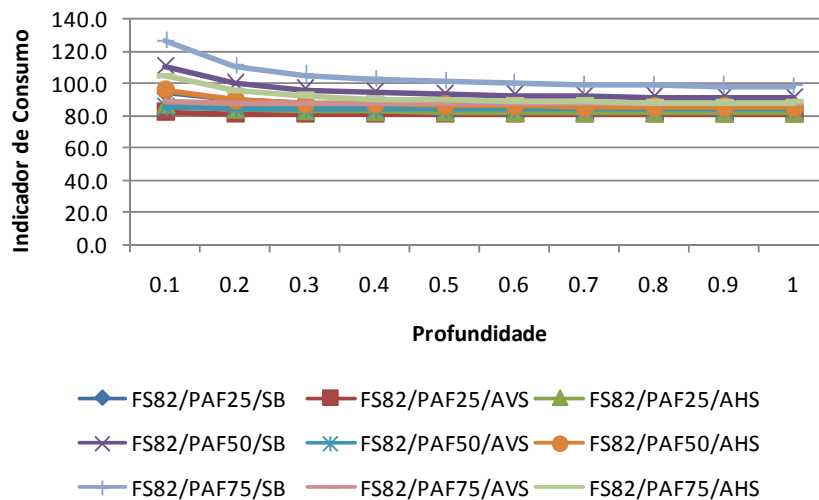




(b) Ângulo Horizontal de Sombreamento

**Figura 4.130: (a) e (b) Indicador de Consumo produzido pela equação em função de AVS e AHS.**

Em relação a profundidade, a Figura 4.131 mostra que modelos com profundidades menores apresentam um IC mais alto e conforme a profundidade aumenta, o IC tende a um valor constante. Como exemplo tem o caso FS82/PAF75/SB que proporciona uma diferença de 28,26 kWh/m<sup>2</sup> no IC conforme a profundidade aumenta.



**Figura 4.131: Indicador de Consumo produzido pela equação em função da profundidade.**

Os valores do Indicador de Consumo com os parâmetros dos Modelos base, PAF de 75%, vidros com Fator Solar de 82%, sem sombreamento (AVS e AHS zero), proporcionaram um valor teto de IC, ou seja, um IC máximo como referência para as análises, já que o caso base é o menos eficiente. Os valores obtidos foram:

- Modelo 1:  $IC_{MBase}$  de 110,88 kWh/m<sup>2</sup>;
- Modelo 2:  $IC_{MBase}$  de 103,02 kWh/m<sup>2</sup>;
- Modelo 3  $IC_{MBase}$  de 99,10 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.3.3 Limitações da Equação

As amostras utilizadas para o desenvolvimento da equação não representam todo o universo de edificações existentes. A equação foi desenvolvida a partir de um conjunto restrito de variáveis arquitetônicas, que implicou em algumas limitações quando ao seu uso.

Essas limitações estão relacionadas, principalmente, ao tamanho do ambiente, pois foram considerados ambientes com profundidade máxima de 20m. Visto que os ambientes analisados possuíam aberturas em apenas uma das fachadas, permitindo que os ambientes profundos possuísem iluminação natural apenas na região próxima a abertura. Além disso, para a equação avaliar toda a edificação, cada sala deve ser analisada individualmente.

#### 4.3.4 Possibilidades de aplicação no projeto arquitetônico

A equação do Indicador de Consumo (IC) é uma ferramenta desenvolvida para ser utilizada na avaliação de edificações ainda na fase de projeto. A aplicação da ferramenta pode ajudar o arquiteto a definir melhor o partido arquitetônico e os elementos geométricos da envoltória, como os utilizados no sistema de iluminação natural. Já que a equação permite estimar o consumo de energia elétrica gasto com iluminação artificial decorrente do aproveitamento do uso da luz natural.

Os elementos do sistema de iluminação natural, como tamanho de abertura, Fator Solar do vidro, os ângulos de proteção solar e a profundidade do ambiente podem ser inseridos na equação e avaliados em conjunto ou separadamente. Além disso, a equação pode ser introduzida em algum aplicativo computacional que facilite e agilize seu manuseio.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as principais conclusões da dissertação, seguidas das limitações e recomendações para trabalhos futuros que possam dar continuidade ao estudo aprofundando alguns pontos abordados.

### 5.1 INTRODUÇÃO

Este trabalho almejou avançar na avaliação do impacto do uso da iluminação natural na redução do consumo de energia elétrica em edificações não residenciais. A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos foi a principal **motivação** para o desenvolvimento deste estudo. O regulamento, num primeiro momento, não introduz o uso da luz natural na avaliação prescritiva. Como já comprovado em diversos estudos, a luz natural merece destaque por proporcionar a redução do consumo com artificial, um dos itens responsáveis por grande parte do consumo de energia elétrica nas edificações.

A partir da revisão bibliográfica e das questões apresentadas na justificativa do trabalho, percebeu-se a necessidade do uso de um método mais completo para avaliar **a influência da luz natural na eficiência energética de edificações não residenciais**. Este trabalho aplicou uma metodologia que, por meio de simulação computacional, prevê o consumo energético e considera o controle da iluminação artificial aproveitando ao máximo a luz natural para atingir os níveis de iluminância recomendados para o ambiente.

Para isso foram escolhidas **ferramentas computacionais** utilizadas na análise do desempenho luminoso e termo-energético de edificações, sendo o *EnergyPlus* uma dessas ferramentas. Entretanto, como visto na literatura e comprovado através de simulações, neste trabalho inclusive, o *EnergyPlus* tem apresentado limitações na simulação de iluminação natural. Os valores de iluminância tendem a ser superestimados e interferem na predição do consumo energético total. A superação de tais limitações é um dos objetos de estudo desta dissertação.

O uso de dois *softwares*, *Daysim* e *EnergyPlus*, foi a solução encontrada para resolver a limitação existente no *EnergyPlus*. O *Daysim* foi utilizado para a análise anual de iluminação natural e o *EnergyPlus* para a verificação do desempenho energético da edificação. Quando se faz uma análise da iluminação natural, o *Daysim* gera automaticamente um arquivo de dados que contém a energia elétrica consumida com iluminação artificial. A aplicação do método da **simulação integrada** consistiu em calcular através de um aplicativo termo dinâmico, neste trabalho, o *EnergyPlus*, o consumo energético anual utilizando o arquivo de dados gerado pelo *Daysim*, tornando possível o desenvolvimento do trabalho e a realização dos objetivos propostos.

Para a aplicação dos procedimentos metodológicos foi preciso desenvolver **modelos arquitetônicos** com características significativas para a avaliação da luz natural. Esses modelos foram retirados de trabalhos já realizados, que levantaram tipologias e padrões de uso nas edificações não residenciais da cidade de Florianópolis. As diferentes formas tornaram possível a avaliação do comportamento da luz natural e do consumo energético nas edificações, considerando as variáveis geométricas de maior influência sobre o aproveitamento da luz natural.

### 5.2 CONCLUSÕES

Com a avaliação do comportamento da luz natural através da medida dinâmica, **Daylight Autonomy (DA)**, foi possível identificar as diferenças nos resultados da iluminação natural entre os modelos com diferentes características. Os valores de DA permitiram identificar a porcentagem de área que apresenta determinada autonomia da luz natural e o consumo com iluminação artificial necessário para complementar a iluminância estipulada para o período de ocupação (neste estudo, de 500 lux). O aproveitamento da luz natural proporcionou uma redução de 20% a 62% no consumo de energia com iluminação artificial.

