

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL**

**CONTRIBUIÇÃO TERMO-ENERGÉTICA DOS  
FECHAMENTOS TRANSPARENTES EM EDIFÍCIOS  
COMERCIAIS CLIMATIZADOS ARTIFICIALMENTE  
EM SANTA MARIA-RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Giana da Rocha Zófoli**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**



**CONTRIBUIÇÃO TERMO-ENERGÉTICA DOS  
FECHAMENTOS TRANSPARENTES EM EDIFÍCIOS  
COMERCIAIS CLIMATIZADOS ARTIFICIALMENTE EM  
SANTA MARIA-RS**

**Giana da Rocha Zófoli**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**





**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**CONTRIBUIÇÃO TERMO-ENERGÉTICA DOS FECHAMENTOS  
TRANSPARENTES EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS CLIMATIZADOS  
ARTIFICIALMENTE EM SANTA MARIA-RS**

elaborada por  
**Giana da Rocha Zófoli**

Com requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Eduardo Grala da Cunha, Dr. (UFPel)**

---

**Prof. Giane de Campos Grigoletti, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 13 de Dezembro de 2011.



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este estudo aos meus pais, Eliana e Reinaldo,  
pelo estímulo, compreensão, confiança e apoio  
incondicional em todos os momentos de minha vida.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a DEUS, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, iluminando-me ao caminho certo.

Ao professor Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, pela orientação deste trabalho e pela colaboração no meu crescimento profissional e pessoal.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação de mestrado e pela experiência proporcionada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e seus professores, representados pelo seu coordenador, professor Dr. Rinaldo J. B. Pinheiro, e suas secretárias Daisy e Marília.

À professora Dra. Giane de Campos Grigoletti, pelas valiosas sugestões durante o meu projeto de dissertação.

Ao professor Dr. Eduardo Grala da Cunha, por sua ajuda nos momentos mais críticos. Sua participação foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos Madalena Russi e Egon Vettorazzi, pela companhia e pelo conhecimento compartilhado. Duas grandes amizades construídas.

Aos acadêmicos Ana e Gustavo, pelas contribuições e auxílios em várias etapas deste trabalho.

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação, deram-me, em alguns momentos, a esperança para que eu prosseguisse. Pai, tua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. Amo vocês!

Aos meus avós Doroty e Moacyr, por tornarem as minhas preocupações em orações, por todo o amor que ambos me dedicam, meu eterno amor e agradecimento.

Ao meu amado Darlã, por me fazer acreditar que tudo daria certo. Trazer-me calma e carinho sempre que precisei, com palavras de conforto, paciência, serenidade e muito amor.

À tia Regina, pelo carinho durante a correção desta dissertação.

A todos os amigos, que torceram por mim e que, com absoluta certeza, contribuíram para o êxito deste trabalho.

Gostaria ainda de agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

A todos enfim, reitero o meu apreço e a minha eterna gratidão.

“Os mais hábeis na arte de sonhar são  
sem dúvida também os mais hábeis na  
arte de realizar os seus sonhos.”

(Autor desconhecido)





## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade de Federal de Santa Maria

### **CONTRIBUIÇÃO TERMO-ENERGÉTICA DOS FECHAMENTOS TRANSPARENTES EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS CLIMATIZADOS ARTIFICIALMENTE EM SANTA MARIA-RS**

Autora: Giana da Rocha Zófoli  
Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos  
Data e local da Defesa: Santa Maria, 13 de Dezembro de 2011.

Este trabalho analisa a influência da radiação solar que penetra pelos fechamentos transparentes no consumo de energia para climatização de edifícios de escritório na região de Santa Maria – RS, situado na zona bioclimática 2 brasileira. Para isso, foram realizadas simulações no programa computacional *Design Builder*, em um ambiente típico de escritório, visando avaliar comparativamente os resultados obtidos com o uso de diferentes tipos de vidro (Fator Solar), mediante diferentes percentuais de área de janelas e orientações de fachada. Os vidros utilizados têm valores de Fator Solar variando de 0.85, 0.70, 0.56 e 0.29, o percentual de área de abertura de 20%, 50% e 80%, enquanto a orientação solar variou de 0° a 315°, com intervalo de 45°. Foi observado, para o clima da cidade de Santa Maria-RS, considerando-se o uso diurno do edifício, que o consumo de energia para resfriamento apresenta valores mais elevados em relação ao aquecimento, e que esta diferença é diretamente proporcional ao Fator Solar do vidro e ao percentual de aberturas na fachada. Mudanças que colaboram para a redução de um destes consumos levam ao aumento do outro, devendo-se analisá-los de forma conjunta, no processo de definição das aberturas, para que se obtenha o menor consumo anual de energia. As simulações indicaram maiores gastos de energia com aquecimento nas fachadas orientadas para sul, sudeste e sudoeste, enquanto os maiores gastos com resfriamento ocorrem com fachadas orientadas a norte, nordeste e noroeste, independente do Fator Solar do vidro ou do percentual de aberturas na fachada. Foi observado que, ao serem estabelecidas diretrizes construtivas referentes a aberturas em normas de desempenho de edificações, devem ser considerados conjuntamente o percentual de área de aberturas, o Fator Solar do vidro e a orientação solar da fachada, pois as trocas de calor e entrada de iluminação natural estão associadas a estes fatores de forma integrada.

**Palavras - chave:** Materiais Transparentes. *Design Builder*. Eficiência Energética.



## **ABSTRACT**

Master's thesis  
Graduate Program in Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **THERMAL ENERGY CONTRIBUTION TO TRANSPARENT CLOSURE IN ARTIFICIALLY CONDITIONED COMMERCIAL BUILDINGS IN SANTA MARIA-RS**

Author: Giana da Rocha Zófoli  
Teacher Advisor: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos  
Date and place of defense: Santa Maria, 13 de Dezembro de 2011.

This paper analyzes the influence of the penetration of solar radiation through the transparent closure in consumption of energy for conditioning of the office buildings in the region of Santa Maria-RS, located in the bioclimatic Brazilian zone 2. To do this, simulations were performed in the computational program Design Builder, in a typical office environment in order to evaluate the comparative results obtained with the use of different types of glass (Solar Factor) by different percentages of area of windows and surface guidelines. The glasses used had solar factor ranging from 0.85, 0.70, 0.56 and 0.29, an opening percentage area of 20%, 50% and 80%, while the solar orientation ranged from 0° to 315° at an interval of 45°. It was observed that for the climate of the city of Santa Maria-RS, considering the daytime use of the building, the consumption of energy for cooling process has higher values compared to the heating and that this difference is directly proportional to the solar factor of the glass and the percentage of openings in the facade. Changes that contribute to a reduction of one of these lead to an increased consumption of the other, these should be analyzed jointly in the process of defining the openings, in order to obtain the lowest annual energy consumption. The simulations indicated higher expenditure of energy with heating on the facades oriented to the south, southeast, and southwest, while the higher cost for cooling occurred on facades oriented to the north, northeast, northwest, regardless of the solar factor or percentages of openings in facade. It was observed that, when established constructive guidelines regarding apertures in construction performance standards for buildings, should be considered together the percentage of area openings, Factor Solar glass and solar orientation of the facade, as the exchanges of heat and entry lighting are naturally associated with these factors in an integrated manner.

**Keywords:** Transparent Materials. Design Builder. Energy Efficiency.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo setorial de eletricidade.....	26
Figura 2 – Formas da radiação solar na superfície terrestre.....	29
Figura 3 – Troca de calor através de vedações opacas.....	32
Figura 4 – Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes .....	34
Figura 5 – Fluxo Térmico – Durante um dia com sol.....	35
Figura 6 – Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado....	43
Figura 7 – Tipos de fluxo de energia através de janelas.....	45
Figura 8 – Planta baixa do pavimento tipo da edificação comercial escolhida.....	58
Figura 9 – Vista isométrica do edifício tipo escolhido.....	59
Figura 10 – Imagem representativa das paredes externa e interna em corte e vista lateral .....	60
Figura 11 – Imagem em corte representativa da laje de entrepisos.....	60
Figura 12 – Imagem em corte representativa da laje de cobertura .....	61
Figura 13 – Orientações solares simuladas .....	63
Figura 14 – Diagrama das combinações das variáveis utilizadas .....	65
Figura 15 – Schedule padrão de ocupação - dias da semana .....	67
Figura 16 – Schedule padrão de ocupação - sábado.....	67
Figura 17 – Schedule padrão de iluminação - dias da semana.....	68
Figura 18 – Schedule padrão de iluminação - sábado .....	68
Figura 19 – Schedule padrão de outros equipamentos - dias da semana .....	69
Figura 20 – Schedule padrão de outros equipamentos - sábado.....	69
Figura 21 – Gráfico de saída do programa Design Builder, com os valores de consumo de aquecimento e resfriamento para o vidro Comum Incolor, percentual de abertura da fachada de 20% e orientação solar Norte.....	74
Figura 22 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR.....	76
Figura 23 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR.....	80

Figura 24 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR .....	84
Figura 25 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLAR .....	90
Figura 26 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO .....	94
Figura 27 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO .....	98
Figura 28 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO .....	104
Figura 29 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO .....	108
Figura 30 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO .....	112
Figura 31 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO .....	118
Figura 32 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO .....	122
Figura 33 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO .....	126
Figura 34 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO COMUM INCOLOR .....	136

Figura 35 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO.....	137
Figura 36 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO.....	138
Figura 37 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO .....	139
Figura 38 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 20% de Percentual de Abertura da Fachada .....	140
Figura 39 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 50% de Percentual de Abertura da Fachada .....	140
Figura 40 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 80% de Percentual de Abertura da Fachada .....	140
Figura 41 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO COMUM INCOLOR.....	143
Figura 42 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO.....	144
Figura 43 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO .....	145
Figura 44 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO .....	146
Figura 45 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Norte .....	147
Figura 46 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Leste .....	147
Figura 47 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Sul.....	147

Figura 48 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Oeste .....	148
Figura 49 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de Percentual de Abertura da Fachada.....	151
Figura 50 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de Percentual de Abertura da Fachada.....	152
Figura 51 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de Percentual de Abertura da Fachada.....	153
Figura 52 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 20% de Percentual de Abertura da Fachada.....	154
Figura 53 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 50% de Percentual de Abertura da Fachada .....	154
Figura 54 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 80% de Percentual de Abertura da Fachada.....	154
Figura 55 – Gráfico do consumo de energia para aquecimento anual em função da orientação solar, do tipo de vidro e do PAF .....	157
Figura 56 – Gráfico do consumo de energia para resfriamento anual em função da orientação solar, do tipo de vidro e do PAF.....	159
Figura 57 – Gráfico do Consumo de Energia Total Anual .....	160
Figura 58 – Gráfico do Percentual Relativo Consumo de Energia Total Anual com relação a orientação solar .....	163
Figura 59 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia para aquecimento anual .....	165
Figura 60 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia para resfriamento anual.....	166
Figura 61 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia total anual .....	167



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos materiais utilizados nos fechamentos opacos na simulação .....	61
Tabela 2 – Características dos vidros utilizados.....	64
Tabela 3 – Dimensões das aberturas simuladas na Sala 02.....	65
Tabela 4 – Dados de localização geográfica para Santa Maria.....	70
Tabela 5 – Dados climáticos da cidade de Santa Maria considerados na simulação computacional .....	71
Tabela 6 – Dados de saída do programa Design Builder .....	73
Tabela 7 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85 .....	75
Tabela 8 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85 .....	79
Tabela 9 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85 .....	83
Tabela 10 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70.....	89
Tabela 11 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70 .....	93
Tabela 12 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70 .....	97
Tabela 13 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56.....	103
Tabela 14 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56.....	107

Tabela 15 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56 .....	111
Tabela 16 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO –FS 0,29 .....	117
Tabela 17 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO –FS 0,29 .....	121
Tabela 18 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO – FS 0,29 .....	125
Tabela 19 – Máximos de consumo de energia mensal para os diferentes tipos de vidro, percentuais de abertura da fachada e orientações solares.....	131
Tabela 20 – Mínimos de consumo de energia mensal para os diferentes tipos de vidro, percentuais de abertura da fachada e orientações solares.....	132
Tabela 21 – Comparação entre os Percentuais de Abertura da Fachada 20% e 80%.....	164

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$\alpha$  – Absortância

$\alpha_{EX}$  – Absortância da superfície externa do fechamento

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ASHRAE** – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*

**A<sub>i</sub>** – Amplitude térmica interna

**A<sub>e</sub>** – Amplitude térmica externa

$\mu$  – Coeficiente de amortecimento

$\Delta t$  – Diferença entre as temperaturas exterior e interior

**DOE** – Departamento de Energia Norte-Americano

**Eletrobras** – Central Elétrica Brasileira S.A.

**ESP-r** – *Energy Simulation Program – research*

**ENCE** – Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações

**q** – Fluxo total de calor (W/m<sup>2</sup>);

**LBNL** – Lawrence Berkeley National Laboratory

**MME** – Ministério de Minas e Energia

**PROCEL** – Programa Nacional de Conservação de Energia

**I** – Radiação solar (W/m<sup>2</sup>)

**I<sub>d</sub>** – Radiação difusa

**I<sub>r</sub>** – Radiação difusa refletida no entorno

**I<sub>D</sub>** – Radiação direta

**I<sub>he</sub>** – Radiação hemisférica global

$\rho$  – Refletância

**R<sub>SE</sub>** – Resistência superficial externa (m<sup>2</sup>K/W)

**t<sub>e</sub>** – Temperatura externa

**t<sub>i</sub>** – Temperatura interna

**U** – Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K)

**TRY** – *Test Reference Year*

**T<sub>s</sub>** – Transmitância

**WWR** – Window Wall Ratio



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1 Considerações iniciais</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>21</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	21
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4 Estrutura da dissertação</b> .....	<b>23</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1 Eficiência Energética</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2 Radiação Solar</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3 Desempenho térmico de componentes construtivos</b> .....	<b>31</b>
2.3.1 Fechamentos Opacos .....	31
2.3.1.1 Fator Solar (FS) ou Ganho de Calor Solar (GCS) nos fechamentos opacos ....	32
2.3.1.2 Fluxo térmico nos fechamentos opacos .....	33
2.3.1.3 Inércia térmica – Capacidade térmica .....	35
2.3.2 Fechamentos Transparentes.....	36
2.3.2.1 Fator Solar (FS) ou Ganho de Calor Solar (GCS) nos fechamentos transparentes .....	41
2.3.2.2 Fluxo térmico nos fechamentos transparentes.....	42
2.3.2.3 Radiação Solar e os fechamentos transparentes.....	42
2.3.2.4 Percentual de Abertura da Fachada e a Eficiência Energética .....	45
<b>2.4 O uso da simulação computacional na avaliação termo-energética de edificações</b> .....	<b>48</b>
2.4.1 <i>Design Builder</i> .....	50
<b>2.5 Trabalhos realizados com a simulação computacional e a eficiência energética de edificações</b> .....	<b>51</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1 Descrição da Edificação Simulada</b> .....	<b>57</b>
3.1.1 Fechamentos Opacos .....	59
<b>3.2 Parâmetros variáveis na simulação</b> .....	<b>62</b>
3.2.1 Orientação da Fachada Envidraçada .....	62

