

Dimensionamento de área de janela em edificações  
comerciais: integração da iluminação natural com a artificial  
e utilização da ventilação híbrida

Ricardo Forgiarini Rupp

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Ricardo Forgiarini Rupp

**DIMENSIONAMENTO DE ÁREA DE JANELA EM  
EDIFICAÇÕES COMERCIAIS: INTEGRAÇÃO DA  
ILUMINAÇÃO NATURAL COM A ARTIFICIAL E UTILIZAÇÃO  
DA VENTILAÇÃO HÍBRIDA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Eneid Ghisi, PhD.

Florianópolis

2011

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

R946d Rupp, Ricardo Forgiarini  
Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais  
[dissertação] : integração da iluminação natural com a  
artificial e utilização da ventilação híbrida / Ricardo  
Forgiarini Rupp ; orientador, Eneid Ghisi. - Florianópolis,  
SC, 2011.

212 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Janelas - Dimensões. 3. Conforto  
térmico. 4. Iluminação natural. 5. Edifícios comerciais -  
Ventilação. I. Ghisi, Eneid. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil. III. Título.

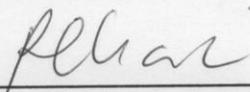
CDU 624

Ricardo Forgiarini Rupp

**DIMENSIONAMENTO DE ÁREA DE JANELA EM  
EDIFICAÇÕES COMERCIAIS: INTEGRAÇÃO DA  
ILUMINAÇÃO NATURAL COM A ARTIFICIAL E UTILIZAÇÃO  
DA VENTILAÇÃO HÍBRIDA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Engenharia Civil", e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 01 de dezembro de 2011.

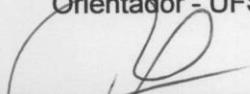


Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.  
Coordenador PPGEC

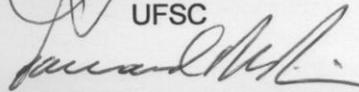
**Banca Examinadora:**



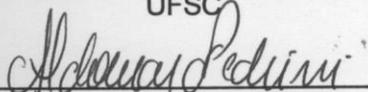
Prof. Eneide Ghisi, PhD.  
Orientador - UFSC



Prof. Roberto Lamberts, PhD.  
UFSC



Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD.  
UFSC



Prof. Aldomar Pedrini, Dr.  
UFRN



Aos meus pais e à minha família  
Aos meus grandes amigos



## AGRADECIMENTOS

Ao professor Enedir Ghisi pela seriedade, entusiasmo e incentivo à investigação científica. Também pelas orientações prestadas ao longo deste trabalho.

Aos professores Fernando Pereira e Roberto Lamberts pelas críticas e sugestões apontadas na etapa de projeto desta pesquisa e também por aceitarem participar da avaliação do trabalho final.

Ao professor Aldomar Pedrini por ter aceitado avaliar o trabalho em sua forma final.

Ao professor Fernando Westphal pelos esclarecimentos acerca de algumas funcionalidades no *Energypplus* e pelas discussões sobre os métodos de avaliação de conforto, no estágio inicial do trabalho.

A Ulisses Munarim pelas discussões e indicações de artigos nas etapas de elaboração desta pesquisa.

A Rogério Versage por explicações de algumas funcionalidades nos programas *Daysim* e *Energypplus*.

A Claudia Pereira e a Edson Ono pelas elucidações sobre os dados de entrada para o programa *Analysis Bio*.

Aos colegas e amigos do LabCon e do LabEEE pelo apoio, colaboração e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES pela bolsa de estudos que permitiu que se desenvolvesse este trabalho.



## RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método para pré-dimensionar área de janela baseado no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, quando se utiliza a ventilação híbrida (alternando entre ventilação natural e condicionamento artificial) e a iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial. Para atingir este objetivo, foram realizadas simulações nos programas *Energyplus* e *Daysim*. Foram simulados modelos de ambientes de edificações comerciais, localizadas em Florianópolis, com três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por modelo e quatro orientações. Os modelos foram examinados por meio de quatro estudos de caso. No Caso 1 (referência), a edificação opera com sistemas de iluminação e de condicionamento artificiais; no Caso 2, ocorre a integração da iluminação natural com a artificial, com condicionamento artificial; já no Caso 3 se utiliza a ventilação híbrida e iluminação artificial; no Caso 4 se utiliza a iluminação natural integrada com a artificial e a ventilação híbrida. Realizou-se também um estudo sobre três métodos de avaliação de conforto térmico, para definir-se qual é o método mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas, localizadas em clima com verão quente e úmido. Foram feitas comparações de consumo de energia elétrica entre os estudos de caso e determinou-se a área de janela, que é a área que leva a um menor consumo total de eletricidade. Concluiu-se que (1) o método de avaliação de conforto mais adequado para o clima em estudo é o de Givoni, (2) a utilização da iluminação natural e da ventilação híbrida apresenta potencial de economia de energia elétrica de até 64,9%, em comparação a edifícios com iluminação artificial e condicionamento artificial, (3) a área de janela foi sempre de 10% para o Caso 1, variou entre 13% (salas pequenas) e 96% (salas grandes) para o Caso 2, entre 10% (salas pequenas) e 79% (salas grandes) para o Caso 3 e, entre 21% (salas pequenas) e 100% (salas grandes) para o Caso 4 e (4) o uso da ventilação híbrida pode levar à insatisfação do usuário em determinados dias quentes, em que o sistema de ar-condicionado é desligado em algum momento após ser ligado.

**Palavras-chave:** engenharia civil, dimensionamento de janela, conforto térmico, iluminação natural, ventilação híbrida.



## ABSTRACT

The objective of this work is to develop a method for pre-sizing window area based on electricity consumption in commercial buildings, using hybrid ventilation (alternating between natural ventilation and air-conditioning) and integration of daylight and artificial light. To achieve this objective, simulations were performed using EnergyPlus and Daysim computer programmes. Commercial building models located in Florianópolis with three geometries, three room sizes per geometry, four orientations and ten window areas per model were analyzed. The models were examined by four case studies. In Case 1 (reference) the building operates with artificial lighting and air-conditioning systems. In Case 2 occurs the integration of daylight and artificial light with air-conditioning. In Case 3 hybrid ventilation and artificial lighting were used. In Case 4 integration of daylight and artificial light with hybrid ventilation were used. Additionally, a study of three evaluation methods of thermal comfort was performed to define which method is the most appropriate to be used in hybrid commercial buildings located in hot and humid summer climate. Electricity consumption comparisons among the case studies were performed and the window area was determined, which is the area that leads to the lowest total electricity consumption. It was concluded that (1) the most appropriate evaluation method of thermal comfort for hot and humid summer climate is the one proposed by Givoni, (2) daylighting and hybrid ventilation have a potential for energy savings up to 64.9% when compared to buildings with artificial lighting and air-conditioning, (3) the window area was always 10% for Case 1, ranged between 13% (small rooms) and 96% (large rooms) for Case 2, between 10% (small rooms) and 79% (large rooms) for Case 3, and between 21% (small rooms) and 100% (large rooms) for Case 4 and (4) the use of hybrid ventilation may lead to user dissatisfaction in some hot days, when the air-conditioning is turned off at some point during working hours.

**Keywords:** civil engineering, sizing window, thermal comfort, daylighting, hybrid ventilation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Faixas aceitáveis de temperatura operativa e umidade para ambientes climatizados artificialmente.....	49
Figura 2: Faixas aceitáveis de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente.....	50
Figura 3: Zona de conforto térmico para climas quentes e úmidos.	51
Figura 4: Modelo geométrico adotado por Reinhart e Wienold (2011) (a) e Ghisi (2002) (b). .....	54
Figura 5: Área de janela para cada ambiente. ....	56
Figura 6: Exemplo de modelos geométricos para as simulações....	61
Figura 7: Consumo de energia elétrica da tipologia predominante..	68
Figura 8: Temperatura máxima, média e mínima do ar externo ao longo do ano para Florianópolis. ....	81
Figura 9: Umidade relativa e absoluta externa ao longo do ano para o arquivo TRY de Florianópolis. ....	82
Figura 10: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente. ....	84
Figura 11: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente.....	84
Figura 12: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método de Givoni.....	85
Figura 13: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e duas áreas de janela. ....	87
Figura 14: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e duas áreas de janela. ....	88
Figura 15: Número de horas do ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, áreas de janela de 10, 50 e 100%, porta interna fechada e duas orientações.....	93
Figura 16: Correlação entre temperatura e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8,	

orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela. ....	95
Figura 17: Correlação entre umidade relativa e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela. ....	96
Figura 18: Correlação entre umidade absoluta e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela. ....	97
Figura 19: Número de horas por mês de uso do sistema de ar-condicionado da tipologia predominante. ....	99
Figura 20: Correlação entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela. ....	101
Figura 21: Procedimentos para determinar a área de janela. ....	102
Figura 22: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	104
Figura 23: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	104
Figura 24: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente. ....	105
Figura 25: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	109
Figura 26: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	109
Figura 27: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente. ....	110
Figura 28: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	113
Figura 29: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	113

Figura 30: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.....	114
Figura 31: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	119
Figura 32: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. ....	119
Figura 33: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.....	120
Figura 34: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 1 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela. ....	128
Figura 35: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 2 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela. ....	129
Figura 36: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 3 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela. ....	130
Figura 37: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 4 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela. ....	131



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões das salas para cada índice de ambiente e geometria.....	56
Tabela 2: Parâmetros gerais de simulação no <i>EnergyPlus</i> . .....	58
Tabela 3: Características do modelo determinadas pelo método dos lumens. ....	59
Tabela 4: Cargas internas adotadas nas simulações. ....	59
Tabela 5: Composição dos elementos construtivos.....	60
Tabela 6: Propriedades dos componentes construtivos. ....	60
Tabela 7: Propriedades do vidro. ....	61
Tabela 8: Coeficientes (C) e expoentes (n) do fluxo de ar quando a abertura está fechada.....	62
Tabela 9: Número de frações de aberturas e detalhes das aberturas. ....	63
Tabela 10: Legenda do comando <i>Daytype Index</i> . ....	65
Tabela 11: Dias de projeto para inverno e verão. ....	71
Tabela 12: Controle de simulação no <i>EnergyPlus</i> . ....	71
Tabela 13: Latitude, longitude e altitude de Florianópolis.....	81
Tabela 14: Densidades de potência em iluminação. ....	82
Tabela 15: Número de horas ao ano em que o sistema de ar-condicionado ficaria ligado por cada método de avaliação de conforto.....	91
Tabela 16: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 2. ....	111
Tabela 17: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 3. ....	115
Tabela 18: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 4. ....	121
Tabela 19: Áreas de janela para cada estudo de caso, orientação, geometria e índice de ambiente. ....	124
Tabela 20: Consumo de energia elétrica dos ambientes com área de janela. ....	124
Tabela 21: Faixas de áreas de janela para cada estudo de caso, orientação, geometria e índice de ambiente. ....	126
Tabela 22: Número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida, durante os 260 dias úteis de trabalho (de	

segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas), por geometria, índice de ambiente, orientação e área de janela, para o Caso 3. ....134

Tabela 23: Número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida, durante os 260 dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas), por geometria, índice de ambiente, orientação e área de janela, para o Caso 4. ....135

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
COP	Coeficiente de Performance
CTF	<i>Conduction Transfer Function</i>
DPI	Densidade de Potência em Iluminação
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating, and Air Conditioning</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
PALN	Percentual de Aproveitamento da Luz Natural
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PTHP	<i>Packaged Terminal Heat Pump</i>
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
TARP	<i>Thermal Analysis Research Program</i>
TRY	<i>Test Reference Year</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina



## LISTA DE SÍMBOLOS

A	área
C	coeficiente do fluxo de ar
CC	consumo a ser comparado
CJ	consumo total de energia elétrica no mês de junho
CO <sub>2</sub>	gás carbônico
CR	consumo de referência
CT	consumo total de energia elétrica
E	iluminância
h	altura
K	índice de ambiente
L	largura
n	expoente do fluxo de ar
N <sub>2</sub> O	óxido nitroso
NH	número de horas de uso do sistema de ar-condicionado
P	profundidade
P <sub>ot</sub>	potência do sistema de ar-condicionado
RC	redução no consumo
SF <sub>6</sub>	hexafluoreto de enxofre
TBS	temperatura de bulbo seco
T <sub>conf</sub>	temperatura operativa de conforto
T <sub>ext</sub>	temperatura externa
T <sub>mext</sub>	temperatura média mensal do ar externo
T <sub>o</sub>	temperatura operativa interna
T <sub>set</sub>	temperatura de <i>setpoint</i>

$T_{\text{zona}}$	temperatura da zona
UA	umidade absoluta
$UA_d$	umidade absoluta da faixa da direita
$UA_e$	umidade absoluta da faixa da esquerda
UR	umidade relativa

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	27
1.2 OBJETIVOS .....	29
1.2.1 Objetivo geral.....	29
1.2.2 Objetivos específicos.....	30
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	30
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>31</b>
2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL.....	31
2.2 VENTILAÇÃO NATURAL.....	35
2.3 VENTILAÇÃO HÍBRIDA.....	38
2.4 DIMENSIONAMENTO DE JANELA.....	43
2.4.1 Método baseado no consumo de energia elétrica .....	43
2.4.2 Método baseado na taxa de renovação do ar.....	44
2.5 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO.....	45
2.5.1 EnergyPlus .....	45
2.5.2 Daysim.....	47
2.6 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO.....	48
2.6.1 Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente.....	48
2.6.2 Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente .....	49
2.6.3 Carta de Givoni.....	50
2.7 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	51
<b>3. MÉTODO</b> .....	<b>53</b>
3.1 MODELOS DE AMBIENTE.....	54
3.2 ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO.....	57
3.2.1 Modelos de ambiente .....	57
3.2.2 Parâmetros gerais de simulação.....	57
3.2.3 Cargas internas e padrão de ocupação .....	58
3.2.4 Componentes construtivos.....	60
3.2.5 Simulação da ventilação natural.....	61
3.2.6 Schedules de controle da ventilação.....	63
3.2.6.1 Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente .....	65
3.2.6.2 Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente .....	66
3.2.6.3 Carta de Givoni.....	66
3.2.7 Tratamento dos dados.....	67
3.3 SIMULAÇÕES DO CASO 1: CASO BASE.....	70
3.3.1 Parâmetros de simulação.....	70

3.3.2	Modelagem do sistema de ar-condicionado.....	70
3.4	<b>SIMULAÇÕES DO CASO 2: INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL .....</b>	<b>72</b>
3.4.1	Arquivo climático e geometrias.....	73
3.4.2	Definição da malha de pontos e dos sensores de iluminância .....	73
3.4.3	Parâmetros gerais de simulação .....	74
3.4.4	Definições para a análise da simulação .....	74
3.4.5	Integração da iluminação natural e artificial .....	74
3.5	<b>SIMULAÇÕES DO CASO 3: VENTILAÇÃO HÍBRIDA.....</b>	<b>75</b>
3.5.1	Parâmetros gerais para simulação.....	75
3.6	<b>SIMULAÇÕES DO CASO 4: VENTILAÇÃO HÍBRIDA E INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL.....</b>	<b>75</b>
3.7	<b>TRATAMENTO DOS DADOS PROVENIENTES DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>76</b>
3.7.1	Consumos de energia elétrica .....	76
3.7.2	Avaliação de conforto térmico .....	77
3.7.3	Hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida .....	78
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>81</b>
4.1	CIDADE DE ESTUDO .....	81
4.2	DENSIDADE DE POTÊNCIA EM ILUMINAÇÃO .....	82
4.3	ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO .....	82
4.3.1	Simulação da ventilação natural.....	83
4.3.2	Schedules de controle do sistema de ar-condicionado....	85
4.3.3	Correlação de número de horas e variáveis ambientais externas .....	94
4.3.4	Correlação de número de horas e número de horas da tipologia predominante.....	98
4.4	DETERMINAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA OBTER A ÁREA DE JANELA .....	102
4.5	POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA ....	103
4.5.1	Caso 1: Caso base .....	103
4.5.2	Caso 2: Integração da iluminação natural e artificial.....	106
4.5.3	Caso 3: Ventilação híbrida.....	112
4.5.4	Caso 4: Ventilação híbrida e integração da iluminação natural e artificial.....	117
4.6	ÁREAS DE JANELA.....	123
4.7	AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO.....	126
4.8	EXPECTATIVA DO USUÁRIO À VENTILAÇÃO HÍBRIDA..	132
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>137</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	137
5.1.1	Estudo sobre métodos de avaliação de conforto .....	138

5.1.2	Potencial de economia de energia elétrica .....	139
5.1.3	Áreas de janela.....	140
5.1.4	Avaliação de conforto térmico .....	140
5.1.5	Expectativa do usuário à ventilação híbrida.....	141
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	142
5.2.1	Limitações do trabalho .....	142
5.2.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	143
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>155</b>
	APÊNDICE A – Número de horas de uso do sistema de ar- condicionado por cada método de conforto .....	156
	APÊNDICE B – Número de horas de uso do sistema de ar- condicionado pelo método de Givoni e da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente com 90% de aceitabilidade.....	162
	APÊNDICE C – Correlação de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e variáveis ambientais externas .....	166
	APÊNDICE D – Correlação de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante .....	170
	APÊNDICE E - Consumos de energia elétrica do Caso 1 .....	172
	APÊNDICE F - Consumos de energia elétrica do Caso 2.....	176
	APÊNDICE G - Consumos de energia elétrica do Caso 3.....	180
	APÊNDICE H - Consumos de energia elétrica do Caso 4 .....	184
	APÊNDICE I - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2..	188
	APÊNDICE J - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3.	193
	APÊNDICE K - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4.	198
	APÊNDICE L - Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3.	203
	APÊNDICE M – Carta de Givoni com os resultados das simulações .....	208



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Nos países desenvolvidos, as edificações (setor residencial, comercial e público) consomem entre 20 e 40% do consumo final de energia, de acordo com informações de Pérez-Lombard, Ortiz e Pout (2008). No mundo, as edificações gastam cerca de 70% do consumo final de energia em sistemas de ar-condicionado e em iluminação artificial (EIA, 2008).

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2010, os setores residencial, comercial e público consomem 15% do dispêndio final de energia e cerca de 48% do consumo total de eletricidade do país. Com relação aos setores comerciais e públicos, cerca de 70% desta energia é destinada aos sistemas de iluminação artificial e ar-condicionado, conforme dados de 2007 do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o que vai ao encontro dos dados apresentados em escala mundial.

De modo global, como a maior parte da energia empregada nas edificações provém de fontes não renováveis, o consumo de energia tende a aumentar a poluição atmosférica e contribui para as mudanças climáticas (GAN, 2000).

Diante dessa situação surge a necessidade de se estudar estratégias que visem à economia de energia em iluminação artificial e em sistemas de ar-condicionado, os dois grandes consumidores de energia em edificações comerciais. Dentre essas estratégias se destacam o uso da iluminação natural integrada à iluminação artificial e da ventilação natural como forma de reduzir a carga térmica da edificação e, conseqüentemente, o consumo em sistemas de ar-condicionado.

Nos últimos anos, vários estudos (LITTLEFAIR, 1998; LI e LAM, 2000; BODART e HERDE, 2002; ONAYGIL e GULER, 2003; SOUZA, 2003; KRARTI, ERICKSON e HILLMAN, 2005; LI e WONG, 2007; LI, 2010; REINHART e WIENOLD, 2011) voltaram-se para a incorporação da iluminação natural como alternativa para reduzir o consumo de energia em edificações.

Segundo Lam (2000), em edifícios comerciais onde predomina o uso de condicionamento de ar, a incorporação de iluminação natural ao sistema de iluminação artificial pode resultar em economias significativas de energia por dois motivos

principais: (a) o uso de luz natural pode reduzir o uso de eletricidade em iluminação artificial e (b) a luz natural tem uma eficácia luminosa superior à maioria dos sistemas elétricos de iluminação. Assim, gerando menos calor por nível de iluminação fornecida. Como exemplo disso, o autor expõe que a eficácia luminosa média da luz natural em Hong Kong (latitude 22°20'Norte), no ano 2000, foi de aproximadamente 100 lm/W, enquanto que a eficácia luminosa média encontrada nos sistemas de iluminação artificial de edifícios comerciais, da mesma cidade, foi de 60 lm/W.

Do mesmo modo, sistemas de ventilação natural estão sendo cada vez mais incorporados às edificações com o objetivo de remover a carga térmica e conseqüentemente o consumo de energia em sistemas de ar-condicionado. Principalmente em condições de verão, os edifícios são tipicamente uma fonte de calor. Assim, o uso da ventilação natural para retirar parte deste calor do edifício é muito eficiente do ponto de vista energético (WOODS, FITZGERALD e LIVERMORE, 2009).

Em países de clima subtropical, a ventilação natural tem grande potencial de economia de energia, pois esse tipo de clima é caracterizado por invernos amenos e temperaturas externas inferiores às temperaturas internas em boa parte do ano (LIN e CHUAH, 2011).

Diversas pesquisas sobre o desempenho da ventilação natural, incluindo a ventilação híbrida (em que se utiliza a ventilação natural e condicionamento artificial), foram realizadas nos últimos anos, demonstrando um bom desempenho desta estratégia de ventilação (AYATA e YILDIZ, 2006; MANKIBI et al., 2006; LOMAS, COOK e FIALA, 2007; JREIJIRY, HUSAUNDEE e INARD, 2007; LARSEN e HEISELBERG, 2008; NIACHOU et al., 2008; YAO, R. et al., 2009; KIM e HWANG, 2009; JI, LOMAS e COOK, 2009).

Nesses trabalhos sobre ventilação natural e nas pesquisas sobre iluminação natural, diversos programas de simulação da iluminação natural, da ventilação natural e de simulação termo-energética foram empregados. Cabe destacar o programa *EnergyPlus*, que realiza simulações termo-energéticas considerando a iluminação natural. Porém, devido a limitações no algoritmo da iluminação natural deste programa, que superestima os valores de iluminâncias internas (LOUTZENHISER, MAXWELL e MANZ, 2007; RAMOS, 2008; VERSAGE, MELO e

LAMBERTS, 2010), alguns autores utilizaram o programa *Daysim* para simular a iluminação natural e inseriram os seus resultados como dado de entrada no programa *EnergyPlus*, assim realizando a simulação termo-energética de maneira mais satisfatória (DIDONÉ, 2009; DIDONÉ e PEREIRA, 2010; VERSAGE, MELO e LAMBERTS, 2010; REINHART e WIENOLD, 2011).

Outro aspecto que se percebeu nesses trabalhos é de que a área de janela tem grande influência no consumo de energia em edificações. Desta maneira, a busca por uma área de janela que leva a um menor consumo total de eletricidade, foi objetivo de outros trabalhos.

Através de estudos em que se variou a área de janela, Inanici e Demirbilek (2000) e Kontoleon e Bikas (2002) estabeleceram áreas de janelas, baseados no consumo anual de energia elétrica. Nesses dois estudos, o dimensionamento de área de janela foi realizado fundamentando-se somente na carga térmica da edificação. Ghisi e Tinker (2005) ampliaram essa ideia e consideraram na análise a integração da luz natural com a iluminação artificial, assim dimensionando áreas de janela apoiados no consumo global anual de eletricidade.

Já Stephan, Bastide e Wurtz (2011) dimensionaram aberturas em edifícios ventilados naturalmente baseados na taxa de renovação do ar e no conforto térmico dos usuários.

Dentro deste contexto surgiu a ideia de se considerar simultaneamente a integração da luz natural com a iluminação artificial e a ventilação híbrida (ventilação natural e condicionamento artificial) no processo de pré-dimensionamento de área de janela, baseando-se nos valores de consumo anual de eletricidade em edificações.

## 1.2 OBJETIVOS

São apresentados a seguir os objetivos a atender no trabalho proposto.

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método para pré-dimensionar área de janela baseado no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, quando se utiliza a ventilação

híbrida e a iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial.

### 1.2.2 Objetivos específicos

No decorrer deste trabalho pretende-se alcançar alguns objetivos específicos:

- Verificar qual método de avaliação de conforto térmico é o mais adequado para ser utilizado em clima com verão quente e úmido;
- Avaliar a influência de diferentes geometrias, tamanhos de salas e orientações no pré-dimensionamento de aberturas;
- Avaliar o potencial de economia de eletricidade da ventilação híbrida e da iluminação natural;
- Analisar a expectativa do usuário com relação a hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho está dividida em cinco capítulos: o **primeiro** tem caráter introdutório, apresentando as justificativas do trabalho bem como o objetivo geral e os objetivos específicos. O **segundo** apresenta a revisão bibliográfica, onde são abordados os seguintes temas: iluminação natural, ventilação natural, ventilação híbrida, dimensionamento de janela, programas de simulação e métodos para avaliação de conforto térmico. O **terceiro** trata do método da pesquisa, onde mostra-se o método proposto e as ferramentas que serão utilizadas para alcançar os objetivos desta pesquisa. O **quarto** é referente aos resultados, tratando das determinações das densidades de potência em iluminação, do estudo sobre métodos de avaliação de conforto, do potencial de economia de energia elétrica, dos dimensionamentos das áreas de janela, da avaliação de conforto térmico e da expectativa do usuário à ventilação híbrida. O **quinto** traz as conclusões, as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros. No final do trabalho são apresentadas as referências bibliográficas, bem como os apêndices.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a revisão da literatura, abordando os assuntos pertinentes a este trabalho: iluminação natural, ventilação natural, ventilação híbrida, dimensionamento de janela, programas de simulação e métodos para avaliação de conforto térmico.

### 2.1 ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação natural tem sido empregada como alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica em edificações. No campo acadêmico, diversos autores têm estudado a integração da luz natural ao sistema de iluminação artificial.

Um estudo empírico, voltado para o desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural, que utilizam a luz direta do sol, foi realizado por Macedo (2002). No total foram estudados seis sistemas de iluminação natural: abertura lateral com vidro simples (3 mm), abertura lateral com prateleira de luz espelhada e vidro simples (3 mm), abertura lateral com veneziana fixa e vidro simples (3 mm), abertura lateral com painel cortado a laser, abertura zenital com vidro simples (3 mm) e abertura zenital com sistema de seleção angular e vidro simples (3 mm). O estudo consistiu em medições de iluminâncias e do fluxo de calor em modelos em escala reduzida. Os desempenhos térmicos e luminosos desses sistemas de iluminação natural foram obtidos considerando-se a admissão de luz e calor, capacidade de distribuição da luz natural e comportamento frente à variação da iluminância externa, diferentes tipos de céu e ângulos de incidência da radiação solar. Através dos resultados, a autora concluiu que os sistemas de iluminação com aberturas laterais com prateleira de luz espelhada, com veneziana e com abertura zenital com sistema de seleção angular, obtiveram os melhores desempenhos térmicos e luminosos.

Souza (2003) estimou a economia de energia elétrica para 63 modelos de salas localizados em Florianópolis. Essas salas possuíam largura fixa de 6 m e profundidades que variavam de 4 m a 10 m, com 3 tipos de iluminação (unilateral, oposta e adjacente) e 3 tipos de janelas (única, dupla e total). Para as simulações foram utilizados diferentes sistemas automáticos de controle da iluminação artificial em função da luz natural: um sistema com interruptor liga/desliga automático, um sistema com

interruptor de passo automático e um sistema com dimerização contínua automática. Para avaliar e comparar o desempenho das diversas opções de controle, utilizou-se a variável PALN (percentual de aproveitamento da luz natural), que foi obtida por meio dos programas computacionais LuzSolar e LuzPALN. Através dos resultados das simulações, nos modelos estudados, constatou-se que a luz natural proporciona uma economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial de até 87%. O autor ressalta ainda que o sistema dimerizável é o que apresenta os melhores resultados de PALN.

Franzetti, Fraise e Achard (2004) analisaram o comportamento térmico de um edifício de escritório localizado na França, quando se utiliza a integração da luz natural ao sistema de iluminação artificial. A análise térmica da edificação foi realizada pelo programa CA-SIS anexado ao LIGHT, que realizou a simulação da iluminação natural. Dois casos foram estudados: somente com iluminação artificial e, iluminação artificial e natural. Através dos resultados das simulações, os autores concluíram que: o consumo global anual de energia elétrica diminuiu mais de 50% quando se utilizou a luz natural; o consumo em refrigeração diminuiu, pois no verão o resfriamento foi utilizado principalmente para remover o ganho de calor gerado pela iluminação artificial; o consumo em aquecimento aumentou (porém esse aumento foi proporcionalmente inferior à diminuição na refrigeração) o que foi devido ao ganho interno inferior gerado pelo sistema de iluminação artificial, quando utilizado integrado à iluminação natural; o consumo em iluminação artificial diminuiu.

Já Didoné e Pereira (2010) estudaram o impacto do aproveitamento da luz natural no consumo energético de modelos de salas de edificações comerciais, localizadas em Florianópolis, Brasil. Foram estudados quatro modelos de sala, nas quatro orientações principais, com diferentes profundidades, alturas (pé direito), percentuais de área de abertura na fachada, fatores solares, ângulos de sombreamento horizontais e verticais. Para cada um desses quatro modelos, foi criado um modelo base, com baixa eficiência energética e sem aproveitamento de luz natural. A análise termo-energética de cada modelo foi realizada através da simulação da iluminação natural no programa *Daysim*. Esses resultados foram inseridos como dado de entrada no *EnergyPlus*, que calculou os consumos de energia elétrica. Os resultados apontaram redução no consumo de energia elétrica em

iluminação, para todos os modelos que utilizavam o apoio da luz natural, com relação ao modelo base. Essa redução acarretou na diminuição do consumo do sistema de ar-condicionado, devido ao abatimento das cargas internas oriundas do sistema de iluminação artificial. Os autores concluíram que o controle do sistema de iluminação artificial em função do aproveitamento da luz natural proporcionou uma redução entre 12 e 52% do consumo final de energia elétrica, em comparação ao modelo base.

Análises entre sistemas de iluminação também foram realizadas. Knight (1998) confrontou os resultados de economia de energia elétrica provenientes de medições realizadas em três diferentes sistemas de controle da iluminação artificial em função da iluminação natural (um sistema padrão, um sistema inteligente e um sistema inteligente melhorado). O sistema padrão utilizou-se de um reator com partida convencional (*starter*), o sistema inteligente de um reator de partida rápida e, o sistema inteligente melhorado de uma versão melhorada, proposta pelo autor, de reator de partida rápida. Foram utilizadas luminárias padrão para lâmpadas fluorescentes tubulares de 38 mm. O autor concluiu que o sistema inteligente melhorado economizava 91% de energia elétrica com relação ao sistema padrão e 81% quando comparado ao sistema inteligente.

Já Onaygil e Guler (2003) compararam dois sistemas de iluminação (um sistema com controle automático de iluminação, que ajustava o nível de iluminância interior em função das condições de luz natural e, um sistema de iluminação convencional) em um escritório localizado em Istambul, na Turquia. Através de medições do consumo de energia elétrica realizadas no escritório em estudo, os autores concluíram que houve em média uma economia de 30% de energia elétrica quando se utilizou o sistema com controle automático de iluminação.

Outras pesquisas buscaram determinar o potencial de economia quando há a integração entre o sistema de iluminação natural e o sistema de iluminação artificial.

Bodart e Herde (2002) compararam diversas configurações (com áreas de vidro e tipologias distintas) de janelas, com diferentes tipos de vidros em relação ao consumo de energia elétrica em iluminação e ao consumo total de energia elétrica de escritórios localizados na Bélgica. Para atingir esse

objetivo, os autores utilizaram o programa *Superlink* para a simulação da iluminação natural. Os resultados dessas simulações foram utilizados no programa TRNSYS, assim obtendo os consumos de energia elétrica da edificação em análise, para o ano todo. Demonstraram que o potencial médio de economia de energia elétrica (em relação ao consumo total de energia elétrica), quando se utilizou a integração entre iluminação natural e artificial era de 39%.

Já Ghisi e Tinker (2005) avaliaram, por meio da aplicação de sua proposta de método (o que envolveu um estudo com diferentes geometrias de salas em edifícios comerciais), o potencial de economia de energia elétrica quando há integração da iluminação natural ao sistema de iluminação artificial. O estudo foi realizado para duas cidades: Florianópolis e Leeds (Inglaterra). Para as cidades analisadas, o potencial de economia de energia elétrica variou de 20,6% a 86,2% para Florianópolis e de 10,8% a 44,0% para a cidade de Leeds.

Uma comparação entre potenciais de economia de energia elétrica em iluminação em escritórios foi realizada por Roisin et al. (2008). Os autores utilizaram diferentes sistemas de controle da iluminação artificial para três cidades da Europa (Atenas, Bruxelas e Estocolmo) e para as quatro orientações principais. As simulações da iluminação natural foram realizadas no programa *Daysim*. Os autores concluíram que o controle da potência da iluminação artificial em função da iluminação natural era o principal fator determinante na redução do consumo de energia elétrica; a orientação e o local influenciaram pouco no consumo. O potencial de economia em iluminação variou entre 45%, para um escritório com orientação norte em Estocolmo, e 61% para um escritório orientado a sul em Atenas.

Com este intuito de avaliar o potencial de economia quando há integração da luz natural ao sistema de iluminação artificial, Krarti, Erickson e Hillman (2005) desenvolveram um método simplificado. Investigaram o impacto no desempenho da iluminação natural de diversas combinações de geometrias, tamanhos de aberturas e tipos de vidros para quatro cidades nos Estados Unidos (Atlanta, Chicago, Phoenix e Denver). A análise do potencial de economia somente levou em consideração o consumo de energia elétrica em iluminação artificial. Assim, os autores concluíram que aberturas com razão entre área de janela e área de piso maior que 0,5 não reduziam significativamente o

consumo de energia elétrica e, que a localização geográfica exercia pequena influência no potencial de economia.

Outro método simplificado para avaliar o potencial de economia quando há integração da luz natural ao sistema de iluminação artificial foi proposto por Li e Lam (2000). Porém, neste método, os autores consideraram também o consumo de refrigeração quando se utiliza a iluminação natural. Desta forma, agregando o consumo global de energia elétrica. Através da aplicação do método em uma edificação de escritórios padrão de Hong Kong chegou-se a um resultado médio de 48,4% de potencial de economia.

Nota-se que, nesses trabalhos, diferentes métodos de avaliação de aberturas com relação ao consumo de energia elétrica foram empregados, porém, com exceção do trabalho de Ghisi e Tinker (2005), essas pesquisas não trabalham com a ideia de uma área de janela que conduza aos menores consumos de energia elétrica. Esse conceito já foi estudado por alguns autores (INANICI e DEMIRBILEK, 2000; KONTOLEON e BIKAS, 2002; GHISI e TINKER, 2005) e é tratado em outra seção neste trabalho.

## 2.2 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural pode ser realizada por ventilação simples ou por ventilação cruzada. Usualmente em edificações comerciais em ambientes urbanos o primeiro tipo é o empregado. A ventilação natural quando promovida apenas por uma fachada da edificação é a troca de ar entre o interior e o exterior através de uma única abertura ou por meio de aberturas situadas em diferentes alturas (GAN, 2000).

Em qualquer dos tipos de ventilação natural há a tendência de se minimizar os efeitos negativos, causados pelo uso de condicionamento artificial, na saúde, produtividade e no bem-estar geral dos ocupantes das edificações (FISK, 2000). Além disso, os ocupantes das edificações ventiladas naturalmente tendem a tolerar as flutuações do vento (fato que não é observado em edificações condicionadas artificialmente), sentindo-se confortáveis por estarem mais próximos das condições naturais do meio ambiente. Ademais, a velocidade do vento é baixa na maior parte do tempo, assim ajudando a reduzir a sensação de cansaço. Como a intensidade da turbulência do ar

em movimento por ventilação natural é maior do que por ventilação mecânica, intensifica-se a convecção de calor entre as pessoas e o meio ambiente. Assim, aumenta-se a sensação de conforto (SU, ZHANG e GAO, 2009).

Essa estratégia de ventilação de edificações é empregada desde os tempos antigos e tem sido ignorada nas construções modernas pelo advento dos sistemas de condicionamento artificial (LIN e CHUAH, 2011). Porém, atualmente, devido às preocupações ambientais, a ventilação natural mostra-se como uma alternativa para diminuir o consumo de energia elétrica em edificações e, por conseguinte, o impacto ambiental gerado pelo uso indiscriminado dos sistemas de ar-condicionado. Assim sendo, diversas pesquisas têm investigado a ventilação natural com relação a vários fatores.

Liping e Hien (2007) investigaram, sob o ponto de vista do conforto térmico, três diferentes estratégias de ventilação natural (noturna, diurna e dia inteiro) e também estudaram uma situação sem ventilação. Os estudos foram realizados em uma edificação localizada em Cingapura, utilizando-se do programa TAS. Também realizaram análises paramétricas, desempenhadas somente em uma sala da edificação, variando a orientação (norte, sul, leste e oeste), a razão entre janela e parede (0,121, 0,240 e 0,300) e as dimensões dos mecanismos de sombreamento (0 e 600mm). Estas análises foram feitas através dos programas ESP-r e FLUENT (dinâmica dos fluidos computacional). O conforto térmico foi avaliado por um modelo de regressão derivado de pesquisas realizadas em edificações naturalmente ventiladas em Cingapura. Os resultados das simulações no programa TAS, indicaram que a ventilação, quando realizada durante o dia inteiro, leva a melhores índices de conforto térmico que as demais estratégias estudadas. Com relação à análise paramétrica, por meio dos resultados, os autores concluíram que: (a) as janelas orientadas a sul e a norte geravam um melhor ambiente térmico que as orientadas a leste e oeste e (b) dentre as razões entre janela e parede estudadas a que apresentou melhor resultado do ponto de vista de conforto térmico foi a razão de 0,240. O uso de mecanismos de sombreamento conduziu a melhores resultados em todas as orientações.

Por sua vez, Visagavel e Srinivasan (2009) estimaram as velocidades do ar em uma sala arejada naturalmente por

ventilação simples e por ventilação cruzada. Isto foi feito para diferentes tamanhos de abertura. O ambiente em estudo era retangular e possuía apenas uma abertura, no caso da ventilação simples e, duas aberturas opostas, no caso da ventilação cruzada. A velocidade do vento externo foi fixada em 5 km/h. As simulações foram realizadas por dinâmica dos fluidos computacional pelo programa FLUENT. Os autores concluíram que a ventilação cruzada era mais efetiva que a ventilação simples. Porém, a conclusão dos autores foi baseada somente nos valores de velocidade do vento (consideraram apenas uma velocidade externa), a qual não foi avaliada por método algum. Deste modo, poderia haver velocidades tão elevadas, no caso da ventilação cruzada, que causariam desconforto nos usuários da sala.

Yao et al. (2009) investigaram o potencial de refrigeração da ventilação natural em escritórios localizados em diferentes zonas climáticas na China. Para as análises utilizam-se de um modelo simplificado que agrega o aspecto térmico e o modelo de fluxo de ar. Os limites de temperatura operativa aceitáveis pela ASHRAE Standard 55-2004 foram utilizados como parâmetro de conforto térmico. Foi utilizado um modelo padrão de escritório, onde variou-se a ventilação: durante o dia, durante a noite e, diurna e noturna; os ganhos internos: altos, médios e baixos; e o tipo de ventilação: cruzada e simples. A partir dos resultados, os autores concluíram que, de modo geral, quando somente se utilizou a ventilação noturna, esta apresentava baixos potenciais de resfriamento. O potencial de resfriamento foi alto no clima mais frio da China e no clima mais ameno; nos demais climas é necessário o apoio do aparelho de ar-condicionado para se garantir o conforto térmico. Os autores concluíram que a ventilação cruzada apresentava melhores resultados que a ventilação simples e que os ganhos internos tinham grande influência no potencial de resfriamento.

O potencial de utilização da ventilação natural também foi objeto de estudo de Ayata e Yildiz (2006) que analisaram uma edificação em Kayseri, na Turquia. Uma área de edificação com padrões construtivos contemporâneos foi determinada (144 m<sup>2</sup>) e através dessa os autores definiram três geometrias (1:1,00, 1:1,44 e 1:1,70). Essas geometrias foram analisadas com relação à distribuição das velocidades do ar, através da dinâmica dos fluidos computacional no programa FLUENT. Concluíram que os

requisitos de ventilação natural foram alcançados pelas três geometrias, porém ressaltaram que a geometria retangular possuía relativamente um potencial de vento menor que as duas outras geometrias.

Uma comparação entre a ventilação mecânica e a ventilação natural foi efetuada por Hummelgaard et al. (2007). Os autores realizaram medições, em Copenhague (Dinamarca), de temperatura, umidade e de concentração de CO<sub>2</sub> em cinco edifícios ventilados mecanicamente e em quatro ventilados naturalmente. Paralelamente, foram aplicados questionários avaliando a sensação térmica e os sintomas (doenças) dos ocupantes das edificações. A partir da coleta de dados e da comparação entre os dois tipos de ventilação, os autores concluíram que nas edificações ventiladas naturalmente, as temperaturas e as concentrações de CO<sub>2</sub> variavam mais e em alguns casos eram mais elevadas que nos edifícios condicionados artificialmente. Porém, os sintomas relatados pelas pessoas eram menores nos edifícios naturalmente ventilados, demonstrando um grau maior de satisfação com o ambiente interno.

Estudos empíricos foram feitos por Larsen e Heiselberg (2008), que realizaram experimentos em túnel de vento, com modelos em escala real. A finalidade do estudo foi determinar uma expressão que representasse a taxa de renovação do ar, em edifícios ventilados naturalmente por uma única abertura por ambiente (ventilação simples). Os experimentos no túnel de vento foram realizados para diferentes ângulos de exposição ao vento, velocidades do vento e diferenças de temperatura. Através dos resultados dos experimentos, os autores concluíram que a taxa de renovação do ar dependia do ângulo de exposição ao vento, e que as forças motrizes da ventilação natural (pressão do vento e diferenças de temperatura) variavam em função deste ângulo. Por fim, os autores apresentaram a expressão para a estimativa da taxa de renovação do ar.

### 2.3 VENTILAÇÃO HÍBRIDA

A ventilação natural baseada em aberturas nas fachadas tem sua aplicabilidade limitada a alguns climas, locais e tipos de edificações, a qual pode ser ampliada por meio de edifícios híbridos. Nos edifícios híbridos ocorre a integração dos sistemas

natural (através de janelas operáveis) e mecânico (que é utilizado para distribuir melhor o ar e resfriá-lo) de ventilação (LOMAS, COOK e FIALA, 2007; BRAGER, BORGESON e LEE, 2007).

De acordo com Heiselberg (2002) e Brager (2006), os sistemas híbridos são sistemas que garantem um ambiente interno confortável através do uso dos sistemas de ventilação natural e mecânico. Esses sistemas são ativados, dependendo das condições ambientais externas à edificação, em diferentes momentos do dia e/ou épocas do ano. Os sistemas híbridos aproveitam ao máximo as condições favoráveis ambientais, utilizando-se de um sistema inteligente de controle. Esse sistema inteligente alterna entre a ventilação natural e a ventilação mecânica, com a intenção de minimizar o consumo de energia elétrica e os custos de operação dos sistemas de ar-condicionado (HEISELBERG, 2002; BRAGER, 2006). De maneira geral, os edifícios híbridos apresentam um consumo de energia elétrica inferior aos edifícios condicionados artificialmente (LOMAS, COOK e FIALA, 2007).

Pesquisas sobre o desempenho de sistemas de ventilação híbrida foram realizadas por Mankibi et al. (2006), Jreijiry, Husaunndee e Inard (2007), Niachou et al. (2008), Brager e Baker (2008), Kim e Hwang (2009) e por Ji, Lomas e Cook (2009), demonstrando um bom desempenho da estratégia híbrida de ventilação.

Niachou et al. (2008) monitoraram sistemas de ventilação natural, mecânicos e híbridos em três edifícios típicos, localizados em áreas com alta densidade em Atenas (Grécia), durante o verão. Atenas possui clima subtropical mediterrâneo. As medições foram baseadas no método do gás traçador. Em um dos edifícios utilizou-se o gás  $N_2O$ , enquanto que nos outros dois prédios utilizou-se dois gases:  $N_2O$  e  $SF_6$ . Foi utilizado o sistema de Bruel e Kjaer para a aquisição do gás traçador. Esse sistema é composto por um monitor de gás fotoacústico, um *sampler*, uma unidade dosadora de gás e um computador. O princípio de medição do monitor de gás é baseado no método de detecção infravermelha fotoacústica. Em todos os experimentos, o período de amostragem mínimo de um canal a outro foi de 1 min. Foram inseridos seis medidores de injeção em cada apartamento de cada edificação. Ventiladores foram utilizados para estabelecer uma concentração uniforme de gás traçador durante a fase de injeção dentro dos espaços ventilados. Foram estudadas 12

configurações de ventilação híbrida. A partir do cálculo da idade média do ar da sala foi possível estimar as eficiências das taxas de renovação de ar internas por meio de expressões matemáticas. Através da comparação dos resultados, os autores demonstraram que, em situações onde havia baixas velocidades do ar ou em ambientes com somente uma fachada com área de abertura, a ventilação híbrida apresentava maiores taxas de renovação de ar do que os sistemas de ventilação natural e mecânicos. Já quando era possível realizar a ventilação cruzada e/ou existiam elevadas velocidades do ar, a ventilação natural era mais efetiva que a mecânica.

Os experimentos de Niachou et al. (2008) foram realizados com todas as portas internas abertas, fato esse que tende a valorizar a ventilação natural e diminuir o desempenho do sistema de ventilação mecânica.

Já Mankibi et al. (2006) estudaram uma sala hipotética, localizada em Copenhague (Dinamarca), que possui clima continental úmido. A sala foi equipada primeiramente com um sistema de ventilação natural e posteriormente com um sistema mecânico. Dois sistemas mecânicos de referência (um com recuperador de calor) e um sistema híbrido de ventilação foram examinados. As simulações foram realizadas em dois programas (SPARK e HYBCELL1.0), considerando o fluxo de ar, transferência de calor e a concentração de CO<sub>2</sub>. O controle de concentração de CO<sub>2</sub> somente foi realizado no sistema híbrido. Porém, foram realizadas medições de concentração em todos os sistemas. O padrão de abertura das janelas foi baseado na temperatura, sendo esta definida como parâmetro de conforto térmico. Quando a janela estava aberta, a taxa de renovação do ar não dependia das condições externas; assumiu-se um valor constante para todas as simulações. Através dos resultados, os autores concluíram que, no inverno e na primavera, o sistema híbrido de ventilação consumia mais energia elétrica (sendo a diferença mais significativa no inverno). Porém, garantia níveis de concentração de CO<sub>2</sub> menores que os sistemas mecânicos. Já no verão, o sistema híbrido consumia muito menos energia elétrica que os sistemas mecânicos, enquanto garantia níveis de CO<sub>2</sub> ligeiramente maiores que os sistemas de referência.

A análise de conforto térmico realizada por Mankibi et al. (2006) foi muito limitada, pois somente baseou-se na temperatura. Já Jreijiry, Husaunndee e Inard (2007) consideraram

em seu trabalho a temperatura operativa. Eles estudaram sistemas híbridos de ventilação em edificações residenciais. Modelaram um sistema de ventilação mecânica, usado como referência, e um sistema híbrido de ventilação operando com dois tipos de controle: por presença dos ocupantes e por concentração de CO<sub>2</sub>. Uma residência de referência foi utilizada, a qual foi localizada em quatro cidades da Europa: Trappes (França), Estocolmo (Suécia), Atenas (Grécia) e Nice (França), englobando os climas temperado (Trappes), frio (Estocolmo) e quente (Atenas e Nice). As simulações foram realizadas nos programas *SIMBAD Building* e *HVAC Toolbox*. A análise levou em consideração a qualidade do ar interno, o conforto térmico, o consumo de energia elétrica e a estabilidade das estratégias de controle. Os resultados demonstraram que o sistema híbrido de ventilação melhorava a qualidade do ar interno, reduzia o consumo do ventilador e mantinha o mesmo consumo em aquecimento, quando comparado ao sistema de referência.

Porém, a análise de conforto térmico realizada por Jreijiry, Husaunndee e Inard (2007) também foi limitada, pois somente baseou-se na temperatura operativa, limitada em 26°C. Certo controle de umidade foi empregado na cozinha e no banheiro, onde o acionamento dos ventiladores era efetivado quando a umidade relativa excedia os 60%. Entretanto, esse acionamento não garantia que a umidade relativa manter-se-ia abaixo dos 60%, pois isso dependeria das condições do ar externo.

Uma análise mais detalhada de conforto foi realizada por Kim e Hwang (2009). Os autores estudaram numericamente o desempenho de um sistema de ventilação híbrida em um edifício localizado em Seul (Coreia do Sul). Seul possui clima subtropical úmido e é caracterizada por verões quentes e úmidos. O sistema híbrido funcionava com entrada de ar natural e exaustão de ar mecânica. As análises foram feitas por dinâmica dos fluidos computacional para taxas de infiltração de ar de 30, 60 e 120 m<sup>3</sup>/h. O conforto térmico foi avaliado por temperatura operativa, velocidade do ar e por gradiente de temperatura vertical. Os resultados indicaram que a taxa de infiltração de ar de 60 m<sup>3</sup>/h satisfazia os critérios de conforto, enquanto que as demais taxas de infiltração de ar, não atendiam os critérios de temperatura, nem de velocidade do ar estabelecidos pelos autores.