O impacto do aproveitamento da luz natural no **consumo energético** total pode ser avaliado através das simulações integradas. A análise foi realizada essencialmente pelo consumo de energia com ar condicionado e iluminação artificial. O consumo com equipamentos foi constante para todos os modelos, não interferindo nas análises. O uso do controle do sistema de iluminação artificial,

diante do aproveitamento da luz natural, proporcionou uma redução no consumo de energia com iluminação em todos os modelos e influenciou o comportamento do ar condicionado, que teve seu consumo reduzido devido a diminuição das cargas internas provenientes do sistema de iluminação artificial. A redução obtida no consumo final variou de 12% a 52%.

O valor no consumo energético reduzido pela influência da luz natural, nos modelos que utilizam controle para o sistema de iluminação foi possível de ser obtido através de comparações com o **Modelo Base** (MBase), criado para servir de referência aos modelos de diferentes características, já que apresenta o sistema de iluminação artificial ligado durante todo o período de ocupação, sem nenhum controle de iluminação diante do aproveitamento da luz natural.

A partir da influência proporcionada pelo uso da luz natural na redução do consumo de energia pelo uso de diferentes variáveis, algumas conclusões foram possíveis. Quanto as variáveis estudadas, observou-se que a **orientação** foi a que proporcionou menores alterações no consumo. Os valores de consumo obtidos nas orientações norte, leste e oeste foram semelhantes. Na orientação sul, os valores foram baixos, 24 casos apresentaram valores entre 0% e 10% de DA em toda sua área. Isso acontece, pois a fachada esta voltada para a orientação que menos recebe luz natural em decorrência da localização geográfica e das condições atmosféricas da cidade de Florianópolis.

Na avaliação da volumetria, que engloba as variáveis **profundidade e altura** (pé-direito), percebeu-se que quanto mais profundo é o ambiente maior o consumo com iluminação artificial. Por serem ambientes iluminados unilateralmente, apenas a região próxima a abertura é proveniente de luz natural, deixando os modelos mais profundos com mais de 50% da área da sala carente de iluminação natural durante todo o ano. Em relação à altura (pé direito), os ambientes mais altos, por possuírem um maior volume, apresentaram uma menor carga térmica por metro cúbico, reduzindo gastos com ar condicionado. De uma forma geral as duas alturas estudadas, para o Modelo de profundidade de 8m, apresentaram valores muito próximos.

As variáveis do **PAF, FS, AVS e AHS** estão relacionados à abertura e, de certa forma, uma sempre vai interferir na outra. Os resultados mostraram que através delas é possível controlar o ganho de calor e luz natural no ambiente, além

de influenciar diretamente no consumo de energia. Quanto maior a porcentagem de abertura na fachada (PAF) e quanto maior o Fator Solar (FS), mais abundante é a luz natural admitida no ambiente e menor é o consumo com iluminação artificial. Os ângulos de sombreamento (AVS e AHS), apresentaram um comportamento inverso no consumo em relação às outras variáveis. Quanto maior é o ângulo de sombreamento, menos abundante é a luz natural no ambiente, conseqüentemente, maior é o consumo com iluminação artificial e menor é o consumo com ar condicionado, já que as proteções solares diminuem as cargas térmicas, provenientes da radiação solar, que penetra no ambiente.

Para finalizar, com o modelo de regressão multivariada, foi possível obter uma equação para o **Indicador de Consumo (IC)** considerando o aproveitamento da luz natural. As alternativas simuladas no *EnergyPlus* tornaram possível o desenvolvimento do modelo de equação, através de um método estatístico, que compreendeu 5 etapas. O uso do software SPSS 16.0 foi imprescindível para o desenvolvimento dessas etapas. Através dele foi possível obter os dados necessários para a elaboração da equação. Além de ser uma ferramenta de fácil e rápido manuseio.

A equação do IC englobou cinco variáveis: profundidade do ambiente, percentual de abertura na fachada (PAF), Fator Solar do vidro e os ângulos de sombreamento, AVS e AHS. A variável orientação foi excluída da equação por não contribuir significativamente para o modelo. Através da equação do IC foi possível estabelecer uma comparação entre os dados obtidos com os modelos simulados e os dados obtidos com os modelos equacionados. Esta comparação resultou num coeficiente de determinação de 0,89, um intervalo de confiança considerado bom, para este trabalho. Entretanto, a avaliação através das equações é limitada, já que poucas amostras foram simuladas para sua elaboração, não representando todo o universo de edificações existentes.

Considera-se que o objetivo de aplicar uma metodologia que avalie a eficiência energética em edificações com o aproveitamento da luz natural foi alcançado a partir da integração de diferentes programas de simulação computacional. Espera-se que este trabalho possa contribuir com informações acerca do desempenho luminoso e energético e servir de subsídio para a inclusão

da iluminação natural na avaliação da eficiência energética de edificações não residenciais.

**Quadro 5.1: Quadro síntese**

	<b>Objetivos</b>	<b>Procedimento Metodológico</b>	<b>Resultados</b>
<b>Específicos</b>	Desenvolver modelos formais com características próprias para a avaliação da luz natural	Revisão bibliográfica	Modelo referencial Modelos paramétricos
	Avaliar a iluminação e a redução do consumo de energia através do comportamento dinâmico da luz natural nas simulações energéticas, utilizando os <i>softwares Daysim e EnergyPlus</i>	Simulação de iluminação natural	Análise anual da iluminação natural
	Desenvolver uma correlação numérica entre as variáveis formais e eficiência energética em forma de equação de Indicador de Consumo (IC)	Simulação do consumo de energia	Equação do Indicador de Consumo (IC)
<b>Geral</b>	Avaliar a eficiência energética considerando o aproveitamento da luz natural para a redução do consumo energético de edificações não residenciais	Simulação integrada	Obtenção do consumo energético total (solução para limitação do <i>EnergyPlus</i> )

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguem algumas limitações encontradas na realização do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

#### 5.3.1 Limitações na realização do trabalho

Algumas limitações foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. Todas elas estão relacionadas com a impossibilidade da avaliação de um número maior de modelos, já que a simulação da iluminação natural demanda um longo tempo, diminuindo a possibilidade da análise para outros fatores. O trabalho foi limitado em relação a:

- O tamanho da amostra, relacionada às variáveis geométricas: geometria do ambiente, Fator Solar, posição e quantidade e sistemas de aberturas (apenas iluminação unilateral foi considerada);
- O tipo de controle para o sistema de iluminação artificial, foi utilizado apenas o controle ideal *dimmerizável*;
- As proteções solares foram as mesmas para todas as orientações, necessitando de um estudo aprofundado em relação ao controle de ganho de calor/luz com o uso das proteções solares;
- O comportamento do usuário não foi levado em consideração já que utilizou-se sistema de controle automático;
- Apenas uma zona bioclimática foi avaliada, já que o estudo foi realizado para a cidade de Florianópolis.

### 5.3.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos resultados obtidos e das limitações encontradas na realização deste trabalho, sugere-se alguns aspectos a serem investigados em trabalhos futuros:

- Aprofundar o estudo do impacto das variações geométricas no consumo de energia, alterando profundidade, largura e altura, além de variações na quantidade e posições das aberturas (sistemas de iluminação natural);
- Avaliar a influência da luz natural na redução do consumo com a existência de iluminação de tarefa no projeto luminotécnico;
- Analisar a redução no consumo de energia elétrica através da exploração de modelos comportamentais para o controle de cortinas, iluminação artificial e proteções solares;
- Aplicar a metodologia utilizada em outras zonas bioclimáticas, a fim de estudar o comportamento e a influência da luz natural na redução do consumo de energia em diferentes tipos de clima.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1992). **NBR-5413 Iluminância de Interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13p.

ABNT (1991). **NBR-15215-4 Iluminação natural** – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13p.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings**. ASHRAE Standard 90.1 – 2008. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2008.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals 2001**. Capítulo 30 – Fenestration. Atlanta, GA, USA, 2001a.