3.2.2 Tipos de Vidros .....	63
3.2.3 Percentual de Abertura da Fachada - PAF .....	64
<b>3.3 Detalhamento da Simulação Computacional .....</b>	<b>66</b>
3.3.1 Padrão de Ocupação .....	66
3.3.2 Padrão de Iluminação .....	67
3.3.3 Padrão de Equipamentos .....	68
3.3.4 Padrão de Uso do Sistema de Ar-Condicionado .....	70
3.3.5 Arquivo Climático .....	70
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Vidro Comum Incolor .....</b>	<b>74</b>
4.1.1 Considerações gerais para o uso do Vidro Comum Incolor.....	86
<b>4.2 Vidro Laminado Bronze Claro.....</b>	<b>88</b>
4.2.1 Considerações gerais para o Vidro Laminado Bronze Claro .....	100
<b>4.3 Vidro Laminado Refletivo Azul Claro .....</b>	<b>102</b>
4.3.1 Considerações gerais para o Vidro Laminado Refletivo Azul Claro.....	114
<b>4.4 Vidro Laminado Refletivo Prata Escuro.....</b>	<b>116</b>
4.4.1 Considerações gerais para o Vidro Laminado Refletivo Prata Escuro .....	129
<b>4.5 Máximos e mínimos de consumo de energia para aquecimento, resfriamento e total mensal .....</b>	<b>130</b>
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>134</b>
<b>5.1 Influência da Orientação Solar no Consumo de Energia .....</b>	<b>135</b>
<b>5.2 Influência do Percentual de Abertura da Fachada no Consumo de Energia.....</b>	<b>142</b>
<b>5.3 Influência do Fator Solar do Vidro no Consumo de Energia .....</b>	<b>150</b>
<b>5.4 Influência Conjunta da Orientação Solar, do Percentual de Abertura da Fachada e do Fator Solar do Vidro no Consumo de Energia .....</b>	<b>157</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>170</b>
<b>6.1 Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>172</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

Estamos passando por um processo de transição na forma de viver e ver o mundo, em que o meio ambiente começa a ser discutido no cotidiano, não como um discurso de ambientalistas ou idealistas, mas com reflexos no nosso dia-a-dia. Seja presente no desajuste das estações climáticas ou nas consequências do intemperismo, causando grandes prejuízos para a humanidade. Novos conceitos estão sendo criados, e a arquitetura se agrega nesta busca por respostas adequadas à integração do ser humano no ambiente, com mudanças no processo de criação e execução dos espaços habitáveis, gerando reflexos em toda a cadeia produtiva na indústria da construção.

Diante da crescente competição internacional e da necessidade de introduzirem-se eficientemente nos processos produtivos, os avanços das tecnologias têm levado as empresas industriais a centrarem estratégias no desenvolvimento da capacidade inovativa e efficientização dos recursos energéticos.

O consumo de energia ainda é elevado na maioria dos países desenvolvidos e cresce a passos largos nos países em desenvolvimento. As principais preocupações relacionadas a este crescente consumo dizem respeito à viabilização da demanda sem precedentes e à sustentabilidade ambiental decorrente.

No cenário atual, o desafio é mudar e substituir o incontrolável comportamento convencional de grandes consumidores, característico do padrão produtivo e de consumo massivo, visando racionalizar o uso da energia e encaminhar medidas de utilização mais responsável, não só para o presente momento, mas avaliando seu impacto global no futuro.

O panorama de uma economia globalizada e de acirrada concorrência externa em todos os setores faz com que a cultura administrativa seja, cada vez mais, compromissada com modernas práticas de gestão, que podem ser caracterizadas pelos investimentos em uso racional de energia e eficiência energética. Na construção civil, um grande desafio é lançado e a ordem passa a ser

uma constante busca pelo uso racional e eficiente da energia. Nos grandes centros, surgem grupos de pesquisa com o objetivo de estudar medidas a serem adotadas, tanto na geração quanto na eficiência do consumo energético. Incluindo grupos que pesquisam sua eficiência nas edificações, focada em inovações tecnológicas e alternativas capazes de manter o conforto da vida contemporânea.

Em regiões tropicais e de baixas latitudes, a incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui uma das maiores fontes de ganhos térmicos. Por este motivo, o meio natural mais eficaz para reduzir ganhos de calor nas edificações é controlar e minimizar a radiação solar que atinge o envelope construtivo ou reduzir sua absorção pelo edifício. O envelope dos edifícios é a divisa entre o ambiente externo e o interno, sendo que, no interior das edificações, é desejável criar condições de conforto apropriadas às atividades humanas.

O uso do ar-condicionado é indicado às situações em que as temperaturas se configurem muito elevadas e as estratégias passivas não consigam resolver o problema do desconforto nos ambientes. Entretanto, por comodidade, sua utilização é cada vez mais difundida, sendo bastante utilizada nos edifícios de escritórios que, conforme comprovado nas simulações, tem-se tornado o único recurso para melhorar o conforto térmico nos mesmos. No consumo energético de edificações, eles têm grande importância, pois as fachadas envidraçadas causam uma grande perda térmica nas estações frias e um grande ganho de calor nas estações quentes, resultando, na maioria das vezes, na necessidade de climatização artificial para corrigir esse efeito.

Mesmo que na quase totalidade o clima brasileiro seja pouco favorável ao emprego de superfícies de vidro de grandes dimensões, observa-se sua crescente aplicação em construções. Isso se tornou mais frequente a partir da década de 70, onde os conceitos de conforto térmico eram pouco observados, diante do modismo internacional de grandes panos envidraçados, até as construções recentes.

Também é importante destacar a questão cultural: as tecnologias disponíveis influenciam o comportamento e uso dos espaços por parte dos usuários, que se acomodam com a utilização da iluminação e condicionamento artificiais. Fato que, normalmente, provoca uma elevação no consumo de energia, abdicando dos sistemas passivos disponíveis, que requerem para controle uma ação decisiva e qualificada para melhorar a iluminação, a ventilação e o conforto térmico, com uso de condicionamento natural.



Diante da utilização frequente de grandes áreas de superfícies de vidros nas fachadas, torna-se pertinente o estudo da influência do uso de diferentes tipos de vidro no desempenho térmico da edificação, focando-se diferentes percentuais de área de janelas, bem como as variadas orientações da fachada considerada. Este estudo foi realizado para uma sala típica de um escritório comercial, na cidade de Santa Maria, com o objetivo de fornecer subsídios e indicativos para o apropriado emprego dos materiais transparentes, quando se fizer necessária a especificação, tendo como premissa o conforto e a eficiência energética do ambiente construído.

Neste caso, como o consumo do sistema de ar-condicionado é o único que varia, - em função da invariabilidade dos consumos elétricos das lâmpadas e dos equipamentos elétricos-, para qualificar o ambiente, esta variação é transferida integralmente para o consumo de energia.

O presente trabalho justifica-se pela busca do aumento do conforto térmico das edificações, diminuindo o desperdício de energia elétrica, visando à sustentabilidade do ambiente construído.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar a influência, a partir do uso de fechamentos transparentes com diferentes Fatores Solar na cidade de Santa Maria-RS, no consumo de energia de edificações de escritório, considerando-se diferentes percentuais de áreas de abertura (PAF) de fechamento transparente, bem como diferentes orientações solares da fachada.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Modelar o ambiente a ser simulado no programa computacional *Design Builder*;
- Identificar as características da envoltória mais utilizada na cidade de Santa Maria – RS;
- Avaliar a influência da variação do tipo de vidro no consumo de energia de escritórios;
- Avaliar a influência dos diferentes percentuais de abertura dos fechamentos envidraçados no consumo de energia de escritórios;
- Avaliar a influência das diversas orientações de fachadas na variação do tipo de vidro no consumo de energia de escritórios.

### 1.3 Justificativa

A importância de manter o homem em condições de conforto térmico que lhe proporcione saúde, bem-estar e eficiência no trabalho faz com que o comportamento de ambientes, climatizados artificialmente ou não, sejam avaliados. Além disso, diante da iminente insuficiência de energia elétrica, surge a necessidade de desenvolver projetos energeticamente sustentáveis, o que se torna possível através de atitudes conjuntas de profissionais de diversas áreas, na busca por soluções para estes problemas.

“As edificações residenciais e comerciais são responsáveis por cerca de 48% do consumo de energia elétrica do Brasil. Grande parte dessa energia é consumida na geração do conforto ambiental aos usuários. As estatísticas mostram que o potencial de conservação em prédios já construídos pode ser de até 30%, chegando a 50% em prédios novos. A maioria das edificações desperdiça relevantes oportunidades para poupar energia e diminuir custos, por não considerar, desde o projeto arquitetônico, passando pela construção, até a utilização final, os importantes avanços ocorridos nas áreas de arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologia construtiva vinculados à eficiência energética”. (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, 2005).

A necessidade de economizar energia, possibilitar conforto térmico e evitar prejuízo ao meio ambiente, somada à dificuldade de determinar a carga térmica de um prédio, em função das variáveis envolvidas, cada vez mais, tem feito com que sejam utilizados programas computacionais para simulações térmicas e energéticas das edificações. Essas ferramentas possibilitam uma avaliação rápida e eficiente do desempenho térmico de edificações, considerando-se a eficiência energética e o conforto, a partir do fornecimento dos dados da zona bioclimática e das condições gerais de iluminação, ventilação e outras características da edificação.

Relacionado à questão da economia de energia e conforto no local de trabalho, o comportamento dos fechamentos transparentes é de grande importância, tendo em vista a grande utilização do material nesses ambientes. Fica clara a necessidade de avaliar as condições de conforto térmico e o desempenho energético dessas edificações comerciais, de forma eficaz, o que é possível através da simulação computacional.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, sendo que, na Introdução, justifica-se a importância do assunto focado e os objetivos almejados.

No capítulo 2, descreve-se a revisão bibliográfica, abordando-se a conceituação e as noções sobre eficiência energética, o desempenho térmico dos componentes construtivos, descrevendo-se mais sinteticamente os fechamentos opacos. Detalhando-se, de maneira mais complexa, fechamentos transparentes, por meio de janelas e vidros, além de suas características, utilização, desempenho e os erros mais frequentes nessa utilização.

No capítulo 3, define-se a metodologia empregada na realização do trabalho, utilizando-se a simulação computacional, descrevendo-se a edificação, com a caracterização das variáveis utilizadas.

No capítulo 4, são expostos os resultados obtidos na simulação computacional, através de tabelas e gráficos, além de um breve comentário sobre os resultados obtidos.

No capítulo 5, apresenta-se a análise dos resultados das simulações computacionais executadas, visando o melhor desempenho energético do edifício de escritórios em Santa Maria.

No capítulo 6, ocorrem as conclusões, onde são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos, em complemento a este estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Eficiência energética

De acordo com Lamberts et al (2004), a eficiência energética pode ser definida como o uso racional de energia, de modo a proporcionar condições de conforto ambiental adequadas, reduzindo custos e produzindo ganhos de produtividade.

De acordo com Mendes (2005), atualmente, diversos países direcionaram recursos e linhas de pesquisa para o desenvolvimento de fontes alternativas de energias renováveis e sistemas mais eficientes. Principalmente, nos setores residencial, comercial e público, os quais são os responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica na maioria dos países.

Mendes (2005) afirma que “o conceito de eficiência energética passou a vigorar em muitos escritórios de engenharia e arquitetura, principalmente no setor público, que precisava promover o uso de tecnologias que proporcionassem o mesmo serviço consumindo menos energia”.

Segundo o Balanço Energético Nacional (Ministério de Minas e Energia – MME, 2011), que apresenta a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de todas as formas de energia do Brasil, 74% da energia elétrica é produzida através das hidrelétricas e a preocupação com a conservação e uso racional da energia elétrica foi impulsionada pelos “apagões” ocorridos a partir de 2001.

Por conta disso e da necessidade de preservação ambiental, tem surgido uma nova forma de pensar a arquitetura, baseada na adequação das necessidades dos edifícios aos requisitos ambientais (DI TRAPANO, 2008).

Entretanto, conforme o BEN 2011 (MME, 2011), realizado entre os anos de 2001 e 2010, cresceu em 38% o consumo energético do setor comercial que, para a área energética, engloba também o setor público (Figura 1).

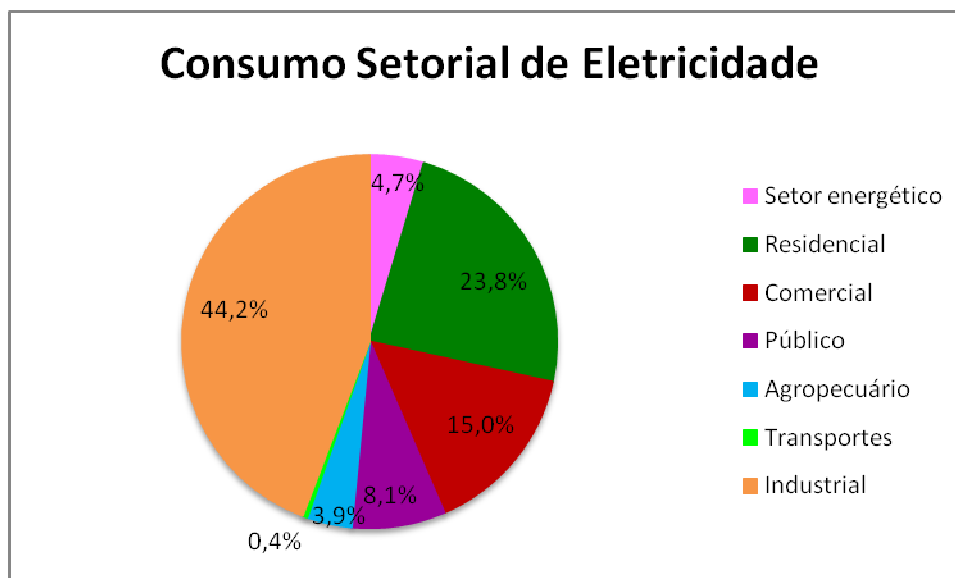


Figura 1 – Consumo Setorial de Eletricidade – Balanço Energético Nacional 2011  
Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2011

Embora ainda incipiente, começa a surgir no país uma consciência sobre a gravidade da crise energética, sendo que importantes iniciativas vêm sendo tomadas para enfrentá-la. Como exemplo, a criação, pela Eletrobrás e Procel, da Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações (ENCE), para regulamentar a avaliação de Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

No final de 2002, foi publicado pelo Ministério de Minas e Energia o Plano de Trabalho da Implementação da Lei de Eficiência Energética, Lei Federal n.º 10.295 de 17 de outubro de 2001, destacando a necessidade de desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país. Igualmente, esclarecendo que a eficiência energética em uma edificação não se dá apenas por meio do uso de equipamentos ou iluminação mais eficientes, como também a partir de projetos arquitetônicos que explorem um ambiente regional, adequando-o ao clima e características ambientais, de forma a obter melhor desempenho funcional da edificação.