Todavia, novamente, no trabalho de Kim e Hwang (2009), não se considerou a umidade, desta forma podendo não haver conforto para os usuários.

Do mesmo modo, Ji, Lomas e Cook (2009), não consideraram o controle de umidade em seu trabalho. Eles estudaram um sistema de ventilação híbrida na fase de projeto de um edifício de baixo consumo de energia em Hangzhou (sul da China). O sistema híbrido funcionava da seguinte maneira: o sistema mecânico operava durante o verão e o inverno e, nos demais períodos do ano era utilizado o sistema de ventilação natural (que foi modelado por dinâmica dos fluidos computacional pelo programa ANSYS CFX). O desempenho térmico da edificação foi avaliado por meio do programa *IES Virtual Environment*. Os resultados das simulações mostraram que a ventilação natural possuía bom desempenho nas estações intermediárias. Através dessa constatação e dos resultados de desempenho da edificação, os autores concluíram que o sistema híbrido de ventilação era viável, mesmo no clima subtropical úmido do sul da China. Por fim, os resultados de potenciais de economia em resfriamento do sistema híbrido, quando comparado ao sistema mecânico (operando o ano inteiro) eram da ordem de 30-35%.

Como já foi dito, para a avaliação da edificação, Ji, Lomas e Cook (2009) não consideraram o controle de umidade (uso de desumidificador). Porém, esse fato, na opinião dos autores, não alteraria os valores de potenciais de economia, pois na realidade ambos os sistemas de condicionamento (mecânico e híbrido) empregam esse dispositivo.

Já Brager e Baker (2008), compararam os dados de desempenho ambiental (conforto térmico, qualidade do ar, acústica, iluminação, entre outros) de doze edificações comerciais híbridas, com os dados de 358 edifícios comerciais, que utilizavam sistemas de ar-condicionado convencional. Os dados desses edifícios foram provenientes de um banco de dados criado pelo *Center for the Built Environment*, da Universidade da Califórnia. Os dados cobrem diferentes climas, sendo a maioria deles provenientes de edifícios localizados na América do Norte. Esses dados foram obtidos através de avaliações de satisfação do usuário, com relação ao seu ambiente de trabalho. Essas avaliações foram realizadas por meio de questionários que empregavam uma escala de 7 pontos

de satisfação, que variava entre muito satisfeito (+3) e muito insatisfeito (-3), com um ponto neutro (0). Através dos resultados, os autores concluíram que, na média, o desempenho das edificações híbridas (principalmente no que diz respeito ao conforto térmico e a qualidade do ar) é significativamente melhor que dos demais 358 edifícios.

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DE JANELA

Nesta seção são descritos, brevemente, dois métodos para dimensionamento de aberturas. O primeiro deles é baseado no consumo de energia elétrica e o outro é fundamentado na taxa de renovação do ar.

### 2.4.1 Método baseado no consumo de energia elétrica

Inanici e Demirbilek (2000) estabeleceram tamanhos ótimos de janelas baseados no desempenho térmico (avaliado pelo consumo anual de energia elétrica) de edificações residenciais condicionadas artificialmente, em cinco cidades da Turquia - Antalya, Diyarbakir, Izmir, Ancara e Erzurum. As janelas eram orientadas a sul. Os tamanhos ótimos de janelas foram determinados a partir da investigação de seis diferentes geometrias e de oito tamanhos de janelas por geometria, através do programa de análise térmica SUNCODE-PC. Os resultados para as cidades mais quentes (Antalya, Diyarbakir e Izmir) apontaram para um tamanho ótimo de janela de 25% da área da fachada; já para as cidades de climas mais frios, o tamanho ótimo de janela foi de 50% da área da fachada para Ancara e de 70% da área da fachada para Erzurum.

Kontoleon e Bikas (2002) analisaram a influência que diferentes tipos de vidros e áreas de janela (que foram variadas de 0 a 100% da área da fachada em contato com o exterior, localizada a sul) exercem no consumo de energia elétrica em uma edificação condicionada artificialmente, localizada na latitude 40° norte. Para tanto, empregaram a analogia entre as leis da térmica e da elétrica, criando circuitos térmicos que foram analisados em um programa computacional desenvolvido pelos autores. Através dos resultados da aplicação deste método, os pesquisadores conseguiram obter o consumo de energia elétrica em aquecimento e em resfriamento em função da área de janela.

Assim, puderam identificar qual era a área ótima de janela para cada caso de estudo. No geral, quando se utilizou vidro duplo e isolamento do piso e teto pelo exterior, a área ótima de janela para o inverno foi de 70% da área da fachada, e de 50% da área da fachada quando se usou isolamento pelo interior. Para o verão, os valores foram de 40% da área da fachada e de 20% da área da fachada, respectivamente.

Ghisi e Tinker (2005) desenvolveram um método para estimar área de janela em edificações comerciais condicionadas artificialmente, quando há integração da iluminação natural ao sistema de iluminação artificial. Na definição dos autores, a área de janela é a área que leva a um menor consumo de energia elétrica. O método foi desenvolvido estudando-se diversas geometrias e dimensões de ambientes localizados nas quatro orientações principais, variando-se a área de janela de 0 a 100%, com incrementos de 10%. O método foi aplicado para duas cidades: Florianópolis e Leeds (Inglaterra). Para Florianópolis, para as salas mais largas, a área de vidro variou de 10 a 33% da área da fachada, e, para as salas mais profundas a área de vidro variou de 20 a 81% da área da fachada, sendo que os valores máximos foram obtidos para a orientação sul. Já para Leeds, para as salas mais largas, a área de vidro variou de 7 a 49% da área da fachada e, para as salas mais profundas a área de vidro variou de 9 a 87% da área da fachada, sendo que os valores máximos foram obtidos para a orientação norte.

#### **2.4.2 Método baseado na taxa de renovação do ar**

Stephan, Bastide e Wurtz (2011) propuseram um método para dimensionar aberturas em edifícios ventilados naturalmente, baseados na taxa de renovação do ar e no conforto térmico. O método utiliza-se do programa SPARK, para a resolução das equações de balanço de energia e de fluxo de ar. O dimensionamento era realizado de modo a garantir uma taxa mínima de renovação do ar (definida pelo projetista/pesquisador). O critério de conforto foi baseado em temperatura de conforto para a França (definida por MCCARTNEY e NICOL, 2002), para edificações condicionadas naturalmente. Através desse valor, os autores avaliaram o conforto por graus-hora de temperatura operativa. Desta maneira, as dimensões ótimas da janela eram aquelas que garantiam a taxa mínima de renovação do ar

definida e que conduzia ao menor valor de graus-hora de temperatura operativa.

Stephan, Bastide e Wurtz (2011) aplicaram o método em um ambiente de 28m<sup>2</sup>, com duas janelas (orientadas a oeste e leste), relativo a uma edificação residencial em Cargèse (França). Ao invés de praticarem um estudo paramétrico para analisar o tamanho das aberturas - o que envolveria inúmeras variáveis - utilizaram-se do programa GenOPT, que identificava quais eram as variáveis que levariam a um melhor desempenho térmico. Assim, o tamanho das janelas dimensionado foi de 1,5m x 0,3m.

## 2.5 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO

Atualmente, existem diversos programas de simulação termo-energética disponíveis no mercado, tais como: TRNSYS, *EnergyPlus*, *eQuest* e *ESP-r*. A opção por um desses programas depende da finalidade de uso. Como neste trabalho se estuda a iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial e a ventilação híbrida, optou-se pela escolha do programa *EnergyPlus*, além de ser um programa gratuito e reconhecido internacionalmente. Porém, existem evidências (discutidas a seguir) que relatam que o mesmo não simula adequadamente a iluminação natural. Assim, seria prudente utilizar outro programa que simule a iluminação natural, tal como o *Adeline*, *Daysim*, *Superlink* ou *SPOT*. O programa utilizado é o *Daysim* 3.0, pois os resultados das simulações neste podem ser integrados no *EnergyPlus*.

### 2.5.1 EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um programa de análise de energia, desenvolvido com base nos programas BLAST e DOE-2, que simula aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação, outros fluxos de energia e uso de água em edificações. Os dados de entrada (*input data*) para as simulações são: (a) definidos pelo usuário, sendo que por meio de um *plugin* (*OpenStudio*) do *SketchUp* é possível modelar a geometria do ambiente e exportá-la para o *EnergyPlus* e (b) um arquivo climático local que contenha informações básicas tais como latitude, longitude, temperatura, umidade, dentre outras. O programa gera relatórios em função das variáveis requeridas pelo usuário, as quais

servem de base para as análises de energia (CRAWLEY et al., 1999; CRAWLEY et al., 2001; ENERGYPLUS, 2011).

Como foi mencionado anteriormente, o *EnergyPlus* possui modelos para simulação da iluminação natural. Porém, existem evidências que mostram que seu algoritmo superestima os valores de iluminâncias internas.

Loutzenhiser, Maxwell e Manz (2007) estudaram a iluminação natural de salas por meio de simulações computacionais e experimentos. Realizaram medições de iluminâncias internas e calcularam essas iluminâncias no programa *EnergyPlus*. A média das diferenças entre os pontos de referências das medições e o *EnergyPlus* foi de 119,2%.

Ramos (2008) estudou a simulação da iluminação natural baseada nos níveis de iluminação natural interna gerados pelas simulações nos programas *EnergyPlus* e *Daysim*. Demonstrou que o *EnergyPlus* apresenta deficiências no cálculo da refletância interna, o que conduz a valores superestimados de iluminância interna. Notadamente em salas profundas, o programa superestima os valores de iluminância para os pontos mais afastados da abertura. Assim, pode apresentar valores 100% superiores aos valores simulados pelo *Daysim* - resultado esse que vai ao encontro do trabalho de Loutzenhiser, Maxwell e Manz (2007). Isso ocorre porque nesses pontos os resultados das iluminâncias dependem, principalmente, da parcela de luz refletida no interior (RAMOS e GHISI, 2008, 2010 a, 2010 b).

Essas conclusões também foram relatadas por Didoné (2009) e, Versage, Melo e Lamberts (2010), que do mesmo modo, examinaram a influência em se modelar a iluminação natural pelo *EnergyPlus* e pelo *Daysim*. Além disso, demonstraram que os altos níveis de iluminação, resultantes das simulações no *EnergyPlus*, reduzem o consumo de energia elétrica em iluminação, o que leva a uma redução do consumo do sistema de ar-condicionado. Assim, ocorre uma redução do consumo total de energia elétrica da edificação em estudo, quando comparado ao consumo de energia elétrica proveniente da simulação integrada entre o *Daysim* e o *EnergyPlus*.

Já com relação à simulação da ventilação natural, o *EnergyPlus* utiliza um modelo de rede de ventilação (*airflow network*), que necessita de um padrão de abertura das janelas e portas. De acordo com Rijal et al. (2007), o comportamento do usuário no padrão de abertura e fechamento de janelas tem sido

modelado de diferentes maneiras pelos pesquisadores quando estes querem simular a ventilação natural em edificações:

- Uma *schedule* de abertura das janelas é assumida baseada na ocupação da edificação, baseando-se ou não em pesquisas de campo;

- A abertura da janela é controlada por temperatura, entalpia, umidade, vento, chuva ou baseada em suposições sobre o comportamento dos usuários;

- As janelas são operadas de modo a garantir determinado fluxo de ar ou taxa de infiltração de ar.

Cada uma dessas considerações conduz a resultados diferentes (RIJAL et al., 2007) sendo que o importante é tentar reproduzir o real comportamento da abertura das janelas, sejam elas operáveis pelos usuários ou controladas automaticamente.

Desses padrões de abertura, no *EnergyPlus* é possível controlar as aberturas por *schedule*, por temperatura ou por entalpia.

### 2.5.2 Daysim

O *Daysim* é uma ferramenta de simulação da luz natural em ambientes, utilizada para calcular o perfil anual de luminâncias e iluminâncias internas. Para os cálculos, o programa utiliza um arquivo climático (o mesmo utilizado pelo *EnergyPlus*). Porém, antes faz uma conversão dos dados em base horária para base sub-horária. A modelagem geométrica do ambiente em estudo é feita de modo tridimensional e pode ser importada do *AutoCAD*, *Ecotect* ou do *Sketchup* (REINHART, 2010).

Reinhart e Walkenhorst (2001) validaram o *Daysim* e explicam que o programa é baseado no algoritmo do programa *Radiance* - que utiliza o método do raio traçado (*raytrace*) - e que emprega os conceitos de coeficientes de luz natural (*daylight coefficients*) definidos por Tregenza e Waters (1983) e o modelo de céu de Perez (PEREZ et al., 1990; PEREZ, SEALS e MICHALSKY, 1993) para simular iluminâncias internas sobre diferentes condições de céu.

De acordo com Reinhart (2004) e Bourgeios, Reinhart e Macdonald (2006), o *Daysim* agrega um algoritmo comportamental, chamado *Lightswitch*, que prevê o desempenho energético de iluminação de sistemas de iluminação artificial e de mecanismos de sombreamento controlados manualmente e

automaticamente. O *Daysim* 3.0 (REINHART, 2010) gera automaticamente *schedules* horárias anuais de ocupação, cargas elétricas de iluminação e de status do dispositivo de sombreamento. Essas agendas são lidas como dado de entrada em programas de simulação térmica, tais como o TRNSYS, *EnergyPlus*, *eQuest* e *ESP-r*. Desta forma, é possível fazer simulações integradas entre iluminação natural e térmica (REINHART e WIENOLD, 2011).

Pesquisas sobre essa integração entre o *Daysim* e o *EnergyPlus* já foram realizadas. Didoné (2009), Didoné e Pereira (2010) e, Versage, Melo e Lamberts (2010), utilizaram a versão 2.0 do *Daysim*. Já Reinhart e Wienold (2011), utilizaram a versão 3.0 do *Daysim*. Esses autores mostraram a boa aplicabilidade deste artifício de simulação.

## 2.6 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

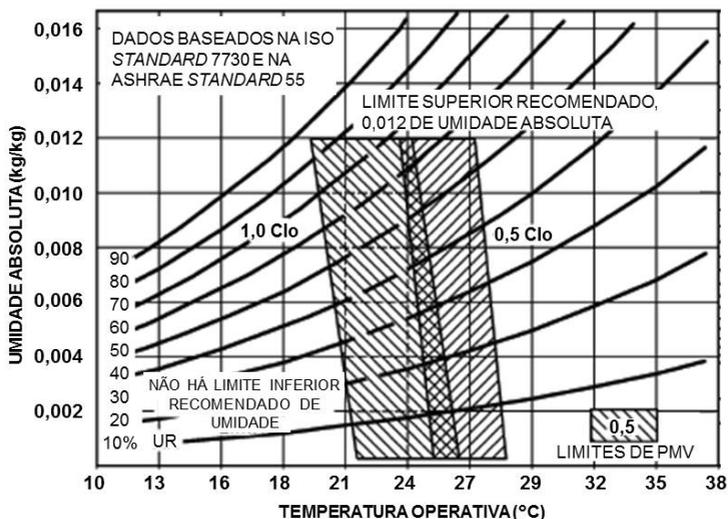
Atualmente, não existe método de avaliação de conforto térmico para edificações comerciais híbridas. Desta forma, é necessário escolher algum método existente para avaliar o conforto neste tipo de edificações. Existem alguns métodos para avaliação de conforto térmico em ambientes não condicionados artificialmente. Esses métodos podem ser aplicados no momento da análise dos resultados da simulação termo-energética da edificação em estudo e/ou diretamente nas condições externas do local. Desta forma, pode-se avaliar as condições ambientais do espaço com as condições aceitáveis estabelecidas pelos métodos.

A seguir são apresentados três métodos, amplamente utilizados tanto em pesquisas científicas quanto por profissionais da área de conforto.

### 2.6.1 Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente

O método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente pode ser visualizado na Figura 1, em que constam as faixas aceitáveis de temperatura operativa e de umidade absoluta para 80% de aceitabilidade. Este método foi originalmente desenvolvido para ambientes climatizados artificialmente (ASHRAE RP-884, 1997). Porém, da maneira

como foi publicado na ASHRAE 55 de 2004, este método é aceito como aplicável para todas as condições (DE DEAR e BRAGER, 2002).



**Figura 1: Faixas aceitáveis de temperatura operativa e umidade para ambientes climatizados artificialmente. Fonte: ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009.**

### 2.6.2 Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente

A ASHRAE Standard 55 (2004) apresenta um método alternativo para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente. As temperaturas operativas internas aceitáveis são determinadas pela Figura 2. Essa figura foi baseada em um modelo adaptativo de conforto térmico proveniente de um banco de dados com 21 mil medições realizadas em edifícios localizados nos quatro continentes e em várias zonas climáticas (DE DEAR e BRAGER, 2002). Esta figura apresenta duas faixas de temperaturas operativas limites (90% e 80% de aceitabilidade), sendo a faixa de 90% utilizada quando se deseja altos níveis de conforto térmico. A Figura 2 foi elaborada por De Dear e Brager (2002) com base na temperatura operativa de conforto (Equação 1), derivada do estudo da ASHRAE RP-

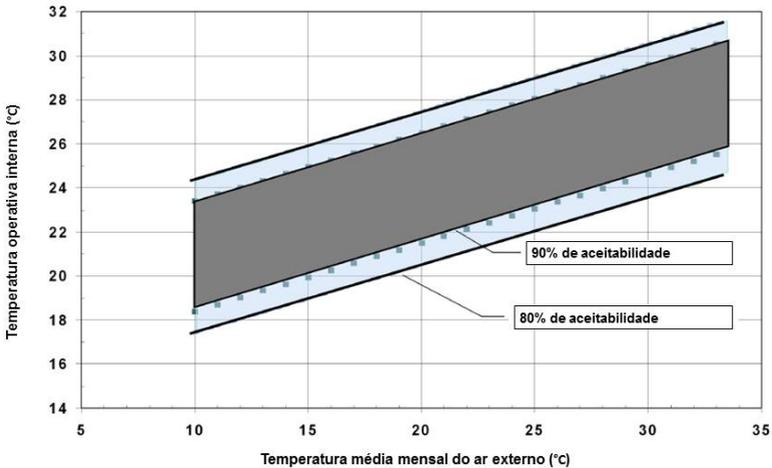
884. A partir dessa equação, De Dear e Brager (2002) estabeleceram uma faixa de temperatura operativa de  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  para 90% de aceitabilidade e, de  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  para 80% de aceitabilidade.

$$T_{\text{conf}} = 0,31 \cdot T_{\text{mext}} + 17,8 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$T_{\text{conf}}$  é a temperatura operativa de conforto ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $T_{\text{mext}}$  é a temperatura média mensal do ar externo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

As temperaturas operativas limites da Figura 2 não devem ser extrapoladas para além dos seus limites de temperatura exterior. Por este método, os efeitos de desconforto local e de adaptação da vestimenta das pessoas ao espaço condicionado naturalmente já são considerados na Figura 2. Porém, o método não impõe limites de umidade do ar nem de velocidade do vento.

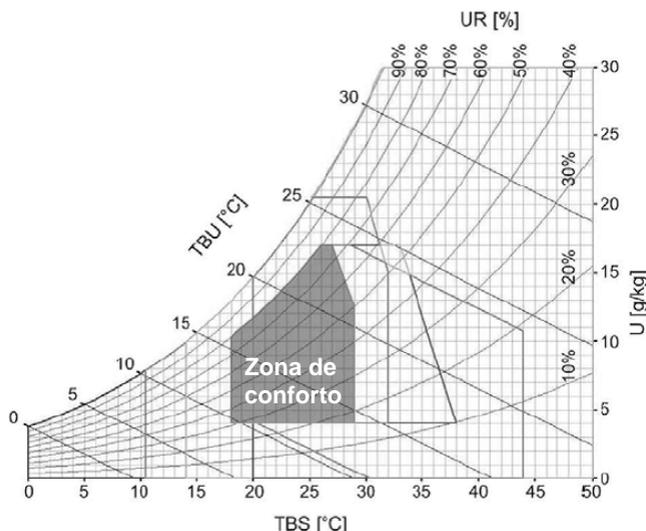


**Figura 2: Faixas aceitáveis de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente. Fonte: ASHRAE Standard 55, 2004.**

### 2.6.3 Carta de Givoni

Givoni (1992) criticou o método de avaliação de conforto da ASHRAE Standard 55, afirmando que é razoável assumir que

pessoas em países quentes, em desenvolvimento, vivem em edificações não condicionadas artificialmente. Desta maneira, estas pessoas estariam aclimatadas (o que não é considerado no método original da ASHRAE Standard 55 para ambientes climatizados artificialmente), tolerando maiores temperaturas e umidades. Partindo dessa premissa, a carta de Givoni (Figura 3) é baseada em temperaturas internas de edificações sem condicionamento artificial e estabelece uma zona de conforto térmico adaptada para países de clima quente e úmido.



**Figura 3: Zona de conforto térmico para climas quentes e úmidos. Adaptada de Givoni, 1992.**

## 2.7 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho teve como foco principal revisar pesquisas realizadas nas áreas de iluminação natural e ventilação híbrida.

No campo da iluminação natural, muitos trabalhos tratam sobre a economia de sistemas de iluminação quando integrados aos sistemas de iluminação artificial. Nos trabalhos sobre ventilação, percebe-se que os pesquisadores, utilizando-se de diferentes critérios de conforto (baseados principalmente na temperatura), não consideraram a umidade, o que pode conduzir a desconforto térmico dos ocupantes das edificações.

De modo geral, notou-se que a maioria dos trabalhos tem seu enfoque em analisar aberturas e não dimensioná-las. Deste modo, somente mostrou-se dois métodos para dimensionamento de aberturas, um sendo baseado no consumo de energia elétrica e o outro fundamentado na taxa de renovação do ar. Nenhum desses métodos considerou, simultaneamente, o aproveitamento da luz natural e a incorporação da ventilação híbrida.

Além disso, percebeu-se que, nesses métodos de dimensionamento existentes na literatura, o único apresentado que tentou garantir conforto térmico foi o trabalho baseado na taxa de renovação do ar (STEPHAN, BASTIDE e WURTZ, 2011), que foi fundamentado na temperatura de conforto para a França. Entretanto, essa temperatura foi definida para edificações condicionadas artificialmente (MCCARTNEY e NICOL, 2002) e foi aplicada por Stephan, Bastide e Wurtz (2011) em edificações ventiladas naturalmente.

Nos trabalhos sobre ventilação híbrida, nenhum dos estudos apresentados avaliou a satisfação dos usuários especificamente ao padrão de uso da ventilação híbrida (sistema de ar-condicionado sendo ligado e desligado durante o período de ocupação da edificação).

Também nessa revisão, citou-se alguns dos programas de simulação computacional utilizados pelos pesquisadores e explicou-se, brevemente, os dois programas que são utilizados neste trabalho de modo integrado: *Daysim* e *EnergyPlus*.

Por fim, apresentou-se alguns métodos existentes para a avaliação de conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados. Ressalta-se que até o presente momento não há método de avaliação de conforto térmico específico para edificações comerciais híbridas. Por causa disso é necessário escolher algum método existente para avaliar o conforto neste tipo de edificações.

A partir da revisão bibliográfica, surgiu o conceito de área de janela, definida como sendo a área que leva a um menor consumo total de eletricidade. Assim, neste trabalho, pretende-se incluir no processo de pré-dimensionamento de área de janela, a integração da iluminação natural ao sistema de iluminação artificial e a ventilação híbrida. Esta última terá o seu funcionamento controlado de modo a garantir conforto térmico, considerando a umidade, para edificações localizadas em clima com verão quente e úmido.

### 3. MÉTODO

Neste capítulo é descrito o método proposto para alcançar os objetivos dessa pesquisa, bem como as ferramentas necessárias para a sua realização.

A pesquisa tem caráter quantitativo e é baseada em resultados de simulações computacionais.

A primeira etapa do método consiste na definição dos modelos de ambientes de edifícios comerciais, que são examinados por quatro estudos de caso. No Caso 1 (referência), a edificação opera com sistemas de iluminação e de condicionamento artificiais; no Caso 2, ocorre a integração da iluminação natural com a artificial, com condicionamento artificial; já no Caso 3 se utiliza a ventilação híbrida e iluminação artificial; no Caso 4 se utiliza a iluminação natural integrada com a artificial e a ventilação híbrida.

As simulações de iluminação natural (Caso 2 e 4) foram realizadas no programa *Daysim*. As *schedules* de controle da iluminação artificial, geradas pelo mesmo, foram inseridas como dado de entrada no programa *EnergyPlus*, que completou a análise termo-energética

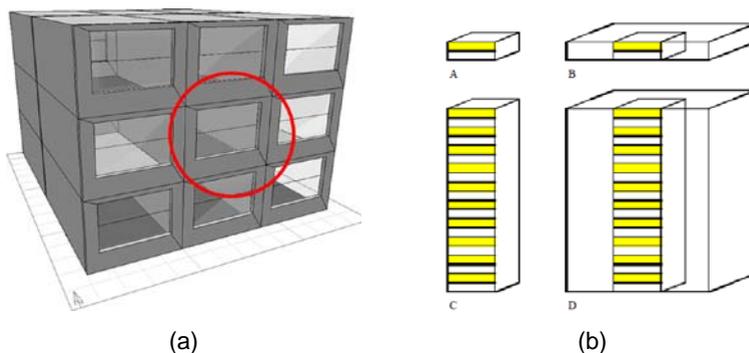
A partir do Caso 3 foram realizadas simulações computacionais, englobando a ventilação híbrida, onde se alternou entre a ventilação natural e o condicionamento artificial, de acordo com as condições ambientais. Porém, antes de simular, definiu-se qual seria o método de avaliação de conforto mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas, localizadas em clima com verão quente e úmido.

Já no Caso 4, considerando os resultados das simulações de iluminação natural realizadas no *Daysim*, foram realizadas simulações no *EnergyPlus*, incluindo a ventilação natural e o sistema de ar-condicionado (ventilação híbrida).

Os resultados das simulações foram devidamente tabulados e, a partir destes, foi possível obter a área de janela para os modelos de ambiente, bem como fazer comparações energéticas entre os estudos de caso. Também se realizou uma análise da expectativa do usuário com relação a hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida.

### 3.1 MODELOS DE AMBIENTE

Este trabalho aborda edifícios do tipo comercial. Deste modo, buscou-se na literatura como tem sido considerado este tipo de edificação nas simulações termo-energéticas. Reinhart e Wienold (2011) consideraram para as simulações térmicas que o ambiente em estudo (Figura 4(a)) estava delimitado em cinco lados por ambientes similares, assim as paredes internas, o teto e o piso foram modeladas como sendo adiabáticas.



**Figura 4: Modelo geométrico adotado por Reinhart e Wienold (2011) (a) e Ghisi (2002) (b).**

Ghisi (2002) testou quatro modelos de geometria (Figura 4(b)): o modelo A é uma edificação de um pavimento que possui todas suas extremidades voltadas para o exterior, o modelo B é uma edificação de um pavimento que possui somente a fachada envidraçada voltada para o exterior e os modelos C e D são semelhantes aos modelos A e B, respectivamente, porém são compostos por 10 pavimentos. O autor concluiu, apoiado nos resultados de consumo de energia elétrica, que o modelo D (Figura 4(b)) representaria melhor a realidade, o que equivale ao modelo definido por Reinhart e Wienold (2011).

De maneira similar, Tian et al. (2010) e, Bodart e Herde (2002) consideraram, em suas respectivas pesquisas, um modelo de sala em que somente a parede com janela voltada ao exterior não foi considerada adiabática.

Com base nesses estudos, neste trabalho foi utilizada uma sala como modelo de ambiente para as simulações, na qual o teto, o piso e as paredes internas são adiabáticos.

Decidido o modelo de ambiente para as simulações, segue-se com as definições das geometrias, que são fundamentadas nos manuais luminotécnicos e no trabalho de Ghisi (2002), que por sua vez são baseadas no índice de ambiente (K), definido pela Equação 2. Nos manuais luminotécnicos, normalmente, os índices de ambiente variam entre 0,6 e 5,0. Neste trabalho, serão estudados três índices: 0,8, 2,0 e 5,0. A altura dos ambientes foi fixada em 2,80m e a altura do plano de trabalho em 0,75m em relação ao piso.

$$K = \frac{L \cdot P}{(L + P) \cdot h} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

L é a largura da sala (metros);

P é a profundidade da sala (metros);

h é a altura de montagem entre a superfície de trabalho e o teto (metros).

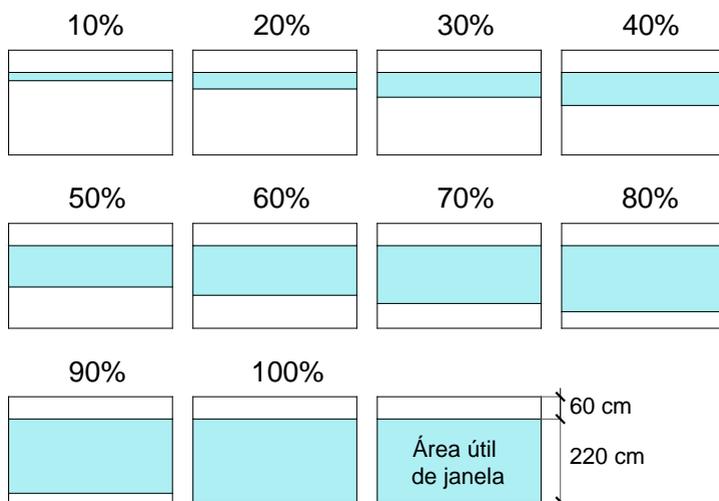
Dessa forma, e com o intuito de avaliar a influência que diferentes geometrias exercem no pré-dimensionamento de área de janela, foram definidas três geometrias nas proporções (Largura:Profundidade) de 2:1, 1:1 e 1:2. Em cada proporção foram estudados três casos, definidos pelo índice de ambiente, conforme Tabela 1. Em cada caso, foram variadas as áreas de janela de 10 a 100% da área útil de janela, com intervalos de 10%, e a orientação da fachada envidraçada (norte, sul, leste e oeste), conforme Figura 5. A janela começa a 60 cm da parte superior da fachada e possui a largura da fachada. A área útil de janela corresponde ao total de área da fachada que pode ser envidraçada, ou seja, desconta-se da área total da fachada a parcela relativa à viga.

A modelagem de cada geometria foi feita no programa *Sketchup 7.1*; no caso da modelagem para as simulações no *EnergyPlus* foi utilizado, dentro do *Sketchup*, o *plugin OpenStudio*.

Os modelos de ambiente definidos foram examinados por meio de simulações computacionais, de acordo com quatro estudos de caso.

**Tabela 1: Dimensões das salas para cada índice de ambiente e geometria.**

K	Geometria - Largura (L):Profundidade (P)					
	2:1		1:1		1:2	
	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)	L (m)	P (m)
0,80	4,92	2,46	3,28	3,28	2,46	4,92
2,00	12,30	6,15	8,20	8,20	6,15	12,30
5,00	30,75	15,38	20,50	20,50	15,38	30,75



**Figura 5: Área de janela para cada ambiente.**

Todas as simulações de iluminação natural foram realizadas no programa *Daysim* 3.0 e as análises termo-energéticas no programa *EnergyPlus* 6.0. Para as simulações, foram consideradas densidades de potência em iluminação (de modo a garantir um nível de iluminância mínimo de 500 lux) de acordo com o tamanho do ambiente, cargas térmicas internas e sistema de ar-condicionado. Para todas as simulações, tanto no *EnergyPlus* quanto no *Daysim*, foi utilizado o arquivo climático de Florianópolis TRY 1963, disponível no endereço eletrônico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2011).

## 3.2 ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO

Neste trabalho, a incorporação da ventilação híbrida foi realizada por meio de *schedules* de controle tanto do sistema de ar-condicionado quanto da ventilação natural. Estas *schedules* dependem das condições ambientais, as quais foram avaliadas por um método de conforto térmico. Porém, antes de determinar estas *schedules*, primeiramente é necessário definir este método de avaliação de conforto térmico.

Com a finalidade de definir qual o método de avaliação de conforto térmico é o mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas, localizadas em clima com verão quente e úmido (Florianópolis), foi realizado um estudo sobre os três métodos de avaliação de conforto apresentados na revisão bibliográfica: 1) método da ASHRAE 55 (2004) para ambientes climatizados artificialmente, 2) método da ASHRAE 55 (2004), específico para ambientes condicionados naturalmente e 3) método de Givoni (GIVONI, 1992) para climas quentes e úmidos.

### 3.2.1 Modelos de ambiente

Para este estudo, foram escolhidos os ambientes (conforme descritos em 3.1) com geometria de 2:1 e de 1:2, com índice de ambiente igual a 0,8 e 5,0. Estes estão apresentados na Tabela 1. Em cada ambiente foram variadas as áreas de janela em 10, 50 e 100% da área útil de janela, conforme Figura 5 e, a orientação da fachada envidraçada (sul e oeste).

### 3.2.2 Parâmetros gerais de simulação

A Tabela 2 expõe os parâmetros gerais de simulação que foram adotados no *EnergyPlus*. O algoritmo de condução definido foi o CTF (*Conduction Transfer Function*), pois este não necessita de um tempo de simulação computacional muito elevado. O algoritmo de convecção definido foi o TARP (*Thermal Analysis Research Program*), que considera a convecção natural e a forçada, variando os coeficientes de convecção em função das diferenças de temperatura. O *timestep* foi empregado no cálculo de balanço de calor, sendo que o valor de 6, significa que foi utilizado um passo de 10 minutos para os cálculos de transferência de calor. Esse valor de *timestep* foi definido com

base nas recomendações do *Input Output Reference* (ENERGYPLUS, 2010).

**Tabela 2: Parâmetros gerais de simulação no *EnergyPlus*.**

Parâmetro	Opção
Arquivo bioclimático	Florianópolis TRY 1963
Terreno	Cidade
Algoritmo de Convecção de Superfície: Interna	TARP
Algoritmo de Convecção de Superfície: Externa	TARP
Algoritmo de Condução	CTF
<i>Timestep</i>	6
Período de Simulação (horas)	8760

### 3.2.3 Cargas internas e padrão de ocupação

A densidade de potência em iluminação (DPI) foi determinada para cada ambiente da Tabela 1, a partir de projeto luminotécnico, que foi realizado pelo método dos lumens. A Tabela 3 apresenta o modelo de aplicação do método dos lumens, onde já constam os valores comuns a todos os ambientes. Foram utilizadas, para todos os ambientes, lâmpadas fluorescentes tubulares TL5-28W-HE/840 da Philips e luminárias modulares de embutir EcoFIX TBS262 também da Philips.

As demais cargas internas provenientes do uso da edificação estão apresentadas na Tabela 4. Essas cargas foram adicionadas nos períodos de ocupação da edificação (8 às 18 horas de segunda a sexta-feira). A ocupação e o consumo de equipamentos foram baseados no trabalho de Santana (2006), desenvolvido para 35 edifícios comerciais localizados em Florianópolis. O valor de atividade metabólica foi definido de acordo com o recomendado pela ANSI/ASHRAE Standard 55 (2004).

**Tabela 3: Características do modelo determinadas pelo método dos lumens.**

			Unidade	Valor
Descrição do ambiente	Comprimento (m)	a	m	variável
	Largura (m)	b	m	variável
	Área (m <sup>2</sup> )	A = a.b	m <sup>2</sup>	variável
	Pé-direito	H	m	2,8
	Altura do plano de trabalho	hpt	m	0,75
	Pé-direito útil	h=H-htp	m	2,05
	Índice do ambiente	K=(a.b)/(a+b).h	-	variável
	Fator de depreciação	Fd		0,8
	Coefficiente de reflexão do teto	$\rho_{\text{teto}}$	%	80
	Coefficiente de reflexão da parede	$\rho_{\text{parede}}$	%	50
Coefficiente de reflexão do piso	$\rho_{\text{piso}}$	%	30	
Características da iluminação	Iluminância média planejada	$E_m$	lx	500
	Temperatura de cor	-	K	4000
	Índice de reprodução de cor	-	IRC	85
Lâmpadas e luminárias	Tipo de lâmpada	-	-	TL5-28W-HE/840
	Potência da lâmpada	$P_{\text{lâmp}}$	W	28
	Fluxo luminoso de cada lâmpada	$\phi$	lm	2600
	Lâmpadas por luminária	Z	unid	2
	Tipo de luminária	-	-	EcoFIX TBS262228C6RL
	Fator de utilização	$F_u$	-	variável
	Quantidade de lâmpadas	$n=(E_m.A)/(\phi.F_u.F_d)$	unid	variável
	Quantidade final de lâmpadas	n	unid	variável
Cálculo de controle	Quantidade de luminárias	$N=n/Z$	unid	variável
	Quantidade final de luminárias	N	unid	variável
Consumo da instalação	Iluminância média alcançada	$E=(n.\phi.F_u.F_d)/A$	lx	variável
	Potência total instalada	$P_t=P_{\text{lâmp}}.n$	W	variável
	Densidade de potência	$DPI=P_t/A$	W/m <sup>2</sup>	variável

**Tabela 4: Cargas internas adotadas nas simulações.**

Cargas internas	Valor
Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	14,7
Atividade (W/m <sup>2</sup> )	65
Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	9,7

### 3.2.4 Componentes construtivos

Os componentes construtivos que foram considerados neste trabalho são baseados no trabalho de Santana (2006), com exceção do vidro, que é fundamentado no banco de dados do próprio *EnergyPlus*. A Tabela 5 apresenta a composição dos elementos construtivos, a Tabela 6 mostra as propriedades dos materiais constituintes das paredes, teto, piso e porta e, a Tabela 7 mostra as propriedades do vidro adotado para as simulações no *EnergyPlus*. Os valores de refletância das superfícies externas são calculadas pelo *EnergyPlus* a partir da absorptância solar e da absorptância visível do material em contato com o exterior.

**Tabela 5: Composição dos elementos construtivos.**

Elemento	Material	Espessura (m)	Espessura total (m)
Paredes	Argamassa de reboco	0,025	0,200
	Tijolo cerâmico 6 furos	0,150	
	Argamassa de reboco	0,025	
Piso	Laje de concreto	0,150	0,185
	Argamassa de reboco	0,025	
	Piso cerâmico	0,010	
Teto	Piso cerâmico	0,010	0,185
	Argamassa de reboco	0,025	
	Laje de concreto	0,150	
Porta	Madeira	0,030	0,030

Fonte: Adaptado de Santana (2006).

**Tabela 6: Propriedades dos componentes construtivos.**

Propriedade / Material	Argamassa de reboco	Tijolo cerâmico 6 furos	Laje de concreto	Piso cerâmico	Madeira
Rugosidade	rugoso	rugoso	rugoso	rugoso	liso
Condutividade (W/m.K)	1,15	0,90	1,75	0,90	0,15
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	2000,00	1600,00	2200,00	1600,00	614,00
Calor específico (J/kg.K)	1000,00	920,00	1000,00	920,00	2300,00
Absortância térmica	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Absortância solar	0,20	0,70	0,80	0,20	0,40
Absortância visível	0,20	0,70	0,80	0,20	0,40

Fonte: Adaptado de Santana (2006).

**Tabela 7: Propriedades do vidro.**

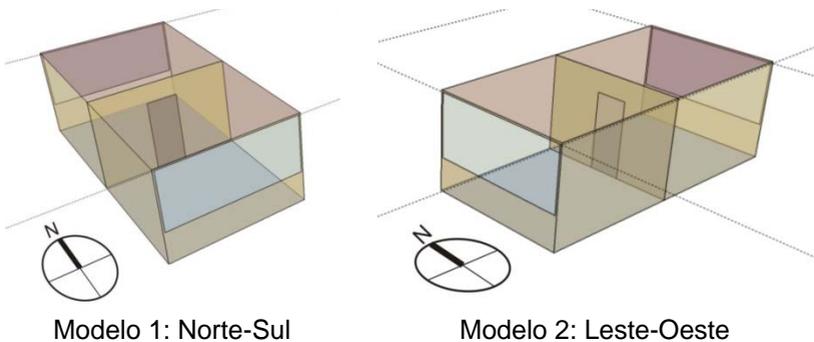
Material		Vidro Simples
Espessura (m)		0,006
Transmitância	Solar	0,775
	Visível	0,881
Refletância (ambas as faces)	Solar	0,071
	Visível	0,080
Emissividade (ambas as faces)		0,840
Condutividade (W/m.K)		0,900

Fonte: EnergyPlus/DataSets – v.6.0 (2010).

### 3.2.5 Simulação da ventilação natural

A simulação da ventilação natural foi feita através do modelo *Airflow Network*, multi-zona, sendo que os coeficientes de pressão do vento foram calculados pelo próprio *EnergyPlus*.

Essa simulação foi realizada para cada ambiente em estudo sempre aos pares de acordo com a Figura 6. O Modelo 1 é relativo às orientações Norte-Sul e o Modelo 2 é relativo às orientações Leste-Oeste. Isso foi feito porque o *Airflow Network* é um modelo de simulação que requer mais de uma zona para criar a rede de ventilação. Como se pode visualizar, na Figura 6 há uma porta interna separando os ambientes. A porta interna tem dimensões de 0,9m x 2,2m.



**Figura 6: Exemplo de modelos geométricos para as simulações**

Os itens de “a” a “e” descrevem, brevemente, alguns parâmetros necessários para a simulação e os valores que foram adotados.

a) O fator de abertura é de 1. O fator de abertura específica se as aberturas são operáveis (valor de 1) ou não operáveis (valor 0);

b) O tipo de controle da ventilação natural foi feito através da temperatura. Isto no *EnergyPlus* significa que as janelas são abertas se três requisitos forem cumpridos: a temperatura da zona for maior que a temperatura externa, a temperatura da zona for maior que a temperatura de *setpoint* para a ventilação natural e a *schedule* de controle da ventilação natural permitir a ventilação ( $T_{zona} > T_{ext}$  e  $T_{zona} > T_{set}$  e *schedule* de controle da ventilação natural for igual a 1). As temperaturas de *setpoint* para a ventilação natural são de 22°C e de 20°C, uma para o período de inverno (21/03 a 20/09) e outra para o período de verão (21/09 a 20/03), respectivamente, conforme recomendações de Sorgato (2009) para o clima de Florianópolis. Estas temperaturas de *setpoint* foram definidas com a finalidade de evitar grandes flutuações de temperatura quando há ventilação natural. A *schedule* de controle da ventilação natural é explicada no item 3.2.6. A simulação foi realizada para duas situações: (1) com a porta interna fechada e (2) com a mesma aberta, durante todo o período de simulação;

c) Os coeficientes e expoentes do fluxo de ar, quando a abertura está fechada, são dados pela Tabela 8. Estes parâmetros estão relacionados com as frestas existentes quando as portas e janelas estiverem fechadas;

**Tabela 8: Coeficientes (C) e expoentes (n) do fluxo de ar quando a abertura está fechada.**

Descrição do elemento	C (kg/s.m)	n
Janela de metal, 1 folha - deslizamento horizontal	0,0001	0,66
Porta interna de madeira, 1 folha pivotante	0,00204	0,59

Fonte: Adaptado de Liddament (1986).

d) O tipo de abertura é não pivotada. Especifica o tipo de aberturas: a opção não pivotada é relativa a portas e janelas normais;

e) O número de frações de abertura é igual a 2. Expõe a quantidade de frações de aberturas que as janelas e as portas têm, ou seja, as aberturas podem estar abertas ou fechadas. Definindo-se duas frações de abertura é necessário decidir mais alguns parâmetros apresentados na Tabela 9: o fator de abertura representa o fator de abertura das janelas e portas, sendo que o valor de 0 é relativo as janelas e portas fechadas e o valor de 1 quando estas estão abertas; o coeficiente de descarga para o fator de abertura é relativo à fração eficaz da ventilação natural das janelas e portas; o fator de largura para o fator de abertura é a razão da largura da abertura pela largura da janela ou da porta; o fator de altura para o fator de abertura é a razão da altura da abertura pela altura da janela ou da porta; o fator de altura inicial é a razão da altura do piso até a parte inferior da janela pela altura da janela ou da porta.

**Tabela 9: Número de frações de aberturas e detalhes das aberturas.**

Campo	Janelas	Portas
Número de frações de abertura	2	2
Fator de abertura 1	0	0
Coeficiente de descarga para o fator de abertura 1	0,001	0,001
Fator de largura para o fator de abertura 1	0	0
Fator de altura para o fator de abertura 1	1	1
Fator de altura inicial para o fator de abertura 1	0	0
Fator de abertura 2	1	1
Coeficiente de descarga para o fator de abertura 2	0,6	0,65
Fator de largura para o fator de abertura 2	1	1
Fator de altura para o fator de abertura 2	1	1
Fator de altura inicial para o fator de abertura 2	0	0

### 3.2.6 *Schedules* de controle da ventilação

A partir dos resultados das simulações de ventilação natural e com a finalidade de incorporar a ventilação híbrida, foram criadas *schedules* de funcionamento do sistema de ar-condicionado e *schedules* de funcionamento da ventilação natural, em planilhas. A *schedule* de funcionamento da ventilação natural é o inverso da *schedule* de funcionamento do sistema de ar-condicionado, ou seja, quando permitir-se a ventilação natural

restringe-se o uso do sistema de ar-condicionado e vice-versa. Essas *schedules* foram feitas em base horária para as 8760 horas do ano. Em cada hora, o valor na planilha correspondente a 0 (zero) significa que não há ventilação natural, apenas sistema de ar-condicionado, enquanto que o valor de 1 (um) expressa que a ventilação natural é permitida, sem uso do sistema de ar-condicionado.

Para a determinação destas *schedules*, primeiramente foi necessário definir qual o método de avaliação de conforto térmico que seria mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas, localizadas no clima de Florianópolis.

Como no clima estudado não se utiliza o sistema de ar-condicionado na função de aquecimento (SANTANA, 2006), somente será utilizado o sistema de ar-condicionado na função de resfriamento. Deste modo, só serão considerados os limites superiores impostos pelos métodos de avaliação de conforto, relativos às faixas/zonas de desconforto ao calor.

Os procedimentos de “a” a “c” foram feitos para as determinações das *schedules* nos períodos de ocupação da edificação (8 às 18 horas de segunda a sexta-feira).

a) Simulação da ventilação natural conforme descrito em 3.2.5, com a diferença de que nessa simulação foi permitida a ventilação natural pelas janelas das 8 às 18 horas de segunda a sexta-feira, sendo o controle da ventilação natural realizado por temperatura (se  $T_{z\text{ona}} > T_{\text{ext}}$  e  $T_{z\text{ona}} > T_{\text{set}}$  permite-se a ventilação natural). Nessa simulação foram obtidos os valores internos para cada ambiente de temperatura operativa ( $T_o$ ) temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa do ar (UR) e de umidade absoluta do ar (UA);

b) De posse desses resultados, foi feita a comparação com as zonas de conforto/faixas de aceitabilidade dos três métodos de conforto estudados neste trabalho, conforme 3.2.6.1, 3.2.6.2 e 3.2.6.3;

c) Assim, se os valores provenientes da simulação da ventilação natural estivessem abaixo dos limites máximos aceitáveis para conforto, permitiu-se a ventilação natural. Caso contrário, o sistema de ar-condicionado entrou em funcionamento. Cabe salientar que permitir a ventilação natural nesta etapa não significa necessariamente que a janela foi aberta

na simulação, pois isto ainda depende do controle de temperatura explicado anteriormente.

Nos demais horários de cada dia da semana foi permitida a ventilação natural (porém, novamente, a janela só foi aberta se satisfizesse os requisitos de temperatura) e, nos finais de semana, tanto o sistema de ar-condicionado quanto a ventilação natural não foram permitidos.

Para a identificação dos dias da semana em base horária utilizou-se o comando *Daytype Index* do *EnergyPlus*, que assinala ao lado de cada hora do ano, o dia correspondente conforme a Tabela 10.

**Tabela 10: Legenda do comando *Daytype Index*.**

Índice	Dia da semana
1	Domingo
2	Segunda-feira
3	Terça-feira
4	Quarta-feira
5	Quinta-feira
6	Sexta-feira
7	Sábado

### 3.2.6.1 Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente

Os resultados das simulações da ventilação natural, em base horária, de temperatura operativa e de umidade absoluta, foram comparados com as faixas aceitáveis de temperatura e umidade da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente (Figura 1). Portanto, de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas, se os valores de temperatura e de umidade se encontravam acima desta faixa aceitável, o sistema de ar-condicionado era ligado. Os resultados das simulações também foram plotados de forma gráfica. Como na ASHRAE 55 não constam os valores que delimitam as faixas aceitáveis (com exceção do limite superior de umidade absoluta, que é de 0,012

kg/kg), estimou-se estes valores baseando-se na Figura 1 e determinou-se essas faixas através das Equações 3 e 4.

$$UA_d = -0,0125 \cdot T_o + 0,3520 \quad \text{Eq. 3}$$

$$UA_e = -0,0071 \cdot T_o + 0,1534 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

$UA_d$  é a umidade absoluta da faixa da direita da Figura 1(kg/kg);  
 $UA_e$  é a umidade absoluta da faixa da esquerda da Figura 1(kg/kg);  
 $T_o$  é a temperatura operativa interna (°C).