BAKER, N., STEEMERS, K.. **Daylight design of buildings**. James x James. London: 2002.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para Arquitetos**. 1. ed. Maceió: Edufal, 2000.

BOGO, J. A. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

BOKEL, R. M. J. The effect of window position and window size on the energy demand for heating, cooling and electric lighting. In: Building Simulation, 2007, Delft, The Netherlands. **Proceedings...** Delft: BS, 2007. p.117-121.

BOURGEOIS, D; REINHART, C; MACDONALD, I. Adding advanced behavioural model in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control. **Energy and Buildings** 35 (2006) 814-823. 2006.

BRANDÃO, Helena Câmara Lacer. **Artigo técnico: Construção, Meio Ambiente e Energia**. Revista do CREA RJ, nº47, novembro/dezembro de 2004.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Mercado de Energia Elétrica 2006-2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2005.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. \_ Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: < <http://epe.gov.br/Lists/Estudos/DispForm.aspx?ID=12>>. Acesso em: 02/10/2008.

\_\_\_\_\_. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex:** Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf](http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf)>. Acesso em: 20/03/2008.

\_\_\_\_\_. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Lex:** Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <[www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html](http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html)>. Acesso em: 20/03/2008.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações não residenciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

CARLO, J. C., GHISI, E., LAMBERTS, R. Energy efficiency Building Code of Salvador. Eighth International IBPSA Conference, **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA. 2003a.

CARLO, J. C., GHISI, E., LAMBERTS, R. The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil. Passive Low Energy Architecture Conference, **Proceedings...** Santiago: PLEA. 2003b. pp 131-138.

CARLO, J.; PEREIRA, F. O. R.; LAMBERTS, R. 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: **ENTAC**, 2004. Disponível em <[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)>. Acesso em 15 de janeiro de 2008.

CRAWLEY, D. B.; PEDERSEN, C. O.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; STRAND, R. K.; TAYLOR, R. D.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; ERDEM, A. E.; HUANG, Y. J.. EnergyPlus, A New-Generation Building Energy Simulation Program. Building simulation 99, Sixth International IBPSA Conference, Kyoto, Japão. **Anais ...** BS 99, CD-ROM.

DIDONÉ, E. L.; BITTENCOURT, L. S. Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula. In: ENTAC, Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis/SC: 2006.

DIDONÉ, E. L.; BITTENCOURT, L. S. O impacto dos protetores solares na eficiência energética de hotéis. In: ENTAC, Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza/CE: 2008.

DUFFIE, J. Energy Labeling, Standards and Building Codes: a Global Survey and Assessment for Selected Developing Countries. Washington: GEEI, 1996. **Relatório técnico**.

ENERGYPLUS. **DataSets**. Lawrence Berkeley National Laboratory. V.3.0, 2008.

\_\_\_\_\_. Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus. Energyplus, set., 2007a.

FONTOYNT, M. **Daylight performance of buildings**. James x James. Lyon, France: 1999.

GHISI, E. **The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings**. 2002. 295p. Tese (Phd thesis) – School of Civil Engineering, University of Leeds, 2002.

GOULART, Solange V. G. **AET N° 03/04 – Levantamento da experiência internacional: Experiência nos Estados Unidos**. Relatório LabEEE – 200508. 2005. Disponível em: <[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)>. Acesso em: 15/04/2008.

GOULART, Solange V. G. **AET N° 03/04 – Levantamento da experiência internacional: Experiência européia**. Relatório LabEEE – 200520. 2005. Disponível em: <[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)>. Acesso em: 15/04/2008.

HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1975. Tradução do original inglês intitulado: Daylighting. London, 1966.

KOTI, R. e ADDISON, M.. **An Assessment of aiding DOE-2's simplified daylighting method with Daysim's daylight illuminances**. Americal Solar Energy Society Annual Conference'07. ISBN: 9781604233087. Publisher: Curran Associates, Inc. (Sep 2007). Cleveland, Ohio. 2007.

LAMBERTS, R. Sustentabilidade e eficiência energética em edifícios comerciais. 2008. Apresentação **NUTAU** 2008.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2 ed. Editora Pro Livros. São Paulo, 2004. 192p.

LAMBERTS, R., CARLO, J. **Uma discussão sobre a regulamentação de eficiência energética em edificações**. 2004. Artigo LabEEE. Disponível em <[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)>. Acesso em 15 de janeiro de 2008.

LIMA, G. L. F.. **Influência das variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido**. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2007.

MATOS, M.; MARINOSKI, D. L.; ORDENES, M.; PEREIRA, F. O. R.. **Análise de diferentes métodos de avaliação do aproveitamento da luz natural**. In: ENCAC, 2007.

MENDES, N., WESTPHAL, F. S., LAMBERTS, R., CUNHA, J. A. B. da N.. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. In: Ambiente Construído. v.5, n.4, p.47-68. Porto Alegre, 2005. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ISSN: 1415-8876. Recebido em: 10/11/04. Aceito em: 29/05/05. 2005.

MILLS, E. **Windows as luminaires**. In: IAEE newsletter 3-4/95. 2005. Disponível em: <[http://www.iaeel.org/iaeel/news/1995/trefyra1995/DesAppl\\_a\\_3\\_4\\_95.html](http://www.iaeel.org/iaeel/news/1995/trefyra1995/DesAppl_a_3_4_95.html)>. Acesso em: 20/08/2008.

MINKU, P. M.; SANTANA, M. V.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Tipologias construtivas de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC. In: Encontro de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, 2005. **Anais...** Maceió/AL: 2005.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Consulta pública para eficiência energética em prédios**. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/datarobot/sistema/paginas/pagebody2.asp?id=35&msecundario=280>>. Acesso em: Agosto de 2007.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. 2007. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 02 de junho de 2008.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Versão aprovada em agosto de 2008 pela Secretária Técnica do GT-Edificações do CGIE. Última atualização: 29/08/2008. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em: 03/09/2008.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Ed: LTC, Segunda edição, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

MONTES, M. A. T. **Diretrizes para incorporar conceitos de sustentabilidade no planejamento e projeto de arquitetura residencial multifamiliar e comercial em Florianópolis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MOORE, F.; **Concepts and practice of architectural daylighting**. Library of Congress Cataloging. EUA, 1985.

MOREIRA, C. da S., GHISI, E., LAMBERTS, R., SANTANA, M. V.. Estudo sobre o padrão de ocupação e de uso de equipamentos em escritórios localizados em Florianópolis-SC. In: Encontro de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-ELACAC, Maceió, Alagoas, 2005. **Anais...** Maceió/AL. 2005.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful **daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings**. Lighting Res. Technol. 37,1. P. 41-59. 2005.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. **Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors**. Science Direct. Energy and Buildings 38. P. 905-913. 2006.

NEVES, R.P.A.A.; CARAM, R.M. Identificação das tecnologias para conforto ambiental e eficiência energética utilizada pelos chamados edifícios inteligentes. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 7, Conferência Latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 3, ENCAC-COTEDI. **Anais...** ANTAC. CD-ROM. Curitiba-PR, 2003.

OSRAM. **Lâmpadas Fluorescentes Tubulares e Circulares**. Catálogo OSRAM. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>> Acesso em: Agosto de 2007.

PEREIRA, F. O. R. Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação. In: **ENCAC**, 1993.

PEREZ, Richard; PIERRE, Ineichen; SEALS, Robert; MICHALSKY, Joseph; STEWART, Ronald. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. **Solar Energy**, v. 44, no 5, p 271-289, 1990.