A redução dos impactos ambientais causados com a geração de energia é um fator muito importante na busca pela racionalização energética na construção civil. Uma redução no consumo de energia implica na preservação do meio ambiente, pois todas as etapas da geração ao consumo provocam alterações no meio e riscos

à saúde humana: a extração de recursos energéticos, seja petróleo, carvão, biomassa ou hidroeletricidade, tem implicações em mudanças nos padrões de uso do solo, recursos hídricos, alteração da cobertura vegetal e na composição atmosférica. A utilização ineficiente da energia elétrica – principalmente com a utilização de equipamentos e tecnologias ultrapassadas – requer mais geração e transmissão de energia elétrica, desse modo, o ciclo vicioso se mantém. Fica clara, portanto, a necessidade de buscar a racionalização do consumo energético em tais edificações, que pode se dar através da adoção de medidas como o emprego de ventilação e iluminação natural de qualidade ou através da especificação de adequadas relações entre fechamentos opacos e transparentes. Essas, ao diminuírem a necessidade do condicionamento artificial de ar ou iluminação, reduzem o consumo de energia do ambiente edificado.

Com a crescente demanda energética na atualidade, é necessário buscar alternativas para o uso racional dos recursos energéticos e, com isso, almejar um crescimento sustentável. Nesse sentido, o uso de artifícios construtivos para a redução deste consumo tem sido a busca de melhores alternativas na elaboração do projeto das edificações, ou ainda em casos onde já se tenha uma edificação e se busque uma redução do consumo energético.

A necessidade de economizar energia e minimizar os danos ao meio ambiente tem feito crescer os incentivos públicos, causando a adequação da legislação na busca de edificações sustentáveis. Por outro lado, há uma carência de profissionais especializados e capacitados em analisar as condições de conforto térmico, que busquem proporcionar bem-estar e eficiência nos ambientes.

Uma edificação é considerada mais eficiente energeticamente do que outra quando é capaz de assegurar as mesmas condições de conforto ambiental, através de um menor consumo energético. (PAPST, A.L. et al, 2005)

Entretanto, a avaliação da eficiência energética de uma edificação é um processo difícil porque o conceito de eficiência engloba muitos fatores. E deve-se atentar que nem sempre uma edificação que apresenta baixo consumo energético é energeticamente eficiente. Da mesma forma, uma edificação eficiente energeticamente pode não apresentar baixo consumo de energia anual devido ao fato dos equipamentos eficientes não estarem instalados de forma satisfatória (OLLOFSSON et al, 2004 apud NASCIMENTO; BARBOSA, 2009 p. 115).

A eficiência energética e o conforto ambiental são importantes fatores na concepção projetual na arquitetura quando se refere à qualidade arquitetônica. Aqui definida como um conjunto de características da envoltória da edificação em relação ao aspecto formal, que influenciarão diretamente no comportamento dos ambientes em relação às condicionantes ambientais.

A eficiência energética de uma edificação pode ser maior ou menor, em função de um projeto consciente que contemple as variáveis ambientais envolvidas. Elementos como implantação, orientação, ventilação, materiais e componentes construtivos empregados na obra precisam ser elencados e decididos durante a concepção do projeto.

Para assegurar o conforto interno, o projetista deve considerar as condições climáticas do local, fazendo com que o ambiente construído atue como mecanismo de controle das variáveis desse clima, através da envoltória (paredes, piso, cobertura e aberturas) e do entorno (presença de massas de água, vegetação, edificações ao redor, tipo de solo, corrente de vento etc.). Dependendo da orientação geográfica e das características óticas dos materiais transparentes<sup>1</sup> utilizados nas fachadas, pode haver um significativo acúmulo de energia térmica no interior das edificações. Traduzindo-se em desconforto para os usuários, ocasionando um grande consumo energético em condicionamento artificial para a adequação deste ambiente.

## **2.2 Radiação Solar**

A radiação é o fenômeno físico de emissão e propagação de energia entre superfícies, onde esta energia pode ser transmitida através de fenômenos ondulatórios ou por meio de partículas com energia cinética. (MARINOSKI, 2005, p. 17)

A intensidade de radiação emitida pelo Sol é função do comprimento de onda e de fenômenos que ocorrem na própria fonte de energia. A razão entre a energia solar (ou irradiância solar) que chega à superfície terrestre e no topo da atmosfera é

---

<sup>1</sup> Comportamento de cada tipo de material ao interagir com a radiação eletromagnética. São exemplos de características óticas: Transmitância, Refletância, Absortância ou Fator de calor solar.



definida como transmitância atmosférica. Ao atravessar a atmosfera, a radiação eletromagnética é atenuada por processos de espalhamento e absorção causados pelas partículas (denominados aerossóis) e moléculas de gases atmosféricos.

Ao se projetar sobre uma superfície, a radiação solar pode ser refletida, absorvida ou refratada, de acordo com a natureza da substância que forma a superfície. Segundo Santos (2002), a radiação solar que incide sobre a Terra, após a passagem pela atmosfera, é composta por duas fases: a radiação direta ( $I_D$ ), que atinge a terra, vindo diretamente do sol; e a radiação difusa ( $I_d$ ), que sofre espalhamento pela atmosfera. A soma dessas duas fases resulta na radiação hemisférica global ( $I_{he}$ ). Considerando-se a incidência da radiação total sobre uma superfície qualquer se pode observar, também, a radiação difusa refletida no entorno ( $I_r$ ). Na Figura 2 são apresentadas as diversas formas da radiação solar na superfície da terra.

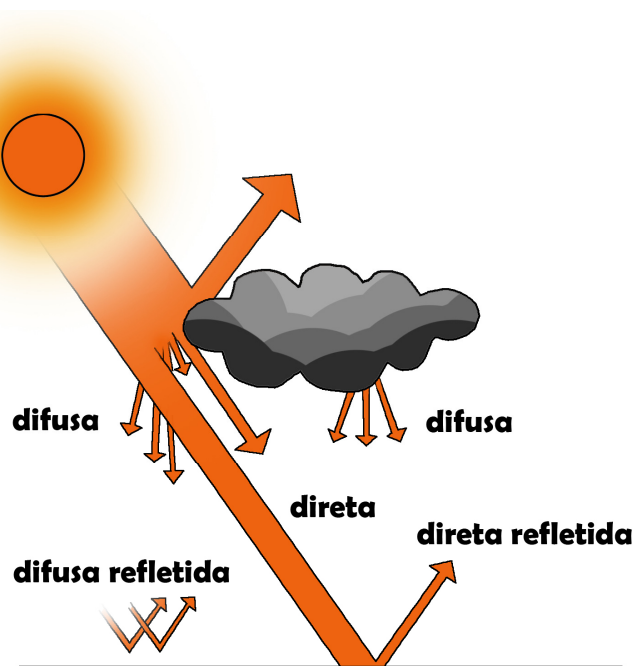


Figura 2 – Formas da radiação solar na superfície terrestre  
Fonte: YANNAS (p. 30 apud SANTOS p. 46, 2002- adaptado)

Santos (2002) afirma que é necessário que existam valores totais definidos às diversas componentes de radiação incidentes e seus respectivos ângulos de

incidência, para a análise do comportamento dos diversos tipos de superfícies transparentes frente à radiação solar.

Reddy (1987) salienta que a previsão das componentes direta e difusa é bastante sujeita a incertezas, devido às condições climáticas do local. Embora o melhor método seja por medida no local, isso nem sempre é possível devido às dificuldades e tempo envolvidos e também pela existência de diversos componentes de radiação que variam com o tempo e a inclinação e orientação das superfícies.

A radiação solar é a energia emitida pelo sol, incluindo comprimentos de onda na faixa ultravioleta, infravermelha e de luz visível. Aproximadamente 99% da energia solar terrestre têm comprimento de onda entre 300 e 3500 nm (ASHRAE, 2001).

A radiação ultravioleta está compreendida entre os comprimentos de onda entre 100 e 400 nm. Mesmo chegando em pequena proporção à superfície terrestre, a radiação ultravioleta não deve ser desprezada, pois é muito energética e pode causar vários efeitos. A radiação ultravioleta auxilia na síntese de vitamina D no organismo, possui efeito bactericida e é responsável por eritemas e pelo bronzeamento. Porém, esta radiação, dependendo do tempo de exposição e do comprimento de onda, pode causar o desbotamento de tecidos, comprometendo a durabilidade dos materiais (CARAM DE ASSIS, 1998, p.11).

Segundo Caram de Assis (1998), a parcela de radiação visível corresponde aos comprimentos de onda na faixa entre 380nm e 780nm e está associada à intensidade de luz branca transmitida, sendo responsável pela luminosidade nos ambientes. O excesso de luz solar pode causar ofuscamento, provocar desconforto térmico com o aumento da temperatura interior, além de causar também um desconforto pela radiação direta sobre as pessoas.

De acordo com Caram de Assis (1998), os limites dos comprimentos de onda relativos ao infravermelho não são bem definidos, mas são geralmente considerados entre 780 nm e 1 mm, sendo invisível ao olho humano, e sentidos como calor. Esta radiação atravessa o vácuo e o ar limpo sem perda significativa de energia. Influencia diretamente nas condições internas de conforto ambiental, através do ganho de calor. Por esse motivo, não pode ser desconsiderado em ambientes que utilizam vidros nas fachadas.

## 2.3 Comportamento térmico de componentes construtivos

Países tropicais e subtropicais como o Brasil estão sujeitos à intensa e abundante radiação solar durante a maior parte do ano, o que influi diretamente na carga térmica dos edifícios. De acordo com Lamberts et al (2004), em uma edificação, as trocas de energia (luz ou calor) entre os meios exterior e interior têm como base o envelope construtivo que envolve o ser humano. Rivero (1986) comenta que, no estudo do envelope da edificação diante das solicitações térmicas do meio exterior, é preciso ter presentes todos os fatores que intervêm no problema. Um deles é a radiação solar diante da qual os materiais de construção se comportam de forma muito diferente, sendo conveniente classificá-los em opacos e transparentes. A principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

### 2.3.1 Fechamentos Opacos

Em um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre as superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS et al, 2004, p. 56).

Para uma parede opaca exposta à radiação solar, sujeita à determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas térmicas podem ser esquematizados conforme apresentado na Figura 3:

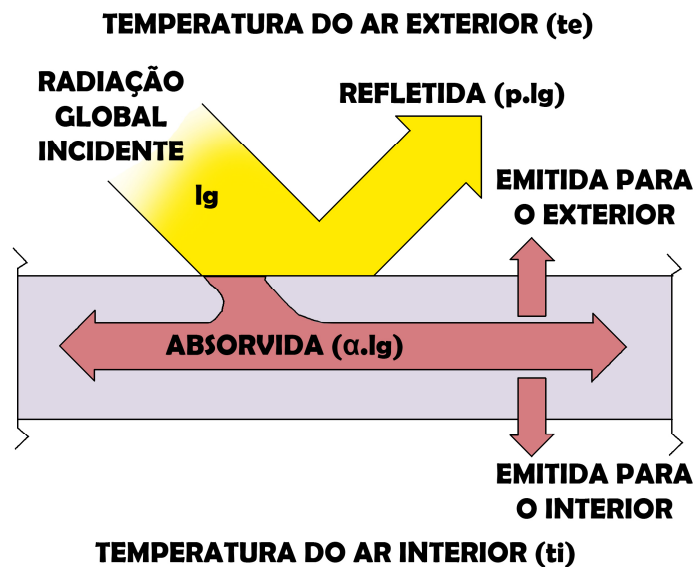


Figura 3 – Troca de calor através de vedações opacas  
 Fonte: Dornelles e Roriz (2007) (Adaptada)

Segundo Dornelles e Roriz (2007), a radiação solar que incide no fechamento opaco tem uma fração absorvida que é transformada em calor - denominada absorptância ( $\alpha$ ) - e a parcela refletida é determinada pela refletância ( $\rho$ ) da superfície. Em corpos opacos, a soma da absorptância com a refletância é igual a 1, fato que permite determinar qualquer uma dessas propriedades a partir da outra.

$$\alpha + \rho = 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Pelo estudo da absorptância pode-se dizer que os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta (radiação solar), e que a principal determinante desta característica é sua cor superficial. O impacto da radiação solar na edificação afeta o seu ganho de calor e, conseqüentemente, suas temperaturas internas.

### 2.3.1.1 Fator Solar (FS) ou Ganho de Calor Solar (GCS) nos fechamentos opacos

De acordo com Frota (2001), o Sol, incidindo sobre os fechamentos do edifício vai representar, em maior ou menor escala, um ganho de calor. O ganho de

calor será função da intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais desses fechamentos.

Segundo Sardeiro (2007), o ganho de calor solar ou transmissão total da radiação é definido como a soma do Fator Solar (FS) e da transferência de calor devido à diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior (ASHRAE, 1993), isto é, o valor do percentual da energia solar incidente que vai para o interior do edifício.

Este raciocínio funciona bem para elementos opacos, em que realmente a energia total é absorvida em uma espessura de poucos microns da superfície do material, fazendo com que, embora com baixa energia absorvida, a temperatura dessa camada suba rapidamente, para que seja possível a troca por convecção e radiação para o exterior e por condução para o interior, dissipando a energia absorvida.

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), define-se Ganho de Calor Solar para elementos opacos como o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar incidente sobre a superfície externa do mesmo.

### 2.3.1.2 Fluxo térmico nos fechamentos opacos

Conforme Dornelles e Roriz (2007), o fluxo térmico através da parede é diretamente afetado pela absorvância solar de sua superfície exposta ao Sol, como é possível verificar na Figura 4. Quanto maior este coeficiente, maior será o fluxo, induzindo um aumento na carga térmica dos ambientes. Pode-se entender esse fluxo como um processo ondulatório, como se a parede fosse atravessada por “ondas” de calor. Em inúmeros casos, particularmente em dias de céu limpo de verão, os ganhos de calor solar podem representar mais da metade da carga térmica total de uma edificação. Trata-se de uma propriedade determinante sobre a quantidade de calor absorvida pelas superfícies externas das edificações e sobre suas temperaturas internas.

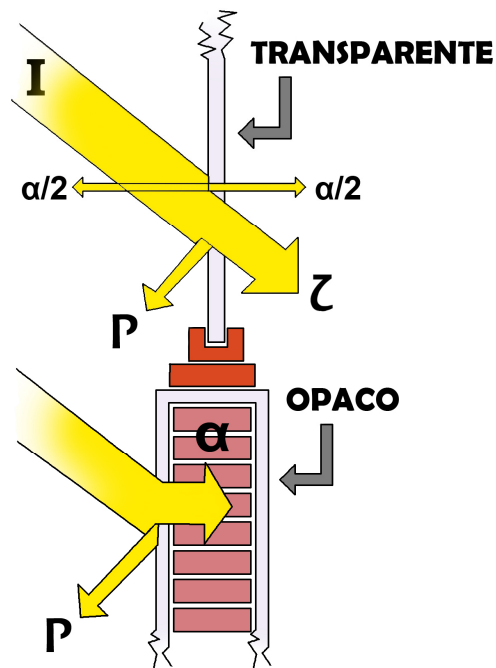


Figura 4 – Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes  
 Fonte: LAMBERTS et al, 2004,p.56 (Adaptada)

O objetivo principal de um projetista na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas nos dias frios e os ganhos elevados nos dias quentes (LAMBERTS et al, 2004, p. 62).

Considerando-se a temperatura externa maior que a temperatura interna, a Equação 2 é usada para o cálculo de ganhos de calor em horários sem incidência de radiação solar, enquanto a Equação 3 calcula os ganhos se considerada a incidência solar sobre o fechamento opaco.

$$q = U (t_e - t_i) \rightarrow q = U (\Delta t) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $q$  → fluxo total de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ );  
 $U$  → transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ );  
 $\Delta t$  → diferença entre as temperaturas exterior e interior ( $^{\circ}\text{C}$  ou  $\text{K}$ , já que a variação nas escalas Celsius e Kelvin, respectivamente, são iguais)

Nos dias quentes, a temperatura do ar exterior tende a ser superior à do ar interior, e a incidência do sol nos fechamentos opacos pode incrementar o fluxo de calor para dentro do ambiente, como se pode observar na Figura 5.