### 3.2.6.2 Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente

Esse método pode ser aplicado para ambientes ventilados naturalmente, em que os ocupantes têm controle sobre as aberturas. Pelas especificações desse método, o ambiente não poderia ter sistema de ar-condicionado utilizado na função de resfriamento (ASHRAE 55, 2004). Todavia, este trabalho trata de edifícios híbridos, em que partes do ano a edificação operaria somente por ventilação natural (possuindo janelas operáveis). Além disso, considera-se que os usuários deste tipo de edificação tolerariam maiores variações de temperatura em relação àqueles que ocupam ambientes condicionados artificialmente. Esta constatação foi demonstrada pela ASHRAE RP-884. Assim, esse método foi aplicado nesta pesquisa.

Através dos resultados de temperaturas operativas internas, em base horária, e das temperaturas médias mensais do ar externo, foi possível determinar em quais horários as temperaturas internas do ambiente foram superiores às faixas aceitáveis estipuladas pela Figura 2. Quando foram superiores, o sistema de ar-condicionado foi ligado.

### 3.2.6.3 Carta de Givoni

Os valores de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade absoluta (UA) e de umidade relativa (UR), originários das simulações de ventilação natural, foram comparados com os limites máximos aceitos da zona de conforto da carta de Givoni

(Figura 3). Assim, o limite máximo aceitável de UR é de 80%. Até os 27°C de TBS, o limite máximo aceitável de UA é de 17 g/kg. De 27°C até 29°C de TBS, os limites máximos aceitáveis de UA são dados pela Equação 5, obtida através da carta de Givoni (1992). Se os valores de TBS, UR e UA, estiverem acima desses limites, o sistema de ar-condicionado entra em funcionamento.

$$UA = -2,25.TBS + 77,75 \quad , \quad 27^{\circ}\text{C} < TBS < 29^{\circ}\text{C} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

UA é a umidade absoluta (g/kg);

TBS é a temperatura de bulbo seco (°C).

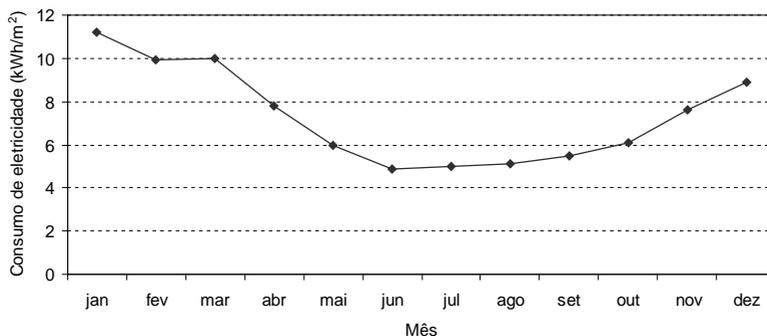
### 3.2.7 Tratamento dos dados

Os resultados das simulações de ventilação natural ( $T_o$ , TBS, UR e UA) foram plotados sobre os gráficos de cada um dos três métodos de avaliação de conforto estudados neste trabalho. No caso do método de Givoni, os valores de TBS, UA e UR, em base horária, foram plotados sobre a carta de Givoni, por meio do programa *Analysis Bio 2.2* (LabEEE, 2011).

Os valores (0 ou 1) das *schedules* de controle do sistema de ar-condicionado desenvolvidas para cada ambiente, pelos diferentes métodos de avaliação de conforto, foram somados ao longo do ano. Através desse somatório obteve-se como resultado o número total de horas no ano em que o sistema de ar-condicionado ficou ligado (denominado nesse trabalho simplesmente por número de horas), por cada um dos três métodos de avaliação de conforto, para cada ambiente. Esse número de horas representa o número de horas de desconforto térmico ao calor. Deste modo, foi possível comparar esse número de horas entre os métodos de avaliação de conforto, mês a mês e para o ano inteiro. Para facilitar a comparação entre os métodos, foram desenvolvidos gráficos com o número de horas ao longo do ano entre os métodos de avaliação de conforto, para um mesmo ambiente.

Também foram feitas correlações entre o número total de horas no ano em que o sistema de ar-condicionado estará ligado, por cada um dos três métodos de avaliação de conforto, e o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado da

tipologia predominante, conforme definida por Santana (2006). A partir de uma análise de 35 edifícios de escritórios localizados em Florianópolis, Santana (2006) definiu uma tipologia predominante para esta cidade. As análises foram realizadas com relação à caracterização construtiva e ao padrão de ocupação e uso de equipamentos. Através da simulação dessa tipologia a autora obteve o consumo de energia elétrica ao longo do ano (Figura 7).



**Figura 7: Consumo de energia elétrica da tipologia predominante. Adaptado de Santana, 2006.**

A partir desse gráfico de consumo (Figura 7) estimou-se o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado, baseado em uma estimativa do consumo de energia elétrica do aparelho de ar-condicionado. Essa estimativa teve de ser realizada, pois não se tem disponível dados reais de medições de consumo de eletricidade em sistemas de ar-condicionado, em edificações comerciais localizadas em Florianópolis. No trabalho de Santana (2006) também não constam os valores individualizados do consumo do sistema de ar-condicionado. Assim, para a determinação deste consumo, consideraram-se as afirmações e os resultados de Santana (2006). Deste modo, estipulou-se que, no mês de junho (menor consumo total de energia elétrica da tipologia predominante) o sistema de ar-condicionado permaneceu desligado (com número de horas igual a zero). Assim, estimou-se o consumo do sistema de ar-condicionado dos demais meses, diminuindo do consumo total de cada mês, o consumo do mês de junho. Para o cálculo do número de horas, aplicou-se a Equação 6. A área da sala da tipologia predominante

do estudo de Santana (2006) é de 88 m<sup>2</sup> (proporção de 1:1,4), e a potência do sistema de ar-condicionado desta sala de 3,51 kW.

$$NH = \frac{(CT-CJ).A}{P_{ot}} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

NH é o número de horas por mês de uso do sistema de ar-condicionado (horas);

CT é o consumo total de energia elétrica em determinado mês (kWh/m<sup>2</sup>);

CJ é o consumo total de energia elétrica no mês de junho (kWh/m<sup>2</sup>);

A é a área da sala (m<sup>2</sup>);

P<sub>ot</sub> é potência do sistema de ar-condicionado da sala (kW).

Deste modo, foram feitas correlações: (a) do número de horas de uso do sistema de ar-condicionado obtidos pelos diferentes métodos, com relação às variáveis externas e (b) do número de horas de uso do sistema de ar-condicionado obtidos pelos diferentes métodos, com relação ao número de horas de uso do sistema de ar-condicionado estimado da tipologia predominante, calculado por meio da Equação 6. Os resultados das correlações foram apresentados de forma gráfica. O valor de R<sup>2</sup> serviu para mostrar se o comportamento de cada método seguia o padrão de uso do sistema de ar-condicionado observado em Florianópolis. Porém, somente o valor de R<sup>2</sup> não é suficiente. Assim, nos gráficos de correlações do item “b”, acima descrito, foi traçada a bissetriz (considerada como o comportamento real de uso do sistema de ar-condicionado) em cada gráfico. Ressalta-se que ao realizar esta consideração, admitiu-se que o uso do sistema de ar-condicionado na tipologia predominante atende as condições de conforto térmico. Deste modo, foi possível verificar qual método mais se aproximou da bissetriz. Nesta análise, o método que mais se aproximou foi considerado o mais adequado.

A partir dessas comparações e do padrão de uso do sistema de ar-condicionado em Florianópolis, conforme definido por Moreira (2005), Santana (2006) e Coelho (2006), foi decidido qual é o método de avaliação de conforto mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais híbridas. A maior utilização do aparelho de ar-condicionado (na função de

resfriamento) em edifícios de escritórios, em Florianópolis, ocorre entre os meses de dezembro e março. Com exceção dos meses de junho, julho e agosto, os sistemas de ar-condicionado são acionados, eventualmente, durante todo o ano (MOREIRA, 2005; SANTANA, 2006; COELHO, 2006).

### 3.3 SIMULAÇÕES DO CASO 1: CASO BASE

A seguir são apresentadas as considerações que foram adotadas para as simulações no programa *EnergyPlus* para as três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por ambiente e quatro orientações.

#### 3.3.1 Parâmetros de simulação

Os parâmetros gerais de simulação, as cargas internas e padrão de ocupação, bem como os componentes construtivos adotados foram apresentados em 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4, respectivamente. Ressalta-se que essas simulações também foram feitas aos pares por orientação (Norte-Sul e Leste-Oeste), conforme descrito em 3.2.5. Porém, a porta interna permaneceu fechada durante todo o período de simulação.

#### 3.3.2 Modelagem do sistema de ar-condicionado

O sistema de ar-condicionado foi modelado no *EnergyPlus* através do *template HVACTemplateZone:PThp*, que consiste em um aparelho de ar-condicionado do tipo *split* de janela (também conhecido como *split hi-wall*), funcionando com um compressor na parte externa da edificação. Os itens de “a” a “f” apresentam algumas considerações que foram adotadas para as simulações.

a) As vazões de ar e as capacidades de resfriamento e aquecimento foram auto-dimensionadas pelo programa, baseando-se na temperatura de *setpoint* do aparelho de ar-condicionado, que definiu-se em 24°C. Para realizar esse auto-dimensionamento o *EnergyPlus* requer o dia de projeto para o inverno e o dia de projeto para o verão (Tabela 11) - esses dias de projeto foram gerados estatisticamente a partir do arquivo climático de Florianópolis. Os valores da Tabela 11 referentes à limpidez do céu, podem variar entre 0 (céu totalmente nublado) e 1 (céu totalmente claro), os indicadores de chuva e de neve podem variar entre 0 (indica que não há chuva/neve) e 1 (indica

que há chuva/neve). Além disso, foi necessário assinalar alguns campos no controle de simulação, conforme indica a Tabela 12. Os cálculos de dimensionamento da zona foram executados, utilizando-se de um sistema ideal teórico, para determinar as cargas de aquecimento e de resfriamento da zona. O resumo desses resultados foi determinado pela opção cálculos de dimensionamento do sistema, que salva os valores das cargas de resfriamento e aquecimento, para serem, posteriormente, utilizados para o dimensionamento do sistema de ar-condicionado. As opções de fazer cálculos de dimensionamento de sistemas e a de simular nos períodos de dimensionamento, não se aplicam a esse trabalho. A primeira por ser utilizada em situações em que há sistema de ar-condicionado central e, a segunda, por somente realizar as simulações nos períodos de dimensionamento (dias de projeto). Como se quer simular durante um ano inteiro (8760 horas), a opção simular nos períodos do arquivo climático foi selecionada.

**Tabela 11: Dias de projeto para inverno e verão.**

Campo	Inverno	Verão
Temperatura máxima de bulbo seco (°C)	9,4	31,0
Amplitude térmica diária (deltaC)	0	6,8
Condições de umidade na máxima de bulbo seco (varies)	9,4	25,2
Pressão barométrica (Pa)	101265	101265
Velocidade do vento (m/s)	1,8	4,1
Direção do vento (graus)	300	20
Limpidez do céu	0	1
Indicador de chuva	0	0
Indicador de neve	0	0
Dia do mês	21	21
Mês	7	2
Tipo de dia	Quarta-feira	Quarta-feira
Tipo de indicador de umidade	Bulbo úmido	Bulbo úmido

**Tabela 12: Controle de simulação no *EnergyPlus*.**

Fazer cálculos de dimensionamento da zona	Sim
Fazer cálculos de dimensionamento do sistema	Sim
Fazer cálculos de dimensionamento de sistemas	Não
Simular nos períodos de dimensionamento	Não
Simular nos períodos do arquivo climático	Sim

b) O funcionamento do sistema de ar-condicionado ocorre das 8 às 18 horas de segunda a sexta-feira.

c) A taxa de renovação do ar interior foi definida de acordo com a Norma RES-9 (resolução nº 9 de 16/01/2003) da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) que regulamenta que em ambientes climatizados é imprescindível garantir uma taxa de renovação do ar interior no mínimo de 27 m<sup>3</sup>/h/pessoa. Essa taxa, segundo a NBR 16401-3 (ABNT, 2008), garante que 80% ou mais das pessoas que acabam de entrar no ambiente climatizado considerem a qualidade do ar interno (nível de odores) aceitável. Porém, como o *EnergyPlus* usa outra unidade de medida (m<sup>3</sup>/s/pessoa) foi necessário converter esse valor. Assim, o valor utilizado foi de 0,0075 m<sup>3</sup>/s/pessoa.

d) A eficiência total do ventilador é de 0,5.

e) A definição do coeficiente de performance (COP) foi baseada no RTQ-C (2010), que estipula que é necessário um COP de 3,28 para a edificação obter a etiqueta A em sistema de ar-condicionado. Neste regulamento considera-se o COP do sistema de ar-condicionado composto por ventiladores e o compressor. Já o *EnergyPlus* requer o COP somente do compressor, assim estimou-se em 90% a contribuição do compressor no COP do sistema de ar-condicionado, o que resultou em um valor de 3,64 para o COP do compressor.

f) Como não foi utilizado aquecimento artificial, para os campos de acionamento e desligamento do aparelho de ar-condicionado na função de aquecimento foi criada uma *schedule* com valores zero (desligado) para todo o período de simulação. Conforme Moreira (2005), Santana (2006) e Coelho (2006) o aparelho de ar-condicionado não é utilizado na função de aquecimento em edifícios comerciais em Florianópolis.

### 3.4 SIMULAÇÕES DO CASO 2: INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

O Caso 2 requer a simulação da iluminação natural, que foi realizada no programa *Daysim*, e posteriormente a simulação termo-energética no programa *EnergyPlus*. As simulações no *EnergyPlus* foram realizadas conforme 3.3, com a integração da iluminação natural e artificial. Essas simulações foram realizadas

para as três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por ambiente e quatro orientações.

A seguir são apresentadas as considerações que foram adotadas para as simulações da iluminação natural. Salienta-se que dentre os relatórios gerados pelo programa *Daysim* é de interesse para este trabalho: a *schedule* de controle da iluminação artificial e, o consumo de eletricidade do sistema de iluminação.

### **3.4.1 Arquivo climático e geometrias**

O primeiro passo para as simulações no *Daysim* é a definição do arquivo climático a ser utilizado. Assim, como já foi mencionado, o arquivo climático usado foi o de Florianópolis.

As geometrias foram importadas do programa *Sketchup*, sendo que as refletâncias internas das paredes, teto e piso são de 80%, 50% e 30%, respectivamente.

### **3.4.2 Definição da malha de pontos e dos sensores de iluminância**

Após ser importada a geometria, foi necessário definir uma malha de pontos, que nos estudos de caso, é uma superfície horizontal situada a 0,75m de altura do piso, com os pontos distanciados entre si de 1,03m e distanciados da parede de 0,51m (formando uma malha de pontos eqüidistante). No *Daysim* a malha de pontos é definida em um editor de texto (por exemplo, um sensor definido pela seguinte linha de comando: 0,51 0,51 0,75 0 0 1; isso indica que o sensor está na posição X=0,51m, Y=0,51m, Z=0,75m e o sensor está voltado para cima).

Além da definição da malha, o *Daysim* requer a entrada do(s) sensor(es) de iluminância do plano de trabalho, o(s) qual(is) será(ão) utilizado(s) para os cálculos de utilização da iluminação artificial. Neste trabalho, considerou-se todos os sensores da malha de pontos para as análises do aproveitamento da luz natural. Os consumos de eletricidade foram calculados pelo próprio *Daysim*, baseando-se na densidade de potência em iluminação, que é regulada por um sistema dimerizável, de acordo com a disponibilidade de luz natural no ambiente.

### **3.4.3 Parâmetros gerais de simulação**

Antes de simular, foi necessário definir diversos parâmetros que foram usados pelo programa. Nesta etapa se optou por utilizar os parâmetros de simulação referentes ao *Scene Complexity 1*, por retratarem as situações que foram estudadas. Conforme definido no Tutorial do *Daysim* (REINHART, 2010) esta situação representa uma sala limitada pelo envelope do edifício, sendo o envelope composto por elementos básicos (translúcido, transparente e opaco), sem sistemas complexos de iluminação natural.

### **3.4.4 Definições para a análise da simulação**

Realizada a simulação, foi necessário informar mais alguns parâmetros (conforme itens “a” a “d”) para o programa efetuar a análise da simulação.

a) O padrão de ocupação da iluminação artificial foi das 8 às 18 horas nos dias de semana (segunda a sexta-feira).

b) A densidade de potência em iluminação foi determinada para cada ambiente conforme descrito no item 3.2.3.

c) A área do ambiente em estudo foi definida conforme Tabela 1 para cada caso.

d) O controle da iluminação artificial foi feito através de um sistema dimerizável, baseando-se nos valores de iluminação natural, sendo que o nível de iluminância mínimo a ser garantido foi de 500 lux, conforme recomendações da NBR 5413 (ABNT, 1992) para atividades de escritório.

### **3.4.5 Integração da iluminação natural e artificial**

Realizada a simulação, o *Daysim* gera automaticamente uma *schedule* em base horária, de funcionamento da iluminação artificial, com valores entre 0 (o nível de iluminância requerido é totalmente satisfeito pela iluminação natural, ou seja, a iluminação artificial é desligada) e 1 (a iluminação artificial é ligada na potência máxima). Os valores intermediários utilizam a integração entre a iluminação natural e a artificial, sendo a potência desta última regulada de maneira a garantir o nível de iluminância mínimo de 500 lux.

A integração da iluminação natural e artificial foi feita através da *schedule* de controle da iluminação artificial proveniente das simulações no *Daysim*. Essa *schedule* foi inserida como dado de entrada no *EnergyPlus*. Desta forma, a densidade de potência em iluminação foi controlada por esta *schedule*.

### 3.5 SIMULAÇÕES DO CASO 3: VENTILAÇÃO HÍBRIDA

As simulações termo-energéticas foram realizadas no programa *EnergyPlus* conforme descrito em 3.3 (com uma única diferença na modelagem do sistema de ar-condicionado, a qual é explicada a seguir), com a adição da ventilação híbrida, o que requer a simulação da ventilação natural e a criação das *schedules* de controle da ventilação. Essas simulações foram realizadas para as três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por ambiente e quatro orientações.

#### 3.5.1 Parâmetros gerais para simulação

O procedimento para a simulação da ventilação natural foi descrito em 3.2.5. Porém, nessa etapa a simulação foi realizada somente com a porta interna fechada.

As *schedules* de controle da ventilação foram determinadas conforme 3.2.6. Como o método mais adequado para o clima em estudo foi o de Givoni, esse foi o método adotado para a criação das *schedules*.

A única diferença na modelagem do sistema de ar-condicionado com relação ao Caso 1 é que o acionamento e o desligamento do ventilador e do compressor do aparelho de ar-condicionado foram determinados de acordo com a *schedule* de controle do sistema de ar-condicionado.

### 3.6 SIMULAÇÕES DO CASO 4: VENTILAÇÃO HÍBRIDA E INTEGRAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

O Caso 4 utilizou a integração da iluminação natural e artificial e, a ventilação híbrida. Os procedimentos de simulação da integração da iluminação natural e artificial são apresentados em 3.4, e os da ventilação híbrida em 3.5.

As simulações do Caso 4 foram realizadas para as três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por ambiente e quatro orientações.

### 3.7 TRATAMENTO DOS DADOS PROVENIENTES DAS SIMULAÇÕES

#### 3.7.1 Consumos de energia elétrica

Para cada caso simulado foi solicitado um relatório que apresenta o consumo total anual de eletricidade ( $\text{kWh/m}^2$ ), englobando o consumo em iluminação artificial, em equipamentos e em sistema de ar-condicionado. Esse foi o principal resultado das simulações. Esses resultados foram utilizados para determinar as áreas de janela.

Todos os dados provenientes das simulações foram devidamente tabelados em planilhas. A partir dos resultados de consumo total anual de eletricidade foi possível traçar gráficos de área de janela (10 a 100%) *versus* consumo de eletricidade, separado por uso final e por consumo total de eletricidade. A partir destes últimos obteve-se a área de janela, que é a área que leva ao menor consumo em eletricidade.

Para as determinações das áreas de janela, utilizou-se de três procedimentos, os quais foram aplicados para um ambiente com as características do Caso 2, com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 1 (com dimensões quadradas de 4,1m) e orientação sul. Nesse ambiente variou-se a área de janela em 10, 20, 30, 50 e 70%. Esse ambiente não foi objeto de estudo dessa pesquisa, mas foi utilizado em um estudo piloto prévio a realização deste trabalho. Os três procedimentos utilizam-se de diferentes maneiras de identificar o menor consumo de energia elétrica e sua correspondente área de janela: (a) definindo uma equação que melhor se adaptaria ao conjunto de dados (b) simplesmente unindo suavemente os pontos por uma curva (assim a determinação foi feita de modo visual, em papel), e (c) simulando o ambiente com áreas de janela variando entre os intervalos em que se identificou, visualmente, a área com menor consumo de energia elétrica, com incrementos de 1%. O procedimento mais rápido, simples e preciso foi o escolhido.

Também foram estipuladas faixas de área de janela, baseadas no menor consumo de energia elétrica. As faixas são

compostas pelas áreas de janela que apresentarem consumos de energia elétrica no máximo 5% superiores ao menor consumo obtido.

Além disso, foram feitas comparações de consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e os demais casos. Essa comparação foi feita para determinar o potencial de economia de energia elétrica e foi baseada na redução no consumo de eletricidade, calculada por meio da Equação 7. Deste modo, se estimou qual a economia de energia elétrica gerada pela integração da iluminação natural com a artificial e a utilização da ventilação híbrida. Além disso, foram realizadas comparações de reduções no consumo de eletricidade entre o Caso 2 e o Caso 3. Isto foi realizado para determinar a influência que a iluminação natural e a ventilação híbrida exercem no consumo de energia elétrica do Caso 4.

$$RC = \left(1 - \frac{CC}{CR}\right) \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

RC é a redução no consumo de energia elétrica entre os estudos de caso (%);

CR é o consumo de eletricidade para o caso tido como referência (kWh/m<sup>2</sup>);

CC é o consumo de eletricidade para o caso a ser comparado com o de referência (kWh/m<sup>2</sup>).

### 3.7.2 Avaliação de conforto térmico

As variáveis do ambiente interno obtidas por meio das simulações, para o período de ocupação da edificação, para cada modelo de cada um dos quatro estudos de caso foram: temperatura de bulbo seco (°C), umidade relativa do ar (%) e umidade absoluta do ar (g/kg). Essas variáveis foram utilizadas como dado de entrada no programa *Analysis Bio 2.2* (LabEEE, 2011), que plota estas variáveis sob a carta de Givoni (1992), adaptada para países de clima quente e úmido. Deste modo, foi possível visualizar as variações de temperatura e umidade quando a edificação opera com iluminação natural (Caso 2), com ventilação híbrida (Caso 3) e, quando a edificação opera com as

duas estratégias simultaneamente (Caso 4). Desta forma, pode-se comparar essas variações com relação ao Caso 1.

### **3.7.3 Hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida**

Para os casos com ventilação híbrida, foi realizada uma análise da expectativa do usuário com relação a hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida. A análise consistiu em determinar o número de ocorrências para o período de ocupação ao longo dos 260 dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas) do arquivo climático de Florianópolis TRY, de cada uma das seis hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida determinadas:

1. Sistema de ar-condicionado ligado das 8 às 18 horas;
2. Janela aberta no início da manhã e sistema de ar-condicionado ligado posteriormente, seguindo ligado até as 18 horas;
3. Janela aberta das 8 às 18 horas. Neste padrão não há uso do sistema de ar-condicionado;
4. Janela fechada no início da manhã e aberta posteriormente, seguindo aberta até as 18 horas. Neste padrão também não há uso do sistema de ar-condicionado;
5. Sistema de ar-condicionado ligado no início da manhã e janela aberta posteriormente, seguindo aberta até as 18 horas;
6. Sistema de ar-condicionado sendo ligado e desligado (alternando com a abertura da janela) das 8 às 18 horas.

Considerou-se que as duas últimas hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida poderiam ser consideradas inaceitáveis pelos usuários da edificação. Quando o sistema de ar-condicionado foi acionado logo pela manhã e com o passar do dia foi desligado uma única vez ou diversas vezes (alternando com a abertura da janela), julgou-se que seria mais difícil dos

usuários aceitarem, já que estariam adaptados com o ambiente climatizado.

Por outro lado, se no início da manhã o ambiente operou com ventilação natural, sem sistema de ar-condicionado, e em determinada hora o sistema de ar-condicionado foi ativado, seria mais fácil do usuário aceitar. As demais três hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida também seriam mais fáceis de o usuário aceitar, pois condicionam o ambiente durante todo o período de ocupação de um dia, artificialmente ou naturalmente, sem alternar entre ambas. Assim, as quatro primeiras hipóteses de padrão foram agrupadas na categoria aceitável pelo usuário.

Os resultados de número de ocorrências ao longo do ano das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida foram expressos em porcentagens do total de 260 dias. Os resultados foram agrupados entre aceitável (padrões 1 a 4) e inaceitável (padrões 5 e 6).

Ao longo deste capítulo 3 apresentou-se o método utilizado para atingir os objetivos desta pesquisa. No próximo capítulo são apresentados e discutidos os resultados deste trabalho.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

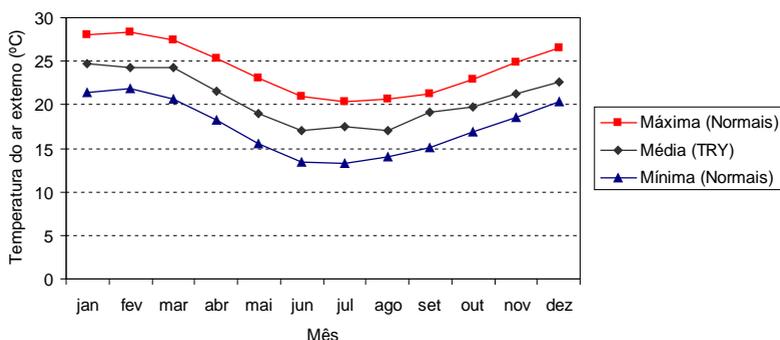
Neste capítulo são apresentados os resultados deste trabalho. Os resultados são relativos à cidade de estudo, a determinação das densidades de potência em iluminação, ao estudo sobre métodos de avaliação de conforto, a determinação do procedimento para obter a área de janela, as simulações dos quatro estudos de caso, as áreas de janela, a avaliação de conforto térmico e a expectativa do usuário à ventilação híbrida.

### 4.1 CIDADE DE ESTUDO

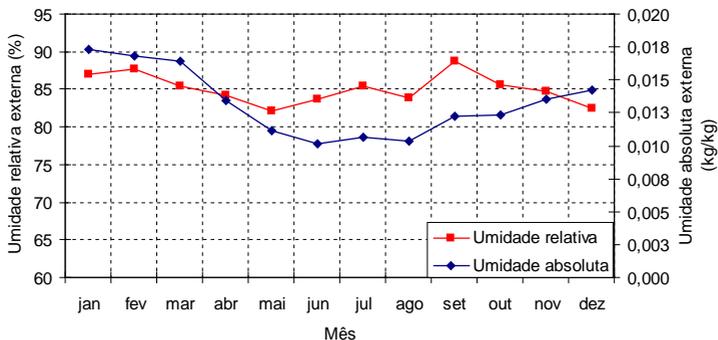
A cidade elencada foi Florianópolis, localizada no Estado de Santa Catarina, Brasil. A latitude, longitude e altitude de Florianópolis podem ser visualizadas na Tabela 13. Para caracterizar melhor o clima de Florianópolis, a partir do arquivo climático foram confeccionados gráficos (Figura 8 e Figura 9) com as temperaturas médias mensais do ar externo e as umidades relativas e absolutas médias mensais do ar externo, respectivamente. Na Figura 8 também são apresentadas as temperaturas máximas e mínimas das normais climatológicas para Florianópolis (BRASIL, 1992).

**Tabela 13: Latitude, longitude e altitude de Florianópolis.**

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude
Florianópolis	-27° 36'	-48° 33'	7 m



**Figura 8: Temperatura máxima, média e mínima do ar externo ao longo do ano para Florianópolis.**



**Figura 9: Umidade relativa e absoluta externa ao longo do ano para o arquivo TRY de Florianópolis.**

## 4.2 DENSIDADE DE POTÊNCIA EM ILUMINAÇÃO

As densidades de potência em iluminação determinadas para todos os modelos de estudo estão apresentadas na Tabela 14. Essas densidades de potência foram determinadas através do método dos lumens para produzir um iluminamento de 500lux na superfície de trabalho.

**Tabela 14: Densidades de potência em iluminação.**

K	Geometria - Largura (L):Profundidade (P)		
	2:1	1:1	1:2
	DPI (W/m <sup>2</sup> )		
0,80	13,9	15,6	13,9
2,00	9,6	9,2	9,6
5,00	8,1	8,0	8,1

## 4.3 ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO

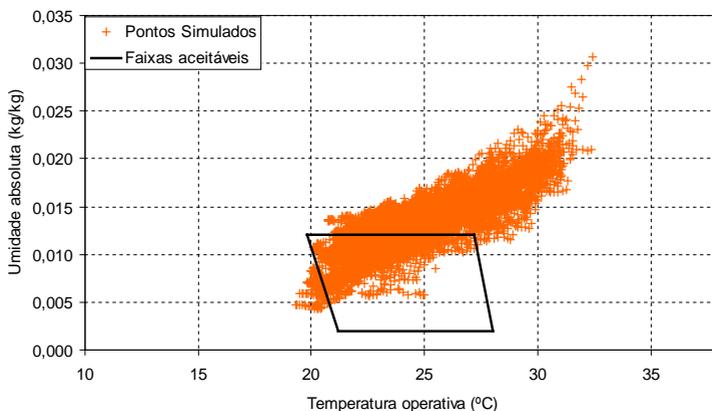
Nesta seção são apresentados os resultados do estudo sobre métodos de avaliação de conforto térmico. Este estudo teve como finalidade definir qual o método de conforto térmico é o mais adequado para ser utilizado em edificações comerciais

híbridas, localizadas em climas com verões quentes e úmidos, como o de Florianópolis.

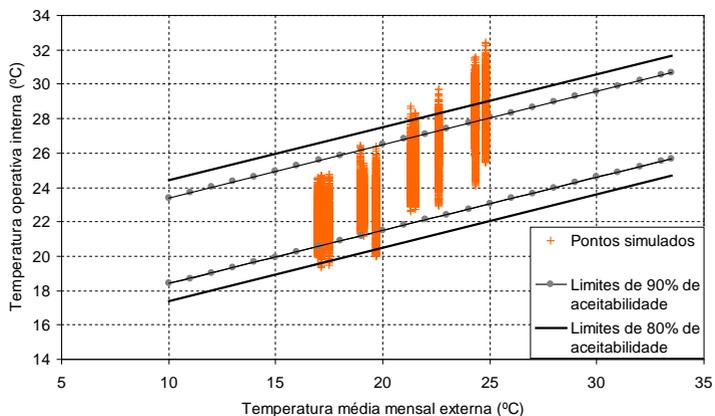
#### **4.3.1 Simulação da ventilação natural**

Os resultados da simulação da ventilação natural foram plotados sobre os três diferentes métodos de conforto abordados nesse trabalho, para os quatro ambientes, com três diferentes áreas de janela e duas orientações. As Figuras 10 a 12 apresentam alguns desses resultados, para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada. A Figura 10 difere da Figura 1, pois nesta última o limite máximo de umidade absoluta é de 0,016 kg/kg. Porém, para que os elevados valores de umidade (superiores a 0,030 kg/kg) pudessem ser visualizados, expandiu-se o eixo das ordenadas. Deste modo, alterou-se a aparência do gráfico, contudo sem alterar suas faixas aceitáveis de temperatura e umidade.

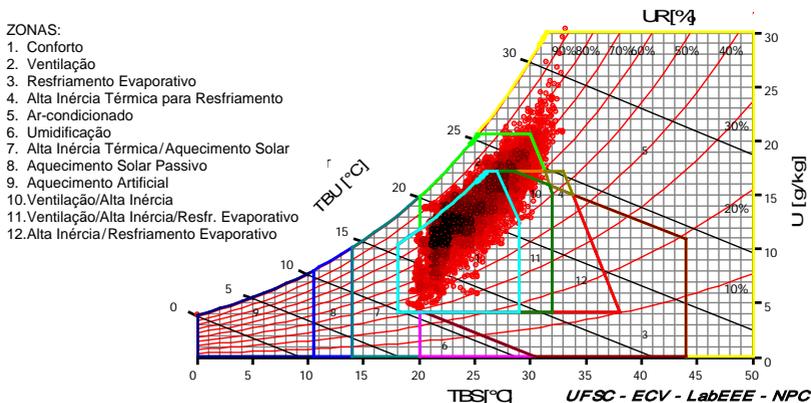
Como pode se observar, para um mesmo ambiente, há um maior número de horas que se encontram fora da zona de conforto/faixa de aceitabilidade, no método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente (64,5% de desconforto), com relação ao método alternativo da ASHRAE 55 (10,6% de desconforto para 80% de aceitabilidade e, 22,1% de desconforto para 90% de aceitabilidade). O método de Givoni também apresentou maior número de horas que se encontram fora da zona de conforto/faixa de aceitabilidade (23,1% de desconforto), em comparação ao método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente. Essa diferença ocorre, pois, no método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente e no método de Givoni, considera-se a umidade, que é elevada no clima em estudo. Ressalta-se que o método da ASHRAE 55, para ambientes climatizados artificialmente, apresentou as maiores porcentagens de desconforto por estipular um limite máximo aceitável de umidade muito baixo (0,012 kg/kg). Essa tendência se manteve para todos os ambientes. Porém, nestes resultados estão expressas as 8760 horas de simulação. Deste modo, para poder realizar uma comparação somente nos horários de ocupação da edificação (8 às 18 horas de segunda a sexta-feira), partiu-se para a criação das *schedules* de controle.



**Figura 10: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente, 2004.**



**Figura 11: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente, 2004.**



**Figura 12: Resultados da simulação de ventilação natural para o ambiente com geometria 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste e porta interna fechada – Método de Givoni.**

#### 4.3.2 Schedules de controle do sistema de ar-condicionado

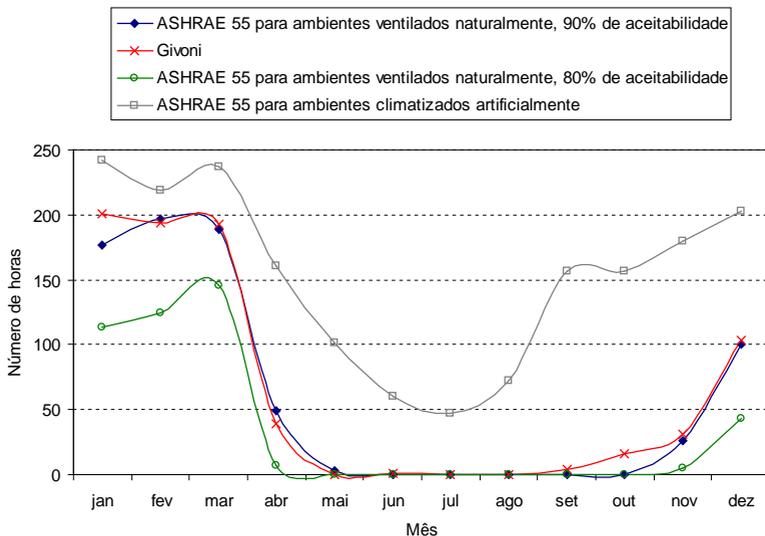
Na Figura 13 encontram-se os resultados dos somatórios, mês a mês, dos valores das *schedules* de controle do sistema de ar-condicionado desenvolvidas para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e duas áreas de janela, com porta interna fechada. Nesta figura constam os resultados pelo método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente, ASHRAE 55 para ambiente ventilados naturalmente, com 80% e 90% de aceitabilidade e, por Givoni. Já na Figura 14 encontram-se esses resultados para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e duas áreas de janela, com porta interna fechada. No Apêndice A podem ser visualizados os resultados dos somatórios, mês a mês, dos valores das *schedules* de controle do sistema de ar-condicionado desenvolvidas para cada ambiente estudado.

Fica evidente que: (a) o comportamento da curva do método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente é diferente do padrão de uso do sistema de ar-condicionado em Florianópolis, nos meses de inverno (junho, julho e agosto); (b) as demais curvas, dos outros métodos,

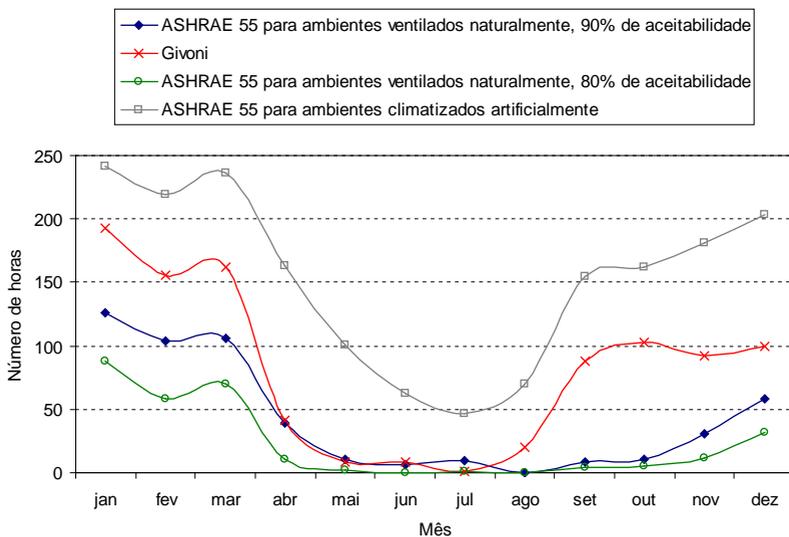
apresentaram um comportamento similar, que vai ao encontro do padrão de uso do aparelho de ar-condicionado na cidade supracitada (com algumas exceções); (c) em algumas situações, o número de horas entre o método da ASHRAE 55 para ambiente ventilados naturalmente, para 90% de aceitabilidade, e o método de Givoni, foram semelhantes. Essa tendência manteve-se para todos os ambientes estudados. Inclusive para os ambientes com porta interna aberta.

Na Figura 14 nota-se um comportamento diferente aos demais gráficos. Na geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5 e orientação oeste, há uma maior carga térmica solar que na orientação sul. Neste ambiente, com 10% de área de janela, a ventilação natural não se mostrou efetiva, conduzindo aos maiores números de horas de uso do sistema de ar-condicionado por cada método.

Nos meses de janeiro a março, os valores de temperaturas médias mensais (Figura 8), de umidades absolutas médias mensais (Figura 9), e de umidades relativas médias mensais do ar externo, atingem seu patamar mais alto. Uma exceção ocorreu no mês de setembro, em que houve um pico no valor da umidade relativa. Esses fatos refletem diretamente no número de horas de uso do sistema de ar-condicionado, que também atingem seus maiores valores. Entre os meses de abril e agosto, as temperaturas e umidades baixam, acarretando em menores números de horas de uso do sistema de ar-condicionado. A partir de agosto as temperaturas e as umidades absolutas médias mensais do ar externo começam a aumentar com comportamentos similares entre si. Já as umidades relativas médias mensais apresentam um comportamento diferenciado, principalmente entre os meses de setembro a dezembro, em que, ao contrário da temperatura e umidade absoluta, apresentam um comportamento decrescente.

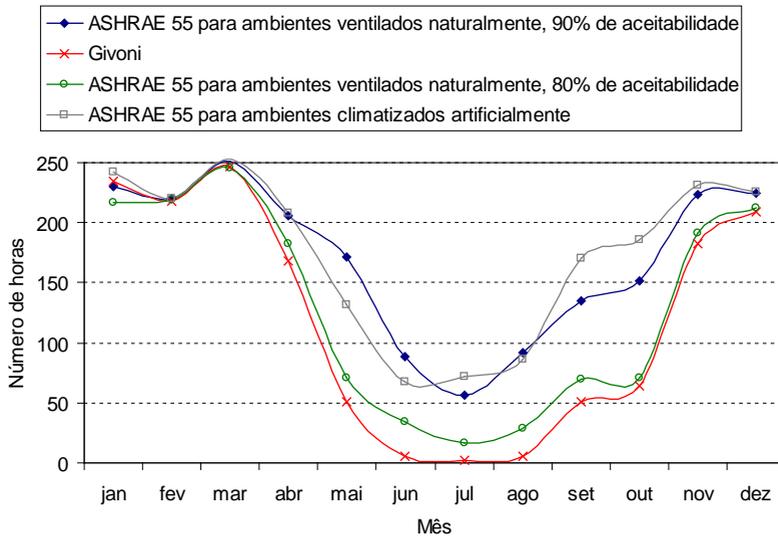


(a) Área de janela de 10%

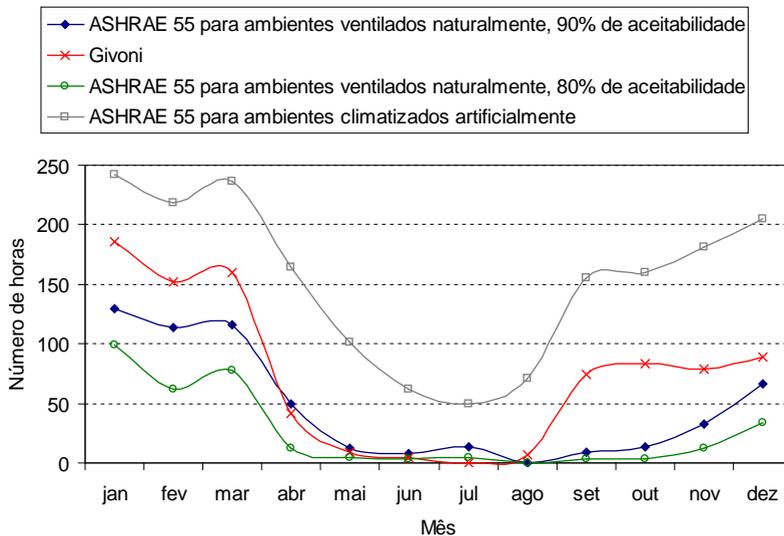


(b) Área de janela de 100%

**Figura 13: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e duas áreas de janela.**



(a) Área de janela de 10%



(b) Área de janela de 100%

**Figura 14: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e duas áreas de janela.**

Os resultados dos somatórios dos valores das *schedules* de controle do sistema de ar-condicionado, ao longo do ano, também foram obtidos para todos os ambientes, por cada método de avaliação de conforto. A Tabela 15 mostra esses resultados para os três métodos de avaliação de conforto, duas geometrias, dois índices de ambiente, duas orientações, três áreas de janela, com porta interna aberta e fechada. Pode-se perceber que, de modo geral, o número de horas é maior para os ambientes com índice de ambiente igual a 5, com relação aos ambientes com índice de ambiente igual a 0,8. A exceção do método de Givoni, em que a tendência oposta foi observada na maioria das situações. Outro fator é que com o aumento da área de janela, aumenta-se a carga térmica interna do ambiente. Desse modo, a tendência esperada é a de que houvesse um maior número de horas de uso do sistema de ar-condicionado. De modo geral, essa tendência esperada foi observada para o método de Givoni. Entretanto, para os métodos da ASHRAE 55 para ambiente ventilados naturalmente, em alguns casos se observou essa tendência, porém para outros, ocorreu o comportamento inverso (diminuiu o número de horas). Já para o método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente, o aumento da área de janela não alterou significativamente o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado.

Deste modo, e como pode ser observado na Tabela 15, os números de horas ao ano pelo método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente são muito superiores aos demais métodos, para todos os casos. Esse fato deve-se aos limites estreitos, estipulados por esta norma, para garantir conforto térmico. Mesmo no inverno (junho, julho e agosto), conforme observado na Figura 13 e no Apêndice A, devido às altas umidades, típicas do clima de Florianópolis, se utilizaria consideravelmente o sistema de ar-condicionado na função de resfriamento. Este comportamento manteve-se o mesmo para todos os ambientes estudados neste trabalho. Deste modo, este método não se mostrou adequado para ser aplicado em ambientes com elevada umidade, não sendo apropriado para ser utilizado com a estratégia híbrida de ventilação proposta neste trabalho.

Os menores números de horas foram obtidos para o método da ASHRAE 55, com 80% de aceitabilidade, para ambientes ventilados naturalmente, com exceção de um

ambiente (grifado em vermelho na Tabela 15), que resultou em um número superior de horas de uso do sistema de ar-condicionado que o método de Givoni. Pelo método da ASHRAE 55, com 80% de aceitabilidade, para ambientes ventilados naturalmente, no mês de dezembro, o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado foi próximo a zero. Assim, este método também não se mostrou adequado para ser utilizado no clima de Florianópolis.

Desta maneira, resta analisar, minuciosamente, os métodos de Givoni e da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade, que apresentaram um comportamento que vai ao encontro do padrão de uso do sistema de ar-condicionado em Florianópolis e que são similares entre si. De modo geral, os números de horas pelo método de Givoni foram superiores aos do método alternativo da ASHRAE 55, com 90% de aceitabilidade, com exceção de três ambientes (grifados em azul na Tabela 15). Para identificar em quais meses ocorrem essas diferenças e porque que elas ocorrem, o número de horas ao longo do ano para todos os ambientes estudados nesta parte do trabalho foi analisado. A Figura 15 apresenta os resultados de número de horas pelos métodos da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade e de Givoni, em relação às áreas de janela (10, 50 e 100%), para o ambiente com geometria de 1:2 e índice de ambiente igual a 0,8. Os demais resultados encontram-se no Apêndice B.

**Tabela 15: Número de horas ao ano em que o sistema de ar-condicionado ficaria ligado por cada método de avaliação de conforto.**

Método	Área	Geometria							
		1:2				2:1			
		K=0,8		K=5		K=0,8		K=5	
		Oeste	Sul	Oeste	Sul	Oeste	Sul	Oeste	Sul
		Número de horas para porta interna fechada							
ASHRAE VN 90% Aceit.	10%	741	217	839	600	425	98	2051	229
	50%	421	249	772	600	502	283	596	409
	100%	510	288	514	352	689	402	565	352
ASHRAE VN 80% Aceit.	10%	439	64	455	302	215	31	1559	81
	50%	219	108	418	302	290	157	318	207
	100%	283	158	257	171	454	215	315	182
ASHRAE Cond. Artificial.	10%	1840	1842	1863	1854	1820	1819	2093	1841
	50%	1840	1846	1851	1850	1842	1842	1848	1843
	100%	1842	1841	1844	1837	1858	1835	1845	1839
GIVONI	10%	782	683	809	743	727	890	1440	755
	50%	830	840	747	709	947	944	765	763
	100%	973	986	793	790	1074	1074	886	879
Método	Área	Número de horas para porta interna aberta							
ASHRAE VN 90% Aceit.	10%	228	98	812	506	185	73	1401	215
	50%	298	183	753	533	433	241	603	397
	100%	454	258	520	351	677	390	570	358
ASHRAE VN 80% Aceit.	10%	66	17	434	242	66	21	937	80
	50%	149	67	404	266	237	130	330	195
	100%	256	143	263	175	443	208	318	186
ASHRAE Cond. Artificial.	10%	1836	1832	1849	1846	1826	1821	1892	1842
	50%	1839	1831	1846	1849	1843	1833	1845	1845
	100%	1841	1835	1845	1843	1857	1827	1845	1838
GIVONI	10%	699	800	808	687	866	1006	1086	761
	50%	941	999	729	671	1011	1044	778	752
	100%	1017	1042	799	791	1075	1083	884	891

Como pode ser observado pela Figura 15 e pelo Apêndice B, as maiores diferenças entre os métodos ocorrem entre os meses de setembro a novembro.

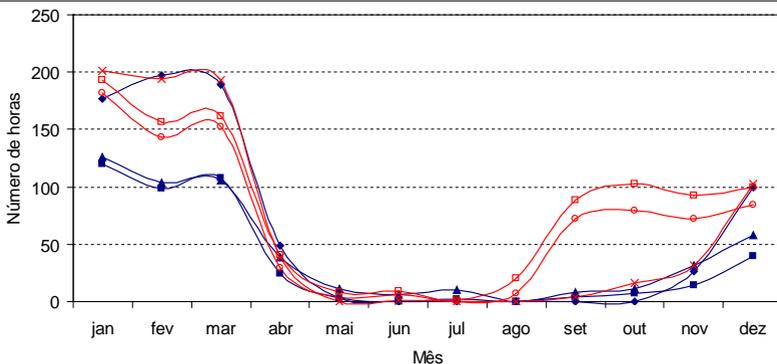
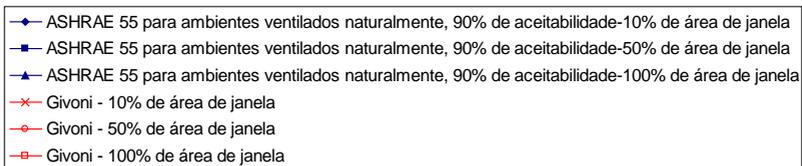
Pelo método de Givoni, os números de horas praticamente não diferem entre as orientações; já acontecendo o oposto pela ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade, em que o número de horas na orientação oeste é sempre superior a orientação sul. Esta diferença ocorre, pois,

tanto as temperaturas operativas internas quanto as temperaturas internas do ar, são inferiores na orientação sul, em relação à orientação oeste. Logo, no método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade, por somente considerar as temperaturas operativas internas, o número de horas na orientação sul é menor que na orientação oeste. Já no método de Givoni, por considerar a umidade interna do ambiente, mesmo estando a temperatura interna do ar mais baixa, possuindo uma umidade elevada (a umidade absoluta interna praticamente não varia entre as orientações), o sistema de ar-condicionado entrará em funcionamento. Esse comportamento foi observado para todos os ambientes deste trabalho, tanto com porta interna aberta quanto fechada.