PROCEL/ELETOBRAS. **Caderno de boas práticas: eficiência energética em edificações brasileiras - Shopping Centers**. IAB / RJ, Eletrobrás PROCEL. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Procel-Edifica. LabEEE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Programa nacional de conservação de energia elétrica: áreas de atuação – edificações**. Disponível em <http://www.eletrobras.gov.br/procel> acessado em: 10 jul. 2007.

RAMOS, G. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **NRCC-48669**. 2006.

REINHART, C. F.; MORRISON, M. The lightswitch wizard – reliable daylight simulations for initial design investigation. In: Buildings Simulation, 2003, Eindhoven, The Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: BS, 2003. Vol. III. p.1093-1100.

REINHART, Christoph F.; WALKENHORST, Oliver. Validation of dynamic RADIANCEbased daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, no 7, p 683-697, set. 2001.

ROBBINS. C. L. **Daylighting, Design and Analysis**. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, 1986.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

SOUZA, M. B. **Impacto da luz natural no consumo de energia elétrica em um edifício de escritórios em Florianópolis**. 1995. 191p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, novembro/95.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia**

**elétrica**. 2003. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

VERSAGE, Rogério de Souza. **Impacto da diferença de resultados de simulação de iluminação natural na predição do consumo energético integral**. Comunicação pessoal. Relatório da disciplina de iluminação natural e análise térmica do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ/UFSC, 2007.

VIANNA, N. S. e GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. 378p.

WARD, G. **Radiance Tutorial**. Building Technologies Department. Lawrence Berkeley Laboratory. 1993. Disponível em: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/>>. Acesso em: Junho de 2008.

WINKELMANN, F; SELKWITZ, S. **Daylighting simulation in the DOE-2 building energy analysis program**. Energy and Buildings, Vol8. p.271-286. 1984.

# APÊNDICE

## APÊNDICE A:

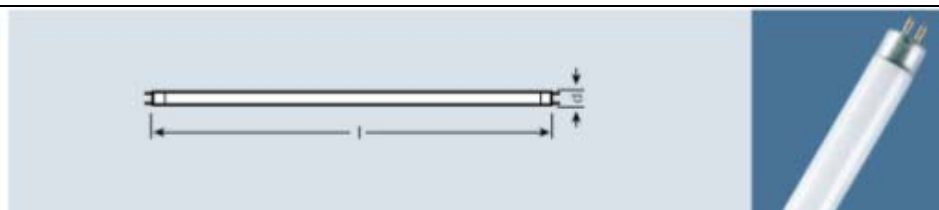
### Projeto luminotécnico

No Projeto Luminotécnico foi utilizado com luminárias de duas lâmpada fluorescente tubular T5 de 28W. A número de luminárias e de lâmpadas variou de acordo com o tamanho do ambiente.

**Tabela A1: Lâmpada Fluorescente Tubular Luminlux T5 de alta eficiência**

Lâmpada	Potência	Fluxo Luminoso	Temperatura de cor	Índice de reprodução	Diâmetro	Comprimento	Base	Vida útil
FH 28W/840 HE	28	2600	4000	80-90	16	1149	G5	18.000 horas

Imagem



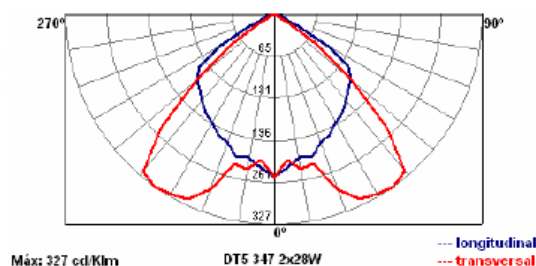
Fonte: [www.osram.com.br](http://www.osram.com.br)

**Tabela A2: Luminária Indelpa: DT5 1347 2x28W**

Luminária



**Curva polar**



**Fator de utilização K  
(Método dos Lumens)**

K	751	731	711	551	531	511	351	331	311
0,60	0,36	0,32	0,29	0,35	0,31	0,29	0,35	0,31	0,29
0,80	0,43	0,39	0,35	0,42	0,38	0,35	0,42	0,38	0,35
1,00	0,50	0,46	0,43	0,48	0,45	0,42	0,48	0,44	0,42
1,25	0,55	0,52	0,50	0,54	0,52	0,49	0,54	0,51	0,49
1,50	0,56	0,52	0,50	0,55	0,52	0,50	0,54	0,51	0,49
2,00	0,62	0,59	0,57	0,61	0,59	0,57	0,59	0,57	0,56
2,50	0,62	0,60	0,57	0,61	0,59	0,57	0,60	0,58	0,56
3,00	0,67	0,65	0,64	0,66	0,65	0,63	0,64	0,64	0,63
4,00	0,67	0,66	0,65	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63
5,00	0,68	0,66	0,65	0,67	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63

Fonte: [www.indelpa.com.br](http://www.indelpa.com.br)

Tabela A3: Cálculo luminotécnico para o Modelo 1

MODELO 1					
Descrição do Ambiente	01	Comprimento	(a)	m	4
	02	Largura	(b)	m	8
	03	Área	(A = a.b)	m <sup>2</sup>	32
	04	Pé-Direito	H	m	2,7
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pltr} - h_{pend}$	m	1,95
	06	Índice do Recinto	$K = a.b / h (a + b)$	-	1,36
	07	Fator de Depreciação	Fd	-	1,25 / 20%
	08	Coeficiente de Reflexão	Teto $\rho_1$	-	0,70
	09	Coeficiente de Reflexão	Paredes $\rho_2$	-	0,50
	10	Coeficiente de Reflexão	Piso $\rho_3$	-	0,20
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	Em	lx	500
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	Branca fria
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de lâmpada		-	T5 FH28W/840HE
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	$\phi$	lm	2600
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2
	17	Tipo de Luminária		-	-
	28	Fator de Fluxo Luminoso		-	1,0
	19	Grupo da Luminária (tab.Efc.Recinto)		-	-
	20	Fator de Utilização	$F_u = \eta L \cdot \eta R$	-	0,56
	21	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u}$	unid	14
22	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	unid	7	
Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	$N_i$	unid	8
	26	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \phi \cdot F_u}{A \cdot F_d}$	lx	582,40
Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^* / 1000$	kW	0,224
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000 / A$	W/m <sup>2</sup>	7
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100 / E$	W/m <sup>2</sup> p/100 lx	2,49

\*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo para obter valores orientativos)

\*BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)

Fonte: Manual Luminotécnico Prático – OSRAM



Tabela A4: Cálculo luminotécnico para o Modelo 2

MODELO 2					
Descrição do Ambiente	01	Comprimento	(a)	m	8
	02	Largura	(b)	m	8
	03	Área	(A = a.b)	m <sup>2</sup>	64
	04	Pé-Direito	H	m	2,7
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pl} - h_{pend}$	m	1,95
	06	Índice do Recinto	$K = a.b / h (a + b)$	-	2,05
	07	Fator de Depreciação	Fd	-	1,25 / 20%
	08	Coeficiente de Reflexão	Teto $\rho_1$	-	0,70
	09	Coeficiente de Reflexão	Paredes $\rho_2$	-	0,50
	10	Coeficiente de Reflexão	Piso $\rho_3$	-	0,20
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	Em	lx	500
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	Branca fria
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de lâmpada		-	T5 FH28W/840HE
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	$\phi$	lm	2600
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2
	17	Tipo de Luminária		-	-
	18	Fator de Fluxo Luminoso		-	1,0
	19	Grupo da Luminária (tab.Efc.Recinto)		-	-
	20	Eficiência da Luminária	$\eta_L$	-	-
	21	Eficiência do Recinto	$\eta_R$	-	-
	22	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$	-	0,62
	23	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u \cdot B_F}$	unid	25
24	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	unid	13	
Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	$N_i$	unid	16
	26	Iluminância Alcançada 51584	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \phi \cdot F_u \cdot B_F}{A \cdot F_d}$	lx	644,8
Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^*/1000$	kW	0,448
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m <sup>2</sup>	7
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m <sup>2</sup> p/100 lx	1,40