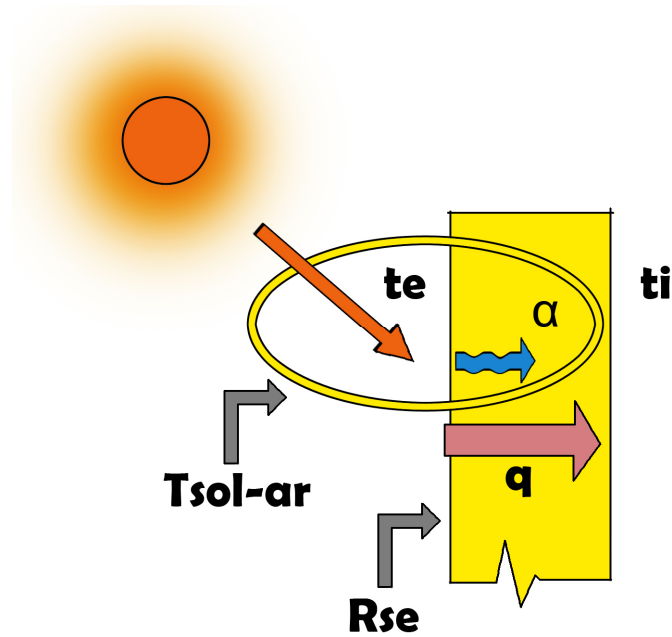


Figura 5 – Fluxo Térmico - Durante um dia com sol  
 Fonte: LAMBERTS et al, 2004, p.62 (Adaptada)

$$q = U (\alpha_{EX} I R_{SE} + t_e - t_i) \rightarrow q = U (\Delta t) \quad \text{(Equação 3)}$$

onde:  $\alpha_{EX}$  → absorvidade da superfície externa do fechamento;  
 $I$  → radiação solar ( $W/m^2$ );  
 $R_{SE}$  → resistência superficial externa ( $m^2K/W$ )  
 $t_e$  → Temperatura externa  
 $t_i$  → Temperatura interna

### 2.3.1.3 Inércia térmica – Capacidade térmica

Outra característica importante dos fechamentos é sua inércia térmica. Em princípio, os fechamentos acumulam calor, vindo tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. Ao conduzir o calor para o outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, consequência de sua capacidade térmica. Quanto maior a capacidade térmica, maior o calor retido, que pode ser devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície (LAMBERTS et al, 2004, p. 63). Este fato acarreta dois fenômenos, o amortecimento e o atraso da onda térmica.

Segundo Roriz (2008), o amortecimento é a diferença percentual entre as amplitudes de variação das temperaturas do ar no exterior e no interior. É um processo natural que acontece quando o calor que deveria entrar ou sair do ambiente interno é utilizado no aquecimento dos elementos construtivos. Essa característica torna menores as amplitudes térmicas do interior da edificação.

O atraso térmico é o tempo que o fluxo de calor leva para atravessar um elemento construtivo: alvenarias, madeira ou vidros, quando submetidos a uma variação térmica. É uma característica que depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem das camadas que o compõe.

NBR 15220-1 (ABNT, 2005) define atraso térmico como o tempo transcorrido desde o momento em que uma superfície de um componente construtivo sofre uma variação de temperatura, até que a variação se manifeste na outra superfície desse componente.

Para Rivero (1986), a resistência térmica de um fechamento é muito importante, mas não define a sua eficiência. Ela deve ser analisada, em conjunto, com a capacidade de amortecimento e com seu retardo térmico, ambos os fenômenos associados à inércia ou à capacidade térmica. Os fechamentos com grande capacidade térmica são aqueles que necessitam de uma quantidade maior de energia para a sua temperatura elevar-se.

### 2.3.2 Fechamentos Transparentes

De acordo com o catálogo de vidros da SANTA MARINA (1993), o vidro foi descoberto acidentalmente devido a alguns mercadores fenícios que o introduziram por volta do ano 5000 a.C. Desembarcados nas margens do rio Belo, na Síria, acenderam um fogo de campo e usaram para apoiar as panelas alguns blocos de nitrato de sódio retirados da carga que transportavam. Surgindo o Natrão que, fundido pelo calor do fogo, misturando-se com a areia da praia, originou um novo líquido transparente formado dessa mistura.

Os romanos contribuíram muito, por volta do ano 100 a.C., para o desenvolvimento das indústrias do vidro. Iniciaram a produção de vidro moldado a



sopro, possibilitando a fabricação em série das manufaturas e foram os primeiros a inventarem e usarem o vidro para janelas (SANTA MARINA, 1993, p. 8).

Segundo o catálogo de vidros da SANTA MARINA (1993), no início do século XX, o vidro se torna protagonista da evolução arquitetônica das edificações, surgindo a união do vidro e do aço e a realização de obras verdadeiramente revolucionárias, mudando radicalmente o conceito de material de fechamento de uma edificação. Os edifícios passaram a apresentar fachadas envidraçadas cada vez maiores. Porém, o uso intensivo do vidro ocasionou uma série de problemas no que diz respeito ao conforto térmico no ambiente edificado.

Atualmente, para a produção do vidro, é necessário fundir três elementos básicos: um vitrificante (a sílica), um fundente (soda ou potassa) e um estabilizante (o cal), sendo esta mistura transparente e amorfa, além de ser facilmente cortada, lapidada e moldada a altas temperaturas (CARAM DE ASSIS, 1998, p. 20).

Segundo Akerman (2000), as propriedades dos materiais são ditadas pelo tipo de ligações interatômicas, pela microestrutura e pelos defeitos. Devido à vastíssima, quase infinita, faixa de composição química dos vidros, onde a maioria dos elementos da tabela periódica pode ser incorporada, estes apresentam uma ampla variação de propriedades mecânicas, óticas, térmicas, elétricas e químicas.

A viscosidade de um vidro é uma de suas mais importantes propriedades sob o ponto de vista da tecnologia empregada na elaboração e conformação do vidro. Ela determina as condições de fusão, temperaturas de trabalho e recozimento, comportamento na afinagem (remoção de bolhas do banho), temperatura máxima de utilização e taxa de devitrificação.

Segundo Pilkington do Brasil, a durabilidade do vidro pode ser constatada na maioria das cidades com igrejas antigas. A menos que seja quebrado devido a cargas excessivas, ele resiste por períodos muito longos, e pode ser marcado pelo tempo, ainda assim, pode ser usado por séculos. Os primeiros fabricantes de vidro tratavam a produção como uma alquimia, porém, o vidro atual é totalmente uniforme e suas propriedades são controladas para oferecer consistência de desempenho em uso. Além da tensão mecânica há apenas alguns poucos fatores que danificam o vidro.

Na construção civil, o vidro, devido às peculiares características de transparência e dureza superficial, representa a melhor resposta à necessidade de

contato com o exterior, ao mesmo tempo em que assegura proteção (SANTA MARINA, 1993, p. 10).

Durante anos, a mistura do vidro foi sendo aprimorada pela indústria que se colocou a serviço do projetista com produtos, respondendo às necessidades do tempo e diversificando o material. Surgindo os vidros termicamente isolantes, os coloridos filtrantes e refletivos, os temperados e laminados para a segurança, etc.

O modismo, a estética e também a falta de base técnica levaram os projetistas a aumentarem as superfícies envidraçadas, sem pensar adequadamente nos efeitos da radiação solar. O equilíbrio entre áreas opacas e envidraçadas deve ser alvo de criteriosa avaliação por parte dos projetistas, pois é muito importante no desempenho energético do edifício.

Nas últimas décadas, a aplicação de vidro nos edifícios tem acarretado um surto com diversas implicações patológicas, e esta consciência vem modificando o papel fundamental que o vidro desempenha na construção de edifícios. Os vãos envidraçados têm características muito particulares que favorecem sua utilização, mas que incluem, simultaneamente, diversas vantagens e múltiplos inconvenientes, se usados indistintamente.

Segundo Castro (2006), uma das funções dos fechamentos exteriores de uma edificação é controlar de forma adequada as interferências do meio externo, procurando melhor condicionamento ambiental. Os fechamentos transparentes ocupam um papel importante quando se trata de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. No entanto, o uso de vidros em fachadas, sem o devido critério, tem-se mostrado, nas últimas décadas, como um dos grandes responsáveis pelo desconforto térmico, principalmente, em locais de grande insolação e calor, como é o caso do Brasil.

Além do conforto visual, deve-se observar o efeito sobre o conforto térmico interior causado pelo uso do vidro. Devido ao fraco isolamento térmico, normalmente, o vidro apresenta baixas temperaturas superficiais, e outros corpos situados no espaço interior e na vizinhança tendem a perder calor na sua direção. Este fenômeno, que pode ser particularmente desagradável quando a perda se dá a partir do corpo humano, designa-se por efeito de parede fria.

As áreas envidraçadas têm um grande impacto no ganho de calor e no consumo de energia, pois a transmissão de calor é muito maior nos vidros do que

nos elementos opacos. Em função disso, o percentual de abertura da fachada (PAF) deve ser otimizado, considerando a iluminação natural, as perdas de calor no inverno e o ganho de calor no verão.

Segundo Harkness (1978 apud MICHELATO, 2007, p. 69), do ponto de vista do conforto de ambiente, as superfícies transparentes da fachada devem permitir a passagem da luz, proteger do calor e do frio, além de ser um elemento estético. O vidro como elemento construtivo estabelece uma inter-relação, em maior ou menor proporção, entre o interior de um ambiente, seu entorno e a energia radiante incidente, características que não devem ser esquecidas pelos projetistas e profissionais da área.

O conforto visual pode ser prejudicado em função do desequilíbrio entre áreas envidraçadas e áreas opacas nas fachadas. Uma iluminação interior adequada é função das características óticas, do tamanho, do formato e colocação das superfícies transparentes e também das propriedades refletoras das superfícies interiores. É importante lembrar que a superfície envidraçada permite a entrada e a saída de luz, sendo necessário cuidado para definir a área superficial transparente a ser projetada na edificação.

Portanto, as necessidades de iluminação e contato visual com o exterior, às quais essas superfícies transparentes visam atender, devem ser conjugadas com os requisitos para conforto térmico, de modo que se tenha um melhor aproveitamento da energia solar incidente, resultando em eficiência energética (CASTRO, 2006, p. 21).

O aquecimento excessivo causado pela superfície transparente é um efeito térmico conhecido como efeito estufa. Os vidros possuem uma característica específica responsável por tal efeito, pois são transparentes à radiação de onda curta; em contrapartida, são opacos à radiação de onda longa. A maior parte da radiação solar incidente, que é transmitida diretamente por esses materiais, é absorvida pelas superfícies do ambiente interno, aquecendo-o. Portanto, a radiação solar que entra por uma janela não retornará da mesma forma ao exterior, aquecendo o ambiente. Uma parte do calor absorvido será re-emitada ao exterior da janela por condução e radiação de onda longa (CASTRO, 2006, p. 23). Os vidros exercem a função de “aprisionar” o calor no ambiente interno, proporcionando um aquecimento para este ambiente. Em países de clima frio, esse fenômeno é muito

utilizado para a captação e conservação da energia solar durante o dia e para aproveitamento à noite.

No Brasil, no entanto, é interessante evitar o excesso de radiação solar sem diminuir o aproveitamento de iluminação natural durante o verão, pois o país tem a maior porção geográfica em clima tropical; que se caracteriza por temperatura média do ar, em todos os meses do ano, superior a 18 °C, e com amplitude térmica diária maior que a amplitude térmica anual da temperatura média, ou seja, em um dia, a temperatura varia mais, comparando-se o mês mais quente ao mês mais frio do ano.

O mercado oferece vários tipos de materiais transparentes em diversas cores, permitindo uma grande liberdade no projeto. Entretanto, o que se tem notado é que a estética quase sempre norteia a escolha do material, não sendo considerados mais criteriosamente as características óticas e o comportamento físico desses materiais frente à radiação solar (CASTRO, 2006, p. 22).

Os materiais transparentes usualmente empregados em fachadas são constituídos por vidros, policarbonatos ou vidros com películas poliméricas, as quais costumam ser aplicadas sobre superfícies envidraçadas já instaladas. Esses materiais devem ser especificados considerando o controle da radiação solar, porém esse controle é de atuação limitada. Se uma área transparente for mal dimensionada ou posicionada de forma errada, pode ocorrer um calor excessivo no ambiente durante o verão, ou frio excessivo no inverno (CASTRO, 2006, p. 21).

Atualmente, os vidros de controle solar estão sendo largamente empregados na arquitetura nacional e internacional. Contudo, muitas vezes estes vidros acabam sendo usados sem o conhecimento do material e, por isso, não atingindo o desempenho térmico e luminoso esperado.

É fundamental verificar se o tipo de vidro escolhido é o ideal para o projeto, pois equívocos na escolha podem causar vários problemas, e corrigi-los pode ser bastante oneroso. A especificação correta deve considerar as normas técnicas, mas também depende de conhecimentos sobre o comportamento do vidro diante da radiação solar. O mercado oferece variada gama de produtos, com diferentes cores, tipos e índices de refletância, para atender às necessidades específicas de cada situação.

A publicação O VIDRO PLANO (1999) comenta que, apesar de não ser obrigatória a inclusão de dados específicos dos fechamentos transparentes, vãos e aberturas, devem conter informações técnicas do material a ser utilizado; assim

como detalhamentos onde a característica dos materiais possa mudar totalmente o desempenho do espaço projetado, ou levar a erros grosseiros, causados por escolha equivocada do material que recebe diretamente a insolação, principalmente, para trabalhos de maior complexidade.

### 2.3.2.1 Fator Solar (FS) ou Ganho de Calor Solar (GCS) nos fechamentos transparentes

Segundo Givoni (1981) o Fator Solar é definido como a soma da porcentagem da transmissão solar direta que ocorre através do vidro mais a parcela da energia absorvida pelo vidro e reirradiada para o interior.

Lamberts et al (2004) mencionam que o fator de calor solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Esse valor é característico de cada tipo de abertura que varia e o ângulo de incidência da radiação solar.

De acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), ganho de calor solar para elementos transparentes ou translúcidos pode ser definido como o quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido; mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa dela.

A importância do estudo da fração reirradiada para o interior é devida ao controle do ganho de calor através dos vidros, pois este depende da transmissão da radiação e da absorção através destes materiais, uma vez que a energia absorvida se transforma em calor, a temperatura do vidro se eleva, ocorrendo; conseqüentemente, um aumento da transmissão por convecção e radiação em direção aos meios externo e interno (CASTRO, 2006, p. 44).

Akerman (2000) comenta que o vidro é um material mal condutor de calor, isto é, por exemplo, se em um dos lados de uma vidraça se aquece a face do vidro deste lado esquentado; porém o calor leva certo tempo até atravessar a espessura e aquecer a outra face, pois o vidro oferece resistência à passagem do calor.