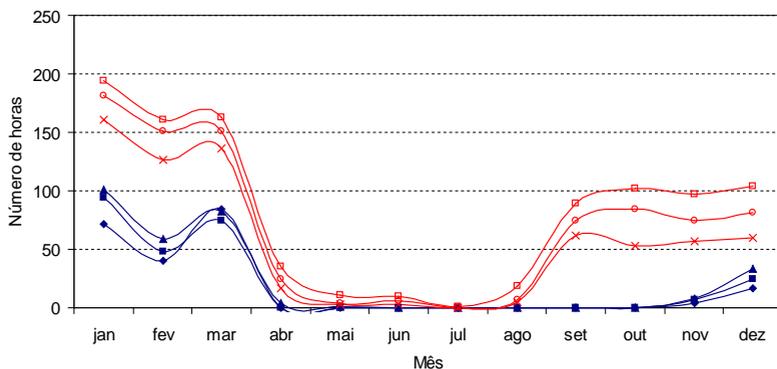
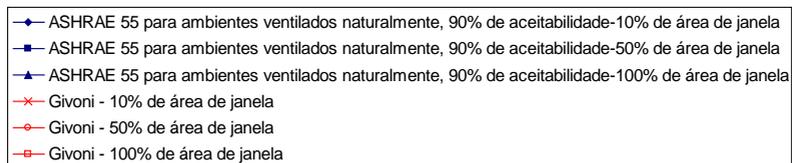
De acordo com uma pesquisa realizada por Coelho (2006), há pouca variação de consumo entre as orientações oeste e sul em edificações comerciais em Florianópolis. Esta pesquisa foi baseada em dados reais de consumo de energia elétrica de 19 dos 35 edifícios comerciais abordados por Santana (2006). Coelho (2006) correlacionou o consumo de energia elétrica com características construtivas desses edifícios e chegou a resultados de consumo de  $79,3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$  para a orientação sul e, de  $77,6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$  para a orientação oeste. Assim, parece que o método de Givoni é o mais adequado para o clima em estudo.

Outro argumento que corrobora essa opção é de que o método da ASHRAE 55 foi desenvolvido com base em um banco de dados envolvendo diferentes climas em diferentes continentes, sendo os países analisados: Inglaterra, Tailândia, Estados Unidos da América, Indonésia, Canadá, Austrália, Paquistão, Grécia e Malásia (DE DEAR e BRAGER, 2002). Porém, nesses países a umidade relativa média diminui consideravelmente entre o verão, 55,8%, e o inverno, 32,8% (ASHRAE RP-884, 1997). Fato esse que não se observa em Florianópolis (que na média dos ambientes estudados, ocorre uma redução de 78,20% para 66,47%), que também apresenta uma umidade relativa média superior à daqueles países.

Apesar do apresentado até o momento, resta ainda analisar as correlações entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e variáveis ambientais externas e entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas estimado para a tipologia predominante.



(a) Orientação oeste



(b) Orientação sul

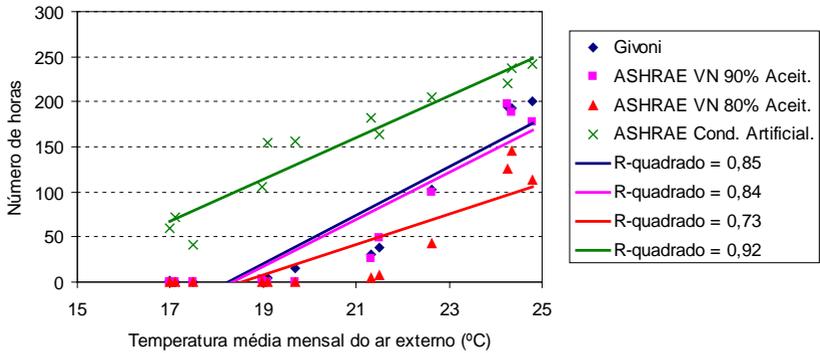
**Figura 15: Número de horas do ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, áreas de janela de 10, 50 e 100%, porta interna fechada e duas orientações.**

### 4.3.3 Correlação de número de horas e variáveis ambientais externas

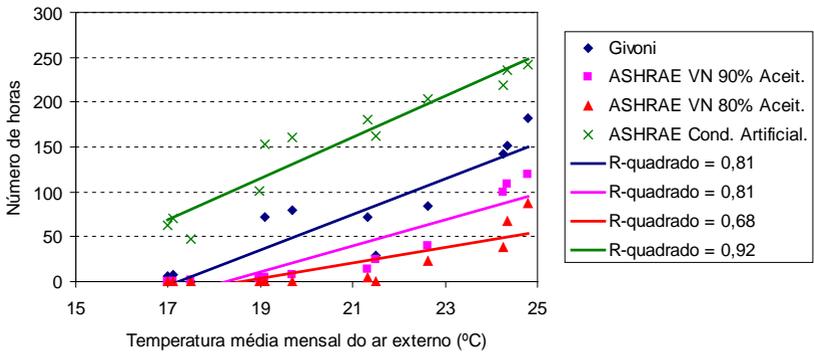
Correlacionou-se o comportamento das curvas de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado pelos diferentes métodos, com relação às variáveis externas. As Figuras 16 a 18 apresentam essas correlações de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e temperatura, umidade absoluta e umidade relativa, para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e áreas de janela de 10, 50 e 100%, juntamente com os valores de  $R^2$ . Já os valores de  $R^2$  com relação à temperatura média mensal do ar externo, umidade relativa média mensal do ar externo e umidade absoluta média mensal do ar externo, referentes aos demais ambientes com índice de ambiente igual a 0,8 e aos ambientes com índice de ambiente igual a 5, são apresentados no Apêndice C.

O método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente apresentou sempre valores maiores, e o método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 80% de aceitabilidade, os menores.

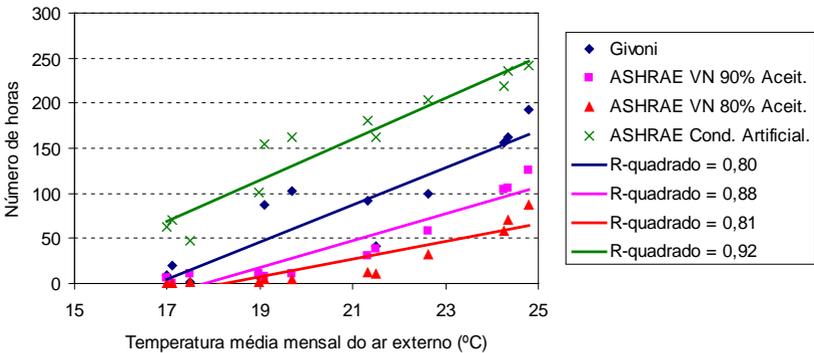
Para todos os ambientes, os valores de  $R^2$  pelo método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente variaram com relação à temperatura do ar entre 0,85 e 0,93, para umidade relativa entre 0,09 e 0,16, e para umidade absoluta entre 0,79 e 0,90. Do mesmo modo, para o método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 80% de aceitabilidade, os valores de  $R^2$  variaram com relação à temperatura do ar entre 0,29 e 0,93, para umidade relativa entre 0,03 e 0,18, e para umidade absoluta entre 0,35 e 0,94. Já para o método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade, os valores de  $R^2$  variaram com relação à temperatura do ar entre 0,46 e 0,94, para umidade relativa entre 0,01 e 0,18, e para umidade absoluta entre 0,53 e 0,94. Para o método de Givoni, os valores de  $R^2$  variaram com relação à temperatura do ar entre 0,73 e 0,95, para umidade relativa entre 0,04 e 0,36, e para umidade absoluta entre 0,81 e 0,94.



(a) Área de janela de 10%

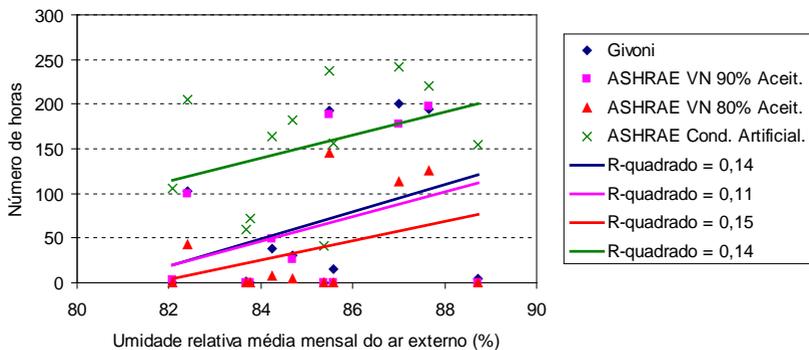


(b) Área de janela de 50%

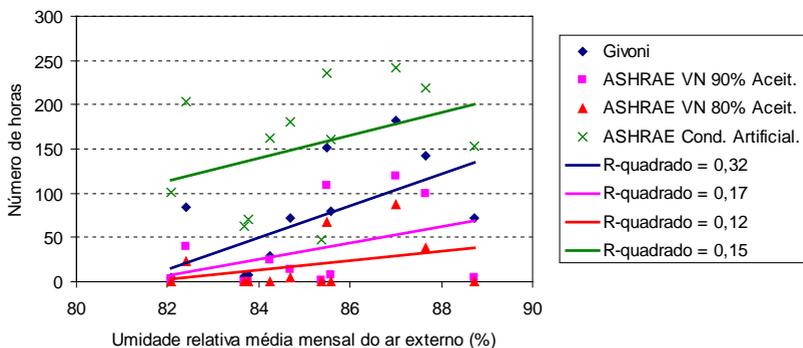


(c) Área de janela de 100%

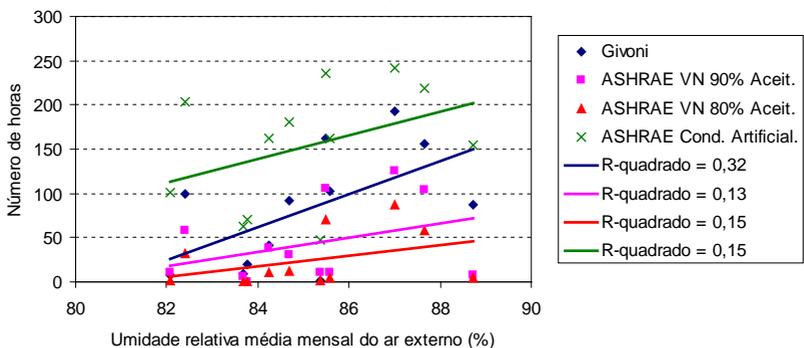
**Figura 16: Correlação entre temperatura e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela.**



(a) Área de janela de 10%

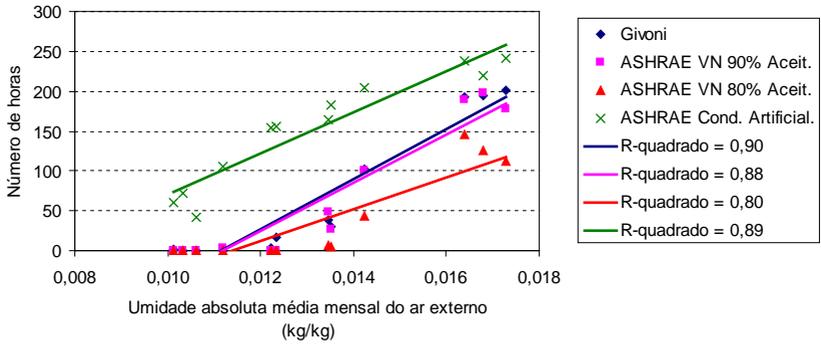


(b) Área de janela de 50%

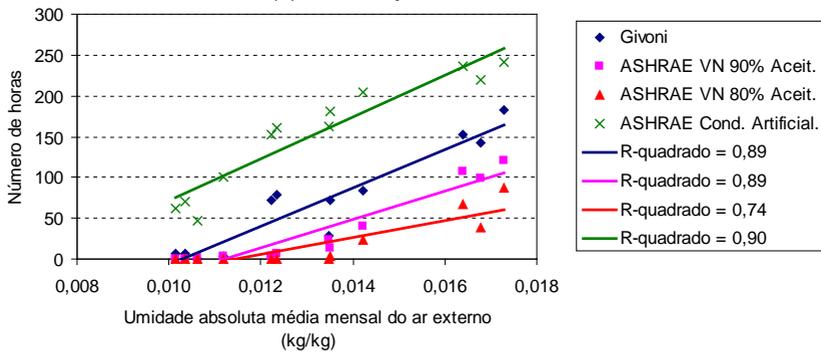


(c) Área de janela de 100%

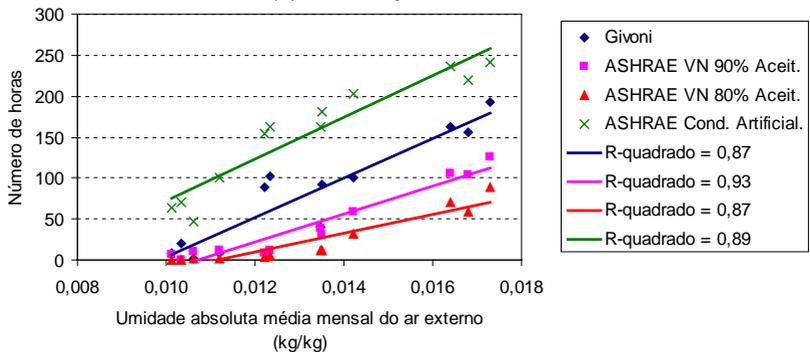
**Figura 17: Correlação entre umidade relativa e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela.**



(a) Área de janela de 10%



(b) Área de janela de 50%



(c) Área de janela de 100%

**Figura 18: Correlação entre umidade absoluta e número de horas para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela.**

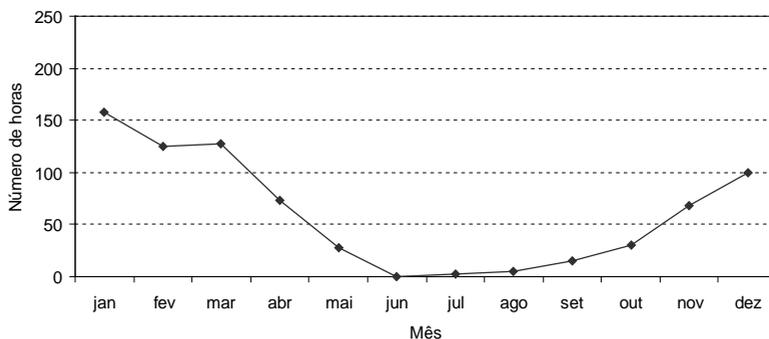
De modo geral, os resultados mostram que o uso do aparelho de ar-condicionado depende da temperatura e da umidade absoluta (valores de  $R^2$  altos), mas também depende da umidade relativa (valores de  $R^2$  baixos, porém diferentes de zero). Isso mostra a importância de se usar métodos que considerem os efeitos de umidade na avaliação de conforto térmico.

#### **4.3.4 Correlação de número de horas e número de horas da tipologia predominante**

Correlacionou-se também o comportamento das curvas de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado pelos diferentes métodos, com relação ao número de horas estimado da tipologia predominante de edifícios de escritório em Florianópolis, calculados com base na Equação 6 e baseando-se nos valores de consumo resultantes do trabalho de Santana (2006).

Os resultados de número de horas por mês de uso do sistema de ar-condicionado da tipologia predominante estão apresentados na Figura 19. Mesmo no inverno, existem dias quentes com grande incidência de radiação solar (geração interna de calor), o que acarreta no acionamento do sistema de ar-condicionado para resfriamento. Inclusive pode haver períodos em que o sistema de ar-condicionado ficaria ligado no mês de junho. Porém, para poder fazer esse estudo, considerou-se que no mês de junho o sistema de ar-condicionado não foi acionado.

Os maiores valores de número de horas ocorrem entre os meses de janeiro e março. A partir de março o número de horas diminui acentuadamente, até chegar ao valor de 0 no mês de junho. Entre os meses de junho e outubro ocorre um aumento gradativo do número de horas (nos meses de julho e agosto o número de horas é ligeiramente superior a 0). Já entre outubro e dezembro acontece um aumento acentuado do número de horas. Porém, em patamar inferior aos meses de janeiro a março.



**Figura 19: Número de horas por mês de uso do sistema de ar-condicionado da tipologia predominante. Baseado em Santana, 2006.**

A Figura 20 mostra as correlações entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e áreas de janela de 10, 50 e 100%, assim como os valores de  $R^2$ . Nestas figuras também é mostrada a bissetriz. Os valores de  $R^2$  dos demais ambientes com índice de ambiente igual a 0,8 e os com índice de ambiente igual a 5 estão apresentados no Apêndice D. Os valores de  $R^2$  referentes ao método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente apresentaram certa homogeneidade, variando entre 0,75 e 0,85 com porta interna fechada, e entre 0,83 e 0,85 com porta interna aberta. Os piores valores de  $R^2$  foram os da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 80% de aceitabilidade, que no máximo, atingiram o valor de 0,89 com porta interna fechada, e 0,95 com porta aberta; com mínimo de 0,40 tanto com porta interna aberta quanto fechada.

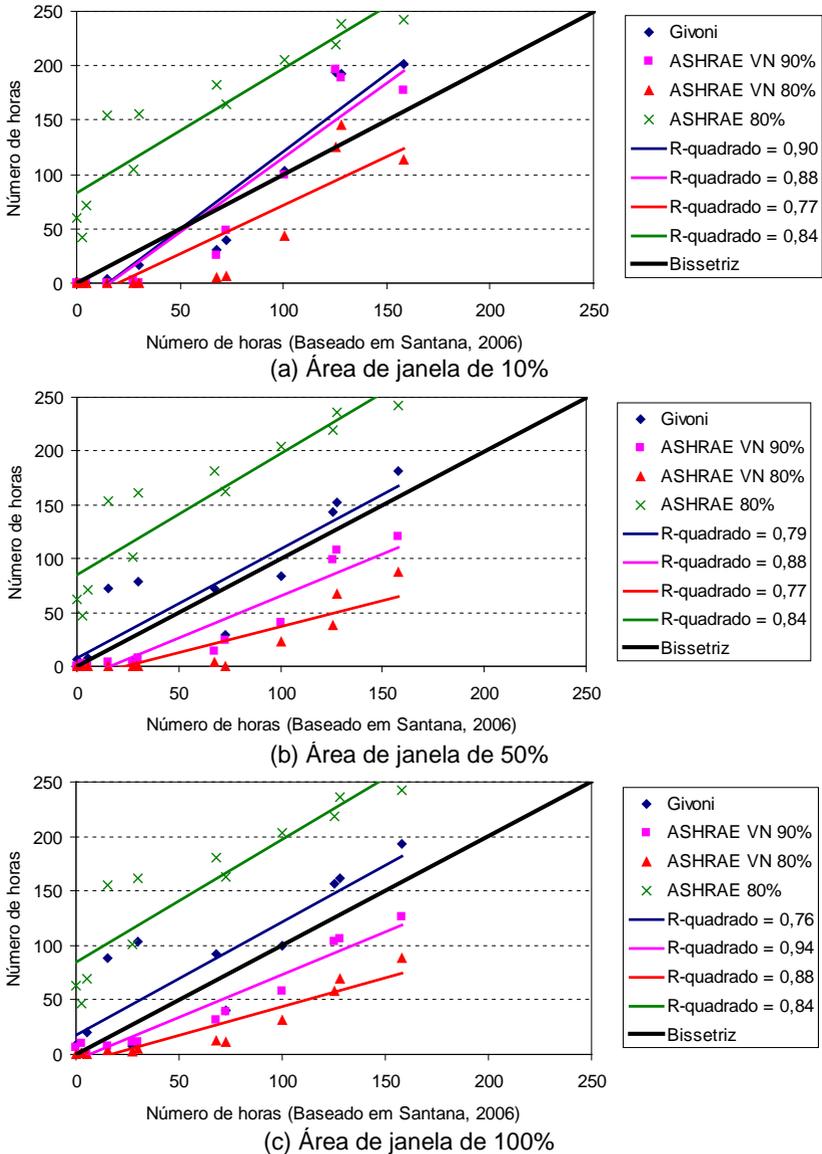
Novamente, os métodos de Givoni ( $R^2$  entre 0,68 e 0,93 com porta interna fechada, e entre 0,71 e 0,94 com porta interna aberta) e da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade ( $R^2$  entre 0,61 e 0,98 com porta interna fechada, e entre 0,57 e 0,98 com porta interna aberta) apresentaram resultados relativamente similares. Isto corrobora as discussões realizadas anteriormente. Porém, cabe destacar que o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado pelo método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados

naturalmente para 90% de aceitabilidade, por vezes, apresenta valores muito baixos para o mês de dezembro (chegando a um número de horas de apenas 3, para os ambientes com geometria de 1:2 e de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação sul e porta interna aberta), o que não condiz com o padrão de uso do sistema de ar-condicionado observado em Florianópolis.

De modo geral, o método de Givoni foi o que mais vezes se aproximou (por vezes para mais, por vezes para menos) da bissetriz - considerada como o comportamento real de uso do sistema de ar-condicionado em Florianópolis - em todos os casos, tanto nos ambientes com porta interna aberta quanto nos ambientes com porta interna fechada. O método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade, em poucas situações foi o que mais se aproximou da bissetriz. Na maioria dos casos, as retas deste método apresentaram valores menores que os da bissetriz. Os demais métodos em nenhum momento foram os que mais se aproximaram da bissetriz. Assim, para o método da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 80% de aceitabilidade, as retas apresentaram valores sempre menores que os da bissetriz; enquanto que para o método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente, as retas sempre apresentaram valores muito maiores que os da bissetriz.

Como a geometria da tipologia predominante de Santana (2006) é de 1:1,4, fez-se correlações e traçou-se a bissetriz para ambientes com geometria de 1:1, conforme apresentado em 3.1. Os resultados foram similares aos apresentados pelas geometrias de 1:2 e 2:1.

Diante do apresentado, a opção pelo método de Givoni, foi considerada a mais adequada para o clima de Florianópolis.

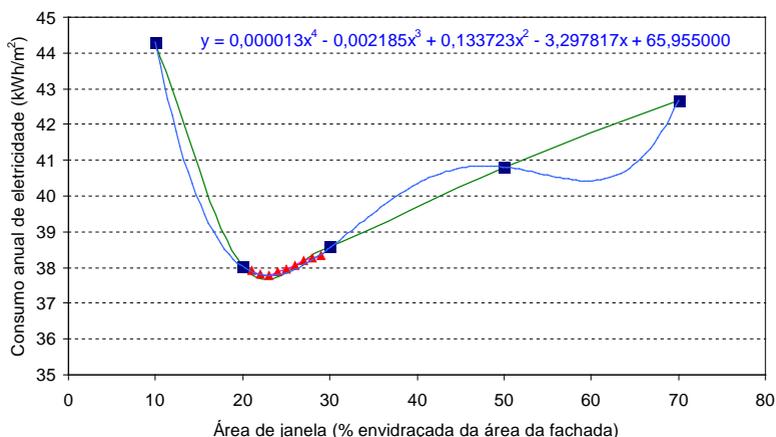


**Figura 20: Correlação entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante para ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste, com porta interna fechada e três áreas de janela.**

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA OBTER A ÁREA DE JANELA

Os resultados do teste realizado para a determinação da área de janela encontram-se na Figura 21 (a curva azul é relativa ao procedimento “a”, a curva verde ao “b” e os pontos em vermelho ao “c”).

Os resultados dos procedimentos “a” e “c”, descritos em 3.7.1, apontaram para uma área de janela de 23%. Já para o procedimento “b”, a área de janela foi de aproximadamente 22%. Deste modo, como as áreas de janela foram similares e como os resultados de consumo de energia elétrica (entre 20 e 30% de área de janela) diferem ligeiramente (entre 38,02 e 38,56 kWh/m<sup>2</sup>), se optou por utilizar o procedimento mais rápido, simples e preciso. Assim, para a determinação das áreas de janela, foi utilizado o procedimento “a”, em que se define uma equação que melhor se adapta ao conjunto de dados de cada estudo de caso.



**Figura 21: Procedimentos para determinar a área de janela.**

## 4.5 POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

A seguir são apresentados os consumos de energia elétrica para cada estudo de caso. A partir dos consumos de eletricidade foi possível obter os potenciais de economia de energia elétrica, que também são apresentados nesta seção do trabalho.

### 4.5.1 Caso 1: Caso base

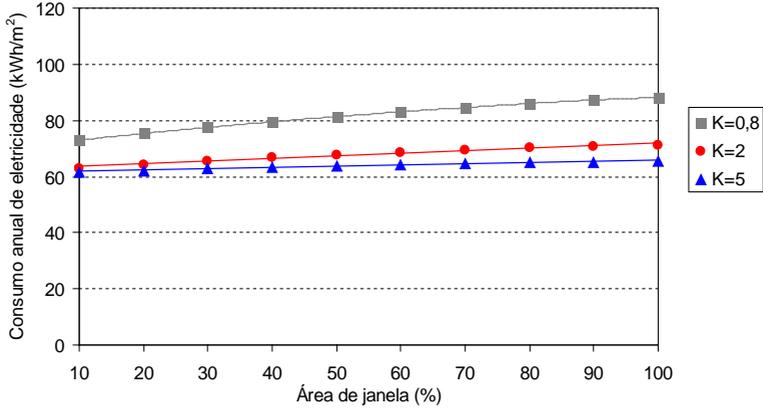
No Caso 1 as simulações foram realizadas somente com sistema de ar-condicionado, iluminação artificial e cargas internas funcionando das 8 às 18 horas nos dias de semana (segunda a sexta-feira).

Para este caso, os resultados de consumos de energia elétrica variaram entre 61,53 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, 10% de área de janela, orientação sul e, 120,47 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação oeste. Os resultados de consumo de energia elétrica do Caso 1, separados por uso final (iluminação artificial, ar-condicionado e equipamentos), encontram-se no Apêndice E.

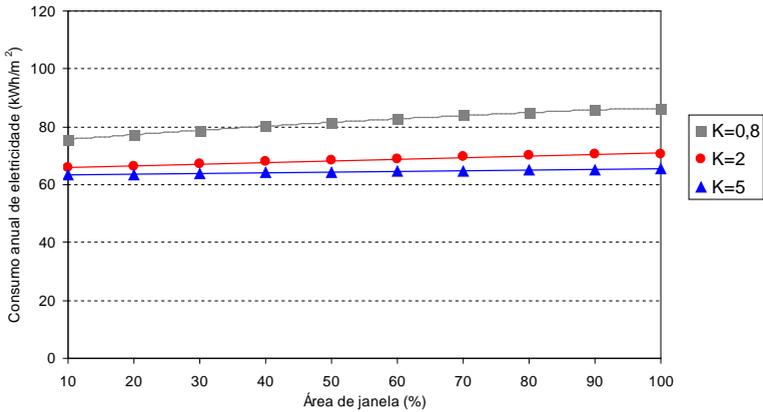
De modo geral, os consumos de energia elétrica por área de janela são muito similares para os ambientes com índice de ambiente igual a 5, e para algumas situações (orientação sul) com índice de ambiente igual a 2.

A partir dos resultados de consumo, foram traçados gráficos de consumo por área de janela e gráficos de consumo separados por uso final por área de janela. A Figura 22 apresenta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1, orientação sul, para os três índices de ambiente (0,8, 2 e 5). Já a Figura 23 apresenta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 1:2, orientação sul, para os três índices de ambiente. A Figura 24 apresenta o consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1 descrito anteriormente. Como as tendências apresentadas pelos outros ambientes foram similares, somente mostrando-se um gráfico de consumo por uso final é suficiente

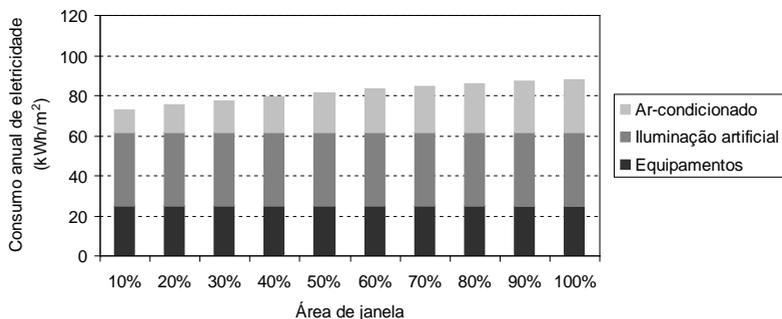
para explicar o comportamento energético dos ambientes de cada estudo de caso.



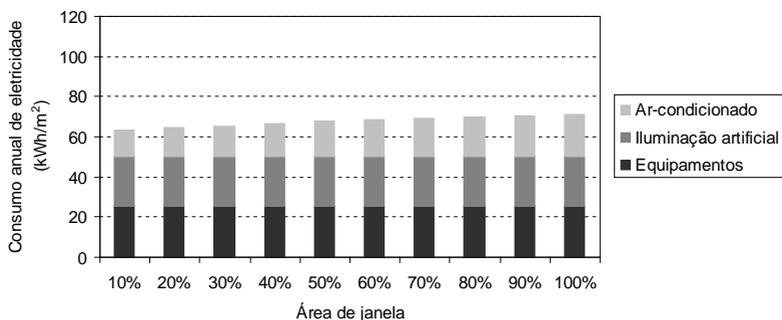
**Figura 22: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



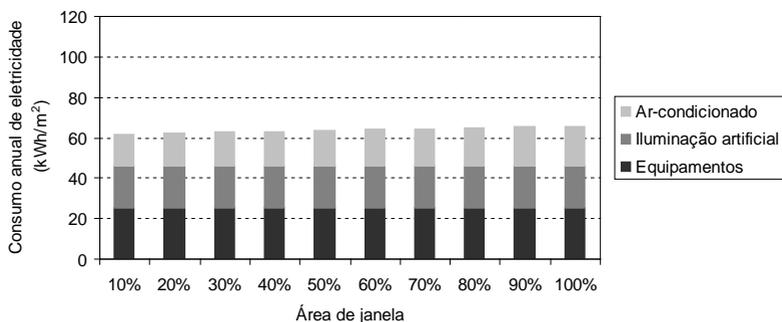
**Figura 23: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



(a) Índice de ambiente igual a 0,8



(b) Índice de ambiente igual a 2



(c) Índice de ambiente igual a 5

**Figura 24: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.**

Através da análise das figuras, pode-se afirmar que, no Caso 1, como os consumos em iluminação e equipamentos são constantes, ao aumentar a área de janela, aumenta-se o consumo de eletricidade do sistema de ar-condicionado, com comportamento linear. Assim, quanto maior a área de janela maior o consumo de energia elétrica (com índice de ambiente igual a 5, o aumento do consumo de energia elétrica devido ao aumento da área de janela foi pequeno). Essa elevação no consumo é devida ao aumento da carga térmica interna do ambiente, proveniente do ganho térmico pela janela. Desta maneira, necessita de maior carga de resfriamento, que resulta em um maior consumo do sistema de ar-condicionado.

O aumento da área de janela tem maior influência no consumo em sistema de ar-condicionado para ambientes menores (com índice de ambiente igual a 0,8).

Comparando-se o consumo de energia elétrica entre os índices de ambiente, percebe-se que quanto menor o ambiente (em ambientes menores a carga térmica é maior), maior foi o consumo total de energia elétrica, independentemente da geometria ou da orientação. Já com relação a influência da geometria no consumo de energia elétrica, para ambientes menos profundos (geometria de 2:1) os consumos são ligeiramente maiores. À exceção de áreas de janela pequenas, em que a tendência oposta foi observada. Nota-se também que a influência da geometria no consumo de energia elétrica é menor para ambientes maiores. Destaca-se que os menores consumos de energia elétrica foram obtidos para a orientação sul – a orientação sul recebe menor número de horas de sol que as demais orientações, já que Florianópolis situa-se na latitude sul  $-27^{\circ} 36'$ . Esses resultados estão de acordo com as conclusões de Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005), que estudaram diferentes dimensões de salas de escritórios localizadas em Florianópolis.

#### **4.5.2 Caso 2: Integração da iluminação natural e artificial**

No Caso 2 as simulações foram realizadas com sistema de ar-condicionado, integração da iluminação natural e artificial (sendo o controle da iluminação artificial realizado por um sistema

dimerizável) e cargas internas funcionando das 8 às 18 horas nos dias de semana (segunda a sexta-feira).

Os resultados de consumos de energia elétrica variaram entre 39,73 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, 20% de área de janela, orientação sul e, 79,62 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação oeste. Os resultados de consumo de energia elétrica do Caso 2, separados por uso final, encontram-se no Apêndice F.

Novamente neste caso, de maneira geral, os consumos de energia elétrica por área de janela são muito similares para os ambientes com índice de ambiente igual a 5, e para algumas situações (geometria de 1:2) com índice de ambiente igual a 2.

A Figura 25 apresenta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1, orientação sul, para os índices de ambiente de 0,8, 2 e 5. Já a Figura 26 apresenta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste, para os três índices de ambiente. A Figura 27 mostra o consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1 descrito anteriormente. As reduções máximas, médias e mínimas, por orientação e geometria, no consumo de eletricidade entre o Caso 1 e o Caso 2 são mostradas na Tabela 16.

Como se pode notar, o comportamento do consumo de energia elétrica em função da área de janela não é linear. Os consumos em iluminação artificial diminuem com o aumento da área de janela, devido ao aproveitamento da luz natural. Essa redução do consumo de energia elétrica em iluminação artificial pode chegar a 93,6%, com relação ao Caso 1, conforme pode ser observado para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação leste (Apêndice I).

Com a diminuição do consumo em iluminação artificial, diminui-se a carga térmica interna do ambiente, o que acarreta em uma diminuição do consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado (podendo atingir uma redução de consumo de até 36% para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 20% de área de janela, orientação sul - Apêndice I), quando comparado ao consumo do Caso 1.

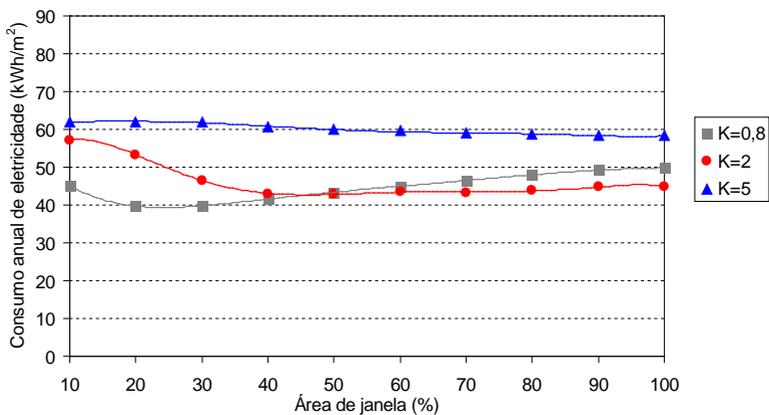
Mesmo assim, os consumos em sistema de ar-condicionado aumentam gradativamente com o aumento da área de janela. Porém, existem algumas exceções, em que, com o aumento da área de janela pode ocorrer uma pequena diminuição do consumo do aparelho do ar-condicionado. Como exemplo, cita-se, o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação sul, entre 10 e 20% de área de janela, que o consumo do sistema de ar-condicionado passa de 10,25 a 9,87 kWh/m<sup>2</sup>.ano, respectivamente. Nestes casos, essa diminuição do consumo do sistema de ar-condicionado ocorreu porque houve um grande aproveitamento da luz natural entre os intervalos de área de janela.

Já com relação ao consumo total de energia elétrica, pode-se chegar a uma redução de até 50,5% (para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 40% de área de janela, orientação sul - Apêndice I), quando se utiliza da integração da luz natural à iluminação artificial.

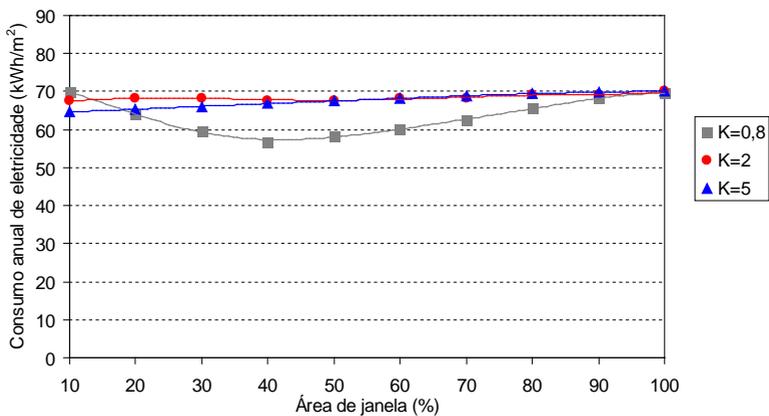
Analisando-se os valores médios de redução de consumo, as maiores reduções no consumo de energia elétrica ocorreram para a orientação sul e as menores para a orientação oeste. Porém, as economias absolutas (kWh/m<sup>2</sup>) para a orientação sul foram as menores dentre as quatro orientações.

As reduções entre os índices de ambiente de uma mesma geometria variaram consideravelmente. A geometria exerceu significativa influência na redução no consumo de energia elétrica. Salas menores (com índice de ambiente igual a 0,8) e menos profundas (geometria de 2:1 e 1:1) apresentaram maiores reduções no consumo. Nestas salas houve um maior aproveitamento da luz natural (diminuição do consumo em iluminação artificial e redução da carga térmica interna, conseqüentemente, diminuindo o consumo em sistema de ar-condicionado).

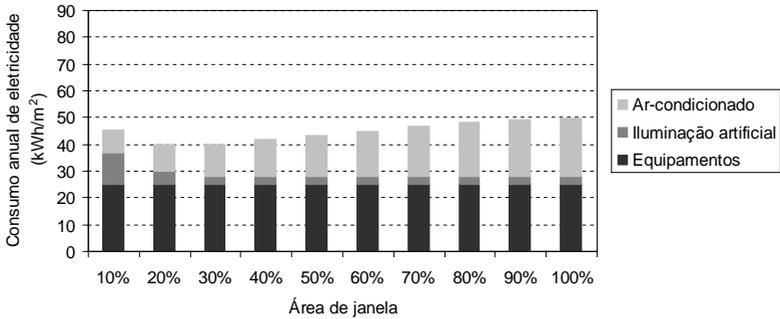
Assim, pode-se afirmar que há uma significativa economia de energia elétrica quando se utiliza da integração da iluminação artificial com a natural em edifícios de escritórios localizados na cidade de Florianópolis, quando comparados a edifícios com iluminação artificial e condicionados artificialmente.



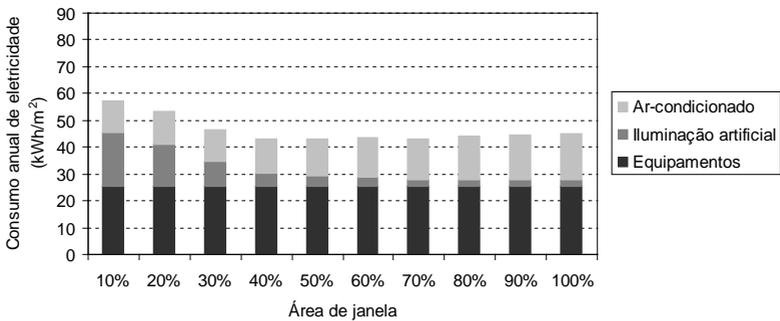
**Figura 25: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



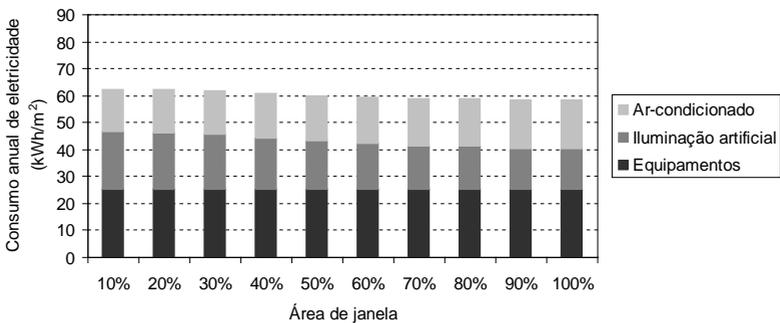
**Figura 26: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



(a) Índice de ambiente igual a 0,8



(b) Índice de ambiente igual a 2



(c) Índice de ambiente igual a 5

**Figura 27: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.**

**Tabela 16: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 2.**

Orientação	Redução	Redução no consumo total de energia (%)								
		Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
Norte	Máxima	46,2	34,1	11,2	48,6	30,1	4,9	40,3	14,2	-0,3
	Mínima	34,6	9,3	-1,0	34,6	4,2	-1,0	16,0	-0,5	-1,0
	Média	40,0	29,3	6,3	42,5	23,1	1,8	35,2	8,9	-0,8
Sul	Máxima	48,7	37,6	10,9	50,5	33,0	4,6	49,5	30,0	2,3
	Mínima	38,0	9,1	-0,9	26,3	1,9	-1,0	32,4	0,0	-1,0
	Média	45,0	31,2	5,7	46,5	21,8	1,3	45,8	20,6	0,3
Leste	Máxima	45,8	34,5	13,0	47,1	29,8	7,1	39,4	16,3	-0,3
	Mínima	33,9	14,8	0,9	33,0	6,6	-0,3	17,3	1,2	-1,0
	Média	39,5	30,5	8,7	41,8	23,0	3,4	34,8	10,9	-0,5
Oeste	Máxima	45,5	34,5	12,2	46,5	29,1	4,7	38,7	13,9	-0,2
	Mínima	33,1	8,9	-0,8	28,5	3,2	-1,0	11,9	-0,1	-1,0
	Média	38,7	29,0	6,4	40,5	21,7	1,5	33,0	8,2	-0,8

Os resultados de redução do consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e Caso 2 estão contidos no Apêndice I. Pequenas diferenças de consumo em iluminação artificial entre o Caso 1 e o Caso 2 em que se utiliza a integração da iluminação natural e artificial (quando nesta última, em alguns casos, o consumo em iluminação artificial é ligeiramente superior ao Caso 1) ocorrem devido aos arredondamentos da área de cada ambiente, realizados pelo *Daysim*. Isto aconteceu nos ambientes em que não se obteve aproveitamento considerável da luz natural, ou seja, principalmente para áreas de janela pequenas e para índice de ambiente igual a 5. Assim, para essas situações do Caso 2, quando inseridos os valores das *schedules* de controle da iluminação artificial no *EnergyPlus*, os consumos em iluminação artificial resultaram ligeiramente superiores aos do Caso 1. Por este motivo, as reduções de consumo também resultaram negativas para iluminação artificial.

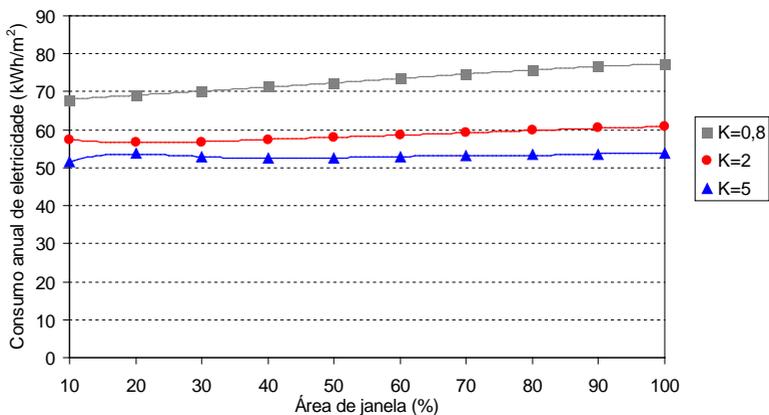
### 4.5.3 Caso 3: Ventilação híbrida

No Caso 3 as simulações foram realizadas com ventilação híbrida (controlada por *schedules*), iluminação artificial e cargas internas funcionando das 8 às 18 horas nos dias de semana (segunda a sexta-feira).

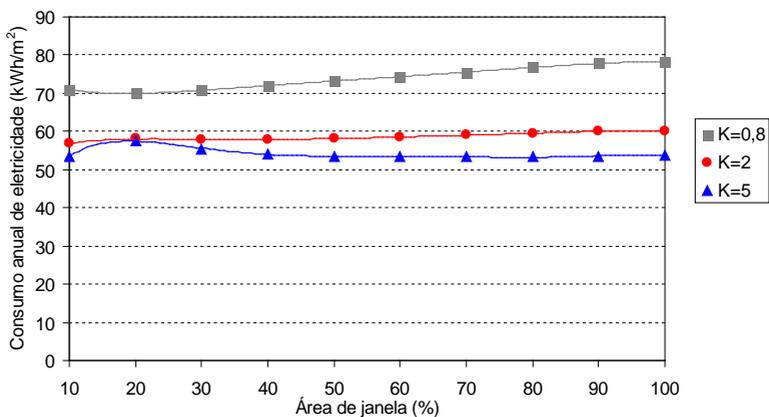
Para o Caso 3, os resultados de consumos de energia elétrica variaram entre 51,39 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 5, 10% de área de janela, orientação sul e, 87,36 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação oeste. Os resultados das simulações do Caso 3 encontram-se no Apêndice G.

Para ambientes com índice de ambiente igual a 5, os consumos de energia elétrica por área de janela são muito semelhantes a partir de certa área de janela. O mesmo comportamento foi observado para algumas situações com índice de ambiente igual a 2.

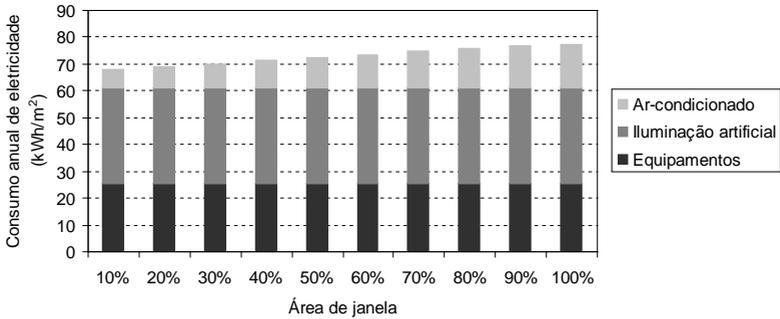
Através da Figura 28 pode-se visualizar o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1, orientação sul, para índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. Na Figura 29 consta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste, para os mesmos três índices de ambiente. Já o consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1 descrito anteriormente, é apresentado na Figura 30. As reduções máximas, médias e mínimas, por orientação e geometria, no consumo de eletricidade entre o Caso 1 e o Caso 3 podem ser visualizadas na Tabela 17.