\*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo para obter valores orientativos)

\*BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)

Fonte: Manual Luminotécnico Prático – OSRAM

Tabela A5: Cálculo luminotécnico para o Modelo 3

MODELO 3					
Descrição do Ambiente	01	Comprimento	(a)	m	16
	02	Largura	(b)	m	8
	03	Área	(A = a.b)	m <sup>2</sup>	128
	04	Pé-Direito	H	m	2,7
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pltr} - h_{pend}$	m	1,95
	06	Índice do Recinto	$K = a.b / h (a + b)$		2,73
	07	Fator de Depreciação	Fd		1,25
	08	Coefficiente de Reflexão	Teto $\rho_1$		0,70
	09	Coefficiente de Reflexão	Paredes $\rho_2$		0,50
	10	Coefficiente de Reflexão	Piso $\rho_3$		0,20
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	Em	lx	500
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	Branca fria
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de lâmpada			T5 FH28W/840HE
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	$\phi$	lm	2600
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2
	17	Tipo de Luminária			-
	28	Fator de Fluxo Luminoso			1,0
	19	Grupo da Luminária (tab.Efc.Recinto)			-
	20	Eficiência da Luminária	$\eta_L$		-
	21	Eficiência do Recinto	$\eta_R$		-
	22	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$		0,55
	23	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u \cdot B_F}$	unid	56
24	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	unid	28	
Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	$N_i$	unid	32
	26	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \phi \cdot F_u \cdot B_F}{A \cdot F_d}$	lx	572
Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^*/1000$	kW	0,896
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m <sup>2</sup>	7
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m <sup>2</sup> p/100 lx	1,4

\*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo para obter valores orientativos)

\*BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)

Fonte: Manual Luminotécnico Prático – OSRAM

Tabela A6: Cálculo luminotécnico para o Modelo 4

MODELO 4					
Descrição do Ambiente	01	Comprimento	(a)	m	8
	02	Largura	(b)	m	8
	03	Área	(A = a.b)	m <sup>2</sup>	64
	04	Pé-Direito	H	m	3,50
	05	Pé-Direito Útil	$h = \frac{H-hpltr}{hpend}$	m	2,75
	06	Índice do Recinto	$K = a.b / h (a + b)$		1,45
	07	Fator de Depreciação	Fd		1,25
	08	Coeficiente de Reflexão	Teto $\rho_1$		0,70
	09	Coeficiente de Reflexão	Paredes $\rho_2$		0,50
	10	Coeficiente de Reflexão	Piso $\rho_3$		0,20
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	Em	lx	500
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	Branca fria
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de lâmpada			T5 FH28W/840HE
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	$\phi$	lm	2600
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2
	17	Tipo de Luminária			-
	28	Fator de Fluxo Luminoso			1,0
	19	Grupo da Luminária (tab.Efc.Recinto)			-
	20	Eficiência da Luminária	$\eta_L$		-
	21	Eficiência do Recinto	$\eta_R$		-
	22	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$		0,51
	23	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{Em \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u \cdot BF}$	unid	30,16
24	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	unid	15,5	
Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	$N_i$	unid	16
	26	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \phi \cdot F_u \cdot BF}{A \cdot F_d}$	lx	530,4
Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^*/1000$	kW	0,448
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m <sup>2</sup>	7
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m <sup>2</sup> p/100 lx	1,4

\*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo para obter valores orientativos)

\*BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)

Fonte: Manual Luminotécnico Prático – OSRAM

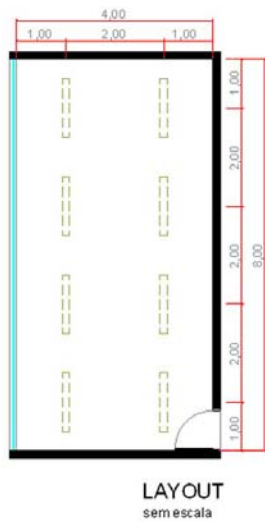


Figura A1: Distribuição das luminárias no Modelo 1

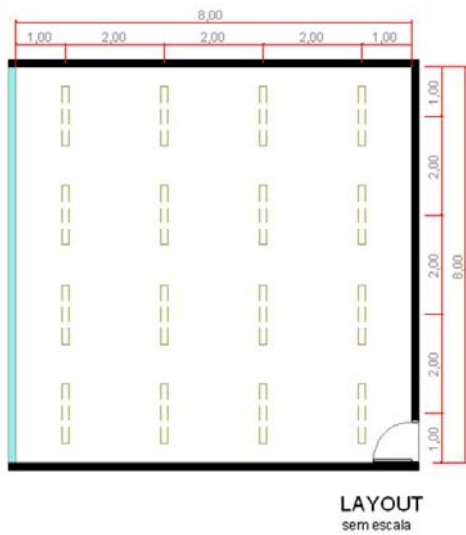


Figura A2: Distribuição das luminárias no Modelo 2 e Modelo 4

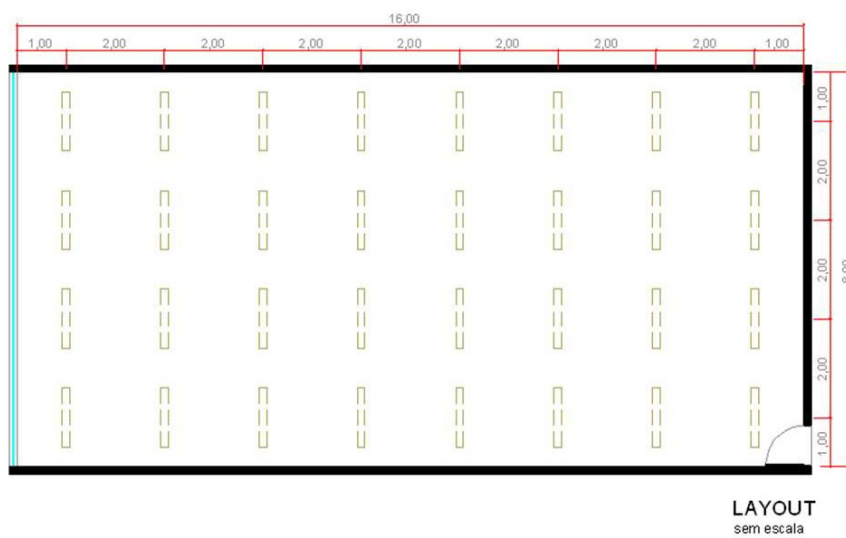


Figura A3: Distribuição das luminárias no Modelo 3

## APÊNDICE B

### Dados de saída do Daysim

#### Daysim Simulation Report

##### In short...

- **Daylight Factor (DF) Analysis:** 0% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. If the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone would not qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 as the area ratio of sensors with a daylight factor over 2% would need to be 75% or higher (see [www.usgbc.org/LEED](http://www.usgbc.org/LEED)).
- **Daylight Autonomy (DA) Analysis:** The daylight autonomies for all core workplane sensors lie between 0% and 36%.
- **Useful Daylight Index (UDI) Analysis:** The Useful Daylight Indices for the Lighting Zone are  $UDI_{1-100}=27\%$ ,  $UDI_{100-2000}=73\%$ ,  $UDI_{>2000}=0\%$ .
- **Continuous Daylight Autonomy ( $DA_{cont}$ ) and  $DA_{avg}$  Analysis:** 63% of all illuminance sensors have a  $DA_{cont}$  above 40%. 0% of all illuminance sensors have a  $DA_{avg}$  above 5%.
- **Electric Lighting Use:** The predicted annual electric lighting energy use in the investigated lighting zone is: 20.1 kWh/unit area. Assuming a lighting zone size of 32 [unit area], this corresponds to a total annual lighting energy use of 644.3 kWh.