### 2.3.2.2 Fluxo térmico nos fechamentos transparentes

Segundo Lamberts et al (2004), nos fechamentos transparentes podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas de ar entre interior e exterior, basicamente ao abri-los ou fechá-los. A radiação é que se torna o principal fator devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmissividade do vidro.

Envolve trocas térmicas por condução, semelhante ao dos fechamentos opacos e, ainda, as trocas por radiação, principal fator devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmitância do vidro (T) (Lamberts et al, 2004, p. 64).

### 2.3.2.3 Radiação Solar e os fechamentos transparentes

Segundo Malheiros (2005), a radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura.

A radiação solar incidente sobre um fechamento é uma função da orientação do fechamento, da latitude do local do projeto, do dia, do ano e da hora do dia, e pode ser de estações meteorológicas já existem dados de radiação sistematizados; para o uso em projetos de edificações. Entre eles, destaca-se o TRY (*Test Reference Year*) que consiste em um ano fictício com dados climáticos horários, apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para simulação de desempenho térmico de edificações. O arquivo contém informações climáticas para as 8.760 horas do ano (GOULART, 1993, p.20).

A radiação solar relaciona-se diretamente ao conforto térmico nas edificações. Em se tratando de ganho e perda de calor, as janelas constituem uma parte bastante frágil da edificação (RIVERO, 1986, p. 93). Para Caram de Assis (1998), a

radiação solar, quando bem aproveitada, pode ser muito benéfica. Em determinadas condições, também pode se tornar indesejável.

Fatores como a espessura, o índice de refração do vidro, assim como o ângulo de incidência da radiação, interferem também na transmissão, reflexão e absorção do material.

De forma geral, a radiação total que incide num fechamento transparente; uma parte é transmitida para o interior, outra é imediatamente refletida para o exterior, sendo uma terceira parte absorvida pelo vidro. Desta terceira parte, que é absorvida e representa a energia acumulada no vidro, há ainda uma parcela que, posteriormente, é enviada para o interior e outra que segue para o exterior; devido a fenômenos de convecção e radiação. A Figura 6 ilustra a forma como a radiação que incide no fechamento transparente se decompõe e põe em evidência as três partes referidas – transmitida, refletida e absorvida. Os quocientes entre cada uma destas partes e a radiação total incidente representam as propriedades ópticas (solares) do vidro e designam-se, respectivamente, por transmitância ( $T_s$ ), refletância ( $p_s$ ) e absortância ( $\alpha_s$ ). Além do comprimento de onda, estas propriedades dependem também do ângulo de incidência da radiação.

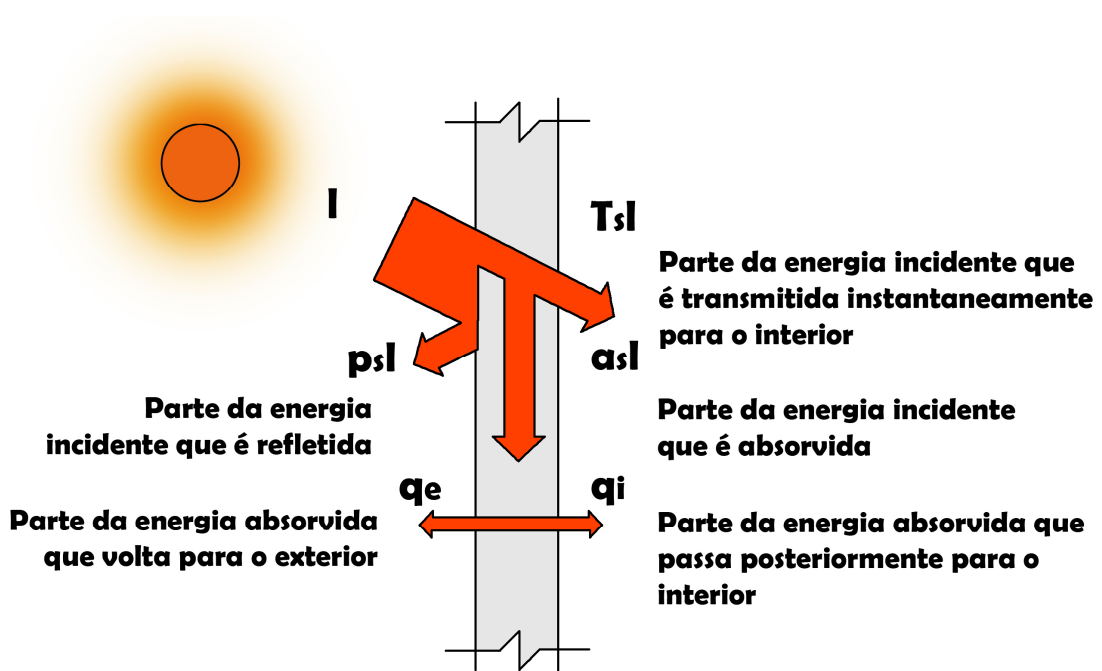


Figura 6 – Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado  
Fonte: Moret et al, 2009 (Adaptado).

A transmitância é então definida como a porcentagem de radiação que atravessa o vidro, podendo ser de vários tipos, consoante à radiação que se está a tratar. A refletância consiste na propriedade do vidro em refletir parte da radiação incidente, ou seja, a porcentagem da radiação total incidente que é refletida assim que esta atinge o vidro. A absorptância é a propriedade do vidro responsável pela absorção de uma parte da radiação incidente, fazendo com que este aumente de temperatura. Existe ainda outra propriedade do vidro, que até agora não foi referida, mas que apresenta um especial interesse nas trocas de calor por radiação através de um envidraçado. Esta propriedade designa-se por emitância ou emissividade. A emissividade é a capacidade do vidro de absorver e radiar energia em baixa temperatura, processo que pode ser aproveitado para melhorar o desempenho do fechamento transparente.

O vidro Comum Incolor é transparente e deixa passar a maior parte da radiação solar. Apesar de não ter as moléculas em formato absolutamente cristalino, apresenta uma organização molecular de forma que permita a passagem de luz.

Segundo alguns autores (CARMODY, 2000; LAMBERTS et al, 2004; ASHRAE, 2001; MARINOSKI, 2005) pode-se considerar três tipos de fluxo de energia através das janelas como sendo principais, conforme a Figura 7.

- Perdas e ganhos de calor na forma de condução, convecção e radiação;
- Ganho de calor solar na forma de radiação;
- Trocas de ar (ventilação e infiltração).

Em climas quentes, o principal objetivo é o controle do aumento de calor no interior da edificação, sendo necessário prever na fase de projeto arquitetônico sistemas de envidraçamentos de controle solar que reflitam ou que absorvam e re-irradiem para o exterior a energia.



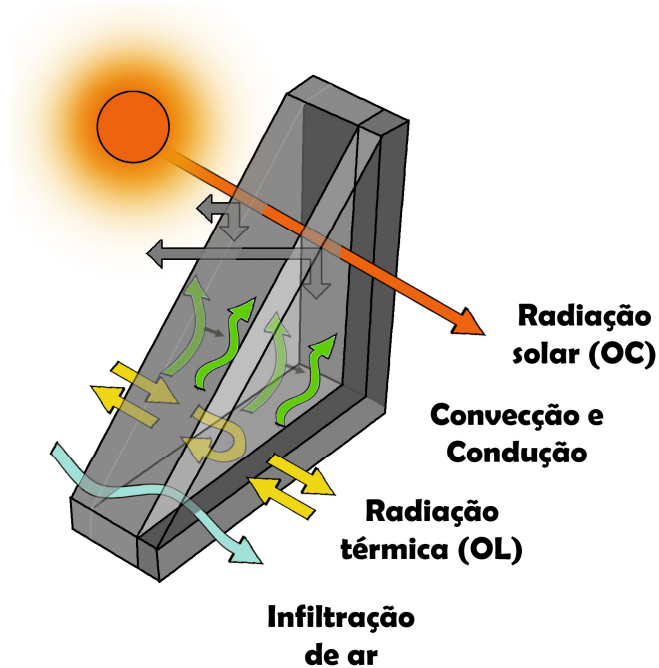


Figura 7 – Tipos de fluxo de energia através de janelas  
 Fonte: DOE, 1997 apud MARINOSKI, 2005 (Adaptada)

#### 2.3.2.4 Percentual de Abertura da Fachada e a Eficiência Energética

Existem vários estudos sobre eficiência energética e conforto (ALVES et al, 2005; CORNER, 2001; FERNANDES, 1998; SANTOS, 2002), com relação a desempenho térmico de fechamentos transparentes, enfocando, principalmente, edifícios comerciais, onde grande parcela do consumo energético é atribuída a sistemas de condicionamento de ar. Em geral, nesses estudos, o objetivo está voltado ao desempenho de materiais com relação à iluminação natural, e, somente em poucos trabalhos, há enfoque no controle de calor solar.

De acordo com Olgyay (1998), a pele de um edifício atua como filtro entre as condições internas e externas para controlar a entrada do ar, do calor, do frio, da luz, dos ruídos e dos odores. Por isso, os materiais que constituem a pele das edificações têm um papel decisivo na utilização e no controle dos raios solares.

De acordo com Marinoski (2005), as janelas e aberturas, além de elementos básicos da linguagem arquitetônica, comumente nos proporcionam controle da passagem da luz e de ar para o interior do ambiente. São elas que permitem,

através de fechamentos transparentes, o contato visual entre os ocupantes da edificação e o meio exterior. Suas características construtivas podem proporcionar isolamento ao frio ou calor, bem como segurança e privacidade.

Uma janela, mesmo sem utilizar energia diretamente, exerce influência sobre o desempenho energético da edificação (CADDET, apud MARINOSKI, 2005, p. 3). Sua aplicação conforme a boa técnica construtiva, assim como o dimensionamento, tipologia, características dos materiais, artifícios de sombreamento e sua orientação solar são fatores determinantes às condições de conforto térmico e lumínico dos ambientes. Estes elementos influenciam diretamente tanto o desempenho como o dimensionamento de sistemas de iluminação e condicionamento de ar. A instalação e utilização apropriada dos componentes das aberturas podem reduzir o consumo na edificação. Por outro lado, o uso incorreto das mesmas pode causar desastrosos efeitos sobre o consumo de energia e o conforto do ambiente.

O tamanho, a forma e a localização das aberturas determinam a quantidade de radiação solar que penetra no interior do ambiente e, por conseguinte, o percentual de calor proveniente da incidência da radiação solar. Além disso, as características das aberturas, segundo Bittencourt e Cândido (2005), são os principais fatores determinantes da configuração dos fluxos de ar no interior das edificações, os quais têm grande influência na carga de aquecimento e resfriamento.

Segundo Grillo e Amorim (2004), no Brasil, a maioria das edificações são pouco adequadas aos princípios bioclimáticos, sendo dependentes de recursos ativos de resfriamento e iluminação artificial. Janelas inadequadas podem ser responsáveis pelo excessivo ingresso de radiação solar direta, além de existir o risco bastante significativo de que parte do espaço interno do ambiente permaneça inabitável. Seja por ofuscamento causado pelo excesso de luz e contraste com as demais vedações, seja pela exposição à irradiação decorrente do aquecimento do vidro.

Em projetos de edifícios comerciais indiferentes à consciência ambiental, a utilização de materiais de construção impróprios e excesso da área envidraçada são alguns dos fatores que causam graves problemas ambientais. As consequências são a utilização irracional de iluminação artificial durante o dia, em locais onde cortinas pesadas são utilizadas como proteção da radiação solar direta, e o aumento do consumo de energia necessário para minimizar os efeitos do calor, gerado pela iluminação artificial.

Mahoney (apud RORIZ, 2008), apoiado em sua larga experiência em ambientes tropicais, elaborou há mais de duas décadas um método visando adequar climaticamente projetos arquitetônicos; ainda hoje amplamente aplicado em diversos países. Seu trabalho permite ao projetista, com facilidade, identificar grupos de problemas climáticos dominantes, possibilitando tomadas de decisões na fase de projetos, visando um projeto integrado ao fator climático de sua região. Também evitando resultados indesejáveis e a proliferação de edificações quentes no verão, frias no inverno e durante todo o ano, esbanjadoras de energia.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme as zonas bioclimáticas brasileiras. As definições da NBR direcionam estratégias de condicionamento térmico passivo para cada zona, possibilitando melhor adequação do ambiente habitado e qualificação do desempenho energético da edificação. Para a zona bioclimática 2 brasileira, na qual se encontra a cidade em estudo, prescreve as aberturas para ventilação com dimensionamento médio (15% a 25% da área do piso), sem bloqueio da radiação solar no período de inverno.

Com relação à melhoria na eficiência energética das janelas, Marinoski (2005) menciona que tal fato traz consequências positivas em curto e longo prazo. Em curto prazo, a especificação coerente das janelas proporciona índices de economia na conta de energia da edificação, uma vez que o melhor isolamento reduz as trocas de calor, influenciando diretamente no consumo de energia por condicionamento artificial. Além disso, há o fator aproveitamento da luz natural, o qual reduz o calor produzido pela iluminação artificial. Ao mesmo tempo, em longo prazo, pode-se dizer que o uso de janelas energeticamente eficientes aplicado em grande escala poderá gerar maior oferta de energia para o mercado, devido à redução do consumo. Esta maior oferta, por sua vez, traz reflexos sobre o custo da energia, podendo o mesmo ser reduzido. A economia de energia significa redução dos investimentos com sua geração e, conseqüentemente, menor impacto ao meio ambiente, sempre presentes na construção de usinas.

Os sistemas de envidraçamento, além de afetarem a estética do edifício, são responsáveis pela ventilação e iluminação natural, influenciando diretamente no conforto dos usuários e no consumo energético. De acordo com Carmody et al (2000), no inverno, há perda de calor através desses envidraçamentos, enquanto no verão ocorre a entrada indesejada de calor.

## 2.4 O uso da simulação computacional na avaliação termo-energética de edificações

Ferramentas de simulação computacionais começaram a ser desenvolvidas, com o intuito de proporcionar aos projetistas meios para dimensionar adequadamente sistemas de condicionamento de ar, realizar estudos de *retrofit*<sup>2</sup> e otimizar o desempenho energético das edificações (*Lawrence Berkeley National Laboratory* - LBNL). Sendo assim possível o desenvolvimento de modelos que representam o comportamento térmico e energético nas edificações, proporcionando a simulação de diferentes alternativas de projeto e agregando um maior número de variáveis, tarefa antes muito demorada com os meios tradicionais de avaliação.

Atualmente, existe uma enorme diversidade de programas para simulação do desempenho em edifícios que permitem estimativas das condições de conforto, consumo energético, custo e impactos das soluções adotadas para o conforto ambiental. Dentre a gama de programas existentes em nível mundial, cerca de 300 estão listados no *Building Energy Tools Directory*, do Departamento de Energia Americano (DOE). Ainda existem vários programas desenvolvidos no Brasil, que não fazem parte desta lista, e alguns deles encontram-se no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE).

No Brasil, a utilização das ferramentas de simulação ainda não participa do cotidiano dos escritórios de arquitetura, porém, têm sido aplicadas no meio acadêmico, nas atividades de pesquisa, ensino e extensão.