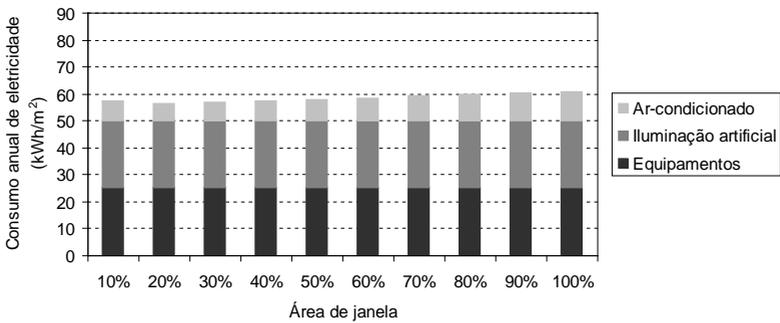
**Figura 28: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



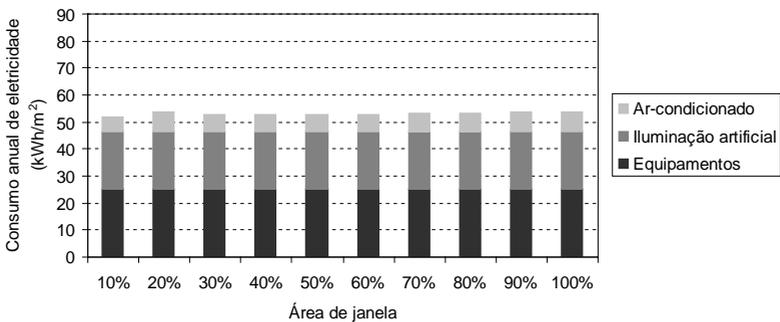
**Figura 29: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



(a) Índice de ambiente igual a 0,8



(b) Índice de ambiente igual a 2



(c) Índice de ambiente igual a 5

**Figura 30: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.**

**Tabela 17: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 3.**

Orientação	Redução	Redução no consumo total de energia (%)								
		Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
Norte	Máxima	31,9	28,4	26,0	30,0	28,2	25,3	29,5	26,7	24,4
	Mínima	12,3	12,4	15,8	13,1	16,6	14,6	13,2	16,5	11,6
	Média	24,4	22,9	22,0	23,4	23,3	21,5	23,5	22,5	20,2
Sul	Máxima	12,2	14,7	18,0	13,0	16,3	18,6	14,9	17,7	19,5
	Mínima	6,8	8,8	13,5	8,4	13,3	12,9	10,5	13,6	10,7
	Média	10,5	13,4	16,9	11,6	15,3	17,4	13,6	16,6	17,4
Leste	Máxima	26,2	24,1	23,2	25,5	24,8	23,0	25,9	23,5	22,3
	Mínima	9,2	10,3	7,9	9,2	10,2	5,1	10,0	11,3	5,2
	Média	20,2	19,5	19,2	20,0	19,9	18,3	20,4	19,8	17,5
Oeste	Máxima	27,6	26,8	24,7	27,5	26,9	24,3	28,2	25,9	23,5
	Mínima	10,1	10,5	8,0	5,7	10,5	5,2	10,4	15,8	11,0
	Média	21,7	21,1	20,0	20,9	21,4	19,2	22,1	21,4	19,3

As comparações de consumo entre os índices de ambiente e entre as geometrias seguiram a mesma tendência apresentada para o caso base. Porém, para algumas situações de salas com índice de ambiente igual a 5, entre 10 e 20% de área de janela, os comportamentos de consumo de energia elétrica tiveram comportamentos diferenciados devido ao uso da ventilação híbrida. Para algumas situações com 10% de área de janela o consumo de energia elétrica foi maior que com 20% de área de janela; para outras situações o oposto foi observado. Isto ocorreu devido ao balanço de energia do ambiente, que teve relação com o fato da ventilação natural ter sido mais ou menos efetiva, respectivamente, com o aumento da área de janela.

Analisando-se os resultados, percebe-se que, de modo geral, ocorre um aumento do consumo de energia elétrica com o aumento da área de janela. Entretanto, com valores de consumo inferiores aos do Caso 1, chegando a valores de redução de consumo total de energia elétrica de até 31,9% (para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação norte - Apêndice J). Através da ventilação natural, diminui-se a carga térmica interna do ambiente. Além de que, com a incorporação da ventilação híbrida, alternando entre a ventilação natural e o uso do aparelho de ar-condicionado, diminui-se, com relação ao Caso 1, o número

de horas que o sistema de ar-condicionado estaria ligado. Esses fatos podem conduzir a uma redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar-condicionado em até 72,4%, para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, 100% de área de janela, orientação norte (Apêndice J).

A menor redução de consumo total de energia elétrica foi de 5,1%, para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 5, 10% de área de janela, orientação leste. Neste ambiente também se observou a menor redução no consumo do sistema de ar-condicionado (18,9%).

De modo geral, com áreas de janelas superiores obteve-se maiores economias de energia elétrica. Ressalta-se que as economias absolutas ( $\text{kWh/m}^2$ ) também foram maiores para áreas de janelas superiores. Porém, em algumas situações para a orientação sul, as economias de energia elétrica do sistema de ar-condicionado diminuíram com o aumento da área de janela. A orientação sul recebe menor número de horas de sol que as demais orientações, já que Florianópolis está situada na latitude sul  $-27^\circ 36'$ . Nesta orientação ocorreram mais situações em que somente com o uso da ventilação natural (diminuição da carga térmica interna do ambiente) garantiu-se condições de conforto térmico (carta de Givoni). Deste modo, obteve-se menores consumos do sistema de ar-condicionado. Todavia, a economia de consumo total seguiu a mesma tendência apresentada pelas demais orientações.

Com relação aos valores médios de redução de consumo, as maiores reduções no consumo de energia elétrica ocorreram para a orientação norte e as menores para a orientação sul. Salas menores (com índice de ambiente igual a 0,8) apresentaram as maiores reduções no consumo. Porém, as reduções entre os índices de ambiente de uma mesma geometria, variaram pouco, sendo mais significativas para a orientação sul. A geometria exerceu pouca influência na redução no consumo de energia elétrica.

Deste modo, pode-se afirmar que há uma significativa economia de energia elétrica quando se utiliza da estratégia híbrida de ventilação em edifícios comerciais, localizados em Florianópolis, quando comparados a edifícios condicionados artificialmente.

Os resultados de redução do consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e Caso 3 estão apresentados no Apêndice J.

#### 4.5.4 Caso 4: Ventilação híbrida e integração da iluminação natural e artificial

Para o Caso 4 as simulações foram realizadas com ventilação híbrida (controlada por *schedules*), integração da iluminação natural e artificial (sendo o controle da iluminação artificial realizado por um sistema dimerizável) e cargas internas funcionando das 8 às 18 horas nos dias de semana (segunda a sexta-feira).

No Caso 4, os resultados de consumos de energia elétrica variaram entre 34,02 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 30% de área de janela, orientação sul e, 62,73 kWh/m<sup>2</sup>.ano para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 10% de área de janela, orientação oeste. Os resultados das simulações do Caso 4 encontram-se no Apêndice H.

Contrariamente aos demais casos, no Caso 4, há uma maior variação dos consumos de energia elétrica por área de janela para os ambientes com índice de ambiente igual a 5 (com algumas exceções para os ambientes com geometria de 1:2).

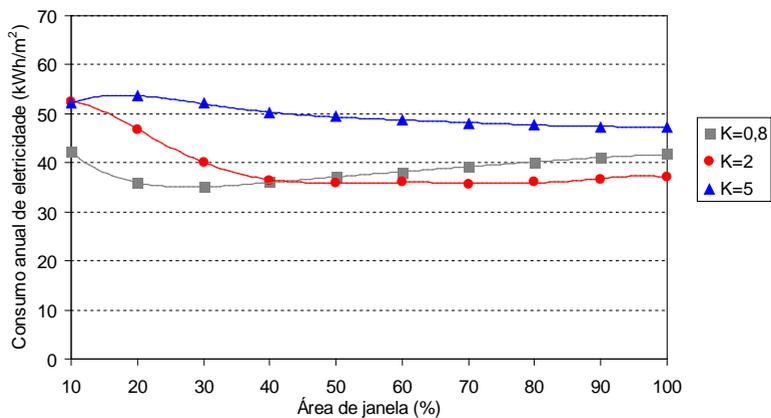
A Figura 31 mostra o consumo de energia elétrica por área de janela para o ambiente com geometria de 2:1, orientação sul, para índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5. A Figura 32 apresenta o consumo de energia elétrica por área de janela, para o ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste, para os mesmos três índices de ambiente. Já na Figura 33 encontra-se o consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela, para o ambiente com geometria de 2:1 descrito anteriormente. Na Tabela 18 constam as reduções máximas, médias e mínimas, por orientação e geometria, no consumo de eletricidade entre o Caso 1 e o Caso 4.

Através da análise dos gráficos, percebe-se que os comportamentos das curvas de consumo de energia elétrica são diferentes entre os três índices de ambiente. Para índice de ambiente igual a 0,8 e 10% de área de janela, o consumo de energia elétrica é elevado, pois há pouco aproveitamento da luz natural e da ventilação natural. À medida que se aumenta a área de janela, o consumo total de energia elétrica decresce até atingir um ponto de mínimo consumo. Atingido esse ponto de mínimo, o consumo de energia elétrica volta a subir, podendo, em

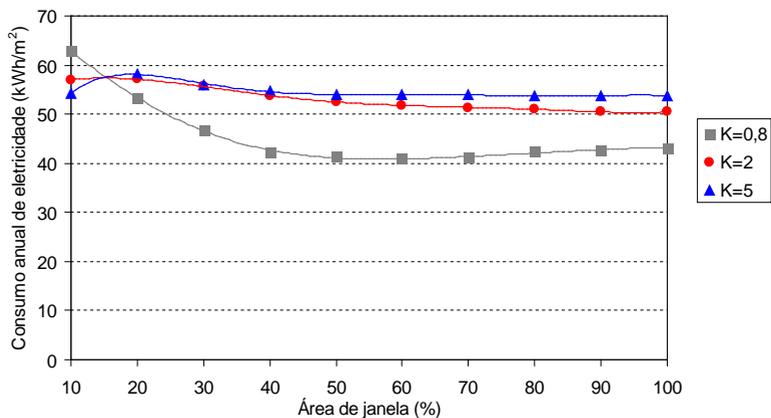
determinados casos, superar o consumo com 10% de área de janela.

Para os ambientes com geometria de 2:1 e índice de ambiente igual a 2, essa mesma tendência foi observada. Entretanto, para as outras duas geometrias dos ambientes com índice de ambiente igual a 2, o comportamento do consumo total de energia elétrica é similar aos ambientes com índice de ambiente igual a 5. Nestes ambientes, o consumo com 10% de área de janela é elevado, tendendo a diminuir com o aumento da área de janela (com algumas exceções entre 20 e 40% de área de janela, que por vezes, apresentaram consumos de energia elétrica superiores ao ambiente com 10% de área de janela).

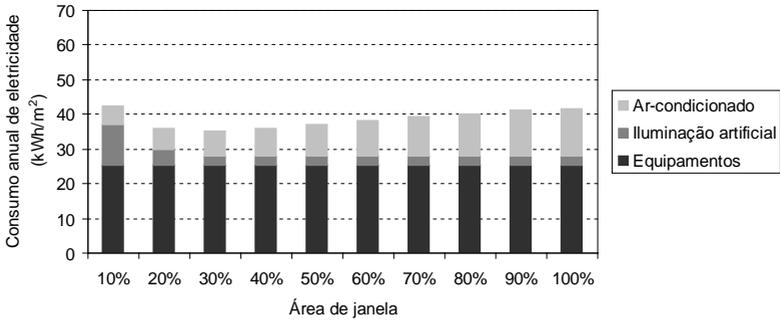
No Caso 4, o comportamento do consumo em iluminação artificial é similar ao do Caso 2. Ou seja, os consumos em iluminação diminuem com o aumento da área de janela, devido ao aproveitamento da luz natural, o que também conduz a uma redução na carga térmica interna do ambiente. Porém, neste caso, a carga térmica interna do ambiente também é reduzida devido ao uso da ventilação natural. Deste modo, o consumo do sistema de ar-condicionado é duplamente afetado, não sendo possível quantificar, individualmente, qual a parcela na redução do consumo do Caso 4 é devida a diminuição do consumo em iluminação artificial e qual é devida a redução da carga térmica interna causada pela ventilação natural. Pois, ao se utilizar as duas estratégias simultaneamente (iluminação natural e ventilação natural), o comportamento térmico do ambiente é totalmente diferente ao comportamento dos demais casos. Ou seja, o consumo de energia elétrica do aparelho de ar-condicionado do Caso 4 não é simplesmente a subtração ao Caso 1, das reduções de consumo dos Casos 2 e 3. Assim, no Caso 4, a dupla diminuição da carga térmica conduz a uma redução no consumo do sistema de ar-condicionado, com relação ao Caso 1, de até 77,4%, para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, 60% de área de janela, orientação norte (Apêndice K).



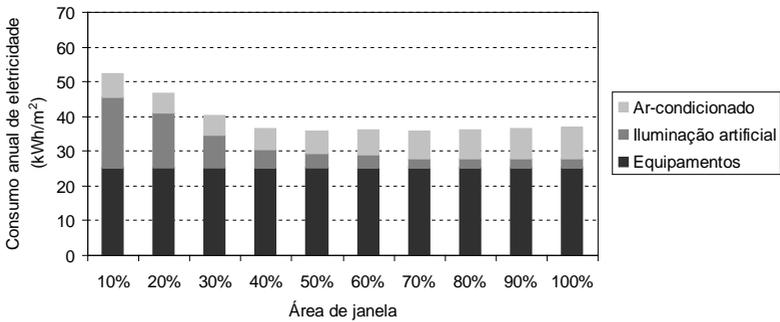
**Figura 31: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



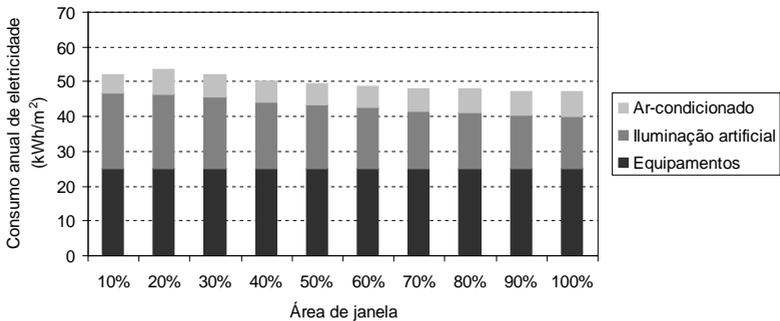
**Figura 32: Consumo total de energia elétrica por área de janela para ambiente com geometria de 1:2, orientação oeste e índices de ambiente iguais a 0,8, 2 e 5.**



(a) Índice de ambiente igual a 0,8



(b) Índice de ambiente igual a 2



(c) Índice de ambiente igual a 5

**Figura 33: Consumo de energia elétrica, separado por uso final, por área de janela para ambiente com geometria de 2:1, orientação sul e três índices de ambiente.**

**Tabela 18: Redução máxima, média e mínima, por orientação e geometria, no consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 4.**

Orientação	Redução	Redução no consumo total de energia (%)								
		Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
Norte	Máxima	63,3	57,1	36,0	64,9	54,7	29,6	63,3	39,5	24,2
	Mínima	50,9	20,4	16,4	43,7	20,3	13,7	27,0	16,9	10,7
	Média	60,5	49,0	27,6	61,3	43,7	23,1	54,7	30,4	19,5
Sul	Máxima	54,8	48,6	28,0	57,9	45,8	22,8	57,3	44,8	21,7
	Mínima	42,2	16,7	13,6	32,2	15,1	12,6	39,2	15,3	9,7
	Média	52,5	41,5	22,0	54,2	34,7	18,6	54,7	35,0	17,8
Leste	Máxima	57,4	52,8	34,7	60,5	51,2	29,1	58,5	37,5	22,1
	Mínima	49,0	23,4	8,7	39,3	16,2	4,8	25,3	12,4	4,4
	Média	56,2	46,7	26,9	57,6	40,3	21,4	51,2	29,4	17,1
Oeste	Máxima	58,1	54,5	35,5	61,0	52,5	28,5	60,4	37,9	23,3
	Mínima	48,9	18,3	7,1	32,4	13,2	4,2	20,8	15,5	10,0
	Média	56,8	46,7	25,6	57,3	40,4	20,6	51,1	28,5	18,6

Do mesmo modo que para o Caso 3, no Caso 4 com áreas de janelas superiores obteve-se maiores economias de energia elétrica tanto em porcentagem quanto em kWh/m<sup>2</sup>. As maiores reduções no consumo de energia elétrica ocorreram para a orientação norte e as menores para a orientação sul. As maiores reduções no consumo foram obtidas para salas menores (com índice de ambiente igual a 0,8). Já com relação às reduções entre os índices de ambiente de uma mesma geometria, o comportamento foi similar ao apresentado para o Caso 2, havendo variações consideráveis. A geometria exerceu certa influência na redução no consumo de energia elétrica; notadamente em ambientes com geometria de 1:2, as economias foram menores em comparação com as geometrias de 2:1 e 1:1.

Já o consumo total de energia elétrica, pode chegar a uma redução de até 64,9%, para o ambiente com geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, 100% de área de janela, orientação norte - Apêndice K -, quando se utiliza a integração da luz natural com a iluminação artificial e a ventilação híbrida. Lembra-se que no Caso 2, a redução máxima no consumo total obtida foi de 50,5%. Para o Caso 3, esse valor de redução foi de 31,9%. Assim, a integração da iluminação natural com a artificial e a utilização da ventilação híbrida em edificações comerciais localizadas em Florianópolis, apresenta uma considerável parcela

de economia de energia elétrica, quando comparados a edifícios com iluminação artificial e condicionados artificialmente.

No Apêndice K estão apresentados os resultados de redução do consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e o Caso 4.

Para, ao menos, tentar compreender qual das duas estratégias (iluminação natural e ventilação híbrida) influência mais no consumo de energia elétrica do Caso 4, procedeu-se com a comparação de consumo entre os Casos 2 e 3. Esses resultados encontram-se no Apêndice L. Os valores negativos indicam que não houve redução no consumo de energia elétrica e sim aumento do consumo.

Quando comparados os consumos do sistema de ar-condicionado dos Casos 2 e 3, as reduções de consumo resultantes foram sempre maiores para o Caso 3. Ou seja, o aproveitamento da luz natural reduz pouco o consumo em ar-condicionado, pois a redução somente é devida a diminuição da dissipação de calor das lâmpadas. Já, como era esperado, as reduções de consumo em iluminação artificial ocorreram para os ambientes do Caso 2.

Quanto ao consumo total de energia elétrica, de modo geral, para índices de ambiente iguais a 0,8 e 2, as reduções de consumo total foram maiores para o Caso 2. Nestes ambientes, com o aproveitamento da luz natural diminuiu-se consideravelmente o consumo em iluminação artificial e o consumo em sistema de ar-condicionado. Com o aumento da área de janela as economias diminuíram com relação ao Caso 3. Por vezes, nos ambientes com geometria de 2:1 e 1:1, com índice de ambiente igual a 2, em áreas de janela pequenas, as reduções de consumo foram maiores para o Caso 3. Porém, ao aumentar-se a área de janela, a redução voltava a ser maior para o Caso 2. Já com relação aos ambientes com geometria de 1:2 e índice de ambiente igual a 2, somente na orientação sul aconteceu isso. Pois, nas demais orientações a redução de consumo sempre foi maior para o Caso 3. Para índice de ambiente igual a 5, as reduções no consumo de energia elétrica sempre foram maiores para o Caso 3.

Através dessa comparação entre os Casos 2 e 3, percebe-se que no Caso 4, a redução de consumo do ar-condicionado é mais significativa devido ao uso da ventilação híbrida (Caso 3). Porém, com relação ao consumo total de energia elétrica, na

maioria das vezes a redução de consumo é devida ao aproveitamento da luz natural (Caso 2) – com as exceções dos ambientes com índice de ambiente igual a 5 e, com índice de ambiente igual a 2, na geometria de 1:2 nas orientações norte, leste e oeste.

#### 4.6 ÁREAS DE JANELA

A Tabela 19 apresenta um resumo contendo as áreas de janela obtidas por meio dos resultados de consumo de energia elétrica por área de janela, para cada estudo de caso, orientação, geometria e índice de ambiente.

De modo geral (para os Casos 2, 3 e 4), as áreas de janela que conduzem aos menores consumos de energia elétrica variam com o índice de ambiente, sendo menores para índices de ambiente menores (com índice de ambiente igual a 0,8). As áreas de janela também foram menores para ambientes com geometria de 2:1 e para as orientações leste e oeste.

Como já era esperado, para o Caso 1 a área de janela foi sempre de 10%, visto que em todas as situações, quanto maior a área de janela maior é o consumo de energia elétrica. Ressalta-se que a área de janela pode ser menor. Porém, como não foram realizadas simulações com 0% de área de janela, resolveu-se apresentar os resultados com os dados simulados.

No Caso 3 as áreas dimensionadas variaram entre 10 e 19% para salas pequenas, e entre 10 e 79% para salas grandes. No Caso 2 as áreas dimensionadas variaram entre 13 e 42% para salas pequenas, e entre 10 e 96% para salas grandes. Já no Caso 4, as áreas variaram entre 21 e 70% para salas pequenas, e entre 65 e 100% para salas grandes.

Uma hipótese levantada sobre o valor considerado de carga térmica interna de equipamentos é de que essa carga poderia modificar o balanço de energia, possivelmente alterando o comportamento das curvas de consumo por área de janela. Assim, refez-se todas as simulações com a metade da carga de equipamentos ( $4,85 \text{ W/m}^2$ ). Todavia, os valores de área de janela não foram alterados.

**Tabela 19: Áreas de janela para cada estudo de caso, orientação, geometria e índice de ambiente.**

Área de janela (%)										
Caso	Orientação	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0
1	Norte	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Sul	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Leste	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Oeste	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	Norte	14	38	10	21	59	10	39	62	10
	Sul	24	46	96	28	100	94	27	86	95
	Leste	13	35	41	23	60	10	40	36	10
	Oeste	13	39	10	21	65	10	42	10	10
3	Norte	10	22	10	10	10	10	16	10	10
	Sul	10	21	10	10	10	10	10	10	79
	Leste	10	19	22	16	22	53	18	20	69
	Oeste	10	20	32	15	22	52	19	10	78
4	Norte	24	53	88	26	94	90	70	100	90
	Sul	28	75	100	32	100	90	31	90	90
	Leste	21	44	68	28	70	100	56	94	65
	Oeste	21	48	100	25	77	95	57	95	83

A Tabela 20 mostra os consumos de energia elétrica obtidos com os valores de área de janela.

**Tabela 20: Consumo de energia elétrica dos ambientes com área de janela.**

Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)										
Caso	Orientação	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0
1	Norte	77	66	63	83	65	63	79	68	64
	Sul	73	63	62	79	63	62	76	66	63
	Leste	78	66	63	83	65	63	79	67	64
	Oeste	78	66	63	80	65	63	79	67	64
2	Norte	44	49	64	45	53	64	54	67	65
	Sul	39	43	58	41	47	62	40	49	64
	Leste	44	48	61	47	54	63	55	64	65
	Oeste	44	49	63	48	56	64	57	67	65
3	Norte	68	57	52	72	55	51	69	56	53
	Sul	68	57	52	72	54	51	68	56	52
	Leste	70	58	53	75	56	53	70	57	53
	Oeste	70	58	54	75	57	53	70	57	53
4	Norte	35	35	47	35	37	50	37	48	53
	Sul	35	36	47	36	38	50	34	39	51
	Leste	37	37	47	37	39	50	41	49	53
	Oeste	37	37	48	38	39	51	41	50	54

Através das Tabelas 19 e 20 nota-se que no Caso 4 têm-se áreas de janela superiores ao Caso 2 e 3. Porém, com consumos de energia elétrica inferiores (com duas exceções, com relação ao Caso 3, do ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e leste, em que os consumos são praticamente iguais). Por outro lado, as áreas de janela dimensionadas pelo Caso 2 também são maiores que as do Caso 3. Na maioria dos casos, os consumos do Caso 2 são inferiores. Porém, ocorrem exceções no ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5 e orientação leste e nos ambiente com geometria de 1:2, com índice de ambiente igual a 2 (leste) e 5 (sul).

Também se estipulou faixas de área de janela baseadas no menor consumo de energia elétrica. Isso foi feito para todos os ambientes de estudo deste trabalho, pois se observou que em significativos casos os consumos de energia elétrica variavam muito pouco entre determinadas faixas de áreas de janela. Assim, as faixas foram compostas pelas áreas de janela que apresentaram consumos de energia elétrica no máximo 5% superiores ao menor consumo obtido.

A Tabela 21 apresenta as faixas de área de janela obtidas. Em alguns ambientes (por exemplo, no Caso 2, geometria de 1:1, índice de ambiente igual a 0,8, nas orientações norte e oeste), os consumos de energia elétrica das áreas de janela próximas a área de janela dimensionada superou os 5%. Assim, manteve-se o próprio valor de área de janela dimensionada. Em um número considerável de ambientes (com índices de ambiente iguais a 2 e 5), devido a pequena variação de consumo de energia elétrica por área de janela, as faixas de áreas de janela estenderam-se desde os 10% até os 100%. De modo geral, obteve-se faixas de área de janela mais amplas para índices de ambiente maiores e para as orientações norte e sul.

**Tabela 21: Faixas de áreas de janela para cada estudo de caso, orientação, geometria e índice de ambiente.**

Faixas de área de janela (%)										
Caso	Orientação	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0	K=0,8	K=2,0	K=5,0
1	Norte	10	10-20	10-30	10	10-20	10-40	10-20	10-30	10-50
	Sul	10-20	10-30	10-70	10-20	10-40	10-100	10-30	10-60	10-100
	Leste	10	10-20	10-30	10	10-20	10-40	10-20	10-30	10-60
	Oeste	10	10-20	10-30	10	10-20	10-30	10-20	10-20	10-50
2	Norte	10-20	30-50	10-100	21	50-80	10-70	30-50	10-100	10-60
	Sul	20-40	40-90	40-100	20-50	70-100	10-100	20-40	70-100	10-100
	Leste	10-20	30-50	10-100	20-30	40-80	10-100	30-50	10-100	10-70
	Oeste	10-20	30-50	10-100	21	40-80	10-50	30-50	10-100	10-50
3	Norte	10-30	10-70	10-100	10-40	10-60	10	10-70	10-100	10
	Sul	10-40	10-70	10-100	10-40	10-70	10	10-60	10-100	30-100
	Leste	10-30	10-50	20-100	10-40	10-60	20-100	10-50	10-80	30-100
	Oeste	10-30	10-50	20-100	10-30	10-60	20-100	10-50	10-80	30-100
4	Norte	20-40	40-100	60-100	20-50	50-100	40-100	40-100	60-100	30-100
	Sul	20-40	40-100	50-100	30-60	70-100	40-100	30-60	70-100	40-100
	Leste	20-30	30-70	40-100	20-40	60-100	40-100	40-80	40-100	30-100
	Oeste	20-30	40-70	60-100	20-40	60-100	40-100	40-90	50-100	30-100

#### 4.7 AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Os resultados das simulações para o período de ocupação da edificação (8 às 18 horas de segunda a sexta-feira) de cada estudo de caso (temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e umidade absoluta do ar), foram plotados sob a carta de Givoni, por meio do programa *Analysis Bio*. Os resultados para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e com áreas de janela de 10, 50 e 100%, encontram-se na: Figura 34, para o Caso 1, Figura 35 para o Caso 2, Figura 36 para o Caso 3 e, Figura 37 para o Caso 4. Já os resultados, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e com áreas de janela de 10, 50 e 100%, encontram-se no Apêndice M.

Através da análise dessas figuras percebe-se que:

- Os Casos 1 e 2 apresentam comportamentos similares;
- Do mesmo modo, os Casos 3 e 4 apresentam comportamentos semelhantes;
- A diferença ocorre entre esses dois grupos (Casos 1 e 2 versus Caso 3 e 4). Nota-se que a distribuição dos pontos na

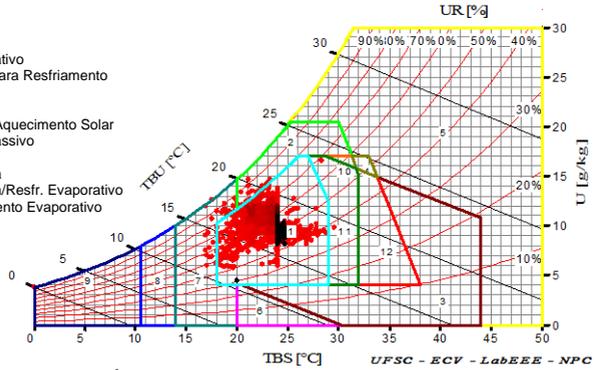
carta de Givoni relativa aos Casos 1 e 2 é mais uniforme, havendo um maior controle da umidade. Essa uniformidade é maior para o ambiente maior (índice de ambiente igual a 5). Isso é garantido pelo uso do sistema de ar-condicionado durante todo o período de ocupação da edificação (8 às 18 horas de segunda a sexta-feira).

- Por outro lado, nos Casos 3 e 4, no período de ocupação, alterna-se entre o acionamento do sistema de ar-condicionado e a ventilação natural (ventilação híbrida). Já fora do período de ocupação, de segunda a sexta-feira é permitida a ventilação natural (a janela só é aberta se satisfizer os requisitos de temperatura). Desta maneira, há uma maior dispersão dos pontos na zona de conforto térmico. Essa dispersão é mais acentuada nos ambientes com maiores áreas de janela, por haver maior entrada de ar.

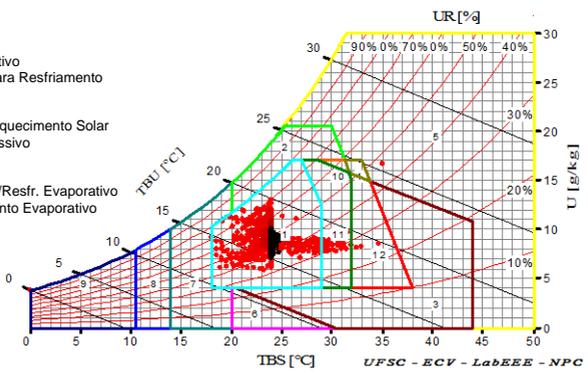
Ressalta-se que para os demais ambientes, o comportamento da distribuição dos pontos na zona de conforto, foi similar ao apresentado anteriormente.

Cabe destacar que para os quatro estudos de caso foi garantida uma elevada porcentagem (acima de 98% de conforto térmico) de número de horas de conforto térmico para os ocupantes durante o período de ocupação da edificação. Nos horários em que o sistema de ar-condicionado foi acionado (início de operação), em algumas situações, ocorreu desconforto térmico por calor, devido ao fato de que é a partir do acionamento do sistema de ar-condicionado que se inicia o resfriamento do ambiente. Eventualmente houve períodos, no inverno, em que a temperatura externa estando muito baixa, mesmo com a janela fechada, o ambiente interno ficou ligeiramente frio, causando leve desconforto térmico por frio. Deste modo, o critério de conforto térmico deste trabalho, baseado nos limites máximos para conforto estabelecidos por Givoni (1992), sendo o controle das aberturas realizado por temperatura, apresentou resultados satisfatórios. Porém, há diferenças, entre os Casos 1 e 2 e os Casos 3 e 4, na distribuição dos pontos na zona de conforto térmico. Deste modo, prosseguiu-se com a análise da expectativa do usuário com relação às hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida.

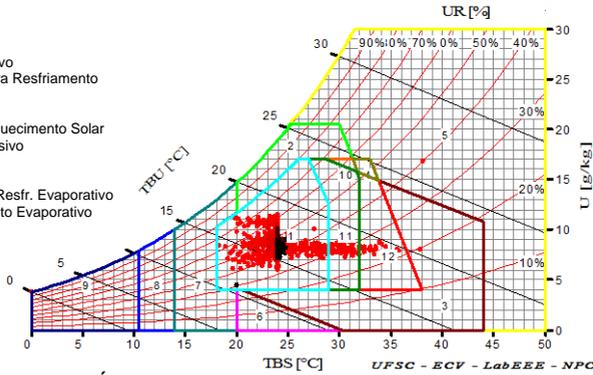
- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo

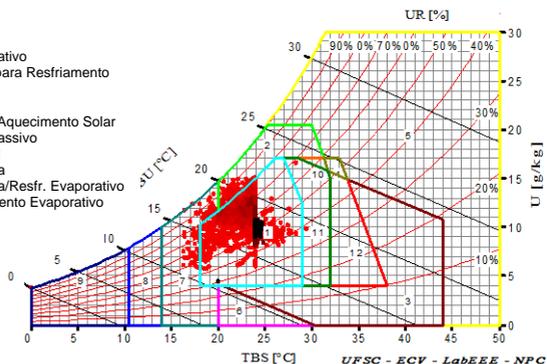


- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



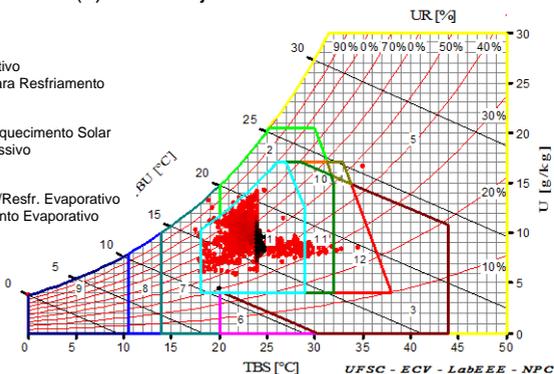
**Figura 34: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 1 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela.**

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



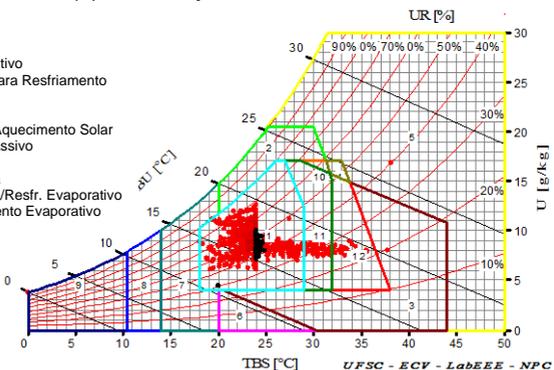
(a) Área de janela de 10%

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(b) Área de janela de 50%

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo

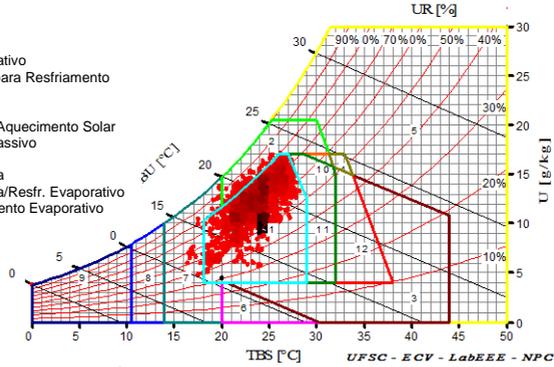


(c) Área de janela de 100%

**Figura 35: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 2 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela.**

ZONAS:

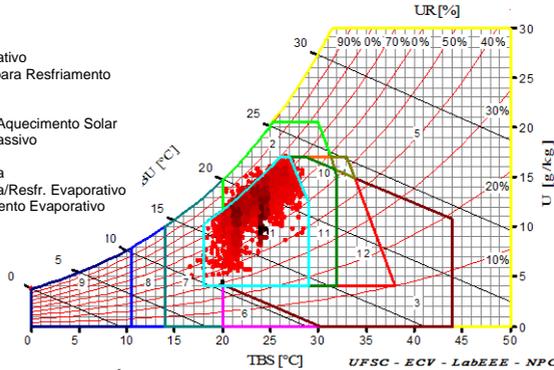
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(a) Área de janela de 10%

ZONAS:

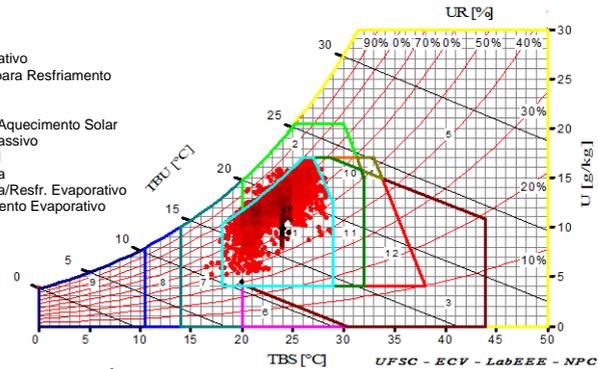
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(b) Área de janela de 50%

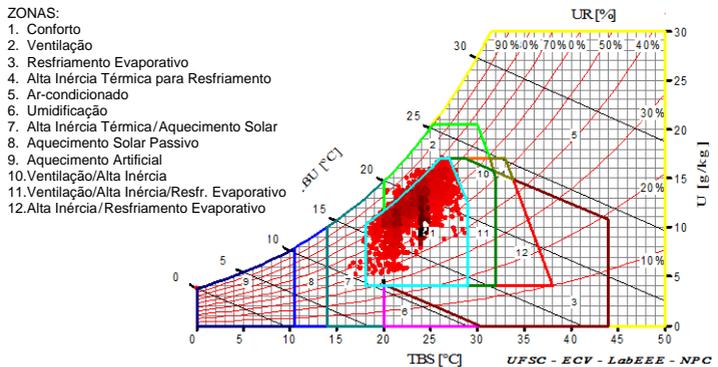
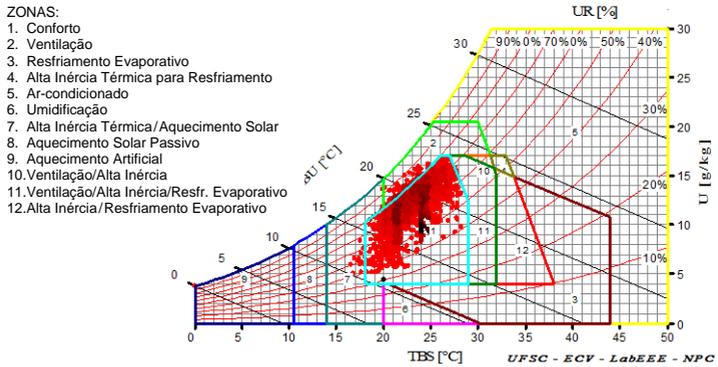
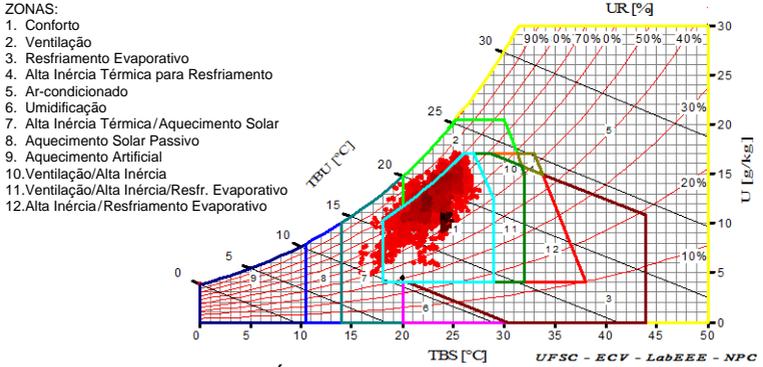
ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(c) Área de janela de 100%

**Figura 36: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 3 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela.**



**Figura 37: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 4 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e três áreas de janela.**

## 4.8 EXPECTATIVA DO USUÁRIO À VENTILAÇÃO HÍBRIDA

O número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida, durante os 260 dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas), por geometria, índice de ambiente, orientação e área de janela, para o Caso 3 é apresentado na Tabela 22. Do mesmo modo, este número de ocorrências para o Caso 4 encontra-se na Tabela 23. A seguir são apresentados as seis hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida e o período do ano em que foram observadas.

1. Sistema de ar-condicionado ligado das 8 às 18 horas: Padrão observado principalmente entre os meses de dezembro e março;

2. Janela aberta no início da manhã e sistema de ar-condicionado ligado posteriormente, seguindo ligado até as 18 horas: Padrão observado entre os meses de setembro e maio;

3. Janela aberta das 8 às 18 horas: Padrão observado entre abril e novembro;

4. Janela fechada no início da manhã e aberta posteriormente, seguindo aberta até as 18 horas: Padrão observado principalmente entre os meses de junho e agosto;

5. Sistema de ar-condicionado ligado no início da manhã e janela aberta posteriormente, seguindo aberta até as 18 horas: Padrão observado entre abril e maio e entre setembro e novembro, ou seja, no outono e na primavera. Nestas estações têm-se dias quentes e o desligamento do sistema de ar-condicionado pode realmente causar sensação de desconforto térmico e, portanto, insatisfação do usuário. Pois, este já estava aclimatado com o sistema de ar-condicionado ligado no início da manhã;

6. Sistema de ar-condicionado sendo ligado e desligado (alternando com a abertura da janela) das 8 às 18 horas: Padrão observado principalmente entre os meses de dezembro e março, ou seja, no verão. Nesta estação têm-se muitos dias quentes e úmidos e o liga e desliga do sistema de ar-condicionado também pode levar à insatisfação do usuário.

Na maioria das situações, com o aumento da área de janela houve diminuição do número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável. Isto ocorreu porque o sistema de ar-condicionado foi mais vezes acionado nas hipóteses de padrão “5” e “6”, o que é justificado pelo aumento da carga térmica solar do ambiente.

A maior ocorrência, para o Caso 3, das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria inaceitável foi de 45%, para o ambiente com geometria de 2:1, orientação sul, índice de ambiente igual a 0,8 e área de janela de 10%. Já para o Caso 4 foi de 49,2%, para o ambiente com geometria de 2:1, orientação norte, índice de ambiente igual a 0,8 e área de janela de 10%.

Comparando-se as ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável entre (a) os índices de ambiente, (b) orientações e (c) geometria, chegou-se aos seguintes resultados:

(a) As maiores ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável foram para as salas com índice de ambiente igual a 5. Nestes ambientes, o sistema de ar-condicionado foi mais vezes ligado das 8 às 18 horas, durante os meses de dezembro a março;

(b) Nas orientações leste e oeste, com 10% de área de janela observou-se as maiores ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável. Nestes ambientes o sol incide nos ambientes pela manhã e pela tarde, respectivamente, sendo mais propenso a não haver tantos casos com o sistema de ar-condicionado sendo ligado e posteriormente desligado. No entanto, com o aumento da área de janela para 100%, sempre ocorreram diminuições no número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável;

(c) Na maioria das situações, com a geometria de 1:2 obteve-se as maiores ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável. Nesta geometria há menor incidência solar na fachada envidraçada, conseqüentemente resultando em uma carga térmica solar menor.

As tendências apresentadas anteriormente foram similares entre o Caso 3 e o Caso 4. Porém, de modo geral, no Caso 4 obteve-se valores de número de ocorrências levemente inferiores na categoria aceitável. Como a carga interna dos ambientes do Caso 4 é menor (menor consumo em iluminação artificial), a janela foi aberta mais vezes no verão que no Caso 3. Porém, em variadas horas do dia, foi necessário o uso do aparelho de ar-condicionado. Assim, ocorreu mais vezes a hipótese de padrão de uso da ventilação híbrida “6”, em que o sistema de ar-condicionado foi ligado e desligado (alternando com a abertura da janela).

Para os Casos 3 e 4, a maior ocorrência das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria aceitável foi de 99,6% e de 99,2%, respectivamente, para o ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, orientação leste e área de janela de 10%.

**Tabela 22: Número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida, durante os 260 dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas), por geometria, índice de ambiente, orientação e área de janela, para o Caso 3.**

Índice de ambiente	Orientação	Área de janela (%)	Número de ocorrências (%)			
			Geometria			
			2:1		1:2	
			Aceitável (padrões 1 a 4)	Inaceitável (padrões 5 e 6)	Aceitável (padrões 1 a 4)	Inaceitável (padrões 5 e 6)
0,8	Norte	10	56,5	43,5	79,2	20,8
		100	63,8	36,2	63,8	36,2
	Sul	10	55,0	45,0	70,0	30,0
		100	60,4	39,6	63,1	36,9
	Leste	10	66,2	33,8	81,5	18,5
		100	60,8	39,2	62,7	37,3
	Oeste	10	65,8	34,2	83,8	16,2
		100	60,0	40,0	62,7	37,3
5	Norte	10	67,7	32,3	80,4	19,6
		100	67,7	32,3	71,2	28,8
	Sul	10	67,3	32,7	81,2	18,8
		100	66,2	33,8	70,0	30,0
	Leste	10	98,1	1,9	99,6	0,4
		100	67,3	32,7	70,4	29,6
	Oeste	10	97,7	2,3	85,8	14,2
		100	65,8	34,2	71,2	28,8

**Tabela 23: Número de ocorrências das hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida, durante os 260 dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas), por geometria, índice de ambiente, orientação e área de janela, para o Caso 4.**

Índice de ambiente	Orientação	Área de janela (%)	Número de ocorrências (%)			
			Geometria			
			2:1		1:2	
		Aceitável (padrões 1 a 4)	Inaceitável (padrões 5 e 6)	Aceitável (padrões 1 a 4)	Inaceitável (padrões 5 e 6)	
0,8	Norte	10	50,8	49,2	77,3	22,7
		100	58,8	41,2	63,5	36,5
	Sul	10	51,5	48,5	64,6	35,4
		100	59,6	40,4	63,1	36,9
	Leste	10	61,2	38,8	75,4	24,6
		100	57,7	42,3	61,5	38,5
	Oeste	10	62,7	37,3	83,1	16,9
		100	57,3	42,7	61,2	38,8
5	Norte	10	68,1	31,9	80,8	19,2
		100	68,1	31,9	71,5	28,5
	Sul	10	67,3	32,7	81,2	18,8
		100	67,3	32,7	70,8	29,2
	Leste	10	98,1	1,9	99,2	0,8
		100	68,1	31,9	71,2	28,8
	Oeste	10	97,3	2,7	86,5	13,5
		100	66,5	33,5	71,9	28,1

De modo geral, o número de ocorrências na categoria aceitável foi superior, apresentando na média uma ocorrência de 71,3% para o Caso 3 e, de 70,1% para o Caso 4. Entretanto houve consideráveis dias com hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida na categoria inaceitável, o que pode fazer com que os usuários se sintam insatisfeitos, mesmo estando na zona de conforto da carta de Givoni. Deste modo, como foi visto anteriormente, há um bom potencial de economia de energia elétrica com a utilização da ventilação híbrida em edifícios de escritórios, localizados em Florianópolis. Porém, os usuários podem se sentir insatisfeitos em determinados dias quentes, em que o sistema de ar-condicionado é desligado em algum momento após ser ligado.

No decorrer deste capítulo 4 apresentou-se e discutiu-se os resultados deste trabalho. No próximo capítulo são apresentadas as conclusões e as considerações finais desta pesquisa.



## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre esse trabalho. Também faz-se as considerações finais sobre o trabalho, apontando as limitações do mesmo e sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho desenvolveu-se um método para pré-dimensionar área de janela baseado no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, quando se utiliza da ventilação híbrida e da iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial. Esse foi o objetivo geral deste estudo.

Para atingir este objetivo, utilizou-se de ferramentas computacionais. No programa *Energyplus* fez-se simulações termo-energéticas; já o *Daysim* foi utilizado para simular a iluminação natural. O principal resultado das simulações no *EnergyPlus* foi o consumo anual de eletricidade.

Foram simulados modelos de ambientes de edificações comerciais, localizadas em Florianópolis, com três geometrias, três dimensões de sala por geometria, dez áreas de janela por ambiente e quatro orientações. Quatro estudos de caso foram analisados:

- Caso 1: um caso base, operando com sistema de ar-condicionado e iluminação artificial;
- Caso 2: o ambiente operou com sistema de ar-condicionado e utilizou-se a integração da iluminação natural com a artificial;
- Caso 3: o ambiente operou com iluminação artificial e ventilação híbrida;
- Caso 4: o ambiente operou com ventilação híbrida e a iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial.

Ao final do trabalho também: (a) verificou-se qual método de avaliação de conforto térmico seria o mais adequado para ser utilizado em clima com verão quente e úmido, (b) avaliou-se a influência de diferentes geometrias, tamanhos de salas e orientações no pré-dimensionamento de aberturas, (c) avaliou-se

o potencial de economia de eletricidade da ventilação híbrida e da iluminação natural e (d) estimou-se a expectativa do usuário à ventilação híbrida.

O método desenvolvido para pré-dimensionar área de janela baseado no consumo de energia elétrica em edificações comerciais, quando utiliza-se a ventilação híbrida e a iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial apresentou resultados satisfatórios. Também estipulou-se faixas de áreas de janela baseadas no menor consumo de energia elétrica.

O método proposto pode ser aplicado em qualquer parte do mundo para edificações comerciais, desde que os parâmetros de entrada de simulação sejam adaptados para o clima ao qual se deseja aplicá-lo. Ressalta-se que o método pode ser utilizado em edificações constituídas por outros materiais, outros sistemas de ar-condicionado, com elementos de proteção solar, dentre outros. Porém, as conclusões deste trabalho ficam limitadas ao clima de Florianópolis, para edifícios com as características construtivas adotadas nesta pesquisa.

### **5.1.1 Estudo sobre métodos de avaliação de conforto**

Através do estudo sobre métodos de avaliação de conforto, chegou-se a conclusão de que é importante utilizar um método que considere os efeitos de umidade na avaliação de conforto térmico.

Diante dos resultados, chegou-se a conclusão de que o método da ASHRAE 55 para ambientes climatizados artificialmente não é adequado para ser aplicado em edificações comerciais híbridas, localizadas em climas úmidos como o de Florianópolis, devido aos limites estreitos de umidade estipulados por essa norma.

Por meio das correlações entre o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e o número de horas estimado da tipologia predominante, chegou-se ao resultado de que os melhores valores de  $R^2$  foram os do método de Givoni e os do método da ASHRAE 55, para ambientes ventilados naturalmente, na faixa de 90% de aceitabilidade. Porém, neste último, o número de horas de uso do sistema de ar-condicionado no mês de dezembro é muito baixo, o que também foi observado para este método na faixa de 80% de aceitabilidade. Desta forma, não

condiz com o padrão de uso do sistema de ar-condicionado em Florianópolis. Através da comparação das retas de correlação com a bissetriz, chegou-se ao resultado de que o método de Givoni foi o que mais vezes se aproximou da bissetriz em todos os casos. Em poucas situações, o método da ASHRAE 55, para ambientes ventilados naturalmente, na faixa de 90% de aceitabilidade foi o que mais se aproximou da bissetriz. Os demais métodos em nenhum caso foram os que mais se aproximaram da bissetriz. O método que se julgou como o mais adequado para ser utilizado em clima com verão quente e úmido foi o método de Givoni.