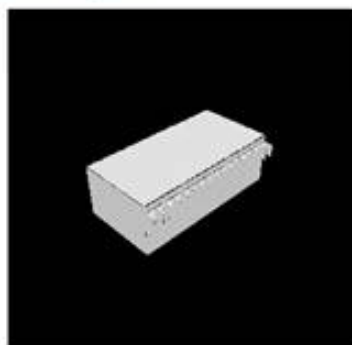
##### Simulation Assumptions

**Site Description:** The investigated building is located in Florianópolis (27.67 S/ 48.55 E).

**User Description:** The zone is continuously occupied Monday through Friday from 8:00 to 18:00. The total annual hours of occupancy at the work place are 2609.9. The electric lighting is activated 2665.8 hours per year. The occupant performs a task that requires a minimum illuminance level of 500 lux. The coordinates of core work plane sensors are marked in **blue** in the table below. (Core workplane sensors indicate where occupants are usually located within a lighting zone, e.g. a desk in an office.)

The predicted annual electric lighting energy use of 20.1 kWh/unit area is based on a user who keeps the electric lighting on throughout the working day, and keeps the blinds lowered throughout the year to avoid direct sunlight. **Lighting and Blind Control:** The electric lighting system has an installed lighting power density of 7.00 W/unit area and is manually controlled with an on/off switch. The dimming system has an ideally commissioned photosensor-control with a ballast loss factor of 20 percent. The photocell has a standby power of 2.00W per unit area. The office has no dynamic shading device system installed.

**Scene Visualization:** The figure below shows a visualization of the building model.



##### Detailed Simulation Results

The table below shows the daylight factor and various dynamic daylight performance metrics for all sensor points individually. Definitions of these quantities are provided in chapter one of the Daysim Tutorial. To guide the reader's eye, the following color code is used:

- Coordinates of core workplane sensors are shown in **blue**.
- Daylight factor levels over 2% are shown in **green**.
- Annual light exposure levels of medium and high sensitivity (CIE Categories III and IV) are shown in **dark green** and **light green**.

S	X	Y	DF [%]	DA [%]	$DA_{cont}$ [%]	$DA_{avg}$ [%]	$UDI_{1-100}$ [%]	$UDI_{100-2000}$ [%]	$UDI_{>2000}$ [%]	DSP [%]	annual light exposure [luxh]
0.470	0.470	0.750	1.8	22	63	0	9	91	0	66	1344013
2.000	0.470	0.750	1.9	36	70	0	7	93	0	66	1059725
3.330	0.470	0.750	1.8	32	68	0	7	93	0	66	1030009
4.470	0.470	0.750	1.9	34	70	0	7	93	0	67	1080973
6.000	0.470	0.750	2.0	36	71	0	7	93	0	66	1017992
7.330	0.470	0.750	1.7	26	66	0	9	92	0	67	7433766
0.470	2.000	0.750	1.0	0	46	0	12	88	0	10	822306
2.000	2.000	0.750	1.2	0	56	0	9	91	0	32	1127205
3.330	2.000	0.750	1.2	0	59	0	8	92	0	38	1177978
4.470	2.000	0.750	1.2	0	58	0	9	91	0	37	1166337
6.000	2.000	0.750	1.1	0	56	0	9	91	0	29	1080997
7.330	2.000	0.750	1.0	0	47	0	11	89	0	12	836498
0.470	3.330	0.750	0.8	0	29	0	24	76	0	0	678058
2.000	3.330	0.750	0.8	0	36	0	17	83	0	0	698044
3.330	3.330	0.750	0.8	0	36	0	18	84	0	0	719775
4.470	3.330	0.750	0.8	0	36	0	17	83	0	0	693044
6.000	3.330	0.750	0.7	0	36	0	18	85	0	0	728266
7.330	3.330	0.750	0.8	0	37	0	17	83	0	0	643920
4.000	3.330	0.750	0.8	0	36	0	18	84	0	0	724438

Figura B1: Relatório com valores de DA

	A	B	C	D	E	F	G
1	# thermal simulation input file (created by the DAYIM Subprogram ds_el_lighting)						
2	# DAYSIM header file: C:\DAYSIM\projects\MODELOS\MODELO_1\S\03\3M1S.he						
3	# User type: passive lighting use blind lighting use						
4	# total number of occupied hours: 2610						
5	# month	day	hour	occ (0=ab	blinds (0=	lights (W/area)	
6	1	1	0.542	0	0	0	
7	1	1	1.542	0	0	0	
8	1	1	2.542	0	0	0	
9	1	1	3.542	0	0	0	
10	1	1	4.542	0	0	0	
11	1	1	5.542	0	0	0	
12	1	1	6.542	0	0	0	
13	1	1	7.542	0	0	0	
14	1	1	8.542	1	0	6.9439	
15	1	1	9.542	1	0	6.5967	
16	1	1	10.542	1	0	6.4305	
17	1	1	11.542	1	0	6.3073	
18	1	1	12.542	1	0	6.1991	
19	1	1	13.542	1	0	7.0325	
20	1	1	14.542	1	0	6.4641	
21	1	1	15.542	1	0	6.564	
22	1	1	16.542	1	0	6.8281	
23	1	1	17.542	1	0	7.11	
24	1	1	18.542	0	0	0	
25	1	1	19.542	0	0	0	
26	1	1	20.542	0	0	0	

Figura B2: Relatório com os ganhos internos

## APÊNDICE C

### Estudo da simulação de iluminação natural pelo software EnergyPlus

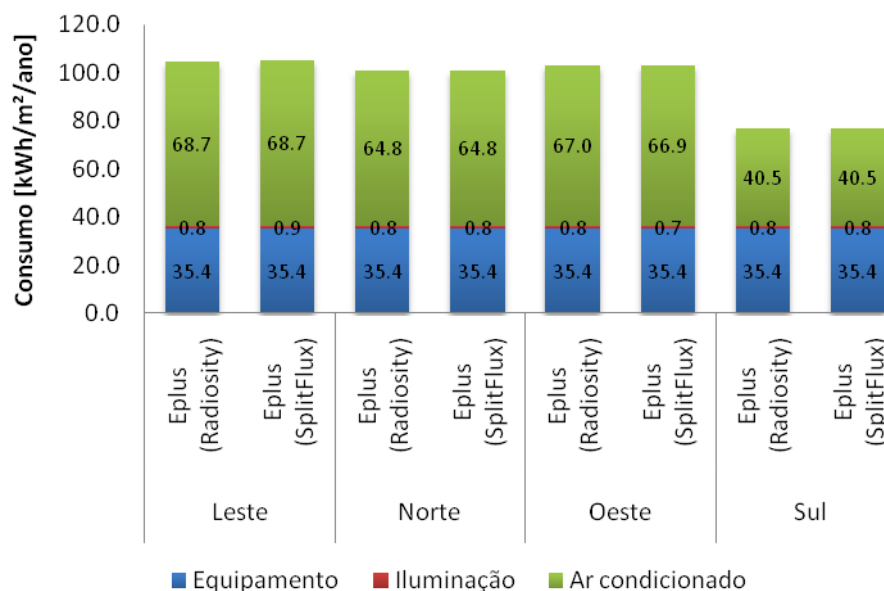


Figura C1: Gráfico do Modelo 1 simulado pelo método da Radiosidade e pelo método SplitFlux.