Os principais programas computacionais para avaliação termo-energética elaborados no Brasil são o THEDES, o ACTERM, o COBRA e o ARQUITROP. Os programas NBSLD, o BLAST, o ESP-r, o TRNSYS, o DOE e o *Energy Plus*, foram desenvolvidos por outros países. Esses programas realizam a análise energética de uma edificação, baseada na simulação das cargas térmicas resultantes da configuração construtiva e dos sistemas de condicionamento e demais equipamentos existentes. Com o aperfeiçoamento dos sistemas operacionais, foram

---

<sup>2</sup> Retrofit é um termo utilizado para designar o processo de modernização de algum equipamento ou edificação já considerado ultrapassado ou fora de norma. São alterações feitas em sistemas consumidores de energia visando reduzir o consumo energético.

desenvolvidas ferramentas de simulação capazes de reproduzir a condução do calor transiente, através dos componentes construtivos e a transferência de calor pelo solo, entre outras possibilidades (LBNL).

O programa *Energy Plus*, que foi desenvolvido para o Departamento de Energia Norte-Americano (DOE), pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* em sociedade com outros laboratórios. Sua interface, o programa *Design Builder*, permite que sejam adicionados diversos dispositivos (janelas, cortinas, brises, entre outros) levando em consideração padrões de uso e valores de variáveis ambientais internas e externas.

Através de arquivos de dados climáticos, o programa computacional *Energy Plus* calcula as temperaturas internas em edifícios não condicionados, bem como as cargas de aquecimento e resfriamento necessárias para manter o controle da temperatura no dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar, verificando o consumo de energia resultante. O programa também permite a análise das cargas térmicas advindas dos componentes construtivos, possibilitando a verificação do desempenho térmico de diferentes tipologias de edificações, inclusive aquelas não condicionadas (ventilação natural), considerando as condições ambientais dos locais onde as mesmas encontram-se inseridas.

#### 2.4.1 *Design Builder*

*Design Builder* é um programa computacional especializado para análise térmica, lumínica e energética de edifícios. Oferece a possibilidade de avaliar os níveis de conforto, além de ser a primeira interface gráfica completa para o programa de simulação *Energy Plus*. Foi projetado para ser usado em qualquer fase do processo de concepção, bem como para a análise dos edifícios existentes.

O *Design Builder* tem sido uma ferramenta cada vez mais comum entre projetistas e peritos certificados, permitindo construir o modelo do edifício, caracterizá-lo, bem como aos seus sistemas energéticos, e realizar simulações para determinação de consumos energéticos e de potências de climatização. Esta

ferramenta permite a concepção de edifícios com baixo consumo de energia, contribuindo significativamente para a prática da arquitetura sustentável.

Segundo Venâncio e Pedrini (2008), o programa computacional *Design Builder*, de manuseio relativamente fácil, dispõe de ferramentas que tornam possível o desenho e modelagem de edifícios complexos, por meio de simulações tão dinâmicas que possibilita analisá-los como os edifícios mais simples. O programa permite calcular o consumo de energia com climatização, iluminação e equipamentos, além do desempenho térmico da edificação, fornecendo informações sobre as trocas térmicas das paredes externas, internas e pisos, e ainda os ganhos térmicos internos provenientes da ocupação e da incidência de radiação por aberturas. Também calcula as perdas térmicas por ventilação e a taxa de renovação de ar por hora do ambiente; e também calcula a temperatura do ar e a temperatura radiante média. (VENÂNCIO & PEDRINI, 2008)

Quanto à modelagem da edificação, o arquivo pode ser importado para 2D e 3D a partir do qual se pode gerar os volumes que compõem o edifício, sendo capaz de dividir o volume em zonas (áreas térmicas), para os quais podem ser atribuídas aplicações diferentes.

As paredes, janelas e elementos construtivos do edifício podem ser desenhados e configurados usando o banco de dados do programa ou personalizados para as necessidades da edificação a ser modelada. Também podem ser especificados os materiais do modelo, como vidros e revestimentos. Os resultados fornecem dados sobre o conforto (temperatura do ar e umidade relativa), os ganhos internos (iluminação, equilíbrio térmico, ocupação, ganhos solares através das janelas), fechamentos e ventilação (balanço térmico e ar fresco), e total de energia utilizados (gás e electricidade). Todos estes dados podem ser exibidos em intervalos de tempo (anual, mensal, diário ou horário), apresentados como dados de célula, gráficos, tabelas ou uma combinação de ambos.

## 2.5 Trabalhos realizados com simulação computacional e a eficiência energética de edificações

Gratia e De Herde (2003 apud Ghisi et al, 2005, p. 82) afirmam que o tamanho das janelas, em relação à forma da edificação, à profundidade e à altura das salas, podem, juntos, dobrar o consumo de energia de uma edificação. Lam et al (1997 apud Ghisi, 2005) analisaram a influência de diversas variáveis no consumo de energia de edificações em Singapura mediante simulações computacionais usando o programa *VisualDOE*. Concluíram que, entre as variáveis relativas ao envelope da edificação, o coeficiente de sombreamento dos vidros e a área de janela são as que mais influenciam no consumo de energia.

O estudo realizado por Santana (2006) permitiu demonstrar os parâmetros que mais influenciam no consumo de energia na tipologia construtiva de edifícios de escritórios em Florianópolis. Seu estudo analisou, através de simulações computacionais desenvolvidas com o programa computacional *Energy Plus*, os seguintes parâmetros: fator de projeção, entorno, coeficiente de sombreamento dos vidros, percentual de área de janela na fachada, transmitância térmica das paredes e da cobertura e orientação solar. Dentre os parâmetros analisados, a percentagem de janela na fachada foi a variável que apresentou resultados mais significativos, sendo que, a cada 10% de aumento de área de janela, o consumo de energia cresceu 2,9%. Para edifícios com grandes áreas de parede, o fator de absorvância demonstrou grande influência, com redução de 1,9% do consumo de energia para cada alteração de 10% na absorvância. Ao comparar a alteração da cor das paredes externas de clara para escura, o consumo de energia aumentou 15,1%. A utilização de proteções solares, quando simulados para todas as orientações, demonstrou uma redução de 12% no consumo de energia. A resposta do consumo de energia, com relação às variações das transmitâncias térmicas das paredes, não se comporta como o esperado neste estudo, visto que, ao aumentar a transmitância térmica das paredes, ocorre uma redução no consumo de energia. A variação nos valores de transmitância térmica das paredes não apresentou variações significativas no consumo de energia, não justificando esse parâmetro ser utilizado como medida de conservação de energia e, conseqüentemente, eficiência energética de uma edificação.

Gómez & Lamberts (1995) fizeram uma simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios; na cidade de Florianópolis - SC, utilizando o programa DOE-2, e chegaram à conclusão que as cargas térmicas e, por conseguinte, o consumo de energia, são maiores quando se trata de uma maior área de janela (PAF), no caso da utilização de vidros simples comuns, sem brises. Além disso, para uma redução no PAF de 70% para 30%, o consumo da energia reduziu de 15 a 25%, principalmente, em prédios retangulares.

Ghisi et al (2004) propõem uma metodologia para prever o potencial de economia de energia na iluminação, utilizando o conceito de área envidraçada ideal, quando há efetiva integração do sistema de iluminação natural com o artificial. A integração ocorre apenas quando o sistema de iluminação artificial pode ser acionado ou não, em função dos níveis de iluminação natural que alcançam as áreas de trabalho. A análise energética foi executada através de simulação computacional utilizando o programa *VisualDOE*, para as condições climáticas das cidades de Leeds (Inglaterra) e Florianópolis (Brasil). Foram utilizadas salas de dez tamanhos diferentes e de cinco diferentes proporções entre comprimento e largura. Para determinar a área envidraçada ideal, as simulações foram realizadas considerando áreas envidraçadas de 0 a 100%, com incremento de 10%. A partir daí, a sala que obtivesse o menor consumo energético era aquela de área ideal de janela. O potencial de economia de energia foi determinado para cada sala utilizando o método baseado no "Fator de Luz do Dia". Os autores chegaram à conclusão que a economia de energia na iluminação em Leeds foi de 10,8% a 44,0% em todos os tamanhos e proporções de salas. Já em Florianópolis, a economia ficou entre 20,6% e 86,2%. Os valores de redução de energia são baseados em uma iluminância de 500 lux na superfície de trabalho e de 10.000 lux no exterior.

O trabalho de Ferreira (2007) teve como objetivo diagnosticar e comparar o desempenho térmico de diferentes tipologias de edifícios de escritório localizados em seis cidades pertencentes à região central do Rio Grande do Sul, estando às mesmas inseridas na zona bioclimática 2. Para tal análise, foi realizado um levantamento dos edifícios de escritório existentes nas cidades de Cruz Alta, Ijuí, Lajeado, Santa Cruz do Sul, Santa Maria e Venâncio Aires, selecionando uma amostra de 36 edifícios. Em seguida foram analisados seus projetos arquitetônicos e dados construtivos, sendo agrupados em cinco tipologias. Para cada tipologia foi



selecionado um prédio representativo, e registrados dados de temperatura interna e externa, com o aparelho tipo HOBO, durante um período de treze dias no inverno e no verão. Foi avaliado o desempenho térmico dos edifícios, de acordo com a sua capacidade de amortecimento da onda térmica externa, associada à inércia térmica, área de aberturas e padrão de uso dos seus espaços internos. Como resultado, observou-se a grande influência da radiação solar nos resultados obtidos, evidenciada principalmente pela influência no comportamento térmico dos edifícios da orientação das salas monitoradas, da área de aberturas, do tipo de vidro e da cor dos fechamentos opacos.

Bodart & De Herde (2002), em estudo realizado na Bélgica, avaliaram o impacto da economia de energia elétrica no consumo energético de edificações comerciais através da integração de iluminação natural com artificial utilizando os programas de simulação computacional ADELIN e TRNSYS. Os resultados mostraram que a utilização da iluminação natural pode reduzir o consumo de energia elétrica com iluminação artificial de 50 a 80%, e também que o consumo de energia (por unidade de área de piso) com iluminação artificial diminui à medida que aumenta a largura das salas. Além disso, a economia global de energia não provém apenas da redução do consumo de energia com iluminação artificial, mas também da redução das cargas térmicas internas, que alcançaram 40%, para um determinado tipo de envidraçamento utilizado em edifícios de escritórios.

Com relação a aspectos de conservação de energia em ambientes condicionados, Tribess et al (1997) analisam alguns fatores que devem ser levados em consideração na definição e projeto de uma edificação, visando diminuições de consumo energético sem detrimento do conforto térmico dos ocupantes. Um andar típico de um prédio de escritórios, na cidade de São Paulo, foi utilizado como modelo para analisar o efeito das condições internas e do envidraçamento sobre a carga térmica, através do programa computacional *ESP-r (Energy Simulation Program – research)*. No modelo analisado, as vedações externas eram compostas por painéis de concreto, revestidas internamente com gesso e externamente com granito. A área envidraçada foi definida conforme disposto no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (15% da área de piso), considerando quatro alternativas de vidros, com 8mm de espessura: incolor, verde, bronze e incolor com aplicação de películas refletivas. Alguns valores foram adotados, baseados nas normas vigentes: taxa de ocupação da sala, taxa de iluminação, ventilação, além de algumas

condições internas: temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade relativa e resistência térmica da vestimenta. Os resultados obtidos comprovam que ao se utilizar vidros bronze ou verde (ao invés de incolor), há uma redução da carga térmica (em 3,3% no valor máximo e 3,1% no total diário) e, por conseguinte, do consumo de energia devido ao ar-condicionado. Esta redução pode ser ainda maior com a utilização de películas refletivas, sendo de 8,0% no valor máximo e 7,9% no total diário. É importante ressaltar que o uso dessas películas pode reduzir sensivelmente a iluminação natural, aumentando a carga térmica devido ao acréscimo de iluminação artificial.

Pereira (2002) analisa a resposta termo-energética de duas edificações, alterando o tipo de vidro na fachada, observando a grande influência exercida pelas superfícies semitransparentes na transferência de calor em um ambiente fechado. Estuda seis diferentes superfícies semitransparentes, utilizando três tipos de vidros e três tipos de películas. Para isso, são feitas simulações computacionais através do programa computacional *Energy Plus*, onde se avaliam a evolução das temperaturas internas, a transferência de calor em janelas e a carga térmica sensível de resfriamento das edificações. Os resultados ilustram que as diferenças entre as taxas de transferência de calor através das janelas e as cargas térmicas sensíveis de resfriamento são significativas. Não foram observadas diferenças expressivas, em se tratando da evolução das temperaturas internas.

Chowdhury et al (2007) trabalham com a modelagem e simulação do consumo de energia do edifício da Tecnologia da Informação (TI), no campus de Rockhampton, na Universidade de Queensland Central, Austrália, utilizando o programa computacional *Design Builder*. Para tanto, todas as fontes e usos da energia possíveis no edifício foram representados na modelagem e simulação. Sua pesquisa visava reduzir custos dos serviços públicos. No caso em questão, o prédio da universidade, mostrando que durante o verão, o desconforto da edificação pode ser desprezado e durante o inverno, promove 100% de horas de conforto. Análises de gráficos também mostraram a quantidade de energia elétrica necessária para abastecer a edificação, que atingiram níveis mais altos no início dos dias de verão e, gradativamente, diminui durante o inverno e no decorrer do dia.

O trabalho de Fernandes (1998) analisa a influência dos principais vidros utilizados na construção civil no consumo de energia em edificações, através de dados de fator de luz do dia e fator solar fornecidos pelos fabricantes, e realiza a

simulação do ambiente para uma análise comparativa entre os vidros. As medições utilizaram um luxímetro e para as simulações foi usado o programa computacional ISE<sup>3</sup>. Foi observado que a economia de energia não depende apenas de uma correta especificação técnica do vidro a ser utilizado e que a construção deve estar adequada à realidade regional.

Caram de Assis (1998) faz a caracterização e análise da transmissão solar de diferentes tipos de fechamentos transparentes, com enfoque nos vidros comuns, vidros reflexivos a vácuo, os policarbonatos e as películas de controle solar sobre o vidro comum. Após fazer testes espectrométricos<sup>4</sup>, no aparelho Hitachi U-3501, discute os resultados de cada material e indica as situações mais pertinentes para seu uso, dentre os quais os que mais se destacam são os policarbonatos, que apresentam a maior opacidade à luz ultravioleta, ao mesmo tempo em que são muito transparentes ao infravermelho que, somado à curta vida útil, torna seu uso desvantajoso na maioria dos casos. Também são enfatizadas as películas de controle solar, as quais são pouco transparentes à luz, apesar das películas refletivas atenuarem significativamente o calor. Caram (1998) fecha seu trabalho, destacando que nenhum vidro atende a necessidades ambientais diversificadas, sendo necessário que o projetista especifique os fechamentos das edificações de acordo com o local da obra.

Já Lampert e Selkowitz (1989) analisam materiais cromogênicos<sup>5</sup> que têm as propriedades de transmitância alteradas para reflexivo ou absortivo, conforme a variação de temperatura ou intensidade da luz do ambiente, ou então através de um sistema elétrico. Os autores apresentam comparativos de protótipos aplicados em edifícios de escritório pré-existent, comparando-os com vidros comuns, indicando a redução de consumo de energia nas construções ao longo do ano, ao mesmo tempo em que discutem o alto custo inicial dessa tecnologia e a pouca oferta do produto no mercado.

---

<sup>3</sup> ISE – Estimativa de Irradiação e Iluminância em Superfícies Exteriores para abóbada celeste clara, parcialmente nublada e encoberta (J. K. Page, J. L. Thompson, Ms. E J. Simmie apud Fernandes, 1998).