### **5.1.2 Potencial de economia de energia elétrica**

A economia de energia elétrica com a utilização da iluminação natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais localizados em Florianópolis foi verificada.

De maneira geral, pode-se concluir que a utilização da iluminação natural e da ventilação híbrida em edificações comerciais, localizadas em Florianópolis, apresenta um bom potencial de economia de energia elétrica, quando comparado a edifícios com iluminação artificial e condicionamento artificial. Para ambientes operando com sistema de ar-condicionado e utilizando-se da iluminação natural integrada à iluminação artificial, o valor resultante de redução máxima no consumo total de energia elétrica foi de 50,5%, em relação a edifícios com iluminação artificial e condicionamento artificial. Para ambientes operando com iluminação artificial e ventilação híbrida, chegou-se a uma redução de consumo total de energia elétrica de até 31,9%, em relação a edifícios com iluminação artificial e condicionamento artificial. Quando se utiliza da iluminação natural e da ventilação natural, a economia de energia elétrica é ainda maior. Para ambientes operando com ventilação híbrida e com iluminação natural integrada ao sistema de iluminação artificial, a redução máxima no consumo total de energia elétrica foi de 64,9%, em relação a edifícios com iluminação artificial e condicionamento artificial. Deste modo, ressalta-se a importância em utilizar-se a iluminação natural e a ventilação natural em edificações comerciais.

### **5.1.3 Áreas de janela**

As áreas de janela variaram entre 13% (salas pequenas) e 96% (salas grandes) para ambientes com sistema de ar-condicionado e iluminação natural integrada à iluminação artificial (Caso 2), entre 10% (salas pequenas) e 79% (salas grandes) para ambientes operando com iluminação artificial e ventilação híbrida (Caso 3) e, entre 21% (salas pequenas) e 100% (salas grandes) para ambientes operando com ventilação híbrida e integração entre a iluminação natural e a artificial (Caso 4). Para ambientes condicionados artificialmente e com iluminação artificial (Caso 1) a área de janela foi sempre de 10%, visto que em todas as situações, quanto maior a área de janela maior é o consumo de energia elétrica.

De modo geral (para os Casos 2, 3 e 4), se obteve áreas de janela menores (que conduzem aos mínimos consumos de energia elétrica) para ambientes menores, com geometria de 2:1 e nas orientações leste e oeste.

No Caso 4 têm-se áreas de janela superiores ao Caso 2 e 3. Porém, na maioria das situações, os consumos de energia elétrica são inferiores. Por outro lado, as áreas de janela do Caso 2 também são maiores que as do Caso 3. Na maioria dos casos, os consumos do Caso 2 são inferiores.

Como se observou que em significativos casos os consumos de energia elétrica variavam muito pouco entre determinadas faixas de áreas de janela, estipulou-se faixas de área de janela baseadas no menor consumo de energia elétrica (consumos de eletricidade no máximo 5% superiores ao menor consumo obtido).

Em um número considerável de ambientes (com índices de ambiente iguais a 2 e 5), as faixas de áreas de janela estenderam-se desde os 10% até os 100%. De modo geral, obteve-se faixas de área de janela mais amplas para índices de ambiente maiores e para as orientações norte e sul.

### **5.1.4 Avaliação de conforto térmico**

Nos ambientes condicionados artificialmente (Casos 1 e 2) a distribuição dos pontos na carta de Givoni é mais uniforme (maior controle da umidade), quando comparada à dos ambientes com ventilação híbrida.

Com a utilização da ventilação híbrida (Casos 3 e 4) há uma maior dispersão dos pontos na zona de conforto térmico da carta de Givoni, com relação aos Casos 1 e 2. Isto ocorre, pois se alterna entre o acionamento do sistema de ar-condicionado e a ventilação natural durante o período de ocupação do edifício. Porém, mesmo assim, foi garantida uma elevada porcentagem de número de horas de conforto térmico para os ocupantes da edificação de segunda a sexta-feira das 8 às 18 horas (desconfortos por calor podem ocorrer nos horários de início de operação do sistema de ar-condicionado e eventuais desconfortos por frio podem ocorrer no inverno, mesmo com as janelas fechadas).

O critério de conforto térmico deste trabalho, baseado nos limites máximos para conforto estabelecidos por Givoni (1992), sendo o controle das aberturas realizado por temperatura, apresentou resultados satisfatórios.

#### **5.1.5 Expectativa do usuário à ventilação híbrida**

Por fim, realizou-se uma análise da expectativa do usuário com relação às hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida. Seis hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida durante o período de ocupação da edificação foram identificadas. Considerou-se que quatro delas seriam aceitas pelos usuários e duas delas inaceitáveis. Nas hipóteses de padrão inaceitáveis ocorre o desligamento do sistema de ar-condicionado em algum momento após o mesmo ser ligado, durante o período de ocupação da edificação.

Em ambientes operando com ventilação híbrida e iluminação artificial chegou-se a um número de ocorrências de 99,6% das hipóteses de padrão aceitáveis de uso da ventilação híbrida. Já para ambientes operando com ventilação híbrida e integração da iluminação natural e artificial chegou-se a um número de ocorrências de 99,2% das hipóteses de padrão aceitáveis de uso da ventilação híbrida. Porém, apesar de que, na maioria dos dias, as hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida apresentadas foram os padrões aceitáveis, houve dias quentes em que se observou os padrões inaceitáveis. Assim, conclui-se que, embora o potencial de economia de energia elétrica apresentado seja elevado, é provável que os usuários possam se sentir insatisfeitos em determinados dias quentes, em

que o sistema de ar-condicionado é desligado em algum momento após ser ligado.

Como se observou para os ambientes com ventilação híbrida, há economia de energia elétrica e também conforto térmico, mas pode haver insatisfação por parte do usuário quando o sistema de ar-condicionado é desligado em algum momento após ser ligado.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.2.1 Limitações do trabalho

Este trabalho apresenta algumas limitações, conforme segue:

a) Não considera a influência de sombra de eventuais edificações vizinhas na análise de iluminação natural nem no desempenho energético;

b) Não avaliou o fenômeno de ofuscamento;

c) Considera a ação do usuário como sendo ideal, de modo a garantir o máximo de economia de energia elétrica;

d) Não considera elementos de controle de insolação (internos ou externos);

e) Não considera a variação de diversos parâmetros como clima, cor das superfícies, propriedades térmicas dos materiais, pé-direito, tipos de vidro, tipos de esquadrias e inércias térmicas da edificação;

f) Não considera na avaliação de conforto térmico a velocidade do vento no interior dos ambientes;

g) Não considera dados reais de medições de consumo de eletricidade em sistemas de ar-condicionado, em edificações comerciais localizadas em Florianópolis;

h) Para a análise da expectativa do usuário com relação às hipóteses de padrão de uso da ventilação híbrida não se utilizou de experimentos de campo com usuários de edificações comerciais híbridas.

## 5.2.2 Sugestões para trabalhos futuros

No intuito de complementar esse trabalho, sugere-se alguns estudos que poderiam ser realizados futuramente:

- Estudar a ventilação natural por dinâmica dos fluídos computacional, determinando, assim, a velocidade do vento no interior do ambiente. A determinação da velocidade do vento é importante, pois, ventos muito fortes podem causar desconforto aos usuários, além de poder levantar folhas de papel;

- Considerar a velocidade do vento na avaliação de conforto térmico;

- Aplicar o método proposto para pré-dimensionar áreas de janela com: elementos de controle de insolação (internos e externos), diferentes tipos de vidros, diferentes tipos de esquadrias, diferentes inércias térmicas da edificação;

- Considerar algum algoritmo comportamental para determinar o padrão de abertura de portas e janelas;

- Estudar o comportamento do uso da ventilação natural concomitantemente com a ventilação artificial.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Norma RES-9**. 2003. Disponível em:

<[http://legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=17550&mode=PRINT\\_VERSION](http://legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=17550&mode=PRINT_VERSION)>. Acesso em: 14 fev. 2011.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ANSI/ASHRAE Standard 55 – 2004. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals 2009**. Capítulo 8: Thermal Comfort. Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16401-3: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Parte 3:Qualidade do ar interior. ABNT, 2008. Rio de Janeiro, 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413: Iluminância de Interiores**. ABNT, 1992. Rio de Janeiro, 13p.

AYATA, T.; YILDIZ, O. Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey. **Energy and Buildings**, v.38, n.8, p.959-963, 2006.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório final 2010: Ano base 2009**. Rio de Janeiro : EPE, 2010. 276 p.

BODART, M.; HERDE, A. D. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. **Energy and Buildings**, v.34, n.5, p. 421-429, 2002.

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 lightin control. **Energy and Buildings**, v.38, n.7. p. 814-823, 2006.

BRAGER, G. Mixed mode cooling. **ASHRAE Journal**, v.48, n.8, p. 30-37, 2006.

BRAGER, G.; BAKER, L. Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. **Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge**, Cumberland Lodge, Windsor, UK, p. 27-29, 2008.

BRAGER, G.; BORGESON, S.; LEE, Y.S. **Control strategies for mixed-mode buildings**. Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação - Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992.

COELHO, G.M. **Correlação do consumo de energia elétrica com características construtivas de edifícios de escritórios localizados em Florianópolis-SC**. 2006. Relatório de iniciação científica - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W.F.; Y. JOE HUANG, Y. H.; CURTIS O. PEDERSEN, C. O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; DANIEL E. FISHER, D. E.; MICHAEL J. WITTE, M. J.; GLAZER, J. *EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program*. **Energy and Buildings**, v.33, n.4. p. 319-331, 2001.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K.; PEDERSEN, C.O.; LIESEN, R.J.; FISHER, D.E.; STRAND, R.K.; TAYLOR, R.D.; WINKELMANN, R.C.; BUHL, W.F.; HUANG, Y.J.; ERDEM, A.E. *EnergyPlus, A New-Generation Building Energy Simulation Program*. **Proceedings of Building Simulation '99**, v.1, p. 81-88.

DAYSIM. **Welcome to Daysim**. Disponível em: <<http://www.daysim.com/>>. Acesso em: 28 jan. 2011.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, n.6, p. 549-561, 2002.

DE DEAR, R.J.; BRAGER, G.S.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final

Report, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers and Macquarie Research, **ASHRAE RP-884**. 1997.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **2003 Commercial Buildings Energy Consumption Survey**. U.S. Department of Energy. 2008.

ENERGYPLUS. **DataSets**. Lawrence Berkeley National Laboratory. V.6.0, 2010.

ENERGYPLUS. **Getting Started with EnergyPlus**. 2010.

Disponível em: <

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 31 jan. 2011.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference** – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2010.

FISK, W.J. Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. **Annual Review of Energy and the Environment**, v.25, p. 537-566, 2000.

FRANZETTI, C.; FRAISSE, G.; ACHARD, G. Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings. **Energy and Buildings**, v.36, n.2, p. 117-126, 2004.

GAN, G. Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v.31, n.1, p. 65-73, 2000.

GHISI, E. **The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings**. 2002. 312 f. Tese (PhD em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Leeds, Leeds, 2002.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v.40, n.1, p. 51-61, 2005.

GHISI, E.; TINKER, J.A.; IBRAHIM, S.H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p.81-93. 2005.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

HEISELBERG, P. **Principles of hybrid ventilation**, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme Annex 35 “Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings”, Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University, 2002.

HUMMELGAARD, J.; JUHL, P.; SÆBJORNSSON, K.O.; CLAUSEN, G.; TOFTUM, J.; LANGKILDE, G. Indoor air quality and occupant satisfaction in five mechanically and four naturally ventilated open-plan office buildings. **Building and Environment**, v.42, n.12, p. 4051-4058, 2007.

INANICI, M.N.; DEMIRBILEK, F.N. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey. **Building and Environment**, v.35, n.1, p. 41-52, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZACAO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. 2010. Disponível em: <[www.eletrobras.com/](http://www.eletrobras.com/)>. Acesso em: 27 jan. 2011.

JI, Y.; LOMAS, K.J.; COOK, M.J. Hybrid ventilation for low energy building design in south China. **Building and Environment**, v.44, n.11, p. 2245-2255, 2009.

JREIJIRY, D.; HUSAUNNDEE, A.; INARD, C. Numerical study of a hybrid ventilation system for single family houses. **Solar Energy**, v.81, n.2, p. 227-239, 2007.

KIM, M.H.; HWANG, J.H. Performance prediction of a hybrid ventilation system in an apartment house. **Energy and Buildings**, v.41, n.6, p. 579-586, 2009.

KNIGHT, I. P. Measured energy savings due to photocell control of individual luminaires. **Renewable Energy**, v.15, n.1-4, p. 441-444, 1998.

KONTOLEON, K.J.; BIKAS, D.K. Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior. **Energy and Buildings**, v.34, n.4, p. 389-399, 2002.

KRARTI, M.; ERICKSON, P. M.; HILLMAN, T. C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, v.40, n.6, p. 747-754, 2005.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Arquivo climático de Florianópolis**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>. Acesso em: 21 fev. 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Programa Computacional Analysis Bio**, Versão: 2.2. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>>. Acesso em mai. 2011.

LAM, J. C. Shading effects due to nearby buildings and energy implications. **Energy Conversion & Management**, v.41, n.7, p. 647-659, 2000.

LARSEN, T. S.; HEISELBERG, P. Single-sided natural ventilation driven by wind pressure and temperature difference. **Energy and Buildings**, v.40, n.6, p. 1031-1040, 2008.

LI, D.H.W.. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. **Applied Energy**, v.87, n.7, p. 2109-2118, 2010.

- LI, D.H.W.; LAM, J. C. Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications. **Renewable Energy**, v.20, n.4, p. 389-404, 2000.
- LI, D.H.W.; WONG, S.I.. Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings. **Applied Energy**, v.84, n.12, p. 1199-1209, 2007.
- LIDDAMENT, M. **Air Infiltration Calculation Techniques** – An Applications Guide. Bracknell, Berkshire. 1986.
- LIN, J.; CHUAH, Y.K. A study on the potential of natural ventilation and cooling for large spaces in subtropical climatic regions. **Building and Environment**, v.46, n.1, p. 89-97, 2011.
- LIPING, W.; HIEN, W.N. The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42,n.2, p. 4006-4015, 2007.
- LITTLEFAIR, P. J. Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls. **Building Research and Information**, v.26, n.4, p. 208-222. 1998.
- LOMAS, K.J.; COOK, M.J.;FIALA, D. Low energy architecture for a severe US climate: Design and evaluation of a hybrid ventilation strategy. **Energy and Buildings**, v.39, n.1, p. 32-44, 2007.
- LOUTZENHISER, P. G.; MAXWELL, G. M.; MANZ, H. An empirical validation of the daylighting algorithms and associated interactions in building energy simulation programs using various shading devices and windows. **Energy**, v.32, n.10, p. 1855-1870, 2007.
- MACEDO, C. C. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MANKIBI, M.E.; CRON, F.; MICHEL, P., INARD, C. Prediction of hybrid ventilation performance using two simulation tools. **Solar Energy**, v.80, n.8, p. 908-926, 2006.

MCCARTNEY, K. J.; NICOL, J. F. Developing an adaptive control algorithm for Europe. **Energy and Buildings**, v.34, n.6, p. 623-635, 2002.

MOREIRA, C.S. **Padrão de ocupação e de uso de equipamentos para fins de simulação computacional: estudo de caso em edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC**. 2005. Relatório de iniciação científica - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NIACHOU, K.; HASSID, S.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment. **Building and Environment**, v.43, n.8, p. 1373-1382, 2008.

ONAYGIL, S.; GULER, O. Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul. **Building and Environment**, v.38, n.7, p. 973-977, 2003.

PEREZ, R.; INEICHEN, P.; SEALS, R.; MICHALSKY, J.; STEWART, R. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. **Solar Energy**, v.44, n.5, p. 271-289, 1990.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. All-weather model for sky luminance distribution—Preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, v.50, n.3, p. 235-245, 1993.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v.40, n.3, p. 394-398, 2008.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**. 2007. Disponível em: < [www.eletrobras.gov.br/procel](http://www.eletrobras.gov.br/procel) >. Acesso em: 02 fev. 2011.

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.

RAMOS, G.; GHISI, E. Analysis of daylight calculated using the EnergyPlus programme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, n.7, p. 1948-1958, 2010 a.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa EnergyPlus. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p. 159-169, 2010 b.

RAMOS, G.; GHISI, E. Comparação de Iluminâncias Internas e Externas obtidas por meio de Simulação Computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza, **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2008.

REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, v.77, n.1. p. 15-28, 2004.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. 2010. Disponível em: <<http://www.daysim.com/pub/Daysim3.0.Tutorial.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylit spaces. **Building and Environment**, v.46, n.2. p. 386-396, 2011.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v.33, n.7, p. 683-697, 2001.

RIJAL, H.B. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. **Energy and Buildings**, v.39, n.7, p. 823-836, 2007.

ROISIN, B.; BODART, M.; DENEYER, A; D'HERDT, P. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. **Energy and Buildings**, v.40, n.4, p. 514-523, 2008.

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) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SORGATO, M.J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

STEPHAN, L.; BASTIDE, A.; WURTZ, E. Optimizing opening dimensions for naturally ventilated buildings. **Applied Energy**, v.88, n.8, p. 2791-2801, 2011.

SU, X.; ZHANG, X.; GAO, J.. Evaluation method of natural ventilation system based on thermal comfort in China. **Energy and Buildings**, v.41, n.1, p. 67-70, 2009.

TIAN, C.; CHEN, T.; YANG, H.; CHUNG, T. A generalized window energy rating system for typical office buildings. **Solar Energy**, v.84, n.7, p. 1232-1243, 2010.

TREGENZA, P.R.; WATERS, I.M. Daylight coefficients. **Lighting Research and Technology**, v.15, n.2, p. 65-71, 1983.

VERSAGE, R.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Impact of different daylighting simulation results on the prediction of total energy consumption. **Proceedings of SimBuild 2010, Fourth National Conference of IBPSA-USA**, Nova Iorque, p. 1-7, 2010.

VISAGAVEL, K.; SRINIVASAN, P.S.S. Analysis of single side ventilated and cross ventilated rooms by varying the width of the window opening using CFD. **Solar Energy**, v.83, n.1, p. 2-5, 2009.

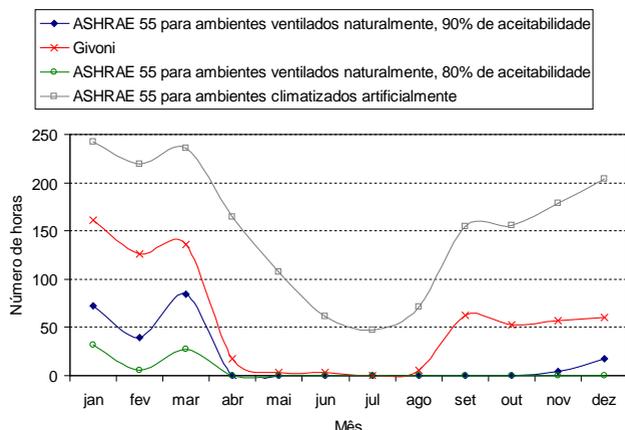
WOODS, A. W.; FITZGERALD, S.; LIVERMORE, S.. A comparison of winter pre-heating requirements for natural displacement and natural mixing ventilation. **Energy and Buildings**, v.41, n.12, p. 1306-1312, 2009.

YAO, R.; LI, B.; STEEMERS, K.; SHORT, A. Assessing the natural ventilation cooling potential of office buildings in different climate zones in China. **Renewable Energy**, v.34, n.12, p. 2697-2705, 2009.

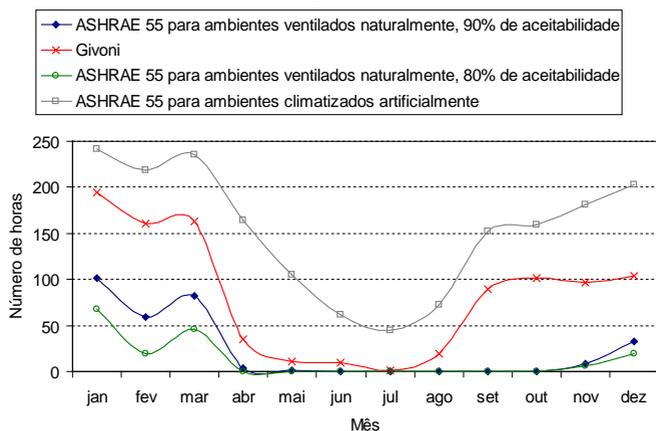
# APÊNDICES

## APÊNDICE A – Número de horas de uso do sistema de ar-condicionado por cada método de conforto

Os resultados do número de horas de uso do sistema de ar-condicionado ao longo do ano por cada método de conforto encontram-se nas Figuras A.1 a A.6.

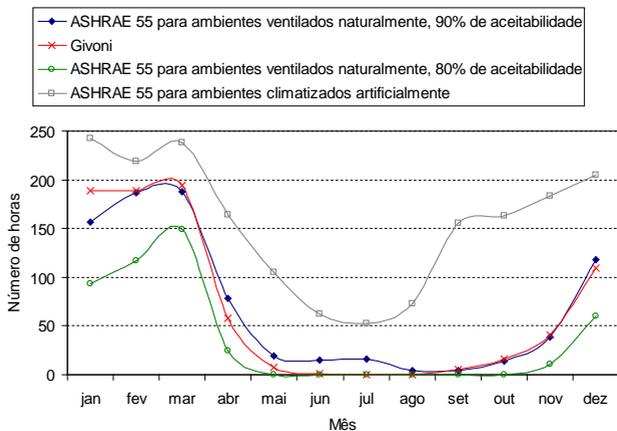


(a) Área de janela de 10%

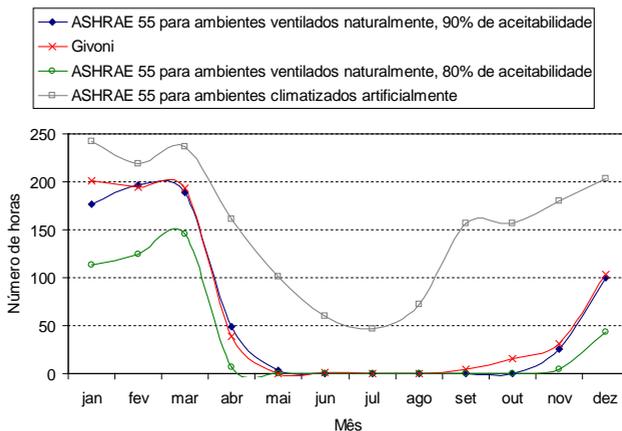


(b) Área de janela de 100%

**Figura A.1: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 0,8, orientação sul e duas áreas de janela.**

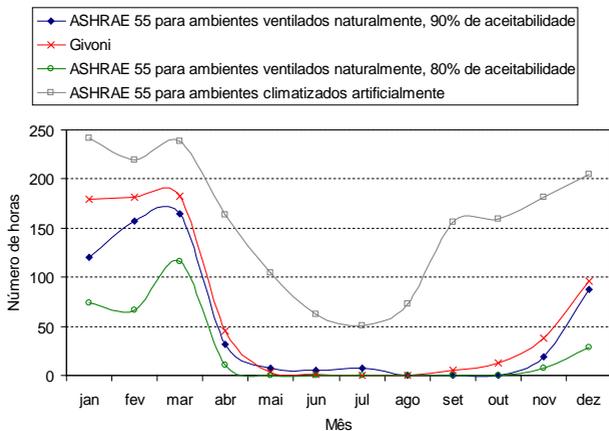


(a) Área de janela de 10%

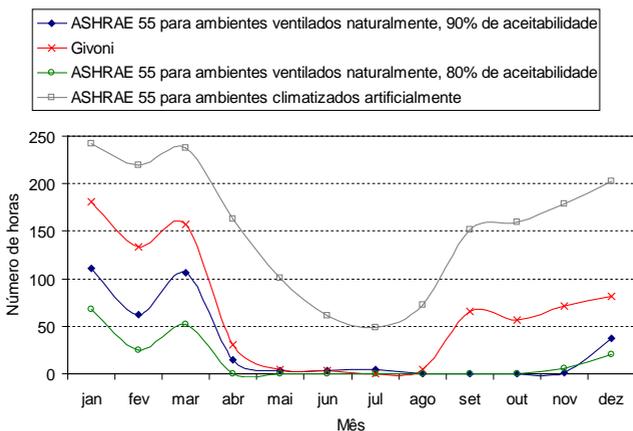


(b) Área de janela de 100%

**Figura A.2: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e duas áreas de janela.**

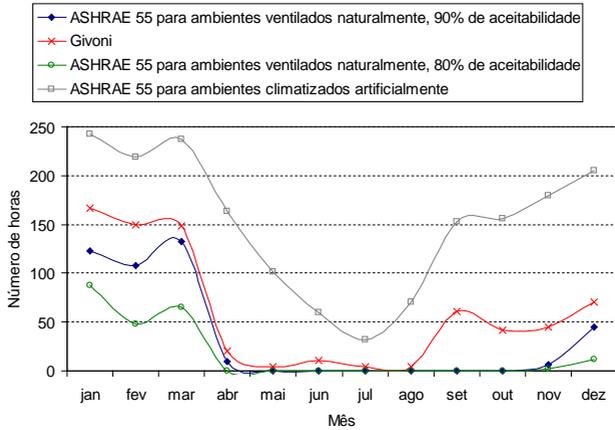


(a) Área de janela de 10%

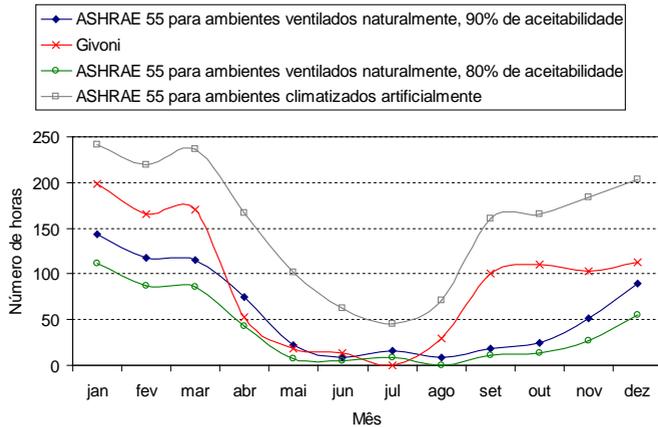


(b) Área de janela de 100%

**Figura A.3: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, orientação sul e duas áreas de janela.**

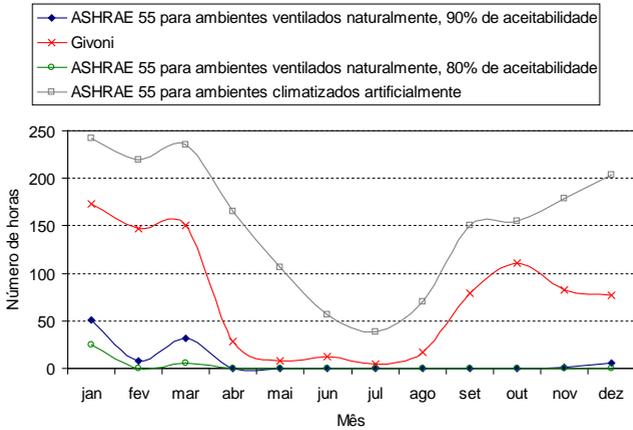


(a) Área de janela de 10%

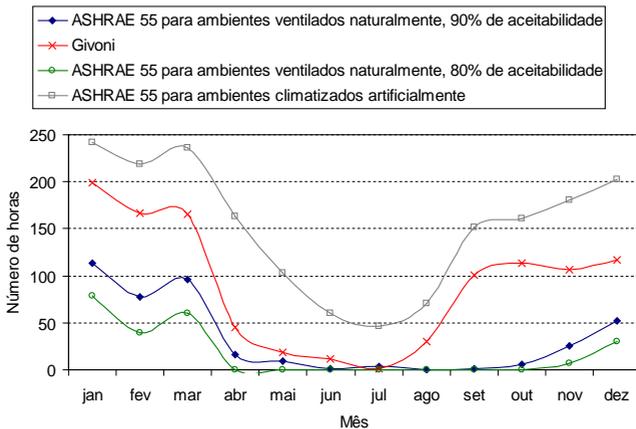


(b) Área de janela de 100%

**Figura A.4: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação oeste e duas áreas de janela.**

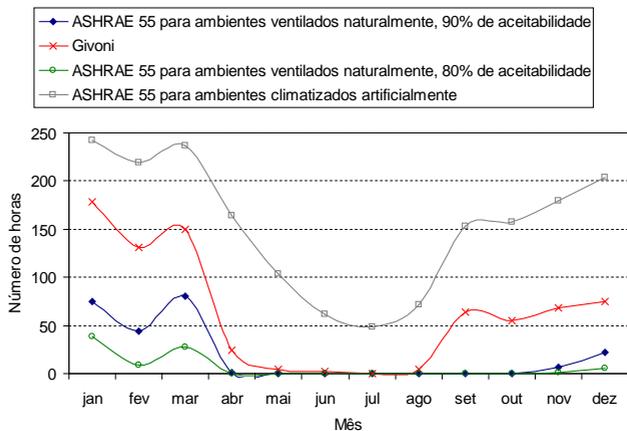


(a) Área de janela de 10%

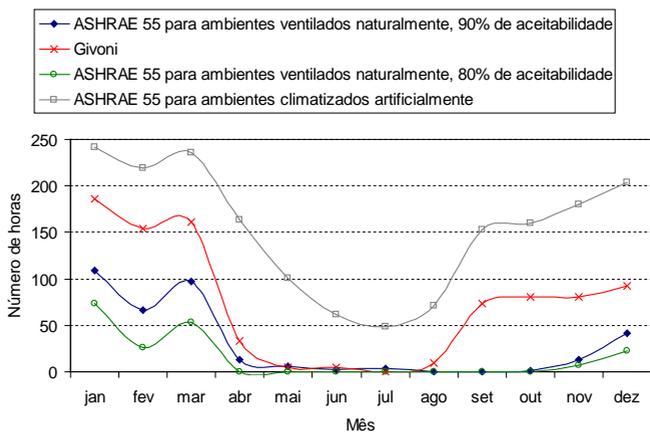


(b) Área de janela de 100%

**Figura A.5: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, orientação sul e duas áreas de janela.**



(a) Área de janela de 10%

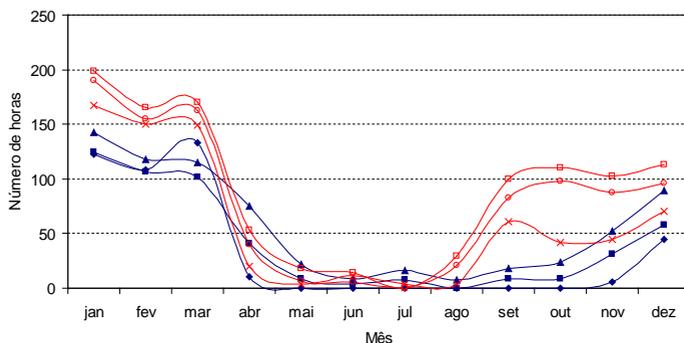
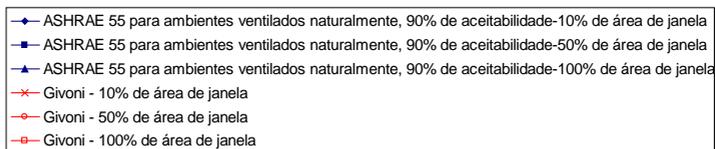


(b) Área de janela de 100%

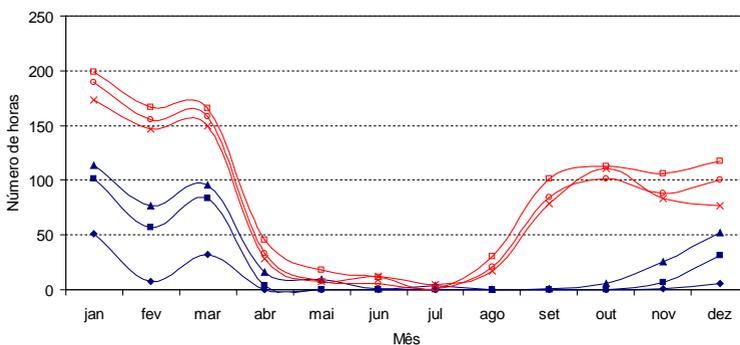
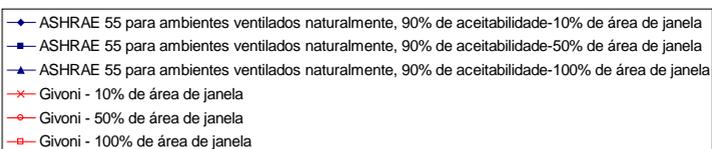
**Figura A.6: Número de horas do ambiente, com porta interna fechada, com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação sul e duas áreas de janela.**

## **APÊNDICE B – Número de horas de uso do sistema de ar-condicionado pelo método de Givoni e da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente com 90% de aceitabilidade**

Os resultados do número de horas de uso do sistema de ar-condicionado ao longo do ano pelo método de Givoni e da ASHRAE 55 para ambientes ventilados naturalmente para 90% de aceitabilidade são mostrados nas Figuras B.1 a B.3.

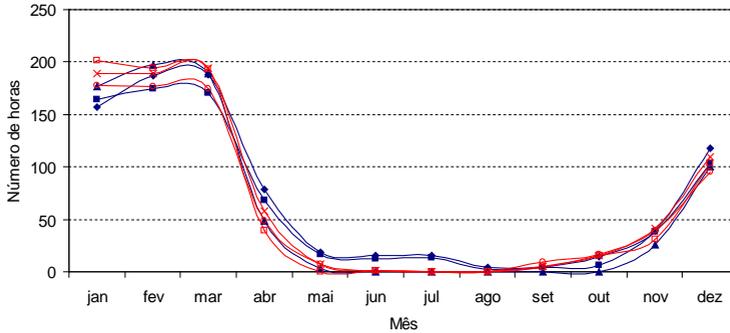
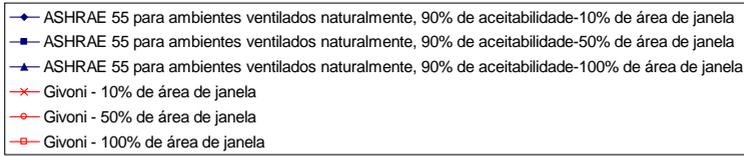


(a) Orientação oeste

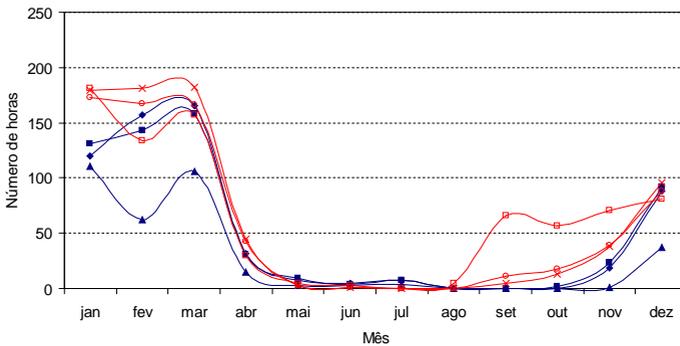
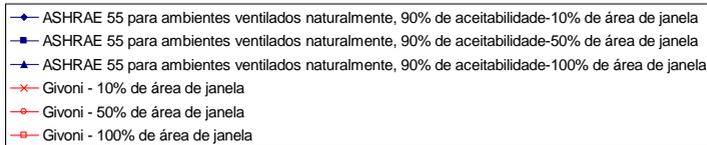


(b) Orientação sul

**Figura B.1: Número de horas do ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 0,8, áreas de janela de 10, 50 e 100%, porta interna fechada e duas orientações.**

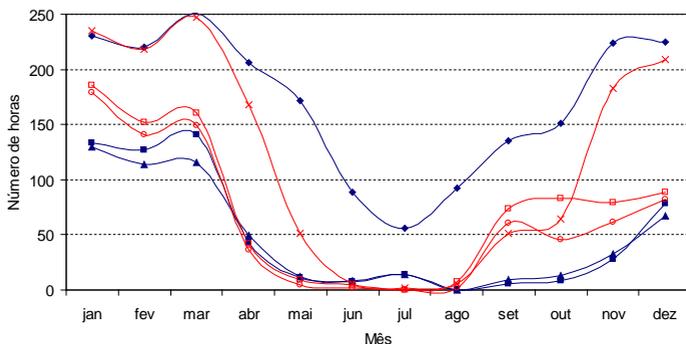
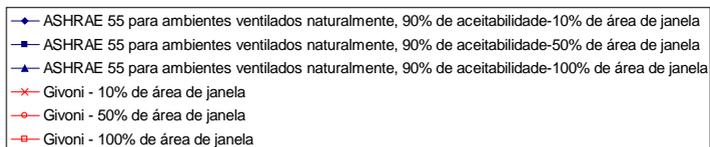


(a) Orientação oeste

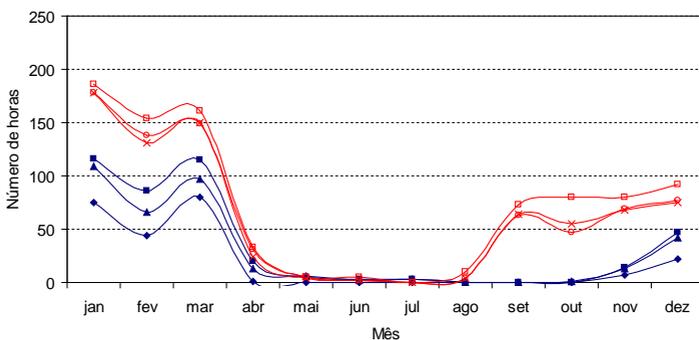
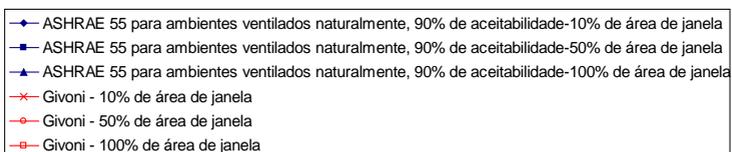


(b) Orientação sul

**Figura B.2: Número de horas do ambiente com geometria de 1:2, índice de ambiente igual a 5, áreas de janela de 10, 50 e 100%, porta interna fechada e duas orientações.**



(a) Orientação oeste



(b) Orientação sul

**Figura B.3: Número de horas do ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, áreas de janela de 10, 50 e 100%, porta interna fechada e duas orientações.**

## APÊNDICE C – Correlação de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e variáveis ambientais externas

Os resultados das correlações (valores de  $R^2$ ) entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e variáveis ambientais externas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e umidade absoluta do ar) são apresentados nas Tabelas C.1 a C.6.

**Tabela C.1: Correlação entre temperatura e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 0,8 e com porta interna fechada – Valores de  $R^2$ .**

K=0,8		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,84	0,66	0,76	0,51
VN 90%	50%	0,81	0,70	0,89	0,73
Aceit.	100%	0,88	0,74	0,94	0,84
ASHRAE	10%	0,73	0,47	0,66	0,29
VN 80%	50%	0,68	0,54	0,80	0,64
Aceit.	100%	0,81	0,63	0,90	0,72
ASHRAE	10%	0,92	0,92	0,91	0,92
Cond.	50%	0,92	0,92	0,91	0,92
Artificial.	100%	0,92	0,92	0,90	0,92
GIVONI	10%	0,85	0,79	0,80	0,73
	50%	0,81	0,79	0,81	0,79
	100%	0,80	0,80	0,81	0,79

**Tabela C.2: Correlação entre umidade relativa e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 0,8 e com porta interna fechada – Valores de R<sup>2</sup>.**

K=0,8		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,11	0,12	0,14	0,11
VN 90% Aceit.	50%	0,17	0,13	0,14	0,13
	100%	0,13	0,13	0,08	0,10
ASHRAE	10%	0,15	0,12	0,18	0,10
VN 80% Aceit.	50%	0,12	0,09	0,14	0,09
	100%	0,15	0,09	0,13	0,10
ASHRAE	10%	0,14	0,14	0,13	0,13
Cond. Artificial.	50%	0,15	0,15	0,15	0,15
	100%	0,15	0,14	0,16	0,15
GIVONI	10%	0,14	0,35	0,32	0,36
	50%	0,32	0,35	0,32	0,32
	100%	0,32	0,32	0,31	0,31

**Tabela C.3: Correlação entre umidade absoluta e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 0,8 e com porta interna fechada – Valores de R<sup>2</sup>.**

K=0,8		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,88	0,72	0,83	0,57
VN 90% Aceit.	50%	0,89	0,77	0,93	0,80
	100%	0,93	0,81	0,94	0,88
ASHRAE	10%	0,80	0,54	0,75	0,35
VN 80% Aceit.	50%	0,74	0,60	0,87	0,69
	100%	0,87	0,68	0,94	0,78
ASHRAE	10%	0,89	0,90	0,88	0,89
Cond. Artificial.	50%	0,90	0,90	0,89	0,89
	100%	0,89	0,90	0,88	0,90
GIVONI	10%	0,90	0,88	0,89	0,81
	50%	0,89	0,88	0,88	0,86
	100%	0,87	0,86	0,87	0,85

**Tabela C.4: Correlação entre temperatura e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 5 e com porta interna fechada – Valores de  $R^2$ .**

K=5		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,86	0,80	0,85	0,80
VN 90%	50%	0,87	0,83	0,86	0,83
Aceit.	100%	0,84	0,72	0,89	0,72
ASHRAE	10%	0,77	0,70	0,93	0,70
VN 80%	50%	0,78	0,72	0,75	0,72
Aceit.	100%	0,72	0,67	0,78	0,67
ASHRAE	10%	0,92	0,92	0,85	0,92
Cond.	50%	0,92	0,92	0,92	0,92
Artificial.	100%	0,92	0,93	0,92	0,93
GIVONI	10%	0,89	0,87	0,95	0,87
	50%	0,89	0,88	0,87	0,88
	100%	0,87	0,84	0,85	0,84

**Tabela C.5: Correlação entre umidade relativa e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 5 e com porta interna fechada – Valores de  $R^2$ .**

K=5		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,07	0,09	0,01	0,12
VN 90%	50%	0,09	0,08	0,10	0,11
Aceit.	100%	0,12	0,11	0,12	0,10
ASHRAE	10%	0,10	0,11	0,03	0,12
VN 80%	50%	0,13	0,10	0,14	0,11
Aceit.	100%	0,13	0,10	0,13	0,10
ASHRAE	10%	0,15	0,15	0,09	0,15
Cond.	50%	0,15	0,15	0,15	0,15
Artificial.	100%	0,15	0,15	0,15	0,15
GIVONI	10%	0,11	0,13	0,04	0,30
	50%	0,13	0,15	0,28	0,30
	100%	0,29	0,29	0,31	0,31

**Tabela C.6: Correlação entre umidade absoluta e número de horas para ambiente com índice de ambiente igual a 5 e com porta interna fechada – Valores de R<sup>2</sup>.**

K=5		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,87	0,83	0,75	0,77
VN 90%	50%	0,89	0,85	0,89	0,85
Aceit.	100%	0,89	0,77	0,93	0,83
ASHRAE	10%	0,80	0,75	0,85	0,62
VN 80%	50%	0,83	0,77	0,82	0,76
Aceit.	100%	0,79	0,73	0,84	0,72
ASHRAE	10%	0,90	0,90	0,79	0,90
Cond.	50%	0,90	0,90	0,90	0,90
Artificial.	100%	0,90	0,90	0,90	0,90
GIVONI	10%	0,92	0,92	0,89	0,90
	50%	0,93	0,93	0,94	0,93
	100%	0,93	0,91	0,92	0,91

## APÊNDICE D – Correlação de número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante

Os resultados das correlações (valores de  $R^2$ ) entre número de horas de uso do sistema de ar-condicionado e número de horas da tipologia predominante estão apresentados nas Tabelas D.1 a D.2.

**Tabela D.1: Correlação entre número de horas e número de horas da tipologia predominante para ambiente com índice de ambiente igual a 0,8 e com porta interna fechada – Valores de  $R^2$ .**

K=0,8		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,88	0,72	0,82	0,61
VN 90%	50%	0,88	0,79	0,94	0,82
Aceit.	100%	0,94	0,83	0,98	0,91
ASHRAE	10%	0,77	0,56	0,75	0,40
VN 80%	50%	0,77	0,65	0,88	0,74
Aceit.	100%	0,88	0,74	0,82	0,82
ASHRAE	10%	0,84	0,85	0,83	0,85
Cond.	50%	0,84	0,85	0,83	0,84
Artificial.	100%	0,84	0,85	0,82	0,84
GIVONI	10%	0,90	0,78	0,82	0,68
	50%	0,79	0,80	0,78	0,76
	100%	0,76	0,76	0,77	0,75

**Tabela D.2: Correlação entre número de horas e número de horas da tipologia predominante para ambiente com índice de ambiente igual a 5 e com porta interna fechada – Valores de R<sup>2</sup>.**

K=5		Geometria			
		1:2		2:1	
Método	Área	Oeste	Sul	Oeste	Sul
ASHRAE	10%	0,89	0,82	0,78	0,77
VN 90% Aceit.	50%	0,91	0,87	0,91	0,85
	100%	0,90	0,80	0,94	0,86
ASHRAE	10%	0,79	0,73	0,89	0,66
VN 80% Aceit.	50%	0,83	0,77	0,82	0,79
	100%	0,81	0,77	0,86	0,77
ASHRAE	10%	0,84	0,84	0,75	0,85
Cond. Artificial.	50%	0,84	0,85	0,85	0,85
	100%	0,84	0,85	0,84	0,85
GIVONI	10%	0,93	0,91	0,93	0,82
	50%	0,92	0,92	0,87	0,87
	100%	0,86	0,83	0,82	0,81

## APÊNDICE E - Consumos de energia elétrica do Caso 1

Os consumos de energia elétrica do Caso 1 para as quatro orientações encontram-se nas Tabelas E.1 a E.4.