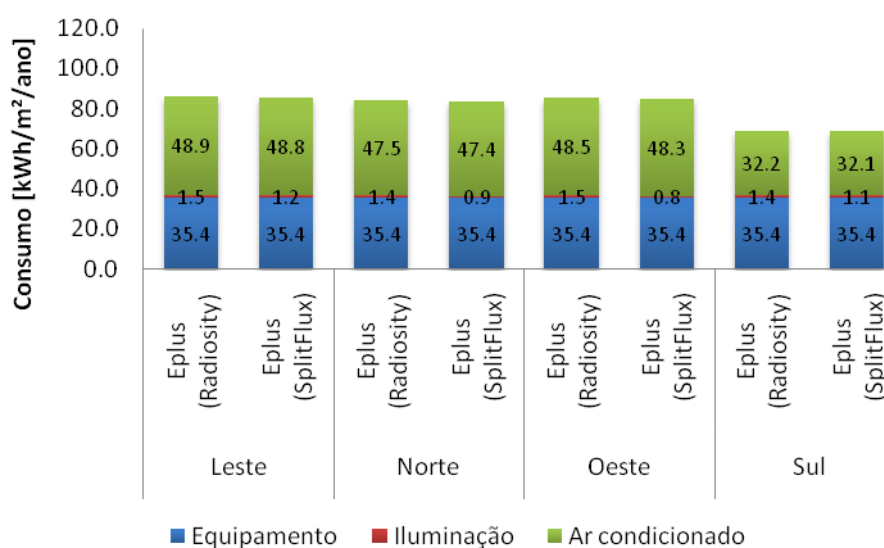


Figura C2: Gráfico do Modelo 2 simulado pelo método da Radiosidade e pelo método SplitFlux.

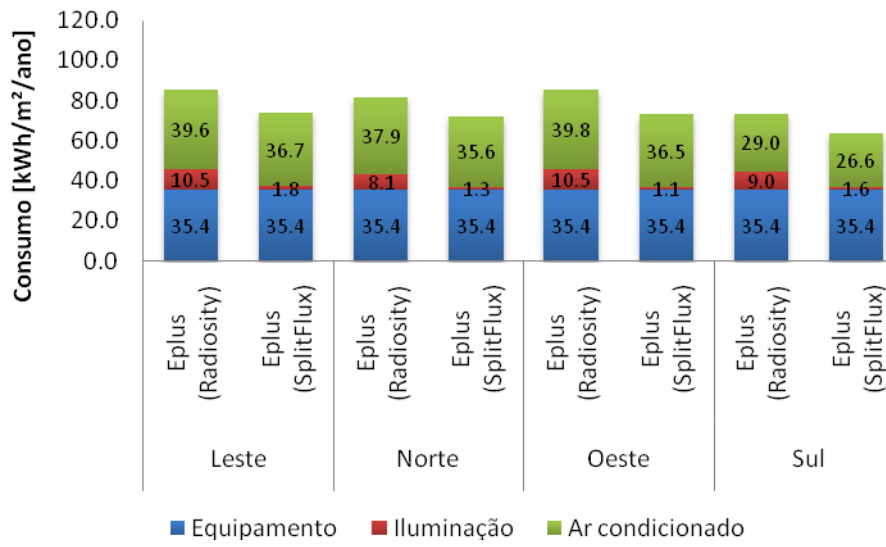


Figura C3: Gráfico do Modelo 3 simulado pelo método da Radiosidade e pelo método SplitFlux.

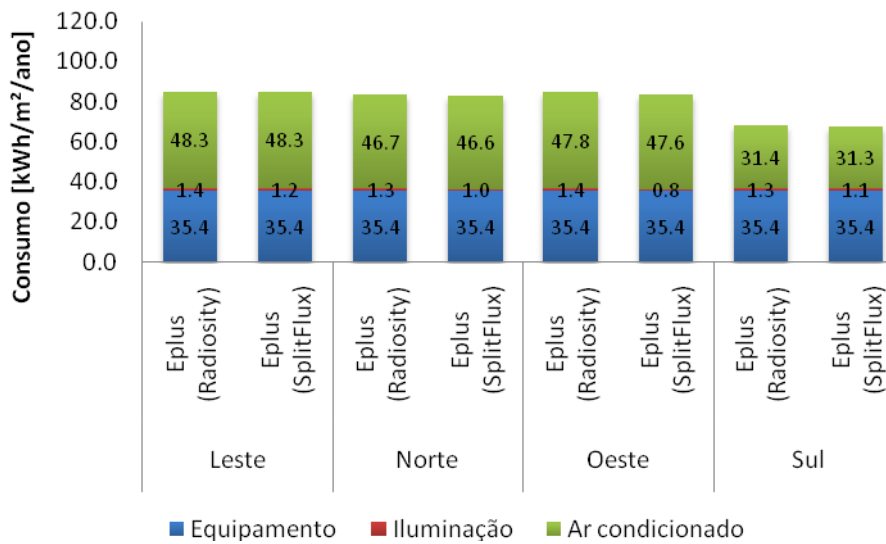
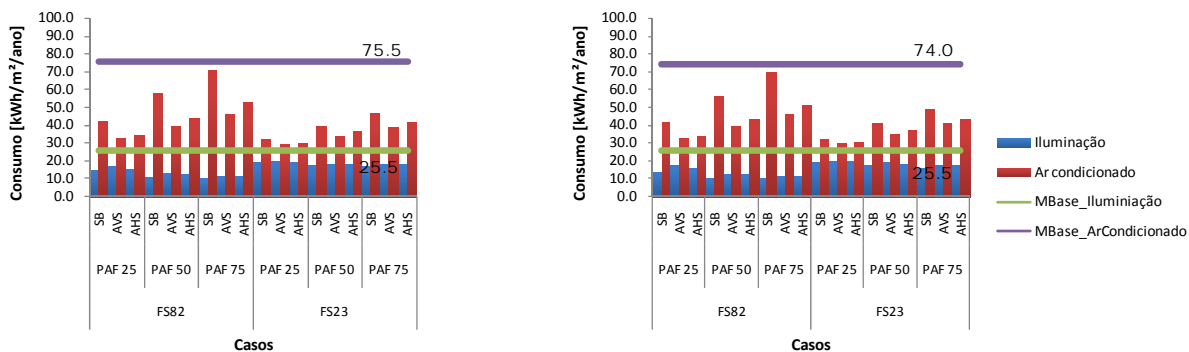


Figura C4: Gráfico do Modelo 4 simulado pelo método da Radiosidade e pelo método SplitFlux.



## APÊNDICE D

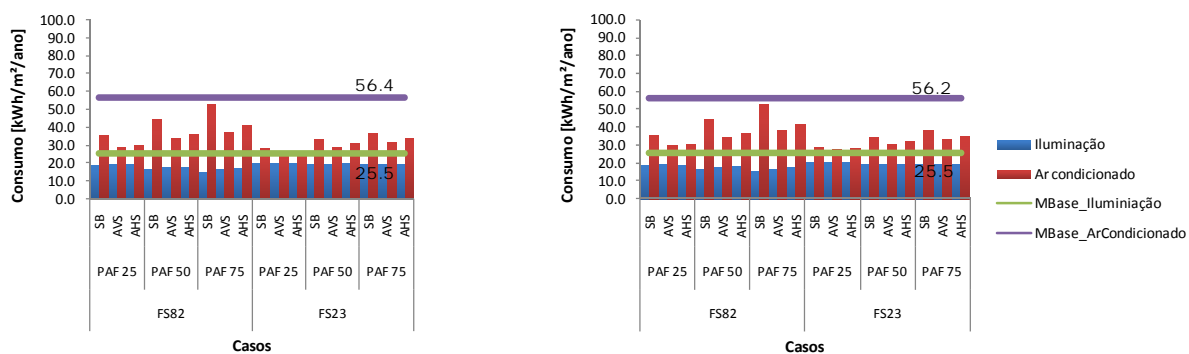
### Resultados complementares das simulações apresentadas na dissertação