<sup>4</sup> Espectrometria: análise das faixas de luz absorvidas, transmitidas e refletidas por um material.

<sup>5</sup> São materiais envidraçados com a propriedade de alterar suas características óticas a partir da variação no campo elétrico, carga, intensidade de luz ou temperatura.



### **3 METODOLOGIA**

O método utilizado para avaliar a influência no consumo de energia de diferentes tipos de vidro, considerando-se o percentual de área de janela na fachada e orientação solar da fachada em edifícios do uso de escritório, consiste em simulações computacionais utilizando o programa *Design Builder*. Para tal análise, foi modelado um edifício de escritório com características construtivas predominantes, obtidas através de levantamentos realizados em edificações desse tipo, na cidade de Santa Maria-RS, com simulação de dados climáticos da cidade.

Para a execução deste trabalho, foi necessário eleger uma sala comercial hipotética para modelo de estudo, cujas características fossem típicas de um edifício de escritórios da cidade. Nesse contexto, segundo Lamberts (2003), entende-se edifício de escritórios como, “um caso típico de edificação comercial, com múltiplos pavimentos, nos quais, módulos compostos por sala de espera, salas principais, sanitário e com ocupação mais comum por profissionais liberais ou representantes comerciais”. Embora este trabalho considere a localização deste edifício na cidade de Santa Maria – RS, esta tipologia de edificação é muito comum em todas as regiões do Brasil, independente do clima.

As etapas para executar o estudo aqui mencionado incluem:

- Conhecimento e caracterização do ambiente simulado;
- Definição das variáveis de simulação;
- Simulação computacional.

#### **3.1 Descrição da Edificação Simulada**

A escolha da edificação fundamenta-se no trabalho de dissertação de mestrado realizado por Ferreira (2007), que analisou diferentes tipologias de edifícios comerciais com, no mínimo, cinco pavimentos. Nele, a autora contou com a análise do projeto arquitetônico, medições *in loco* da temperatura interna e externa,

durante inverno e verão, com o objetivo de analisar o conforto térmico do ambiente de trabalho dos edifícios comerciais. Entre as edificações estudadas, localizadas na zona bioclimática 2, optou-se pela edificação comercial padrão em Santa Maria. Para esta tipologia predominante, adotou-se, o padrão de ocupação, quantidade de usuários e horário de funcionamento, de acordo com o funcionamento comum a prédio de escritórios, bem como o uso de equipamentos, sistema de iluminação e condicionamento de ar.

A edificação simulada é tipicamente comercial, possuindo planta retangular, com dimensões de 16,00m x 18,00m, pé-direito de 3,00m e altura total de 45,75m. Tem quinze andares, onze pavimentos tipo, com área de 340,60m<sup>2</sup>, sendo que para uma maior agilidade na simulação foram desenhados apenas três pavimentos tipo.

A Figura 8 mostra a planta baixa do pavimento tipo do edifício comercial utilizada na simulação computacional deste trabalho, enquanto a Figura 9 apresenta a vista isométrica do setor simulado para o edifício.

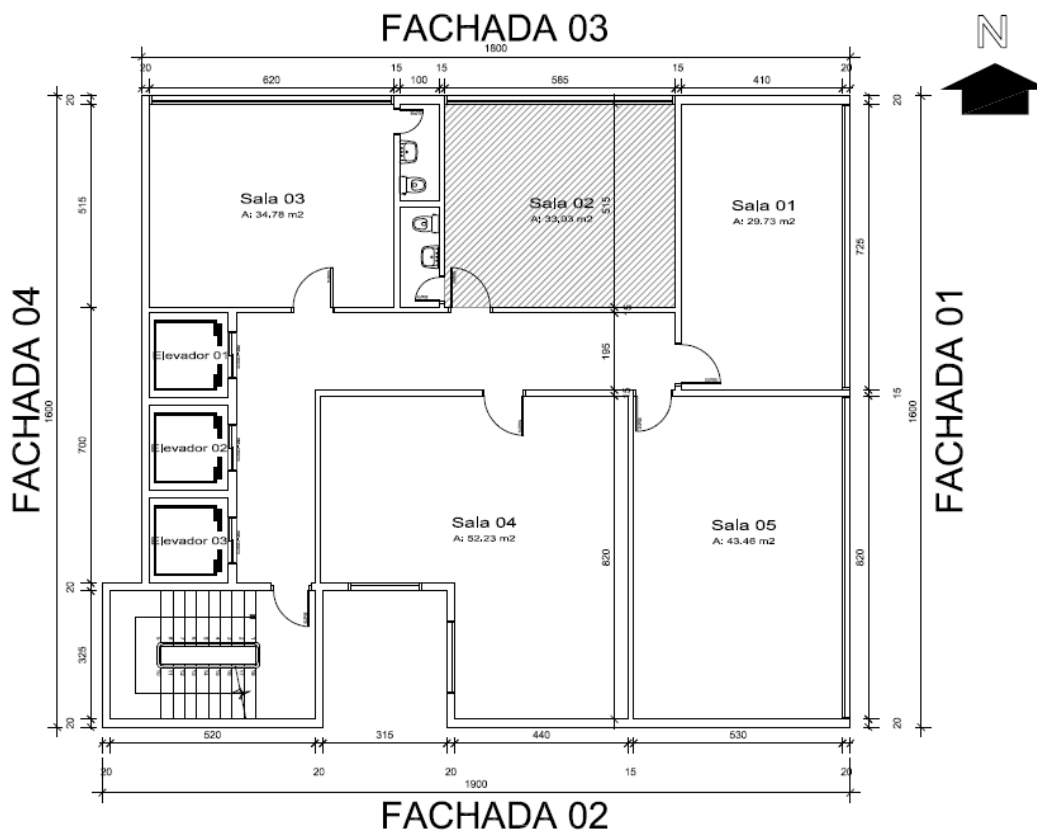


Figura 8 – Planta baixa do pavimento tipo da edificação comercial escolhida  
Fonte: Ferreira (2007)

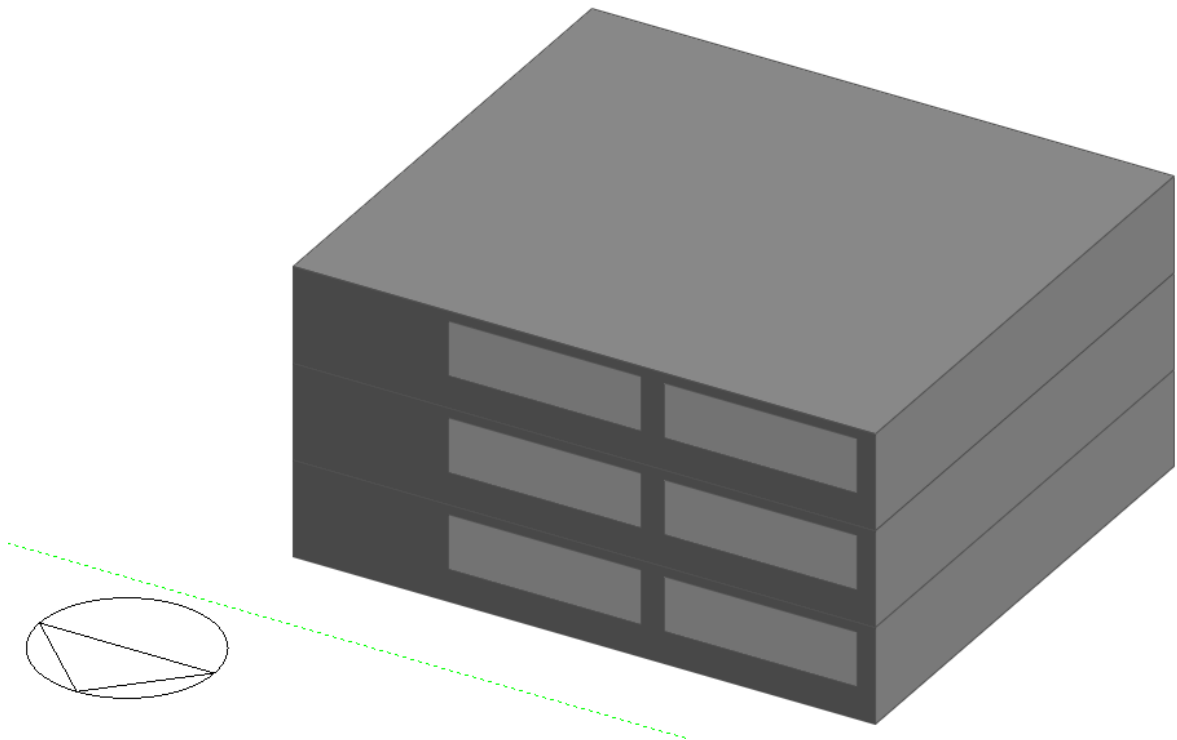


Figura 9 – Vista isométrica do edifício tipo escolhido

A sala escolhida para a análise de consumo de energia foi a sala 02, no pavimento intermediário, para não haver influência do piso junto a terra, nem da cobertura exposta à maior radiação solar. O ambiente analisado possui largura de 5,15m, profundidade de 5,85m e pé-direito de 3,00m, com uma única fachada voltada para o exterior.

### 3.1.1 Fechamentos Opacos

Os materiais que compõem as paredes externas e a cobertura da tipologia correspondem aos mais comuns em prédios de escritório. As paredes externas e internas são constituídas de tijolos cerâmicos de 6 furos frisados nas faces, com argamassa de revestimento de 2,5cm em ambas as faces, conforme mostrado na Figura 10. A laje de entrepisos é formada por laje pré-moldada com camada em concreto de 4,0cm, reboco de argamassa com 2,0cm na parte inferior; e piso cerâmico de 1,0cm de espessura, na parte superior, de acordo com a Figura 11. A

cobertura é composta por laje pré-moldada com camada em concreto de 4,0cm, reboco de argamassa com 2,0cm na parte inferior e telhas de fibrocimento apoiada em estrutura de madeira, como se observa na Figura 12. As transmitâncias e absorptâncias obtidas para esses materiais utilizados estão apresentadas na Tabela 1. A absorptância da parede corresponde à cor branca. As características construtivas dos materiais dos fechamentos opacos e suas propriedades térmicas são apresentadas na Tabela 1.

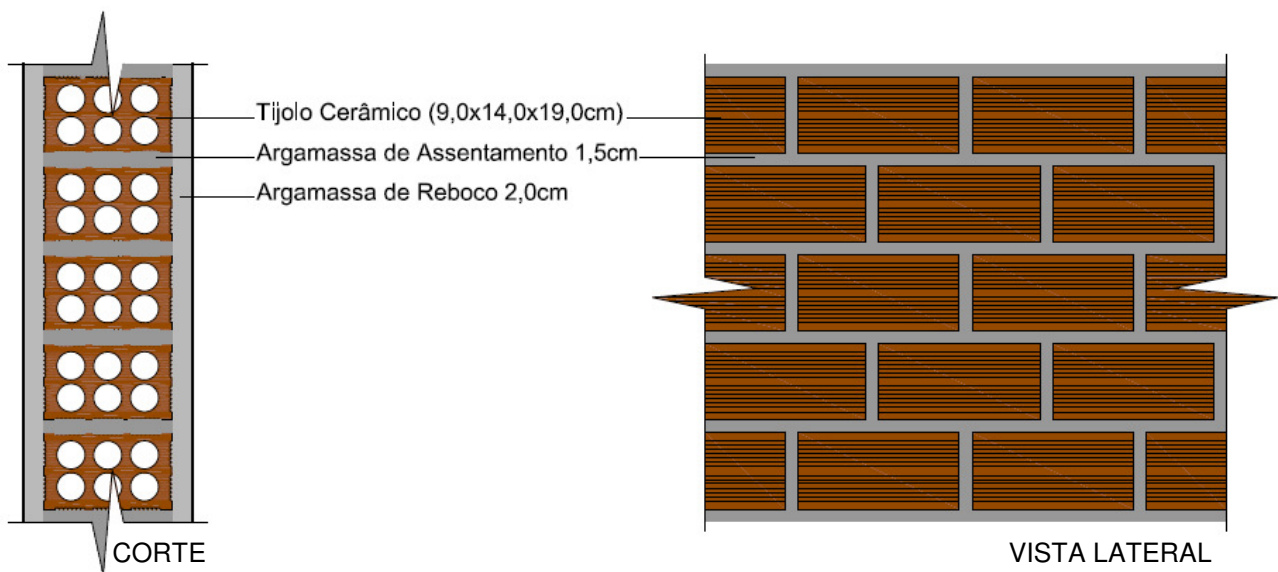


Figura 10 – Imagem representativa das paredes externa e interna em corte e vista lateral

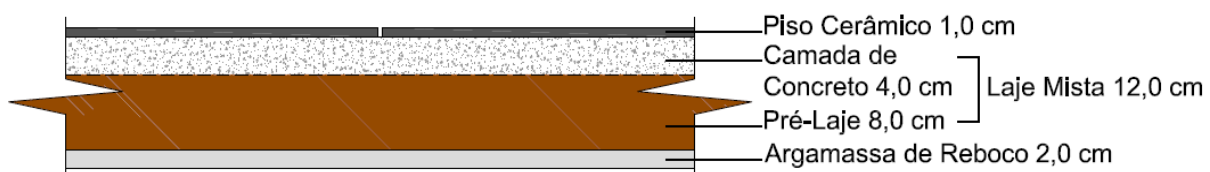


Figura 11 – Imagem em corte representativa da laje de entrepisos



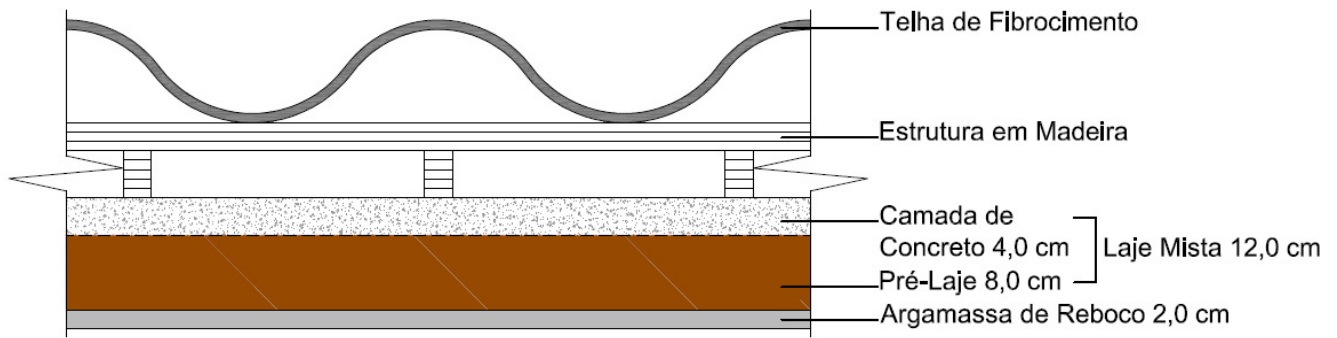


Figura 12 – Imagem em corte representativa da laje de cobertura

Tabela 1 – Características dos materiais utilizados nos fechamentos opacos na simulação

Elementos	Rugosi- dade	Espes- sura (m)	Condutivi- dade (W/m. K)	Calor Específico (J/kg. K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Absortân- cia Térmica	Absortân- cia Solar
<b>PAREDE EXTERNA</b>							
Argamassa de reboco	Rugoso	0,025	1,15	1000	2000	0,9	0,2
Tijolo cerâmico 6 furos	Rugoso	0,15	0,9	920	840	0,9	0,7
<b>PAREDE INTERNA</b>							
Argamassa de reboco	Rugoso	0,025	1,15	1000	2000	0,9	0,2
Tijolo cerâmico 6 furos	Rugoso	0,15	0,9	920	840	0,9	0,7
<b>LAJE ENTREPISOS</b>							
Laje mista	Rugoso	0,1	1,05	920	1087	0,9	0,7
Argamassa de reboco	Rugoso	0,025	1,15	1000	2000	0,9	0,2
Piso cerâmico	Rugoso	0,01	0,9	920	1600	0,9	0,7
<b>LAJE DE COBERTURA</b>							
Laje mista	Rugoso	0,1	1,05	920	1087	0,9	0,7
Argamassa de reboco	Rugoso	0,025	1,15	1000	2000	0,9	0,2
Telha de Fibrocimento	Rugoso	0,05	0,95	840	1900	0,9	0,7

Fonte: Programa *Design Builder*

As simulações foram realizadas mantendo-se constantes as características da envoltória da edificação, ou seja, as condições mais usuais para uma edificação comercial construída na região considerada.