**Tabela E.1: Consumo de energia elétrica do Caso 1 – Orientação Norte.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,05	15,69	16,71	17,50	16,23	17,16	17,85	17,39	17,77
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,41	65,87	62,99	83,28	65,37	63,18	79,21	67,57	64,05
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	21,24	18,42	18,01	22,02	18,49	18,17	21,44	19,03	18,47
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	82,60	68,60	64,29	87,80	67,63	64,19	82,80	69,21	64,75
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	26,21	21,15	19,27	26,49	20,77	19,14	24,98	20,58	19,14
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	87,57	71,33	65,55	92,27	69,91	65,16	86,34	70,76	65,42
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	30,96	23,60	20,64	30,55	22,80	20,08	28,17	22,25	19,79
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	92,32	73,78	66,92	96,33	71,94	66,10	89,53	72,43	66,07
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	35,53	25,85	21,79	34,33	24,70	21,20	31,17	23,68	20,42
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	96,89	76,03	68,07	100,11	73,84	67,22	92,53	73,86	66,70
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	39,81	28,00	22,89	38,05	26,51	22,09	34,03	25,05	21,05
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	101,17	78,18	69,17	103,83	75,65	68,11	95,39	75,23	67,33
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	43,78	30,04	23,93	41,62	28,22	22,93	36,68	26,34	21,89
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	105,14	80,22	70,21	107,40	77,36	68,95	98,04	76,52	68,17
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	47,43	31,95	24,94	44,95	29,86	23,76	39,24	27,59	22,49
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	108,79	82,13	71,22	110,73	79,00	69,78	100,60	77,77	68,77
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	50,84	33,76	25,90	48,10	31,37	24,53	41,83	28,78	23,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	112,20	83,94	72,18	113,88	80,51	70,55	103,19	78,96	69,36
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	52,63	34,96	26,57	49,50	32,34	25,10	42,83	29,47	23,48
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	113,99	85,14	72,85	115,28	81,48	71,12	104,19	79,65	69,76

**Tabela E.2: Consumo de energia elétrica do Caso 1 – Orientação Sul.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	11,57	12,77	15,25	13,23	13,83	16,02	14,26	15,66	16,99
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	72,93	62,95	61,53	79,01	62,97	62,04	75,62	65,84	63,27
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	13,96	14,09	15,84	15,42	14,85	16,45	15,90	16,36	17,27
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	75,32	64,27	62,12	81,20	63,99	62,47	77,26	66,54	63,55
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,14	15,28	16,39	17,39	15,82	16,88	17,44	17,04	17,54
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,50	65,46	62,67	83,17	64,96	62,90	78,80	67,22	63,82
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	18,15	16,37	16,90	19,20	16,71	17,28	18,85	17,67	17,81
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	79,51	66,55	63,18	84,98	65,85	63,30	80,21	67,85	64,09
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	19,99	17,37	17,36	20,82	17,52	17,64	20,16	18,27	18,09
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	81,35	67,55	63,64	86,60	66,66	63,66	81,52	68,45	64,37
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	21,72	18,30	17,80	22,34	18,29	17,99	21,40	18,83	18,34
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	83,08	68,48	64,08	88,12	67,43	64,01	82,76	69,01	64,62
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	23,27	19,13	18,22	23,74	19,00	18,32	22,52	19,35	18,57
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	84,63	69,31	64,50	89,52	68,14	64,34	83,88	69,53	64,85
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	24,64	19,90	18,60	24,95	19,64	18,63	23,53	19,83	18,79
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	86,00	70,08	64,88	90,73	68,78	64,65	84,89	70,01	65,07
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	25,97	20,56	18,94	26,10	20,21	18,90	24,48	20,27	18,99
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	87,33	70,74	65,22	91,88	69,35	64,92	85,84	70,45	65,27
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	26,67	21,01	19,18	26,60	20,56	19,09	24,83	20,52	19,13
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	88,03	71,19	65,46	92,38	69,70	65,11	86,19	70,70	65,41

**Tabela E.3: Consumo de energia elétrica do Caso 1 – Orientação Leste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,22	15,33	16,47	17,30	15,89	16,95	17,49	17,15	17,63
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,58	65,51	62,75	83,08	65,03	62,97	78,85	67,33	63,91
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	21,15	18,02	17,66	21,72	18,05	17,87	20,91	18,60	18,24
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	82,51	68,20	63,94	87,50	67,19	63,89	82,27	68,78	64,52
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	26,55	20,42	18,85	25,96	19,99	18,76	24,11	20,13	18,84
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	87,91	70,60	65,13	91,74	69,13	64,78	85,47	70,31	65,12
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	31,67	22,86	19,92	30,45	21,99	19,68	27,37	21,47	19,45
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	93,03	73,04	66,20	96,23	71,13	65,70	88,73	71,65	65,73
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	36,51	25,18	21,03	34,74	23,94	20,50	30,75	22,87	20,04
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	97,87	75,36	67,31	100,52	73,08	66,52	92,11	73,05	66,32
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	41,00	27,42	22,13	38,77	25,79	21,34	34,05	24,26	20,67
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	102,36	77,60	68,41	104,55	74,93	67,36	95,41	74,44	66,95
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	45,20	29,76	23,20	42,58	27,60	22,19	37,18	25,62	21,23
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	106,56	79,94	69,48	108,36	76,74	68,21	98,54	75,80	67,51
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	49,10	31,98	24,21	46,16	29,30	23,01	40,20	26,91	21,81
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	110,46	82,16	70,49	111,94	78,44	69,03	101,56	77,09	68,09
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	52,71	34,10	25,22	49,49	31,11	23,82	43,07	28,19	22,37
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	114,07	84,28	71,50	115,27	80,25	69,84	104,43	78,37	68,65
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	54,56	35,48	25,94	50,99	32,24	24,40	44,13	28,94	22,78
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	115,92	85,66	72,22	116,77	81,38	70,42	105,49	79,12	69,06

**Tabela E.4: Consumo de energia elétrica do Caso 1 – Orientação Oeste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,67	15,54	16,58	13,99	16,08	17,04	17,81	17,28	17,70
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	78,03	65,72	62,86	79,77	65,22	63,06	79,17	67,46	63,98
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	22,73	18,49	17,97	22,96	18,50	18,14	21,75	19,04	18,43
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	84,09	68,67	64,25	88,74	67,64	64,16	83,11	69,22	64,71
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	28,47	21,33	19,31	28,06	20,84	19,20	25,69	20,75	19,19
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	89,83	71,51	65,59	93,84	69,98	65,22	87,05	70,93	65,47
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	33,85	24,10	20,62	32,90	23,08	20,23	29,59	22,42	19,92
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	95,21	74,28	66,90	98,68	72,22	66,25	90,95	72,60	66,20
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	38,91	26,87	21,90	37,47	25,25	21,24	33,31	24,04	20,64
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	100,27	77,05	68,18	103,25	74,39	67,26	94,67	74,22	66,92
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	43,59	29,48	23,14	41,78	27,46	22,23	36,85	25,62	21,34
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	104,95	79,66	69,42	107,56	76,60	68,25	98,21	75,80	67,62
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	47,96	31,97	24,33	45,82	29,61	23,20	40,23	27,13	22,03
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	109,32	82,15	70,61	111,60	78,75	69,22	101,59	77,31	68,31
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	52,01	34,31	25,49	49,60	31,65	24,14	43,45	28,62	22,71
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	113,37	84,49	71,77	115,38	80,79	70,16	104,81	78,80	68,99
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	55,73	36,54	26,62	53,12	33,60	25,06	46,50	30,17	23,37
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	117,09	86,72	72,90	118,90	82,74	71,08	107,86	80,35	69,65
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	57,64	37,98	27,41	54,69	34,81	25,71	47,62	31,07	23,85
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	119,00	88,16	73,69	120,47	83,95	71,73	108,98	81,25	70,13

## APÊNDICE F - Consumos de energia elétrica do Caso 2

Os consumos de energia elétrica do Caso 2 para as quatro orientações encontram-se nas Tabelas F.1 a F.4.

**Tabela F.1: Consumo de energia elétrica do Caso 2 – Orientação Norte.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	7,63	20,00	21,64	16,15	21,68	21,38	25,72	25,29	21,64
	Ar-condicionado	11,41	14,55	16,74	13,07	15,70	17,21	15,60	17,42	17,85
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,26	59,77	63,60	54,44	62,60	63,81	66,54	67,93	64,71
20%	Iluminação artificial	3,52	12,15	20,74	4,56	17,42	21,38	17,63	23,99	21,64
	Ar-condicionado	15,72	15,89	17,93	15,32	17,08	18,22	17,67	18,80	18,54
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,46	53,26	63,89	45,10	59,72	64,82	60,52	68,01	65,40
30%	Iluminação artificial	2,42	7,32	19,81	3,75	13,95	21,00	10,53	21,84	21,64
	Ar-condicionado	20,61	17,47	18,97	19,53	18,60	19,19	19,76	19,94	19,21
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	48,25	50,01	64,00	48,50	57,77	65,41	55,51	67,00	66,07
40%	Iluminação artificial	2,42	4,05	18,59	2,86	11,11	20,60	6,61	20,77	21,64
	Ar-condicionado	25,28	19,45	19,91	23,79	20,12	20,03	22,20	21,40	19,85
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	52,92	48,72	63,72	51,87	56,45	65,85	54,03	67,39	66,71
50%	Iluminação artificial	2,42	3,66	17,52	2,72	6,85	20,16	5,60	18,99	21,64
	Ar-condicionado	29,66	21,66	21,04	27,61	21,19	21,03	25,01	22,35	20,47
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	57,30	50,54	63,78	55,55	53,26	66,41	55,83	66,56	67,33
60%	Iluminação artificial	2,42	2,56	16,65	2,66	5,87	19,50	3,97	17,69	21,64
	Ar-condicionado	33,95	23,75	21,95	31,20	22,68	21,65	27,74	23,65	21,07
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	61,59	51,53	63,82	59,08	53,77	66,37	56,93	66,56	67,93
70%	Iluminação artificial	2,42	2,23	15,57	2,66	4,67	19,06	3,73	16,77	21,64
	Ar-condicionado	37,94	25,92	22,87	34,66	24,37	22,54	30,44	24,71	21,91
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	65,58	53,37	63,66	62,54	54,26	66,82	59,39	66,70	68,77
80%	Iluminação artificial	2,42	2,23	14,83	2,66	4,08	18,59	3,31	16,32	21,64
	Ar-condicionado	41,63	27,88	23,74	38,05	25,95	23,27	32,95	25,79	22,50
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	69,27	55,33	63,79	65,93	55,25	67,08	61,48	67,33	69,36
90%	Iluminação artificial	2,42	1,97	14,31	2,66	3,72	18,07	3,31	15,77	21,26
	Ar-condicionado	45,08	29,69	24,56	41,25	27,45	23,99	35,73	27,06	23,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	72,72	56,88	64,09	69,13	56,39	67,28	64,26	68,05	69,56
100%	Iluminação artificial	2,42	1,97	14,31	2,66	3,72	17,97	2,88	15,45	21,26
	Ar-condicionado	46,90	30,92	25,29	42,68	28,41	24,41	36,59	27,67	23,48
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	74,54	58,11	64,82	70,56	57,35	67,60	64,69	68,34	69,96

**Tabela F.2: Consumo de energia elétrica do Caso 2 – Orientação Sul.**

Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)										
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	11,77	20,33	21,64	22,74	23,00	21,38	15,68	25,03	21,64
	Ar-condicionado	8,22	11,69	15,23	10,25	13,54	16,04	10,21	15,62	17,03
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	45,21	57,24	62,09	58,21	61,76	62,64	51,11	65,87	63,89
20%	Iluminação artificial	4,56	15,80	21,04	7,71	19,27	21,00	5,21	19,19	21,64
	Ar-condicionado	9,95	12,22	15,77	9,87	13,82	16,45	10,33	15,15	17,30
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,73	53,24	62,03	42,80	58,31	62,67	40,76	59,56	64,16
30%	Iluminação artificial	2,72	9,34	20,52	4,18	15,77	21,00	3,02	16,32	21,26
	Ar-condicionado	11,83	12,04	16,22	11,86	14,14	16,88	11,55	15,22	17,58
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,77	46,60	61,96	41,26	55,13	63,10	39,79	56,76	64,06
40%	Iluminação artificial	2,68	5,24	18,97	3,30	13,33	20,74	2,74	14,84	21,26
	Ar-condicionado	13,74	12,50	16,45	13,51	14,63	17,22	12,97	15,59	17,87
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,64	42,96	60,64	42,03	53,18	63,18	40,93	55,65	64,35
50%	Iluminação artificial	2,65	4,21	18,02	2,84	11,67	20,66	2,62	12,47	21,04
	Ar-condicionado	15,48	13,40	16,70	15,08	15,08	17,56	14,30	15,90	18,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	43,35	42,83	59,94	43,14	51,97	63,44	42,14	53,59	64,34
60%	Iluminação artificial	2,62	3,81	17,30	2,76	9,14	20,66	2,62	11,06	20,92
	Ar-condicionado	17,14	14,60	17,01	16,60	15,09	17,98	15,56	16,25	18,30
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,98	43,63	59,53	44,58	49,45	63,86	43,40	52,53	64,44
70%	Iluminação artificial	2,61	2,65	16,34	2,76	7,03	19,72	2,62	8,80	20,92
	Ar-condicionado	18,66	15,36	17,36	17,99	15,48	18,10	16,73	15,79	18,61
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	46,49	43,23	58,92	45,97	47,73	63,04	44,57	49,81	64,75
80%	Iluminação artificial	2,60	2,64	15,95	2,76	6,40	19,01	2,62	8,63	20,68
	Ar-condicionado	20,16	16,08	17,67	19,23	16,49	18,30	17,77	16,25	18,75
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	47,98	43,94	58,84	47,21	48,11	62,53	45,61	50,10	64,65
90%	Iluminação artificial	2,60	2,64	15,29	2,76	6,04	18,40	2,62	7,16	19,81
	Ar-condicionado	21,40	16,82	17,84	20,38	16,60	18,45	18,74	16,93	18,77
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	49,22	44,68	58,35	48,36	47,86	62,07	46,58	49,31	63,80
100%	Iluminação artificial	2,60	2,58	14,94	2,76	4,74	18,32	2,62	7,15	19,81
	Ar-condicionado	22,05	17,20	18,14	20,88	16,74	18,57	19,10	17,20	19,00
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	49,87	45,00	58,30	48,86	46,70	62,11	46,94	49,57	64,03

**Tabela F.3: Consumo de energia elétrica do Caso 2 – Orientação Leste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	6,98	16,99	20,64	17,11	20,49	21,00	25,07	24,35	21,64
	Ar-condicionado	11,81	13,61	16,30	13,32	15,02	16,97	14,88	16,98	17,68
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,01	55,82	62,16	55,65	60,73	63,19	65,17	66,55	64,54
20%	Iluminação artificial	3,22	10,61	19,45	6,34	16,87	20,80	16,94	21,82	21,64
	Ar-condicionado	16,28	14,91	17,29	15,97	16,48	17,91	17,04	17,96	18,28
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,72	50,74	61,96	47,53	58,57	63,93	59,20	65,00	65,14
30%	Iluminação artificial	2,52	6,13	17,67	3,72	14,17	20,31	11,87	19,70	21,64
	Ar-condicionado	21,20	16,66	18,08	19,62	17,90	18,64	19,35	18,81	18,88
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	48,94	48,01	60,97	48,56	57,29	64,17	56,44	63,73	65,74
40%	Iluminação artificial	2,52	4,01	16,96	3,06	11,08	19,63	7,35	18,70	21,29
	Ar-condicionado	26,17	18,87	18,91	23,66	19,15	19,40	21,60	20,07	19,49
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	53,91	48,10	61,09	51,94	55,45	64,25	54,17	63,99	66,00
50%	Iluminação artificial	2,52	3,05	15,54	2,88	8,69	19,58	5,86	18,11	21,26
	Ar-condicionado	30,91	21,10	19,96	27,84	20,71	20,34	24,72	21,42	20,07
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	58,65	49,37	60,72	55,94	54,62	65,14	55,80	64,75	66,55
60%	Iluminação artificial	2,52	2,86	15,13	2,77	6,10	18,46	4,80	17,57	21,26
	Ar-condicionado	35,35	23,28	20,96	31,84	22,14	20,86	27,78	22,61	20,69
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	63,09	51,36	61,31	59,83	53,46	64,54	57,80	65,40	67,17
70%	Iluminação artificial	2,52	2,78	14,25	2,63	5,69	17,99	3,97	16,84	21,26
	Ar-condicionado	39,55	25,43	21,20	35,63	23,93	21,64	30,83	23,84	21,26
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	67,29	53,43	60,67	63,48	54,84	64,85	60,02	65,90	67,74
80%	Iluminação artificial	2,52	2,30	14,25	2,59	4,62	17,27	3,97	16,36	21,26
	Ar-condicionado	43,46	27,61	22,78	39,21	25,48	22,27	33,82	25,09	21,85
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	71,20	55,13	62,25	67,02	55,32	64,76	63,01	66,67	68,33
90%	Iluminação artificial	2,52	2,25	14,16	2,59	4,45	17,06	3,93	14,77	21,26
	Ar-condicionado	47,07	29,75	23,69	42,57	27,14	22,95	36,71	25,57	22,39
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	74,81	57,22	63,07	70,38	56,81	65,23	65,86	65,56	68,87
100%	Iluminação artificial	2,52	2,25	13,31	2,59	3,74	16,80	3,88	14,77	21,26
	Ar-condicionado	48,94	31,15	24,32	44,09	28,13	23,43	37,77	26,34	22,80
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	76,68	58,62	62,85	71,90	57,09	65,45	66,87	66,33	69,28

**Tabela F.4: Consumo de energia elétrica do Caso 2 – Orientação Oeste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	7,47	20,24	21,60	20,63	22,36	21,38	28,60	25,07	21,64
	Ar-condicionado	12,19	14,38	16,57	11,19	15,57	17,10	15,90	17,21	17,78
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	44,88	59,84	63,39	57,04	63,15	63,70	69,72	67,50	64,64
20%	Iluminação artificial	3,24	12,94	20,80	5,98	18,07	21,37	20,50	24,18	21,64
	Ar-condicionado	17,36	15,79	17,84	16,54	17,04	18,13	18,20	18,75	18,51
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	45,82	53,95	63,86	47,74	60,33	64,72	63,92	68,15	65,37
30%	Iluminação artificial	2,53	7,05	19,92	3,78	14,48	20,91	13,71	22,95	21,64
	Ar-condicionado	22,95	17,61	18,97	21,22	18,69	19,15	20,74	20,17	19,23
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	50,70	49,88	64,11	50,22	58,39	65,28	59,67	68,34	66,09
40%	Iluminação artificial	2,53	4,63	18,65	3,51	12,16	20,65	8,10	21,05	21,64
	Ar-condicionado	28,22	19,85	20,01	25,99	20,48	20,14	23,51	21,43	19,96
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	55,97	49,70	63,88	54,72	57,86	66,01	56,83	67,70	66,82
50%	Iluminação artificial	2,53	2,96	17,64	2,90	9,82	20,39	6,30	19,71	21,63
	Ar-condicionado	33,20	22,28	21,07	30,45	22,18	21,09	26,82	22,75	20,67
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	60,95	50,46	63,93	58,57	57,22	66,70	58,34	67,68	67,52
60%	Iluminação artificial	2,53	2,53	16,39	2,82	6,65	20,05	4,79	18,84	21,63
	Ar-condicionado	37,83	24,85	22,04	34,70	23,67	21,98	30,17	24,09	21,36
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	65,58	52,60	63,65	62,74	55,54	67,25	60,18	68,15	68,21
70%	Iluminação artificial	2,52	2,53	15,87	2,79	5,42	19,71	3,86	17,68	21,62
	Ar-condicionado	42,19	27,39	23,12	38,74	25,52	22,88	33,43	25,44	22,00
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	69,93	55,14	64,21	66,75	56,16	67,81	62,51	68,34	68,84
80%	Iluminação artificial	2,52	2,53	14,90	2,78	4,57	18,91	3,78	17,15	21,61
	Ar-condicionado	46,23	29,83	24,10	42,54	27,51	23,66	36,67	26,77	22,68
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	73,97	57,58	64,22	70,54	57,30	67,79	65,67	69,14	69,51
90%	Iluminação artificial	2,51	2,03	14,57	2,76	4,17	18,16	3,25	16,04	21,23
	Ar-condicionado	49,97	32,04	25,13	46,08	29,35	24,42	39,69	27,94	23,33
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,70	59,29	64,92	74,06	58,74	67,80	68,16	69,20	69,78
100%	Iluminação artificial	2,51	2,03	13,71	2,76	3,83	18,06	3,25	15,99	21,23
	Ar-condicionado	51,89	33,53	25,74	47,68	30,52	25,05	40,90	28,82	23,80
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	79,62	60,78	64,67	75,66	59,57	68,33	69,37	70,03	70,25

## APÊNDICE G - Consumos de energia elétrica do Caso 3

Os consumos de energia elétrica do Caso 3 para as quatro orientações encontram-se nas Tabelas G.1 a G.4.

**Tabela G.1: Consumo de energia elétrica do Caso 3 – Orientação Norte.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	6,55	7,54	5,36	6,58	5,39	5,43	7,38	5,64	6,27
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	67,91	57,72	51,64	72,36	54,53	51,45	68,74	55,82	52,55
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	7,85	6,63	7,86	7,78	6,70	8,78	7,29	7,63	10,95
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	69,21	56,81	54,14	73,56	55,84	54,80	68,65	57,81	57,23
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	9,03	6,80	6,73	8,80	6,57	7,26	7,63	6,63	8,44
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	70,39	56,98	53,01	74,58	55,71	53,28	68,99	56,81	54,72
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	10,10	7,47	6,48	9,65	6,90	6,51	8,43	6,58	7,24
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	71,46	57,65	52,76	75,43	56,04	52,53	69,79	56,76	53,52
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	11,40	8,04	6,54	10,55	7,41	6,44	9,04	6,76	6,54
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	72,76	58,22	52,82	76,33	56,55	52,46	70,40	56,94	52,82
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	12,56	8,63	6,75	11,72	7,82	6,44	9,64	7,12	6,38
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	73,92	58,81	53,03	77,50	56,96	52,46	71,00	57,30	52,66
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	13,76	9,26	7,01	12,67	8,25	6,63	10,37	7,43	6,33
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	75,12	59,44	53,29	78,45	57,39	52,65	71,73	57,61	52,61
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	14,78	9,80	7,25	13,57	8,72	6,76	11,15	7,71	6,34
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	76,14	59,98	53,53	79,35	57,86	52,78	72,51	57,89	52,62
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	15,69	10,38	7,49	14,58	9,13	6,96	11,81	8,02	6,48
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,05	60,56	53,77	80,36	58,27	52,98	73,17	58,20	52,76
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,22	10,79	7,62	14,96	9,35	7,13	12,13	8,17	6,49
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,58	60,97	53,90	80,74	58,49	53,15	73,49	58,35	52,77

**Tabela G.2: Consumo de energia elétrica do Caso 3 – Orientação Sul.**

Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)										
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	6,64	7,26	5,27	6,56	5,34	5,37	6,30	5,58	6,18
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	68,00	57,44	51,55	72,34	54,48	51,39	67,66	55,76	52,46
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	7,74	6,42	7,44	7,57	6,34	8,42	7,00	7,29	10,44
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	69,10	56,60	53,72	73,35	55,48	54,44	68,36	57,47	56,72
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	8,78	6,66	6,44	8,57	6,32	6,95	7,49	6,34	8,11
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	70,14	56,84	52,72	74,35	55,46	52,97	68,85	56,52	54,39
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	9,91	7,30	6,25	9,48	6,72	6,26	8,19	6,35	6,96
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	71,27	57,48	52,53	75,26	55,86	52,28	69,55	56,53	53,24
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	10,97	7,82	6,38	10,44	7,20	6,17	8,82	6,57	6,27
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	72,33	58,00	52,66	76,22	56,34	52,19	70,18	56,75	52,55
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	12,22	8,38	6,56	11,41	7,61	6,29	9,48	6,94	6,17
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	73,58	58,56	52,84	77,19	56,75	52,31	70,84	57,12	52,45
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	13,36	9,07	6,83	12,38	8,01	6,41	10,31	7,24	6,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	74,72	59,25	53,11	78,16	57,15	52,43	71,67	57,42	52,36
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	14,34	9,61	7,05	13,36	8,50	6,61	10,91	7,52	6,22
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	75,70	59,79	53,33	79,14	57,64	52,63	72,27	57,70	52,50
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	15,36	10,22	7,30	14,15	8,91	6,80	11,66	7,83	6,28
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	76,72	60,40	53,58	79,93	58,05	52,82	73,02	58,01	52,56
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	15,92	10,65	7,42	14,58	9,17	6,95	11,99	7,99	6,36
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,28	60,83	53,70	80,36	58,31	52,97	73,35	58,17	52,64

**Tabela G.3: Consumo de energia elétrica do Caso 3 – Orientação Leste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	9,11	8,58	11,52	9,69	9,23	13,75	9,63	9,52	14,28
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	70,47	58,76	57,80	75,47	58,37	59,77	70,99	59,70	60,56
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	10,17	8,03	6,80	9,34	7,25	9,58	8,42	6,76	11,24
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	71,53	58,21	53,08	75,12	56,39	55,60	69,78	56,94	57,52
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	11,95	8,39	7,65	10,69	7,92	8,02	9,56	7,89	9,07
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	73,31	58,57	53,93	76,47	57,06	54,04	70,92	58,07	55,35
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	13,99	9,14	7,45	12,37	8,30	7,42	10,52	7,78	7,92
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	75,35	59,32	53,73	78,15	57,44	53,44	71,88	57,96	54,20
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,00	10,03	7,55	14,06	8,91	7,27	11,65	8,03	7,33
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,36	60,21	53,83	79,84	58,05	53,29	73,01	58,21	53,61
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	17,85	10,96	7,81	15,67	9,64	7,28	12,82	8,68	7,11
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	79,21	61,14	54,09	81,45	58,78	53,30	74,18	58,86	53,39
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	19,81	11,87	8,11	17,19	10,22	7,53	14,01	8,88	7,11
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	81,17	62,05	54,39	82,97	59,36	53,55	75,37	59,06	53,39
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	21,65	12,86	8,44	18,85	10,85	7,75	15,21	9,31	7,14
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	83,01	63,04	54,72	84,63	59,99	53,77	76,57	59,49	53,42
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	23,24	13,76	8,84	20,46	12,35	7,97	16,42	9,76	7,29
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	84,60	63,94	55,12	86,24	61,49	53,99	77,78	59,94	53,57
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	24,22	15,27	9,17	21,18	12,05	8,22	16,78	10,50	7,37
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	85,58	65,45	55,45	86,96	61,19	54,24	78,14	60,68	53,65

**Tabela G.4: Consumo de energia elétrica do Caso 3 - Orientação Oeste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	8,81	8,62	11,52	9,48	9,23	13,74	9,59	6,64	7,25
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	70,17	58,80	57,80	75,26	58,37	59,76	70,95	56,82	53,53
20%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	10,15	7,84	7,91	9,36	7,44	9,50	8,58	7,86	11,30
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	71,51	58,02	54,19	75,14	56,58	55,52	69,94	58,04	57,58
30%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	12,20	8,37	7,60	11,39	7,83	8,03	9,42	7,72	9,06
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	73,56	58,55	53,88	77,17	56,97	54,05	70,78	57,90	55,34
40%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	14,21	9,23	7,35	13,23	8,33	7,32	10,66	7,73	7,94
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	75,57	59,41	53,63	79,01	57,47	53,34	72,02	57,91	54,22
50%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	16,38	10,19	7,46	14,96	9,00	7,21	11,79	8,03	7,26
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	77,74	60,37	53,74	80,74	58,14	53,23	73,15	58,21	53,54
60%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	18,30	11,14	7,81	16,49	9,69	7,25	13,02	8,26	7,07
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	79,66	61,32	54,09	82,27	58,83	53,27	74,38	58,44	53,35
70%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	20,27	12,12	8,16	18,21	10,40	7,53	14,11	8,93	7,07
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	81,63	62,30	54,44	83,99	59,54	53,55	75,47	59,11	53,35
80%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	22,11	13,10	8,50	19,83	11,06	7,81	15,46	9,34	7,05
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	83,47	63,28	54,78	85,61	60,20	53,83	76,82	59,52	53,33
90%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	23,98	14,08	8,94	21,24	11,70	8,07	16,45	9,88	7,26
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	85,34	64,26	55,22	87,02	60,84	54,09	77,81	60,06	53,54
100%	Iluminação artificial	36,14	24,96	21,06	40,56	23,92	20,80	36,14	24,96	21,06
	Ar-condicionado	24,84	14,37	9,19	21,58	12,25	8,26	16,93	10,01	7,40
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	86,20	64,55	55,47	87,36	61,39	54,28	78,29	60,19	53,68

## APÊNDICE H - Consumos de energia elétrica do Caso 4

Os consumos de energia elétrica do Caso 4 para as quatro orientações encontram-se nas Tabelas H.1 a H.4.

**Tabela H.1: Consumo de energia elétrica do Caso 4 – Orientação Norte.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	7,63	20,00	21,64	16,15	21,68	21,38	25,72	25,29	21,64
	Ar-condicionado	5,16	7,19	5,38	5,48	5,22	5,46	6,88	5,64	6,31
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	38,01	52,41	52,24	46,85	52,12	52,06	57,82	56,15	53,17
20%	Iluminação artificial	3,52	12,15	20,74	4,56	17,42	21,38	17,63	23,99	21,64
	Ar-condicionado	6,20	5,89	7,78	5,88	6,31	8,80	6,35	7,53	10,99
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	34,94	43,26	53,74	35,66	48,95	55,40	49,20	56,74	57,85
30%	Iluminação artificial	2,42	7,32	19,81	3,75	13,95	21,00	10,53	21,84	21,64
	Ar-condicionado	7,35	5,62	6,59	6,76	5,99	7,23	6,22	6,44	8,46
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	34,99	38,16	51,62	35,73	45,16	53,45	41,97	53,50	55,32
40%	Iluminação artificial	2,42	4,05	18,59	2,86	11,11	20,60	6,61	20,77	21,64
	Ar-condicionado	8,34	6,19	6,27	7,68	6,13	6,44	6,62	6,33	7,27
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	35,98	35,46	50,08	35,76	42,46	52,26	38,45	52,32	54,13
50%	Iluminação artificial	2,42	3,66	17,52	2,72	6,85	20,16	5,60	18,99	21,64
	Ar-condicionado	9,53	6,70	6,28	8,49	6,39	6,34	7,15	6,38	6,55
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	37,17	35,58	49,02	36,43	38,46	51,72	37,97	50,59	53,41
60%	Iluminação artificial	2,42	2,56	16,65	2,66	5,87	19,50	3,97	17,69	21,64
	Ar-condicionado	10,68	7,24	6,42	9,60	6,65	6,27	7,70	6,67	6,38
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	38,32	35,02	48,29	37,48	37,74	50,99	36,89	49,58	53,24
70%	Iluminação artificial	2,42	2,23	15,57	2,66	4,67	19,06	3,73	16,77	21,64
	Ar-condicionado	11,78	7,93	6,61	10,49	6,97	6,46	8,41	6,90	6,32
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,42	35,38	47,40	38,37	36,86	50,74	37,36	48,89	53,18
80%	Iluminação artificial	2,42	2,23	14,83	2,66	4,08	18,59	3,31	16,32	21,64
	Ar-condicionado	12,74	8,45	6,82	11,30	7,47	6,56	9,13	7,14	6,31
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	40,38	35,90	46,87	39,18	36,77	50,37	37,66	48,68	53,17
90%	Iluminação artificial	2,42	1,97	14,31	2,66	3,72	18,07	3,31	15,77	21,26
	Ar-condicionado	13,60	8,99	6,99	12,26	7,75	6,74	9,83	7,45	6,41
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,24	36,18	46,52	40,14	36,69	50,03	38,36	48,44	52,89
100%	Iluminação artificial	2,42	1,97	14,31	2,66	3,72	17,97	2,88	15,45	21,26
	Ar-condicionado	14,14	9,37	7,13	12,61	7,97	6,85	10,10	7,51	6,42
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,78	36,56	46,66	40,49	36,91	50,04	38,20	48,18	52,90

**Tabela H.2: Consumo de energia elétrica do Caso 4 – Orientação Sul.**

Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)										
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	11,77	20,33	21,64	22,74	23,00	21,38	15,68	25,03	21,64
	Ar-condicionado	5,20	6,88	5,31	5,58	5,22	5,41	5,11	5,54	6,22
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	42,19	52,43	52,17	53,54	53,44	52,01	46,01	55,79	53,08
20%	Iluminação artificial	4,56	15,80	21,04	7,71	19,27	21,00	5,21	19,19	21,64
	Ar-condicionado	6,17	5,82	7,39	5,72	6,02	8,41	5,38	6,87	10,50
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	35,95	46,84	53,65	38,65	50,51	54,63	35,81	51,28	57,36
30%	Iluminação artificial	2,72	9,34	20,52	4,18	15,77	21,00	3,02	16,32	21,26
	Ar-condicionado	7,12	5,54	6,34	6,70	5,80	6,93	5,78	5,82	8,11
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	35,06	40,10	52,08	36,10	46,79	53,15	34,02	47,36	54,59
40%	Iluminação artificial	2,68	5,24	18,97	3,30	13,33	20,74	2,74	14,84	21,26
	Ar-condicionado	8,15	6,01	6,02	7,51	6,11	6,19	6,40	5,72	6,96
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	36,05	36,47	50,21	36,03	44,66	52,15	34,36	45,78	53,44
50%	Iluminação artificial	2,65	4,21	18,02	2,84	11,67	20,66	2,62	12,47	21,04
	Ar-condicionado	9,16	6,49	6,13	8,38	6,26	6,10	6,99	5,78	6,23
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	37,03	35,92	49,37	36,44	43,15	51,98	34,83	43,47	52,49
60%	Iluminação artificial	2,62	3,81	17,30	2,76	9,14	20,66	2,62	11,06	20,92
	Ar-condicionado	10,37	7,10	6,27	9,33	6,43	6,18	7,60	6,00	6,12
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	38,21	36,13	48,79	37,31	40,79	52,06	35,44	42,28	52,26
70%	Iluminação artificial	2,61	2,65	16,34	2,76	7,03	19,72	2,62	8,80	20,92
	Ar-condicionado	11,42	7,75	6,47	10,23	6,77	6,24	8,38	5,97	6,01
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,25	35,62	48,03	38,21	39,02	51,18	36,22	39,99	52,15
80%	Iluminação artificial	2,60	2,64	15,95	2,76	6,40	19,01	2,62	8,63	20,68
	Ar-condicionado	12,33	8,26	6,64	11,10	7,28	6,41	8,98	6,24	6,06
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	40,15	36,12	47,81	39,08	38,90	50,64	36,82	40,09	51,96
90%	Iluminação artificial	2,60	2,64	15,29	2,76	6,04	18,40	2,62	7,16	19,81
	Ar-condicionado	13,31	8,83	6,84	11,87	7,58	6,59	9,65	6,53	6,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,13	36,69	47,35	39,85	38,84	50,21	37,49	38,91	51,11
100%	Iluminação artificial	2,60	2,58	14,94	2,76	4,74	18,32	2,62	7,15	19,81
	Ar-condicionado	13,86	9,22	6,99	12,28	7,80	6,71	9,96	6,69	6,20
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,68	37,02	47,15	40,26	37,76	50,25	37,80	39,06	51,23

**Tabela H.3: Consumo de energia elétrica do Caso 4 – Orientação Leste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	6,98	16,99	20,64	17,11	20,49	21,00	25,07	24,35	21,64
	Ar-condicionado	7,39	7,95	11,40	8,14	8,76	13,75	8,61	9,40	14,26
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,59	50,16	57,26	50,47	54,47	59,97	58,90	58,97	61,12
20%	Iluminação artificial	3,22	10,61	19,45	6,34	16,87	20,80	16,94	21,82	21,64
	Ar-condicionado	8,54	7,01	6,68	7,46	6,73	9,53	7,20	6,57	11,31
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	36,98	42,84	51,35	39,02	48,82	55,55	49,36	53,61	58,17
30%	Iluminação artificial	2,52	6,13	17,67	3,72	14,17	20,31	11,87	19,70	21,64
	Ar-condicionado	10,22	7,22	7,40	8,75	7,16	7,92	8,17	7,44	9,09
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	37,96	38,57	50,29	37,69	46,55	53,45	45,26	52,36	55,95
40%	Iluminação artificial	2,52	4,01	16,96	3,06	11,08	19,63	7,35	18,70	21,29
	Ar-condicionado	12,12	7,93	7,09	10,29	7,42	7,31	8,74	7,32	7,87
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,86	37,16	49,27	38,57	43,72	52,16	41,31	51,24	54,38
50%	Iluminação artificial	2,52	3,05	15,54	2,88	8,69	19,58	5,86	18,11	21,26
	Ar-condicionado	14,06	8,74	7,18	11,90	7,91	7,17	9,88	7,57	7,27
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	41,80	37,01	47,94	40,00	41,82	51,97	40,96	50,90	53,75
60%	Iluminação artificial	2,52	2,86	15,13	2,77	6,10	18,46	4,80	17,57	21,26
	Ar-condicionado	15,86	9,62	7,41	13,43	8,43	7,09	10,93	8,13	7,04
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	43,60	37,70	47,76	41,42	39,75	50,77	40,95	50,92	53,52
70%	Iluminação artificial	2,52	2,78	14,25	2,63	5,69	17,99	3,97	16,84	21,26
	Ar-condicionado	17,74	10,46	7,50	14,90	8,98	7,32	12,03	8,31	7,03
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	45,48	38,46	46,97	42,75	39,89	50,53	41,22	50,37	53,51
80%	Iluminação artificial	2,52	2,30	14,25	2,59	4,62	17,27	3,97	16,36	21,26
	Ar-condicionado	19,52	11,41	7,95	16,48	9,56	7,48	13,16	8,68	7,06
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	47,26	38,93	47,42	44,29	39,40	49,97	42,35	50,26	53,54
90%	Iluminação artificial	2,52	2,25	14,16	2,59	4,45	17,06	3,93	14,77	21,26
	Ar-condicionado	21,09	12,30	8,30	18,02	10,89	7,67	14,28	8,97	7,22
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	48,83	39,77	47,68	45,83	40,56	49,95	43,43	48,96	53,70
100%	Iluminação artificial	2,52	2,25	13,31	2,59	3,74	16,80	3,88	14,77	21,26
	Ar-condicionado	22,06	13,61	8,61	18,67	10,72	7,90	14,63	9,62	7,30
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	49,80	41,08	47,14	46,48	39,68	49,92	43,73	49,61	53,78

**Tabela H.4: Consumo de energia elétrica do Caso 4 - Orientação Oeste.**

		Consumo de eletricidade (kWh/m <sup>2</sup> .ano)								
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	7,47	20,24	21,60	20,63	22,36	21,38	28,60	25,07	21,64
	Ar-condicionado	7,19	8,22	11,55	8,05	9,01	13,78	8,91	6,68	7,32
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	39,88	53,68	58,37	53,90	56,59	60,38	62,73	56,97	54,18
20%	Iluminação artificial	3,24	12,94	20,80	5,98	18,07	21,37	20,50	24,18	21,64
	Ar-condicionado	8,43	6,91	7,77	7,33	7,00	9,51	7,52	7,69	11,36
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	36,89	45,07	53,79	38,53	50,29	56,10	53,24	57,09	58,22
30%	Iluminação artificial	2,53	7,05	19,92	3,78	14,48	20,91	13,71	22,95	21,64
	Ar-condicionado	10,40	7,20	7,44	9,14	7,18	8,01	8,02	7,48	9,08
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	38,15	39,47	52,58	38,14	46,88	54,14	46,95	55,65	55,94
40%	Iluminação artificial	2,53	4,63	18,65	3,51	12,16	20,65	8,10	21,05	21,64
	Ar-condicionado	12,30	7,92	7,10	10,87	7,57	7,25	8,85	7,43	7,92
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	40,05	37,77	50,97	39,60	44,95	53,12	42,17	53,70	54,78
50%	Iluminação artificial	2,53	2,96	17,64	2,90	9,82	20,39	6,30	19,71	21,63
	Ar-condicionado	14,38	8,79	7,17	12,54	8,06	7,07	9,86	7,63	7,24
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	42,13	36,97	50,03	40,66	43,10	52,68	41,38	52,56	54,09
60%	Iluminação artificial	2,53	2,53	16,39	2,82	6,65	20,05	4,79	18,84	21,63
	Ar-condicionado	16,24	9,71	7,49	14,05	8,48	7,10	10,98	7,77	7,04
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	43,99	37,46	49,10	42,09	40,35	52,37	40,99	51,83	53,89
70%	Iluminação artificial	2,52	2,53	15,87	2,79	5,42	19,71	3,86	17,68	21,62
	Ar-condicionado	18,15	10,62	7,77	15,70	9,09	7,34	12,01	8,37	7,03
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	45,89	38,37	48,86	43,71	39,73	52,27	41,09	51,27	53,87
80%	Iluminação artificial	2,52	2,53	14,90	2,78	4,57	18,91	3,78	17,15	21,61
	Ar-condicionado	19,93	11,63	8,02	17,29	9,74	7,58	13,29	8,71	7,01
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	47,67	39,38	48,14	45,29	39,53	51,71	42,29	51,08	53,84
90%	Iluminação artificial	2,51	2,03	14,57	2,76	4,17	18,16	3,25	16,04	21,23
	Ar-condicionado	21,76	12,57	8,42	18,70	10,34	7,85	14,24	9,16	7,18
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	49,49	39,82	48,21	46,68	39,73	51,23	42,71	50,42	53,63
100%	Iluminação artificial	2,51	2,03	13,71	2,76	3,83	18,06	3,25	15,99	21,23
	Ar-condicionado	22,62	12,87	8,61	19,02	10,80	8,01	14,70	9,27	7,31
	Equipamentos	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22	25,22
	Total	50,35	40,12	47,54	47,00	39,85	51,29	43,17	50,48	53,76

## **APÊNDICE I - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2**

As reduções de consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e Caso 2 para as quatro orientações são mostradas nas Tabelas I.1 a I.4.

**Tabela I.1: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2 – Orientação Norte.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	78,9	19,9	-2,8	60,2	9,4	-2,8	28,8	-1,3	-2,8
	Ar-condicionado	28,9	7,3	-0,2	25,3	3,3	-0,3	12,6	-0,2	-0,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	42,8	9,3	-1,0	34,6	4,2	-1,0	16,0	-0,5	-1,0
20%	Iluminação artificial	90,3	51,3	1,5	88,8	27,2	-2,8	51,2	3,9	-2,8
	Ar-condicionado	26,0	13,7	0,4	30,4	7,6	-0,3	17,6	1,2	-0,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	46,2	22,4	0,6	48,6	11,7	-1,0	26,9	1,7	-1,0
30%	Iluminação artificial	93,3	70,7	5,9	90,8	41,7	-1,0	70,9	12,5	-2,8
	Ar-condicionado	21,4	17,4	1,6	26,3	10,4	-0,3	20,9	3,1	-0,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	44,9	29,9	2,4	47,4	17,4	-0,4	35,7	5,3	-1,0
40%	Iluminação artificial	93,3	83,8	11,7	92,9	53,6	1,0	81,7	16,8	-2,8
	Ar-condicionado	18,3	17,6	3,5	22,1	11,8	0,2	21,2	3,8	-0,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	42,7	34,0	4,8	46,2	21,5	0,4	39,7	7,0	-1,0
50%	Iluminação artificial	93,3	85,3	16,8	93,3	71,4	3,1	84,5	23,9	-2,8
	Ar-condicionado	16,5	16,2	3,4	19,6	14,2	0,8	19,8	5,6	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	40,9	33,5	6,3	44,5	27,9	1,2	39,7	9,9	-0,9
60%	Iluminação artificial	93,3	89,7	20,9	93,4	75,5	6,3	89,0	29,1	-2,8
	Ar-condicionado	14,7	15,2	4,1	18,0	14,4	2,0	18,5	5,6	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	39,1	34,1	7,7	43,1	28,9	2,6	40,3	11,5	-0,9
70%	Iluminação artificial	93,3	91,1	26,1	93,4	80,5	8,4	89,7	32,8	-2,8
	Ar-condicionado	13,3	13,7	4,4	16,7	13,6	1,7	17,0	6,2	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	37,6	33,5	9,3	41,8	29,9	3,1	39,4	12,8	-0,9
80%	Iluminação artificial	93,3	91,1	29,6	93,4	82,9	10,6	90,8	34,6	-2,8
	Ar-condicionado	12,2	12,7	4,8	15,4	13,1	2,1	16,0	6,5	0,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	36,3	32,6	10,4	40,5	30,1	3,9	38,9	13,4	-0,9
90%	Iluminação artificial	93,3	92,1	32,1	93,4	84,4	13,1	90,8	36,8	-0,9
	Ar-condicionado	11,3	12,1	5,2	14,2	12,5	2,2	14,6	6,0	0,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	35,2	32,2	11,2	39,3	30,0	4,6	37,7	13,8	-0,3
100%	Iluminação artificial	93,3	92,1	32,1	93,4	84,4	13,6	92,0	38,1	-0,9
	Ar-condicionado	10,9	11,6	4,8	13,8	12,2	2,7	14,6	6,1	0,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	34,6	31,7	11,0	38,8	29,6	4,9	37,9	14,2	-0,3

**Tabela I.2: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2 – Orientação Sul.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	67,4	18,5	-2,8	43,9	3,8	-2,8	56,6	-0,3	-2,8
	Ar-condicionado	29,0	8,5	0,1	22,5	2,1	-0,1	28,4	0,3	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	38,0	9,1	-0,9	26,3	1,9	-1,0	32,4	0,0	-1,0
20%	Iluminação artificial	87,4	36,7	0,1	81,0	19,4	-1,0	85,6	23,1	-2,8
	Ar-condicionado	28,7	13,3	0,4	36,0	6,9	0,0	35,0	7,4	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	47,3	17,2	0,1	47,3	8,9	-0,3	47,2	10,5	-1,0
30%	Iluminação artificial	92,5	62,6	2,6	89,7	34,1	-1,0	91,6	34,6	-0,9
	Ar-condicionado	26,7	21,2	1,0	31,8	10,6	0,0	33,8	10,7	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	48,7	28,8	1,1	50,4	15,1	-0,3	49,5	15,6	-0,4
40%	Iluminação artificial	92,6	79,0	9,9	91,9	44,3	0,3	92,4	40,5	-0,9
	Ar-condicionado	24,3	23,6	2,7	29,6	12,4	0,3	31,2	11,8	-0,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	47,6	35,4	4,0	50,5	19,2	0,2	49,0	18,0	-0,4
50%	Iluminação artificial	92,7	83,1	14,4	93,0	51,2	0,7	92,8	50,0	0,1
	Ar-condicionado	22,6	22,9	3,8	27,6	13,9	0,5	29,1	13,0	0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	46,7	36,6	5,8	50,2	22,0	0,3	48,3	21,7	0,0
60%	Iluminação artificial	92,8	84,7	17,9	93,2	61,8	0,7	92,8	55,7	0,7
	Ar-condicionado	21,1	20,2	4,4	25,7	17,5	0,1	27,3	13,7	0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	45,9	36,3	7,1	49,4	26,7	0,2	47,6	23,9	0,3
70%	Iluminação artificial	92,8	89,4	22,4	93,2	70,6	5,2	92,8	64,7	0,7
	Ar-condicionado	19,8	19,7	4,7	24,2	18,5	1,2	25,7	18,4	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	45,1	37,6	8,7	48,6	30,0	2,0	46,9	28,4	0,2
80%	Iluminação artificial	92,8	89,4	24,3	93,2	73,2	8,6	92,8	65,4	1,8
	Ar-condicionado	18,2	19,2	5,0	22,9	16,0	1,8	24,5	18,1	0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	44,2	37,3	9,3	48,0	30,1	3,3	46,3	28,4	0,6
90%	Iluminação artificial	92,8	89,4	27,4	93,2	74,7	11,5	92,8	71,3	5,9
	Ar-condicionado	17,6	18,2	5,8	21,9	17,9	2,4	23,4	16,5	1,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	43,6	36,8	10,5	47,4	31,0	4,4	45,7	30,0	2,3
100%	Iluminação artificial	92,8	89,7	29,1	93,2	80,2	11,9	92,8	71,4	5,9
	Ar-condicionado	17,3	18,1	5,4	21,5	18,6	2,7	23,1	16,2	0,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	43,3	36,8	10,9	47,1	33,0	4,6	45,5	29,9	2,1

**Tabela I.3: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2 – Orientação Leste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	80,7	31,9	2,0	57,8	14,3	-1,0	30,6	2,4	-2,8
	Ar-condicionado	27,2	11,2	1,0	23,0	5,5	-0,1	14,9	1,0	-0,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	43,3	14,8	0,9	33,0	6,6	-0,3	17,3	1,2	-1,0
20%	Iluminação artificial	91,1	57,5	7,6	84,4	29,5	0,0	53,1	12,6	-2,8
	Ar-condicionado	23,0	17,3	2,1	26,5	8,7	-0,2	18,5	3,4	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	45,8	25,6	3,1	45,7	12,8	-0,1	28,0	5,5	-1,0
30%	Iluminação artificial	93,0	75,4	16,1	90,8	40,8	2,4	67,2	21,1	-2,8
	Ar-condicionado	20,2	18,4	4,1	24,4	10,5	0,6	19,7	6,6	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	44,3	32,0	6,4	47,1	17,1	0,9	34,0	9,4	-1,0
40%	Iluminação artificial	93,0	83,9	19,5	92,5	53,7	5,6	79,7	25,1	-1,1
	Ar-condicionado	17,4	17,5	5,1	22,3	12,9	1,4	21,1	6,5	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	42,1	34,1	7,7	46,0	22,0	2,2	38,9	10,7	-0,4
50%	Iluminação artificial	93,0	87,8	26,2	92,9	63,7	5,9	83,8	27,4	-0,9
	Ar-condicionado	15,3	16,2	5,1	19,9	13,5	0,8	19,6	6,3	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	40,1	34,5	9,8	44,3	25,3	2,1	39,4	11,4	-0,3
60%	Iluminação artificial	93,0	88,5	28,2	93,2	74,5	11,3	86,7	29,6	-0,9
	Ar-condicionado	13,8	15,1	5,3	17,9	14,2	2,2	18,4	6,8	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	38,4	33,8	10,4	42,8	28,7	4,2	39,4	12,1	-0,3
70%	Iluminação artificial	93,0	88,9	32,3	93,5	76,2	13,5	89,0	32,5	-0,9
	Ar-condicionado	12,5	14,5	8,6	16,3	13,3	2,5	17,1	6,9	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	36,9	33,2	12,7	41,4	28,5	4,9	39,1	13,1	-0,3
80%	Iluminação artificial	93,0	90,8	32,3	93,6	80,7	17,0	89,0	34,5	-0,9
	Ar-condicionado	11,5	13,7	5,9	15,1	13,0	3,2	15,9	6,8	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	35,5	32,9	11,7	40,1	29,5	6,2	38,0	13,5	-0,4
90%	Iluminação artificial	93,0	91,0	32,8	93,6	81,4	18,0	89,1	40,8	-0,9
	Ar-condicionado	10,7	12,8	6,1	14,0	12,8	3,7	14,8	9,3	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	34,4	32,1	11,8	38,9	29,2	6,6	36,9	16,3	-0,3
100%	Iluminação artificial	93,0	91,0	36,8	93,6	84,4	19,2	89,3	40,8	-0,9
	Ar-condicionado	10,3	12,2	6,2	13,5	12,7	4,0	14,4	9,0	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	33,9	31,6	13,0	38,4	29,8	7,1	36,6	16,2	-0,3

**Tabela I.4: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 2 – Orientação Oeste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	79,3	18,9	-2,6	49,1	6,5	-2,8	20,9	-0,4	-2,8
	Ar-condicionado	26,9	7,5	0,1	20,0	3,2	-0,4	10,7	0,4	-0,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	42,5	8,9	-0,8	28,5	3,2	-1,0	11,9	-0,1	-1,0
20%	Iluminação artificial	91,0	48,2	1,2	85,3	24,5	-2,7	43,3	3,1	-2,8
	Ar-condicionado	23,6	14,6	0,7	28,0	7,9	0,1	16,3	1,5	-0,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	45,5	21,4	0,6	46,2	10,8	-0,9	23,1	1,5	-1,0
30%	Iluminação artificial	93,0	71,8	5,4	90,7	39,5	-0,5	62,1	8,1	-2,8
	Ar-condicionado	19,4	17,4	1,8	24,4	10,3	0,3	19,3	2,8	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	43,6	30,2	2,3	46,5	16,6	-0,1	31,5	3,7	-0,9
40%	Iluminação artificial	93,0	81,5	11,4	91,3	49,2	0,7	77,6	15,7	-2,8
	Ar-condicionado	16,6	17,6	3,0	21,0	11,3	0,4	20,5	4,4	-0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	41,2	33,1	4,5	44,5	19,9	0,4	37,5	6,7	-0,9
50%	Iluminação artificial	93,0	88,1	16,2	92,9	58,9	2,0	82,6	21,0	-2,7
	Ar-condicionado	14,7	17,1	3,8	18,7	12,2	0,7	19,5	5,4	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	39,2	34,5	6,2	43,3	23,1	0,8	38,4	8,8	-0,9
60%	Iluminação artificial	93,0	89,9	22,2	93,0	72,2	3,6	86,7	24,5	-2,7
	Ar-condicionado	13,2	15,7	4,8	16,9	13,8	1,1	18,1	6,0	-0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	37,5	34,0	8,3	41,7	27,5	1,5	38,7	10,1	-0,9
70%	Iluminação artificial	93,0	89,9	24,6	93,1	77,3	5,2	89,3	29,2	-2,7
	Ar-condicionado	12,0	14,3	5,0	15,5	13,8	1,4	16,9	6,2	0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	36,0	32,9	9,1	40,2	28,7	2,0	38,5	11,6	-0,8
80%	Iluminação artificial	93,0	89,9	29,2	93,1	80,9	9,1	89,5	31,3	-2,6
	Ar-condicionado	11,1	13,1	5,5	14,2	13,1	2,0	15,6	6,5	0,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	34,8	31,8	10,5	38,9	29,1	3,4	37,3	12,3	-0,8
90%	Iluminação artificial	93,1	91,9	30,8	93,2	82,6	12,7	91,0	35,7	-0,8
	Ar-condicionado	10,3	12,3	5,6	13,3	12,6	2,6	14,6	7,4	0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	33,6	31,6	10,9	37,7	29,0	4,6	36,8	13,9	-0,2
100%	Iluminação artificial	93,1	91,9	34,9	93,2	84,0	13,2	91,0	35,9	-0,8
	Ar-condicionado	10,0	11,7	6,1	12,8	12,3	2,6	14,1	7,2	0,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	33,1	31,1	12,2	37,2	29,0	4,7	36,3	13,8	-0,2

## **APÊNDICE J - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3**

As reduções de consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e Caso 3 para as quatro orientações são mostradas nas Tabelas J.1 a J.4.