(a) leste

(b) oeste

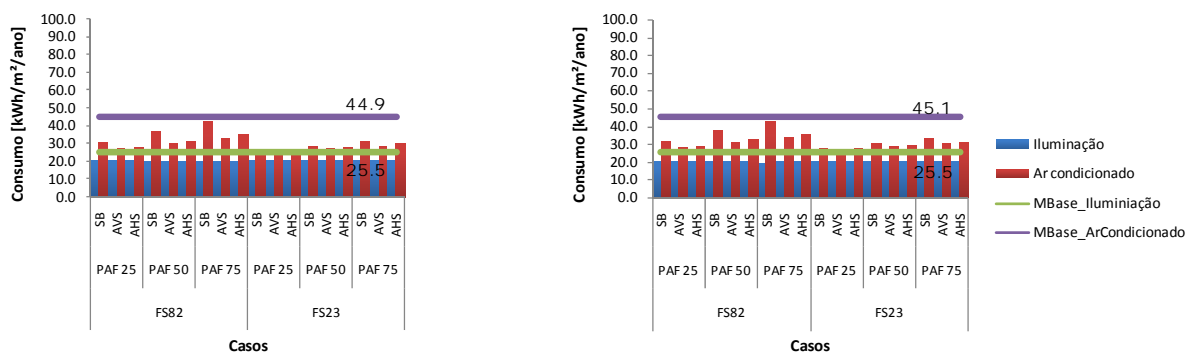
Figura D1: (a) e (b) consumo de energia com os casos do Modelo 1



(c) leste

(d) oeste

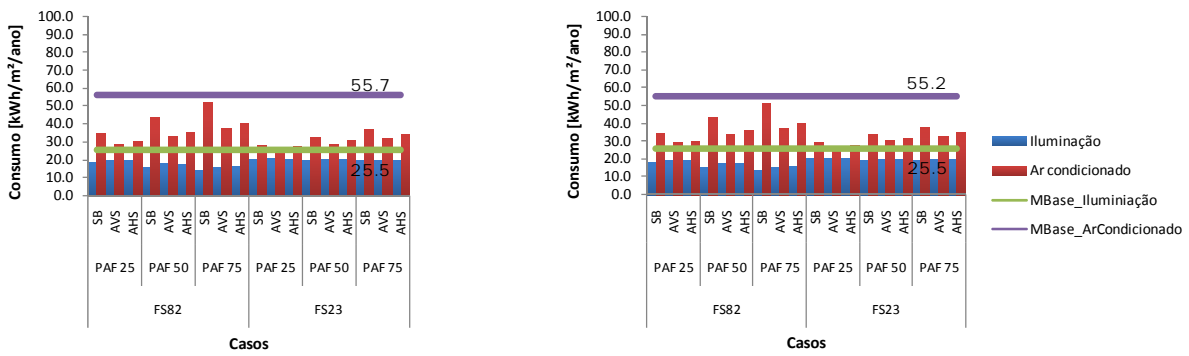
Figura D2: (c) e (d) consumo de energia com os casos do Modelo 2



(e) leste

(f) oeste

Figura D3: (e) e (f) consumo de energia com os casos do Modelo 3



(g) leste

(h) oeste

Figura D4: (g) e (h) consumo de energia com os casos do Modelo 4

## APÊNDICE E

*Dados obtidos no desenvolvimento da equação de regressão multivariada pelo software SPSS 16.0*

## Equação 1: Estudo piloto

Quadro E1: Dados obtidos pelo software SPSS 16.0 para a Equação piloto.

Variáveis utilizadas					
Model	Variáveis Entered				
1	PAF				
2	AVS				
3	AHS				
4	FS				
5	PROF				
Modelo					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error Of the Estimate	
1	0.702a	0.492	0.48	4.63811	
Anova					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	4379.274	5	875.855	40.715	0
Residual	4517.535	210	21.512		
Total	8896.809	215			
Coeficientes					
Model	Unstandardized Coefficients		Etandardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std	Beta		
(Constant)	82.39	1.249		65.957	0
PAF	15.282	1.546	0.486	9.885	0
AVS	-11.18	1.546	-0.411	-7.231	0
AHS	-8.799	1.546	-0.323	-5.691	0
FS	5.303	1.07	0.244	4.957	0
PRF	-6.1	1.265	-0.237	-4.822	0
Variável excluída					
Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
					Tolerance
ORIEN	0.5	1.024	0.307	0.071	1

**Equação 2: Equação com variáveis associadas**

**Quadro E2: Dados obtidos pelo software SPSS 16.0 para a Equação com variáveis associadas.**

Variáveis utilizadas					
Model	Variáveis Entered				
1	PAF/PROF				
2	FS*PAF				
3	PAF*AVS*FS/PROF				
4	PAF*AHS*FS/PROF				
5	PAF*AVS*FS				
6	PAF*AHS*FS				
Modelo					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error Of the Estimate	
1	0.79	0.624	0.614	3.99891	
Anova					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	5554.627	6	925.771	57.892	0
Residual	3342.182	209	15.991		
Total	8896.809	215			
Coeficientes					
Model	Unstandardized Coefficients		Etandardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std	Beta		
(Constant)	79.033	0.581		135.919	0
PAF/PROF	3.347	0.353	0.538	9.477	0
FS*PAF	23.109	1.945	0.691	11.884	0
PAF*AVS*FS/PROF	-7.433	2.122	-0.328	-3.503	0.001
PAF*AHS*FS/PROF	-5.34	2.122	-0.236	-2.517	0.013
PAF*AVS*FS	-20.903	7.422	-0.271	-2.816	0.005
PAF*AHS*FS	-18.2	7.422	-0.236	-2.452	0.15
Variável excluída					
Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
					Tolerance
PROF	0.035	0.525	0.6	0.036	0.411
ORIEN	0.05	1.189	0.236	0.082	1
FS	0.017	0.221	0.825	0.015	0.3
PAF	0.006	0.083	0.934	0.006	0.406
AVS	-0.004	-0.053	0.958	-0.004	0.349
AHS	0.007	0.101	0.92	0.007	0.349

## Equação 3: Equação final

Quadro E3: Dados obtidos pelo software SPSS 16.0 para a Equação final.

Variáveis utilizadas					
Model	Variáveis Entered				
1	PAF/PROF				
2	FS*PAF				
3	PAF*AVS*FS/PROF				
4	PAF*AHS*FS/PROF				
5	PAF*AVS*FS				
6	PAF*AHS*FS				
Modelo					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error Of the Estimate	
1	0.896	0.803	0.797	2.94759	
Anova					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	7002.761	6	1167.127	134.334	0
Residual	1720.279	198	8.688		
Total	8723.039	204			
Coeficientes					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.	Beta		
(Constant)	78.09	0.438		178.287	0
FS*PAF	27.779	1.576	0.806	17.621	0
PAF*AVS*FS	-26.188	5.611	-0.34	-4.667	0
PAF*AHS*FS	-28.795	5.709	-0.362	-5.044	0
PAF/PROF	4.187	0.284	0.632	14.727	0
PAF*AVS*FS/PROF	-9.51	1.591	-0.42	-5.976	0
PAF*AHS*FS/PROF	-4.384	1.695	-0.177	-2.586	0.1

## ANEXO A:

### Tabela T Student

Tabela A: Tabela T Student utilizada na equação.

g.l.	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.309
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160
∞	0.674	1.282	1.645	1.96	2.326	2.576	3.09

Fonte: MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Ed: LTC, Segunda edição, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e  
Urbanismo, do Centro Tecnológico da Universidade Federal de  
Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de  
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Ph.D.

Florianópolis, 2009