**Tabela J.1: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3 – Orientação Norte.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	59,2	51,9	67,9	62,4	66,8	68,4	58,7	67,6	64,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	12,3	12,4	18,0	13,1	16,6	18,6	13,2	17,4	18,0
20%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	63,0	64,0	56,4	64,7	63,8	51,7	66,0	59,9	40,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	16,2	17,2	15,8	16,2	17,4	14,6	17,1	16,5	11,6
30%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	65,5	67,8	65,1	66,8	68,4	62,1	69,5	67,8	55,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	19,6	20,1	19,1	19,2	20,3	18,2	20,1	19,7	16,4
40%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	67,4	68,3	68,6	68,4	69,7	67,6	70,1	70,4	63,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	22,6	21,9	21,2	21,7	22,1	20,5	22,0	21,6	19,0
50%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	67,9	68,9	70,0	69,3	70,0	69,6	71,0	71,5	68,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	24,9	23,4	22,4	23,8	23,4	22,0	23,9	22,9	20,8
60%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	68,5	69,2	70,5	69,2	70,5	70,8	71,7	71,6	69,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	26,9	24,8	23,3	25,4	24,7	23,0	25,6	23,8	21,8
70%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	68,6	69,2	70,7	69,6	70,8	71,1	71,7	71,8	71,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	28,6	25,9	24,1	27,0	25,8	23,6	26,8	24,7	22,8
80%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	68,8	69,3	70,9	69,8	70,8	71,5	71,6	72,1	71,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	30,0	27,0	24,8	28,3	26,8	24,4	27,9	25,6	23,5
90%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	69,1	69,3	71,1	69,7	70,9	71,6	71,8	72,1	71,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	31,3	27,9	25,5	29,4	27,6	24,9	29,1	26,3	23,9
100%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	69,2	69,1	71,3	69,8	71,1	71,6	71,7	72,3	72,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	31,9	28,4	26,0	30,0	28,2	25,3	29,5	26,7	24,4

**Tabela J.2: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3 – Orientação Sul.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de Janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	42,6	43,1	65,4	50,4	61,4	66,5	55,8	64,4	63,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	6,8	8,8	16,2	8,4	13,5	17,2	10,5	15,3	17,1
20%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	44,6	54,4	53,0	50,9	57,3	48,8	56,0	55,4	39,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	8,3	11,9	13,5	9,7	13,3	12,9	11,5	13,6	10,7
30%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	45,6	56,4	60,7	50,7	60,1	58,8	57,1	62,8	53,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	9,5	13,2	15,9	10,6	14,6	15,8	12,6	15,9	14,8
40%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	45,4	55,4	63,0	50,6	59,8	63,8	56,6	64,1	60,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	10,4	13,6	16,9	11,4	15,2	17,4	13,3	16,7	16,9
50%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	45,1	55,0	63,2	49,9	58,9	65,0	56,3	64,0	65,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	11,1	14,1	17,3	12,0	15,5	18,0	13,9	17,1	18,4
60%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	43,7	54,2	63,1	48,9	58,4	65,0	55,7	63,1	66,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	11,4	14,5	17,5	12,4	15,8	18,3	14,4	17,2	18,8
70%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	42,6	52,6	62,5	47,9	57,8	65,0	54,2	62,6	67,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	11,7	14,5	17,7	12,7	16,1	18,5	14,6	17,4	19,3
80%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	41,8	51,7	62,1	46,5	56,7	64,5	53,6	62,1	66,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	12,0	14,7	17,8	12,8	16,2	18,6	14,9	17,6	19,3
90%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	40,9	50,3	61,5	45,8	55,9	64,0	52,4	61,4	66,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	12,1	14,6	17,8	13,0	16,3	18,6	14,9	17,7	19,5
100%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	40,3	49,3	61,3	45,2	55,4	63,6	51,7	61,1	66,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	12,2	14,6	18,0	13,0	16,3	18,6	14,9	17,7	19,5

**Tabela J.3: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3 – Orientação Leste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	43,8	44,0	30,1	44,0	41,9	18,9	44,9	44,5	19,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	9,2	10,3	7,9	9,2	10,2	5,1	10,0	11,3	5,2
20%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	51,9	55,4	61,5	57,0	59,8	46,4	59,7	63,7	38,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	13,3	14,6	17,0	14,1	16,1	13,0	15,2	17,2	10,8
30%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,0	58,9	59,4	58,8	60,4	57,2	60,3	60,8	51,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	16,6	17,0	17,2	16,6	17,5	16,6	17,0	17,4	15,0
40%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,8	60,0	62,6	59,4	62,3	62,3	61,6	63,8	59,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	19,0	18,8	18,8	18,8	19,2	18,7	19,0	19,1	17,5
50%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	56,2	60,2	64,1	59,5	62,8	64,5	62,1	64,9	63,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	21,0	20,1	20,0	20,6	20,6	19,9	20,7	20,3	19,2
60%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	56,5	60,0	64,7	59,6	62,6	65,9	62,3	64,2	65,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	22,6	21,2	20,9	22,1	21,6	20,9	22,3	20,9	20,3
70%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	56,2	60,1	65,0	59,6	63,0	66,1	62,3	65,3	66,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	23,8	22,4	21,7	23,4	22,6	21,5	23,5	22,1	20,9
80%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,9	59,8	65,1	59,2	63,0	66,3	62,2	65,4	67,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	24,9	23,3	22,4	24,4	23,5	22,1	24,6	22,8	21,5
90%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,9	59,6	64,9	58,7	60,3	66,5	61,9	65,4	67,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	25,8	24,1	22,9	25,2	23,4	22,7	25,5	23,5	22,0
100%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,6	57,0	64,6	58,5	62,6	66,3	62,0	63,7	67,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	26,2	23,6	23,2	25,5	24,8	23,0	25,9	23,3	22,3

**Tabela J.4: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 3 – Orientação Oeste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	47,2	44,5	30,5	32,2	42,6	19,4	46,2	61,6	59,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	10,1	10,5	8,0	5,7	10,5	5,2	10,4	15,8	16,3
20%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	55,3	57,6	56,0	59,2	59,8	47,6	60,6	58,7	38,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	15,0	15,5	15,7	15,3	16,4	13,5	15,8	16,2	11,0
30%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	57,1	60,8	60,6	59,4	62,4	58,2	63,3	62,8	52,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	18,1	18,1	17,9	17,8	18,6	17,1	18,7	18,4	15,5
40%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	58,0	61,7	64,4	59,8	63,9	63,8	64,0	65,5	60,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	20,6	20,0	19,8	19,9	20,4	19,5	20,8	20,2	18,1
50%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	57,9	62,1	65,9	60,1	64,4	66,1	64,6	66,6	64,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	22,5	21,6	21,2	21,8	21,8	20,9	22,7	21,6	20,0
60%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	58,0	62,2	66,2	60,5	64,7	67,4	64,7	67,8	66,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	24,1	23,0	22,1	23,5	23,2	21,9	24,3	22,9	21,1
70%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	57,7	62,1	66,5	60,3	64,9	67,5	64,9	67,1	67,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	25,3	24,2	22,9	24,7	24,4	22,6	25,7	23,5	21,9
80%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	57,5	61,8	66,7	60,0	65,1	67,6	64,4	67,4	69,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	26,4	25,1	23,7	25,8	25,5	23,3	26,7	24,5	22,7
90%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	57,0	61,5	66,4	60,0	65,2	67,8	64,6	67,3	68,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	27,1	25,9	24,3	26,8	26,5	23,9	27,9	25,3	23,1
100%	Iluminação artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ar-condicionado	56,9	62,2	66,5	60,5	64,8	67,9	64,4	67,8	69,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	27,6	26,8	24,7	27,5	26,9	24,3	28,2	25,9	23,5

## **APÊNDICE K - Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4**

As reduções de consumo de energia elétrica entre o Caso 1 e Caso 4 para as quatro orientações são mostradas nas Tabelas K.1 a K.4.

**Tabela K.1: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4 – Orientação Norte.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	78,9	19,9	-2,8	60,2	9,4	-2,8	28,8	-1,3	-2,8
	Ar-condicionado	67,9	54,2	67,8	68,7	67,8	68,2	61,5	67,6	64,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	50,9	20,4	17,1	43,7	20,3	17,6	27,0	16,9	17,0
20%	Iluminação artificial	90,3	51,3	1,5	88,8	27,2	-2,8	51,2	3,9	-2,8
	Ar-condicionado	70,8	68,0	56,8	73,3	65,9	51,6	70,4	60,4	40,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,7	36,9	16,4	59,4	27,6	13,7	40,6	18,0	10,7
30%	Iluminação artificial	93,3	70,7	5,9	90,8	41,7	-1,0	70,9	12,5	-2,8
	Ar-condicionado	72,0	73,4	65,8	74,5	71,2	62,2	75,1	68,7	55,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	60,0	46,5	21,3	61,3	35,4	18,0	51,4	24,4	15,4
40%	Iluminação artificial	93,3	83,8	11,7	92,9	53,6	1,0	81,7	16,8	-2,8
	Ar-condicionado	73,1	73,8	69,6	74,9	73,1	67,9	76,5	71,6	63,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	61,0	51,9	25,2	62,9	41,0	20,9	57,1	27,8	18,1
50%	Iluminação artificial	93,3	85,3	16,8	93,3	71,4	3,1	84,5	23,9	-2,8
	Ar-condicionado	73,2	74,1	71,2	75,3	74,1	70,1	77,1	73,1	67,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	61,6	53,2	28,0	63,6	47,9	23,1	59,0	31,5	19,9
60%	Iluminação artificial	93,3	89,7	20,9	93,4	75,5	6,3	89,0	29,1	-2,8
	Ar-condicionado	73,2	74,1	72,0	74,8	74,9	71,6	77,4	73,4	69,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	62,1	55,2	30,2	63,9	50,1	25,1	61,3	34,1	20,9
70%	Iluminação artificial	93,3	91,1	26,1	93,4	80,5	8,4	89,7	32,8	-2,8
	Ar-condicionado	73,1	73,6	72,4	74,8	75,3	71,8	77,1	73,8	71,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	62,5	55,9	32,5	64,3	52,4	26,4	61,9	36,1	22,0
80%	Iluminação artificial	93,3	91,1	29,6	93,4	82,9	10,6	90,8	34,6	-2,8
	Ar-condicionado	73,1	73,6	72,7	74,9	75,0	72,4	76,7	74,1	71,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	62,9	56,3	34,2	64,6	53,5	27,8	62,6	37,4	22,7
90%	Iluminação artificial	93,3	92,1	32,1	93,4	84,4	13,1	90,8	36,8	-0,9
	Ar-condicionado	73,2	73,4	73,0	74,5	75,3	72,5	76,5	74,1	72,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	63,2	56,9	35,6	64,8	54,4	29,1	62,8	38,7	23,7
100%	Iluminação artificial	93,3	92,1	32,1	93,4	84,4	13,6	92,0	38,1	-0,9
	Ar-condicionado	73,1	73,2	73,2	74,5	75,4	72,7	76,4	74,5	72,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	63,3	57,1	36,0	64,9	54,7	29,6	63,3	39,5	24,2

**Tabela K.2: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4 – Orientação Sul.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	67,4	18,5	-2,8	43,9	3,8	-2,8	56,6	-0,3	-2,8
	Ar-condicionado	55,1	46,1	65,2	57,8	62,3	66,2	64,2	64,6	63,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	42,2	16,7	15,2	32,2	15,1	16,2	39,2	15,3	16,1
20%	Iluminação artificial	87,4	36,7	0,1	81,0	19,4	-1,0	85,6	23,1	-2,8
	Ar-condicionado	55,8	58,7	53,3	62,9	59,5	48,9	66,2	58,0	39,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	52,3	27,1	13,6	52,4	21,1	12,6	53,7	22,9	9,7
30%	Iluminação artificial	92,5	62,6	2,6	89,7	34,1	-1,0	91,6	34,6	-0,9
	Ar-condicionado	55,9	63,7	61,3	61,5	63,3	58,9	66,9	65,8	53,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	54,8	38,7	16,9	56,6	28,0	15,5	56,8	29,5	14,5
40%	Iluminação artificial	92,6	79,0	9,9	91,9	44,3	0,3	92,4	40,5	-0,9
	Ar-condicionado	55,1	63,3	64,4	60,9	63,4	64,2	66,0	67,6	60,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	54,7	45,2	20,5	57,6	32,2	17,6	57,2	32,5	16,6
50%	Iluminação artificial	92,7	83,1	14,4	93,0	51,2	0,7	92,8	50,0	0,1
	Ar-condicionado	54,2	62,6	64,7	59,8	64,3	65,4	65,3	68,4	65,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	54,5	46,8	22,4	57,9	35,3	18,3	57,3	36,5	18,5
60%	Iluminação artificial	92,8	84,7	17,9	93,2	61,8	0,7	92,8	55,7	0,7
	Ar-condicionado	52,3	61,2	64,8	58,2	64,8	65,6	64,5	68,1	66,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	54,0	47,2	23,9	57,7	39,5	18,7	57,2	38,7	19,1
70%	Iluminação artificial	92,8	89,4	22,4	93,2	70,6	5,2	92,8	64,7	0,7
	Ar-condicionado	50,9	59,5	64,5	56,9	64,4	65,9	62,8	69,1	67,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	53,6	48,6	25,5	57,3	42,7	20,5	56,8	42,5	19,6
80%	Iluminação artificial	92,8	89,4	24,3	93,2	73,2	8,6	92,8	65,4	1,8
	Ar-condicionado	50,0	58,5	64,3	55,5	62,9	65,6	61,8	68,5	67,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	53,3	48,5	26,3	56,9	43,4	21,7	56,6	42,7	20,1
90%	Iluminação artificial	92,8	89,4	27,4	93,2	74,7	11,5	92,8	71,3	5,9
	Ar-condicionado	48,7	57,1	63,9	54,5	62,5	65,1	60,6	67,8	68,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	52,9	48,1	27,4	56,6	44,0	22,7	56,3	44,8	21,7
100%	Iluminação artificial	92,8	89,7	29,1	93,2	80,2	11,9	92,8	71,4	5,9
	Ar-condicionado	48,0	56,1	63,6	53,8	62,1	64,9	59,9	67,4	67,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	52,7	48,0	28,0	56,4	45,8	22,8	56,1	44,8	21,7

**Tabela K.3: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4 – Orientação Leste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	80,7	31,9	2,0	57,8	14,3	-1,0	30,6	2,4	-2,8
	Ar-condicionado	54,4	48,1	30,8	52,9	44,9	18,9	50,8	45,2	19,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	49,0	23,4	8,7	39,3	16,2	4,8	25,3	12,4	4,4
20%	Iluminação artificial	91,1	57,5	7,6	84,4	29,5	0,0	53,1	12,6	-2,8
	Ar-condicionado	59,6	61,1	62,2	65,7	62,7	46,7	65,6	64,7	38,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	55,2	37,2	19,7	55,4	27,3	13,1	40,0	22,1	9,8
30%	Iluminação artificial	93,0	75,4	16,1	90,8	40,8	2,4	67,2	21,1	-2,8
	Ar-condicionado	61,5	64,6	60,7	66,3	64,2	57,8	66,1	63,0	51,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	56,8	45,4	22,8	58,9	32,7	17,5	47,0	25,5	14,1
40%	Iluminação artificial	93,0	83,9	19,5	92,5	53,7	5,6	79,7	25,1	-1,1
	Ar-condicionado	61,7	65,3	64,4	66,2	66,3	62,9	68,1	65,9	59,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,2	49,1	25,6	59,9	38,5	20,6	53,4	28,5	17,3
50%	Iluminação artificial	93,0	87,8	26,2	92,9	63,7	5,9	83,8	27,4	-0,9
	Ar-condicionado	61,5	65,3	65,9	65,7	67,0	65,0	67,9	66,9	63,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,3	50,9	28,8	60,2	42,8	21,9	55,5	30,3	19,0
60%	Iluminação artificial	93,0	88,5	28,2	93,2	74,5	11,3	86,7	29,6	-0,9
	Ar-condicionado	61,3	64,9	66,5	65,4	67,3	66,8	67,9	66,5	65,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,4	51,4	30,2	60,4	47,0	24,6	57,1	31,6	20,1
70%	Iluminação artificial	93,0	88,9	32,3	93,5	76,2	13,5	89,0	32,5	-0,9
	Ar-condicionado	60,8	64,9	67,7	65,0	67,5	67,0	67,6	67,6	66,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,3	51,9	32,4	60,5	48,0	25,9	58,2	33,5	20,7
80%	Iluminação artificial	93,0	90,8	32,3	93,6	80,7	17,0	89,0	34,5	-0,9
	Ar-condicionado	60,2	64,3	67,2	64,3	67,4	67,5	67,3	67,7	67,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,2	52,6	32,7	60,4	49,8	27,6	58,3	34,8	21,4
90%	Iluminação artificial	93,0	91,0	32,8	93,6	81,4	18,0	89,1	40,8	-0,9
	Ar-condicionado	60,0	63,9	67,1	63,6	65,0	67,8	66,8	68,2	67,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,2	52,8	33,3	60,2	49,5	28,5	58,4	37,5	21,8
100%	Iluminação artificial	93,0	91,0	36,8	93,6	84,4	19,2	89,3	40,8	-0,9
	Ar-condicionado	59,6	61,6	66,8	63,4	66,7	67,6	66,8	66,8	68,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,0	52,0	34,7	60,2	51,2	29,1	58,5	37,3	22,1

**Tabela K.4: Redução de consumo entre o Caso 1 e Caso 4 – Orientação Oeste.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	79,3	18,9	-2,6	49,1	6,5	-2,8	20,9	-0,4	-2,8
	Ar-condicionado	56,9	47,1	30,3	42,5	44,0	19,1	50,0	61,3	58,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	48,9	18,3	7,1	32,4	13,2	4,2	20,8	15,5	15,3
20%	Iluminação artificial	91,0	48,2	1,2	85,3	24,5	-2,7	43,3	3,1	-2,8
	Ar-condicionado	62,9	62,6	56,8	68,1	62,2	47,6	65,4	59,6	38,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	56,1	34,4	16,3	56,6	25,7	12,6	35,9	17,5	10,0
30%	Iluminação artificial	93,0	71,8	5,4	90,7	39,5	-0,5	62,1	8,1	-2,8
	Ar-condicionado	63,5	66,2	61,5	67,4	65,5	58,3	68,8	64,0	52,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,5	44,8	19,8	59,4	33,0	17,0	46,1	21,5	14,6
40%	Iluminação artificial	93,0	81,5	11,4	91,3	49,2	0,7	77,6	15,7	-2,8
	Ar-condicionado	63,7	67,1	65,6	67,0	67,2	64,2	70,1	66,9	60,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,9	49,2	23,8	59,9	37,8	19,8	53,6	26,0	17,3
50%	Iluminação artificial	93,0	88,1	16,2	92,9	58,9	2,0	82,6	21,0	-2,7
	Ar-condicionado	63,0	67,3	67,3	66,5	68,1	66,7	70,4	68,3	64,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	58,0	52,0	26,6	60,6	42,1	21,7	56,3	29,2	19,2
60%	Iluminação artificial	93,0	89,9	22,2	93,0	72,2	3,6	86,7	24,5	-2,7
	Ar-condicionado	62,7	67,1	67,6	66,4	69,1	68,1	70,2	69,7	67,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	58,1	53,0	29,3	60,9	47,3	23,3	58,3	31,6	20,3
70%	Iluminação artificial	93,0	89,9	24,6	93,1	77,3	5,2	89,3	29,2	-2,7
	Ar-condicionado	62,2	66,8	68,1	65,7	69,3	68,4	70,1	69,1	68,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	58,0	53,3	30,8	60,8	49,5	24,5	59,6	33,7	21,1
80%	Iluminação artificial	93,0	89,9	29,2	93,1	80,9	9,1	89,5	31,3	-2,6
	Ar-condicionado	61,7	66,1	68,5	65,1	69,2	68,6	69,4	69,6	69,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	58,0	53,4	32,9	60,7	51,1	26,3	59,7	35,2	22,0
90%	Iluminação artificial	93,1	91,9	30,8	93,2	82,6	12,7	91,0	35,7	-0,8
	Ar-condicionado	61,0	65,6	68,4	64,8	69,2	68,7	69,4	69,6	69,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,7	54,1	33,9	60,7	52,0	27,9	60,4	37,2	23,0
100%	Iluminação artificial	93,1	91,9	34,9	93,2	84,0	13,2	91,0	35,9	-0,8
	Ar-condicionado	60,8	66,1	68,6	65,2	69,0	68,8	69,1	70,2	69,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	57,7	54,5	35,5	61,0	52,5	28,5	60,4	37,9	23,3

## **APÊNDICE L - Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3**

As reduções de consumo de energia elétrica entre o Caso 2 e Caso 3 para as quatro orientações são mostradas nas Tabelas L.1 a L.4.

**Tabela L.1: Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3 – Orientação Norte.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	-373,7	-24,8	2,7	-151,1	-10,3	2,7	-40,5	1,3	2,7
	Ar-condicionado	42,6	48,2	68,0	49,7	65,7	68,4	52,7	67,6	64,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-53,4	3,4	18,8	-32,9	12,9	19,4	-3,3	17,8	18,8
20%	Iluminação artificial	-926,7	-105,4	-1,5	-789,5	-37,3	2,7	-105,0	-4,0	2,7
	Ar-condicionado	50,1	58,3	56,2	49,2	60,8	51,8	58,7	59,4	40,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-55,7	-6,7	15,3	-63,1	6,5	15,5	-13,4	15,0	12,5
30%	Iluminação artificial	-1393,4	-241,0	-6,3	-981,6	-71,5	1,0	-243,2	-14,3	2,7
	Ar-condicionado	56,2	61,1	64,5	54,9	64,7	62,2	61,4	66,8	56,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-45,9	-13,9	17,2	-53,8	3,6	18,5	-24,3	15,2	17,2
40%	Iluminação artificial	-1393,4	-516,3	-13,3	-1318,2	-115,3	-1,0	-446,7	-20,2	2,7
	Ar-condicionado	60,0	61,6	67,5	59,4	65,7	67,5	62,0	69,3	63,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-35,0	-18,3	17,2	-45,4	0,7	20,2	-29,2	15,8	19,8
50%	Iluminação artificial	-1393,4	-582,0	-20,2	-1391,2	-249,2	-3,2	-545,4	-31,4	2,7
	Ar-condicionado	61,6	62,9	68,9	61,8	65,0	69,4	63,9	69,8	68,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-27,0	-15,2	17,2	-37,4	-6,2	21,0	-26,1	14,5	21,6
60%	Iluminação artificial	-1393,4	-875,0	-26,5	-1424,8	-307,5	-6,7	-810,3	-41,1	2,7
	Ar-condicionado	63,0	63,7	69,2	62,4	65,5	70,3	65,2	69,9	69,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-20,0	-14,1	16,9	-31,2	-5,9	21,0	-24,7	13,9	22,5
70%	Iluminação artificial	-1393,4	-1019,3	-35,3	-1424,8	-412,2	-9,1	-868,9	-48,8	2,7
	Ar-condicionado	63,7	64,3	69,3	63,4	66,1	70,6	65,9	69,9	71,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-14,5	-11,4	16,3	-25,4	-5,8	21,2	-20,8	13,6	23,5
80%	Iluminação artificial	-1393,4	-1019,3	-42,0	-1424,8	-486,3	-11,9	-991,8	-52,9	2,7
	Ar-condicionado	64,5	64,8	69,5	64,3	66,4	70,9	66,2	70,1	71,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-9,9	-8,4	16,1	-20,4	-4,7	21,3	-17,9	14,0	24,1
90%	Iluminação artificial	-1393,4	-1167,0	-47,2	-1424,8	-543,0	-15,1	-991,8	-58,3	0,9
	Ar-condicionado	65,2	65,0	69,5	64,7	66,7	71,0	66,9	70,4	71,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-6,0	-6,5	16,1	-16,2	-3,3	21,3	-13,9	14,5	24,2
100%	Iluminação artificial	-1393,4	-1167,0	-47,2	-1424,8	-543,0	-15,7	-1154,9	-61,6	0,9
	Ar-condicionado	65,4	65,1	69,9	64,9	67,1	70,8	66,8	70,5	72,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-4,1	-4,9	16,8	-14,4	-2,0	21,4	-13,6	14,6	24,6

**Tabela L.2: Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3 – Orientação Sul.**

Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	-207,1	-22,8	2,7	-78,4	-4,0	2,7	-130,5	0,3	2,7
	Ar-condicionado	19,2	37,9	65,4	36,0	60,6	66,5	38,3	64,3	63,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-50,4	-0,3	17,0	-24,3	11,8	18,0	-32,4	15,3	17,9
20%	Iluminação artificial	-692,5	-58,0	-0,1	-426,1	-24,1	1,0	-593,7	-30,1	2,7
	Ar-condicionado	22,2	47,5	52,8	23,3	54,1	48,8	32,2	51,9	39,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-73,9	-6,3	13,4	-71,4	4,9	13,1	-67,7	3,5	11,6
30%	Iluminação artificial	-1228,7	-167,2	-2,6	-870,3	-51,7	1,0	-1096,7	-52,9	0,9
	Ar-condicionado	25,8	44,7	60,3	27,7	55,3	58,8	35,2	58,3	53,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-76,4	-22,0	14,9	-80,2	-0,6	16,1	-73,0	0,4	15,1
40%	Iluminação artificial	-1248,5	-376,3	-11,0	-1129,1	-79,4	-0,3	-1219,0	-68,2	0,9
	Ar-condicionado	27,9	41,6	62,0	29,8	54,1	63,6	36,9	59,3	61,1
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-71,2	-33,8	13,4	-79,1	-5,0	17,3	-69,9	-1,6	17,3
50%	Iluminação artificial	-1263,8	-492,9	-16,9	-1328,2	-105,0	-0,7	-1279,4	-100,2	-0,1
	Ar-condicionado	29,1	41,6	61,8	30,8	52,3	64,9	38,3	58,7	65,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-66,9	-35,4	12,1	-76,7	-8,4	17,7	-66,5	-5,9	18,3
60%	Iluminação artificial	-1279,4	-555,1	-21,7	-1369,6	-161,7	-0,7	-1279,4	-125,7	-0,7
	Ar-condicionado	28,7	42,6	61,4	31,3	49,6	65,0	39,1	57,3	66,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-63,6	-34,2	11,2	-73,1	-14,8	18,1	-63,2	-8,7	18,6
70%	Iluminação artificial	-1284,7	-841,9	-28,9	-1369,6	-240,3	-5,5	-1279,4	-183,6	-0,7
	Ar-condicionado	28,4	41,0	60,7	31,2	48,3	64,6	38,4	54,1	67,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-60,7	-37,1	9,9	-70,0	-19,7	16,8	-60,8	-15,3	19,1
80%	Iluminação artificial	-1290,0	-845,5	-32,0	-1369,6	-273,8	-9,4	-1279,4	-189,2	-1,8
	Ar-condicionado	28,9	40,2	60,1	30,5	48,5	63,9	38,6	53,7	66,8
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-57,8	-36,1	9,4	-67,6	-19,8	15,8	-58,5	-15,2	18,8
90%	Iluminação artificial	-1290,0	-845,5	-37,7	-1369,6	-296,0	-13,0	-1279,4	-248,6	-6,3
	Ar-condicionado	28,2	39,2	59,1	30,6	46,3	63,1	37,8	53,8	66,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-55,9	-35,2	8,2	-65,3	-21,3	14,9	-56,8	-17,6	17,6
100%	Iluminação artificial	-1290,0	-867,4	-41,0	-1369,6	-404,6	-13,5	-1279,4	-249,1	-6,3
	Ar-condicionado	27,8	38,1	59,1	30,2	45,2	62,6	37,2	53,5	66,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-55,0	-35,2	7,9	-64,5	-24,9	14,7	-56,3	-17,3	17,8

**Tabela L.3: Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3 – Orientação Leste.**

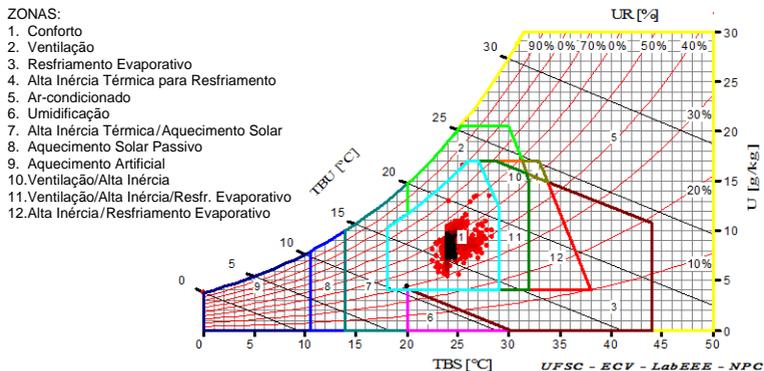
Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	-417,8	-46,9	-2,0	-137,1	-16,7	1,0	-44,2	-2,5	2,7
	Ar-condicionado	22,9	37,0	29,3	27,3	38,5	19,0	35,3	43,9	19,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-60,1	-5,3	7,0	-35,6	3,9	5,4	-8,9	10,3	6,2
20%	Iluminação artificial	-1022,4	-135,2	-8,3	-539,7	-41,8	0,0	-113,3	-14,4	2,7
	Ar-condicionado	37,5	46,1	60,7	41,5	56,0	46,5	50,6	62,4	38,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-60,0	-14,7	14,3	-58,0	3,7	13,0	-17,9	12,4	11,7
30%	Iluminação artificial	-1334,1	-307,2	-19,2	-990,3	-68,8	-2,4	-204,5	-26,7	2,7
	Ar-condicionado	43,6	49,6	57,7	45,5	55,8	57,0	50,6	58,1	52,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-49,8	-22,0	11,5	-57,5	0,4	15,8	-25,7	8,9	15,8
40%	Iluminação artificial	-1334,1	-522,4	-24,2	-1225,5	-115,9	-6,0	-391,7	-33,5	1,1
	Ar-condicionado	46,5	51,6	60,6	47,7	56,7	61,8	51,3	61,2	59,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-39,8	-23,3	12,0	-50,5	-3,6	16,8	-32,7	9,4	17,9
50%	Iluminação artificial	-1334,1	-718,4	-35,5	-1308,3	-175,3	-6,2	-516,7	-37,8	0,9
	Ar-condicionado	48,2	52,5	62,2	49,5	57,0	64,3	52,9	62,5	63,5
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-31,9	-22,0	11,3	-42,7	-6,3	18,2	-30,8	10,1	19,4
60%	Iluminação artificial	-1334,1	-772,7	-39,2	-1364,3	-292,1	-12,7	-652,9	-42,1	0,9
	Ar-condicionado	49,5	52,9	62,7	50,8	56,5	65,1	53,9	61,6	65,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-25,6	-19,0	11,8	-36,1	-10,0	17,4	-28,3	10,0	20,5
70%	Iluminação artificial	-1334,1	-797,8	-47,8	-1442,2	-320,4	-15,6	-810,3	-48,2	0,9
	Ar-condicionado	49,9	53,3	61,7	51,8	57,3	65,2	54,6	62,8	66,6
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-20,6	-16,1	10,4	-30,7	-8,2	17,4	-25,6	10,4	21,2
80%	Iluminação artificial	-1334,1	-985,2	-47,8	-1466,0	-417,7	-20,4	-810,3	-52,6	0,9
	Ar-condicionado	50,2	53,4	62,9	51,9	57,4	65,2	55,0	62,9	67,3
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-16,6	-14,3	12,1	-26,3	-8,4	17,0	-21,5	10,8	21,8
90%	Iluminação artificial	-1334,1	-1009,3	-48,7	-1466,0	-437,5	-21,9	-819,6	-69,0	0,9
	Ar-condicionado	50,6	53,7	62,7	51,9	54,5	65,3	55,3	61,8	67,4
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-13,1	-11,7	12,6	-22,5	-8,2	17,2	-18,1	8,6	22,2
100%	Iluminação artificial	-1334,1	-1009,3	-58,2	-1466,0	-539,6	-23,8	-831,4	-69,0	0,9
	Ar-condicionado	50,5	51,0	62,3	52,0	57,2	64,9	55,6	60,1	67,7
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-11,6	-11,7	11,8	-20,9	-7,2	17,1	-16,9	8,5	22,6

**Tabela L.4: Redução de consumo entre o Caso 2 e Caso 3 – Orientação Oeste.**

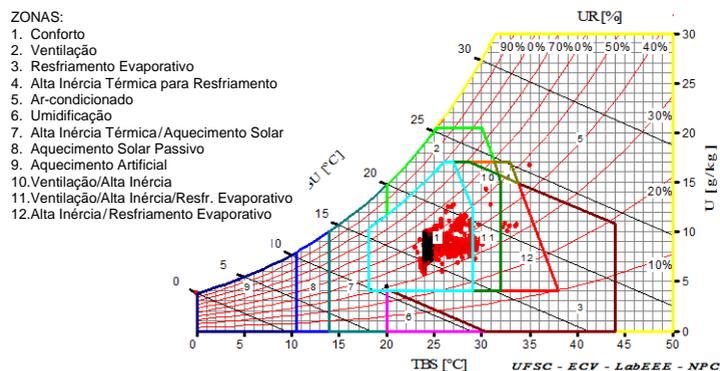
Redução no consumo de energia (%)										
Área de janela	Consumo	Geometria 2:1			Geometria 1:1			Geometria 1:2		
		K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5	K=0,8	K=2	K=5
10%	Iluminação artificial	-383,8	-23,3	2,5	-96,6	-7,0	2,7	-26,4	0,4	2,7
	Ar-condicionado	27,7	40,1	30,5	15,3	40,7	19,6	39,7	61,4	59,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-56,4	1,7	8,8	-31,9	7,6	6,2	-1,8	15,8	17,2
20%	Iluminação artificial	-1015,4	-92,9	-1,3	-578,3	-32,4	2,7	-76,3	-3,2	2,7
	Ar-condicionado	41,5	50,3	55,7	43,4	56,3	47,6	52,9	58,1	39,0
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-56,1	-7,5	15,1	-57,4	6,2	14,2	-9,4	14,8	11,9
30%	Iluminação artificial	-1328,5	-254,0	-5,7	-973,0	-65,2	0,5	-163,6	-8,8	2,7
	Ar-condicionado	46,8	52,5	59,9	46,3	58,1	58,1	54,6	61,7	52,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-45,1	-17,4	16,0	-53,7	2,4	17,2	-18,6	15,3	16,3
40%	Iluminação artificial	-1328,5	-439,1	-12,9	-1055,6	-96,7	-0,7	-346,2	-18,6	2,7
	Ar-condicionado	49,6	53,5	63,3	49,1	59,3	63,7	54,7	63,9	60,2
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-35,0	-19,5	16,0	-44,4	0,7	19,2	-26,7	14,5	18,9
50%	Iluminação artificial	-1328,5	-743,2	-19,4	-1298,6	-143,6	-2,0	-473,7	-26,6	2,6
	Ar-condicionado	50,7	54,3	64,6	50,9	59,4	65,8	56,0	64,7	64,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-27,5	-19,6	15,9	-37,9	-1,6	20,2	-25,4	14,0	20,7
60%	Iluminação artificial	-1328,5	-886,6	-28,5	-1338,3	-259,7	-3,7	-654,5	-32,5	2,6
	Ar-condicionado	51,6	55,2	64,6	52,5	59,1	67,0	56,8	65,7	66,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-21,5	-16,6	15,0	-31,1	-5,9	20,8	-23,6	14,2	21,8
70%	Iluminação artificial	-1334,1	-886,6	-32,7	-1353,8	-341,3	-5,5	-836,3	-41,2	2,6
	Ar-condicionado	52,0	55,8	64,7	53,0	59,2	67,1	57,8	64,9	67,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-16,7	-13,0	15,2	-25,8	-6,0	21,0	-20,7	13,5	22,5
80%	Iluminação artificial	-1334,1	-886,6	-41,3	-1359,0	-423,4	-10,0	-856,1	-45,5	2,5
	Ar-condicionado	52,2	56,1	64,7	53,4	59,8	67,0	57,8	65,1	68,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-12,8	-9,9	14,7	-21,4	-5,1	20,6	-17,0	13,9	23,3
90%	Iluminação artificial	-1339,8	-1129,6	-44,5	-1369,6	-473,6	-14,5	-1012,0	-55,6	0,8
	Ar-condicionado	52,0	56,1	64,4	53,9	60,1	67,0	58,6	64,6	68,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-9,8	-8,4	14,9	-17,5	-3,6	20,2	-14,2	13,2	23,3
100%	Iluminação artificial	-1339,8	-1129,6	-53,6	-1369,6	-524,5	-15,2	-1012,0	-56,1	0,8
	Ar-condicionado	52,1	57,1	64,3	54,7	59,9	67,0	58,6	65,3	68,9
	Equipamentos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Total	-8,3	-6,2	14,2	-15,5	-3,1	20,6	-12,9	14,1	23,6

## **APÊNDICE M – Carta de Givoni com os resultados das simulações**

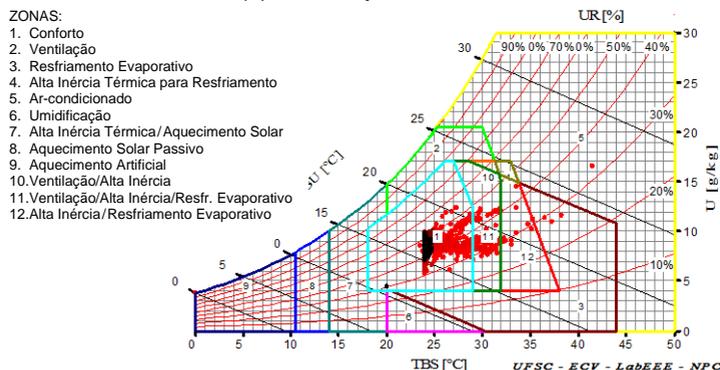
Os resultados das simulações para o período de ocupação da edificação de cada estudo de caso (temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e umidade absoluta do ar), plotados sob a carta de Givoni, por meio do programa *Analysis Bio* encontram-se nas Figuras M.1 a M.4.



(a) Área de janela de 10%



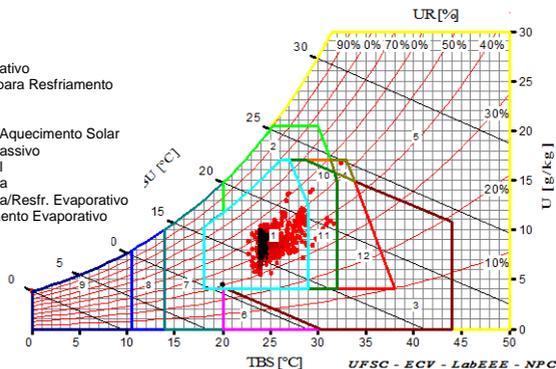
(b) Área de janela de 50%



(c) Área de janela de 100%

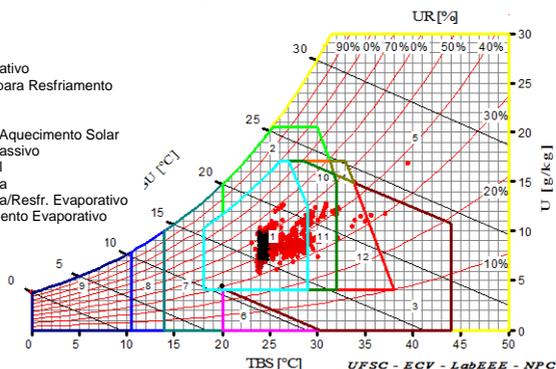
**Figura M.1: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 1 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente igual a 5, orientação oeste e três áreas de janela.**

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



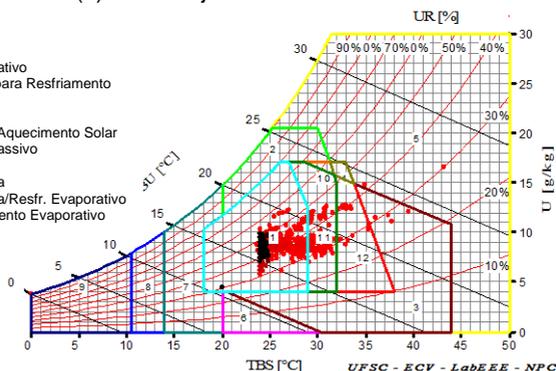
(a) Área de janela de 10%

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(b) Área de janela de 50%

- ZONAS:
1. Conforto
  2. Ventilação
  3. Resfriamento Evaporativo
  4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
  5. Ar-condicionado
  6. Umidificação
  7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
  8. Aquecimento Solar Passivo
  9. Aquecimento Artificial
  10. Ventilação/Alta Inércia
  11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
  12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo

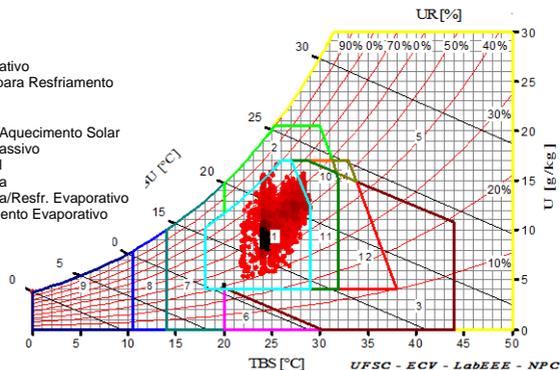


(c) Área de janela de 100%

**Figura M.2: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 2 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente de 5, orientação oeste e três áreas de janela.**

ZONAS:

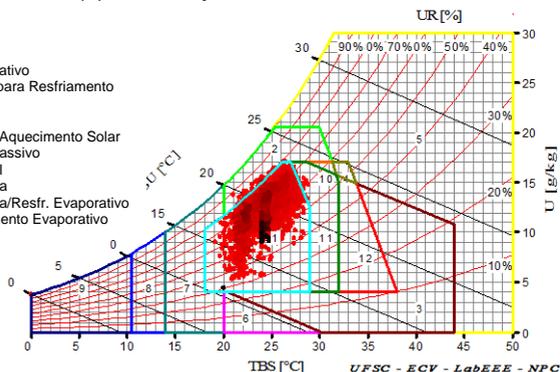
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(a) Área de janela de 10%

ZONAS:

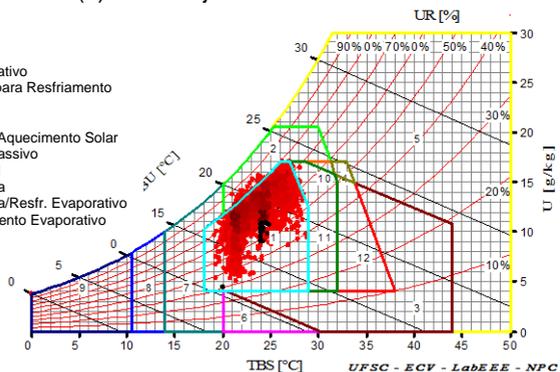
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(b) Área de janela de 50%

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo

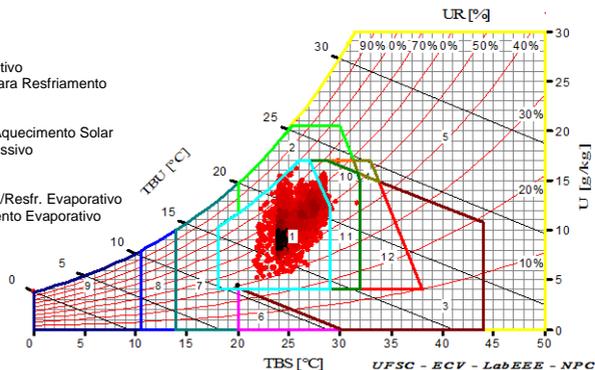


(c) Área de janela de 100%

**Figura M.3: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 3 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente de 5, orientação oeste e três áreas de janela.**

ZONAS:

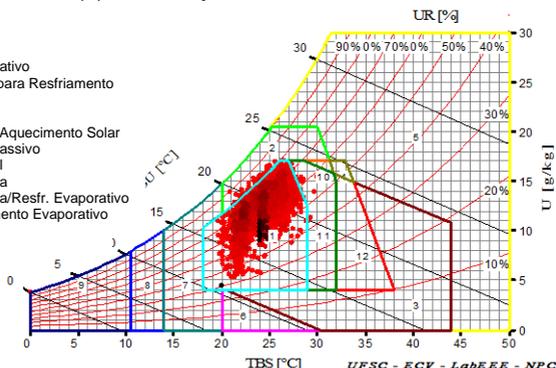
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(a) Área de janela de 10%

ZONAS:

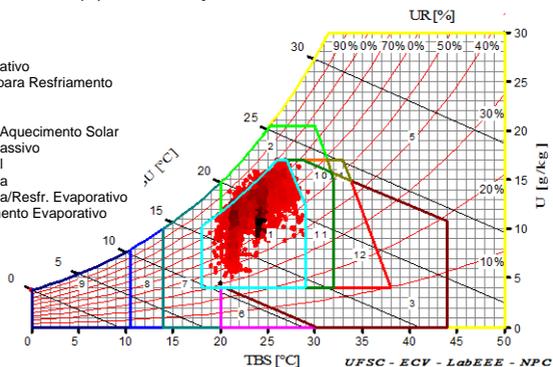
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(b) Área de janela de 50%

ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Alta Inércia Térmica para Resfriamento
5. Ar-condicionado
6. Umidificação
7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Alta Inércia
11. Ventilação/Alta Inércia/Resfr. Evaporativo
12. Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo



(c) Área de janela de 100%

**Figura M.4: Carta de Givoni com os resultados da simulação do Caso 4 para o período de ocupação da edificação, para o ambiente com geometria de 2:1, índice de ambiente de 5, orientação oeste e três áreas de janela.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, do  
Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa  
Catarina, como requisito para obtenção do Título de Mestre  
em Engenharia Civil

Orientador: Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis, 2011