## 3.2 Parâmetros variáveis na simulação

Dentre as características dos fechamentos transparentes da edificação, foram considerados como parâmetros variáveis na simulação a orientação da fachada, o tipo de vidro e o percentual de área de abertura da fachada. Tal escolha deveu-se ao entendimento de que são as principais variáveis deste tipo de fechamento que influenciam no desempenho térmico e energético do edifício. Além disso, a influência de um desses parâmetros no consumo de energia está associada à definição dos outros dois, sendo necessária a análise conjunta dos mesmos.

### 3.2.1 Orientação da Fachada Envidraçada

A orientação solar da fachada determina uma maior ou menor exposição diária dos fechamentos transparentes à radiação solar e o ângulo de incidência da mesma. Isso fica claro, por exemplo, levando-se em consideração que fachadas orientadas para o leste recebem insolação apenas de manhã, enquanto as orientadas para o oeste recebem insolação apenas à tarde. Alterando-se a orientação da edificação, as paredes das fachadas que possuem janelas estarão sujeitas a variações consideráveis na insolação diária, o que influi diretamente nos ganhos térmicos e de luz natural.

O intuito desse procedimento foi a análise da influência da orientação da edificação na carga térmica e no consumo para climatização do edifício. Foi alterado no arquivo de entrada do programa computacional a direção base do edifício, rotacionando-o com um incremento de  $45^\circ$  no sentido horário, até resultar um giro completo. Ou seja, serão simuladas oito orientações distintas para cada edificação. Dessa forma, foram simuladas as seguintes orientações solares da edificação, em relação ao Norte verdadeiro:  $0^\circ$  Norte,  $45^\circ$  Nordeste,  $90^\circ$  Leste,  $135^\circ$  Sudeste,  $180^\circ$  Sul,  $225^\circ$  Sudoeste,  $270^\circ$  Oeste e  $315^\circ$  Noroeste. A Figura 13 ilustra as diferentes orientações simuladas.

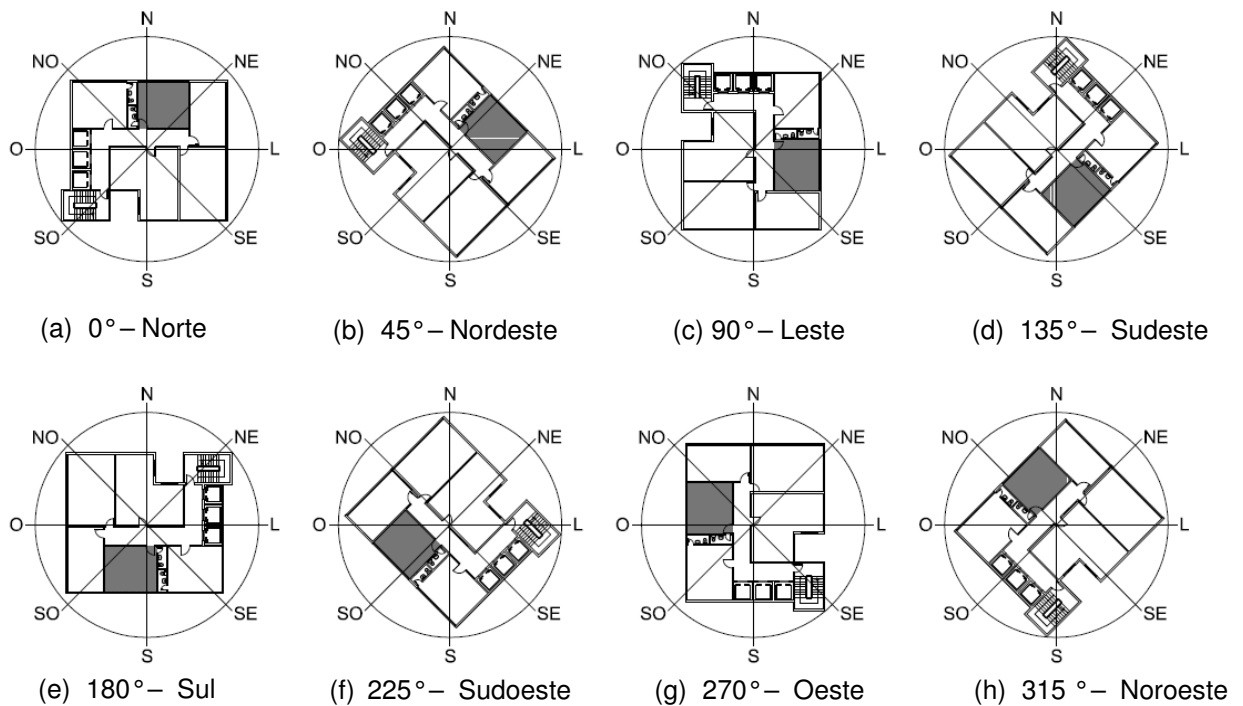


Figura 13 – Orientações solares simuladas

### 3.2.2 Tipos de Vidros

Os tipos de vidros utilizados para as simulações foram escolhidos devido à variação do Fator Solar, que determina o percentual de energia solar incidente no fechamento transparente que vai para o interior da edificação, sendo a soma das parcelas de transmissão direta pelo vidro mais a parcela da energia absorvida e reirradiada para o interior. Os vidros escolhidos foram os seguintes: Comum Incolor, Laminado Bronze Claro, Laminado Refletivo Azul Claro e Laminado Refletivo Prata Neutro, com respectivo Fator Solar: 0.85, 0.70, 0.56 e 0.29. A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros de entrada no programa para cada vidro selecionado, com dados retirados do trabalho de Santos (2002).

Como componente importante no envelope da edificação, o vidro deve ser estudado para avaliar o impacto que teria na carga térmica a alteração do Fator Solar do envidraçamento do edifício.

Tabela 2 – Características dos vidros utilizados

<b>CARACTERÍSTICA</b> <b>TIPO DE VIDRO</b>	<b>Vidro Comum Incolor</b>	<b>Vidro Laminado Bronze Claro</b>	<b>Vidro Laminado Refletivo Azul Claro</b>	<b>Vidro Laminado Refletivo Prata Escuro</b>
<b>Fator Solar</b>	0,85	0,70	0,56	0,29
<b>Espessura</b>	5 mm	6 mm	8 mm	8 mm
<b>Transmitância solar a incidência normal</b>	0,81	0,53	0,36	0,08
<b>Refletância solar a incidência normal: interior</b>	0,10	0,08	0,16	0,42
<b>Refletância solar a incidência normal: exterior</b>	0,10	0,08	0,16	0,42
<b>Transmitância visível a incidência normal</b>	0,86	0,53	0,43	0,08
<b>Refletância visível a incidência normal: interior</b>	0,10	0,08	0,16	0,46
<b>Refletância visível a incidência normal: exterior</b>	0,10	0,08	0,16	0,46
<b>Transmitância de infravermelho à incidência normal</b>	0,75	0,56	0,29	0,08
<b>Emissividade hemisférica de infravermelho: interior</b>	0,84	0,84	0,84	0,84
<b>Emissividade hemisférica de infravermelho: exterior</b>	0,84	0,84	0,84	0,84
<b>Condutividade Térmica (W/m.K)</b>	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Santos (2002)

### 3.2.3 Percentual de Abertura da Fachada - PAF

O Código de Edificações de Santa Maria prevê que as aberturas tenham como dimensão mínima um percentual de área do piso da peça a qual ela serve, conforme o uso a que se destina. Neste caso, como o uso será de sala para escritório, com permanência prolongada, o enquadramento deve ser como dependência principal, com uma abertura de 1/6 da área do piso. Como este estudo relaciona percentual de área de fachada, a definição que satisfaz o Código de Edificações é de 31,34%.

Estabeleceu-se para fechamentos transparentes três percentuais diferentes de abertura de fachada, visando a análise do consumo de energia. Foram simulados casos com PAFs da sala comercial, voltada para todas as orientações solares, conforme Tabela 3.

Desta forma, os percentuais adotados seguiu a seguinte determinação:

- Um valor que ficasse até 60% abaixo da abertura definida pelo Código de Edificações: 20%;
- Um valor que ficasse até 60% acima da abertura definida pelo Código de Edificações: 50% e
- Um percentual de abertura de fachada simulando um grande painel de vidro: 80%.

Tabela 3 – Dimensões das aberturas simuladas na sala 02

PAF (%)	Largura (m)	Altura(m)	Área (m <sup>2</sup> )
20	3,51	1,00	3,51
50	5,16	1,70	8,77
80	5,20	2,70	14,04

Pode-se observar na Figura 14, o organograma de todas as opções de variações nos parâmetros utilizadas na simulação computacional, que resultaram na realização de 96 simulações, possibilitando a avaliação da importância de cada parâmetro e da combinação dos mesmos no consumo de energia da sala comercial definida.

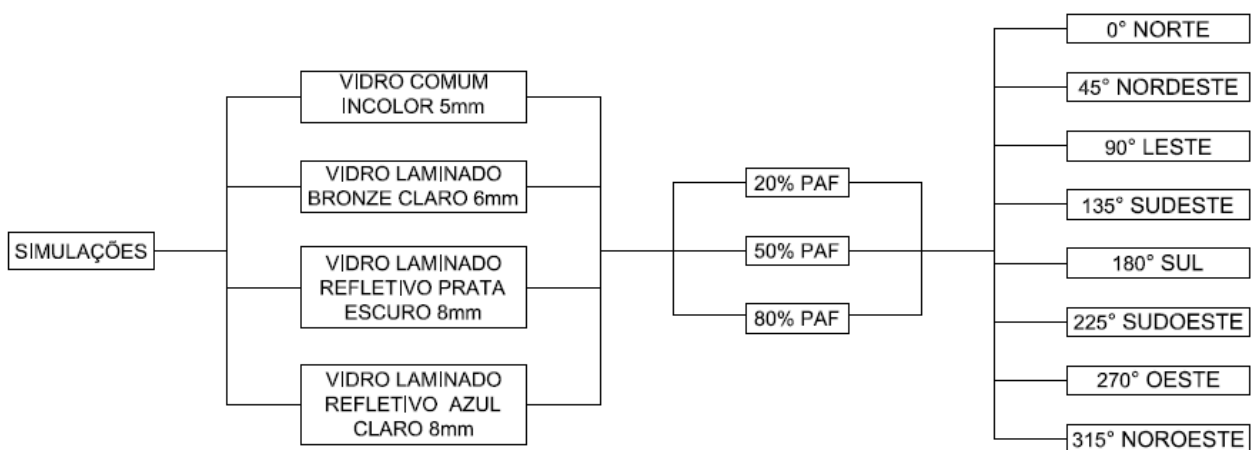


Figura 14 – Diagrama das combinações das variáveis utilizadas

### 3.3 Detalhamento da Simulação Computacional

Para a avaliação da influência dos fechamentos transparentes no consumo de energia, foram realizadas simulações na sala 02, do pavimento intermediário da edificação comercial típica. As simulações foram realizadas no programa *Design Builder*, versão 2.0.4.001, onde, através da implementação de dados como geometria, materiais, perfil de ocupação do edifício e dados climáticos da cidade, é possível avaliar o consumo mensal e anual dos sistemas de climatização necessários para refrigeração, aquecimento e o consumo total. O perfil de ocupação do edifício é definida através das agendas (*schedules*), que permitem controlar algumas situações da simulação ao longo do tempo.

Para a realização das simulações, foi necessário definir alguns padrões de comportamento do edifício e dos ocupantes (*schedules*), apresentados a seguir.

#### 3.3.1 Padrão de Ocupação

A Figura 15 apresenta os horários de ocupação do edifício comercial, simulado para os dias da semana entre segunda e sexta, contendo uma ocupação mais intensa no período das 9h às 12h e das 14h às 18h. Durante o sábado, o expediente é apenas matutino, com ocupação intensa de 0,14 pessoas/m<sup>2</sup> no período das 9h às 12h, conforme se verifica na Figura 16. Os demais períodos possuem uma ocupação reduzida pela metade, devido ao horário de almoço e aos horários que comumente não há expediente. No domingo, o edifício é considerado sem ocupação.

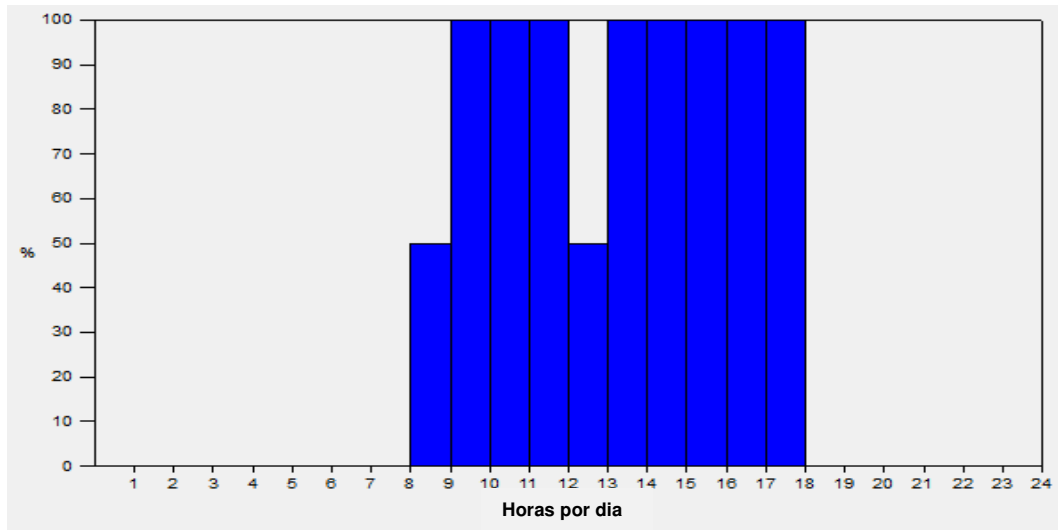


Figura 15 – *Schedule* padrão de ocupação - dias da semana  
 Fonte: Programa *Design Builder*

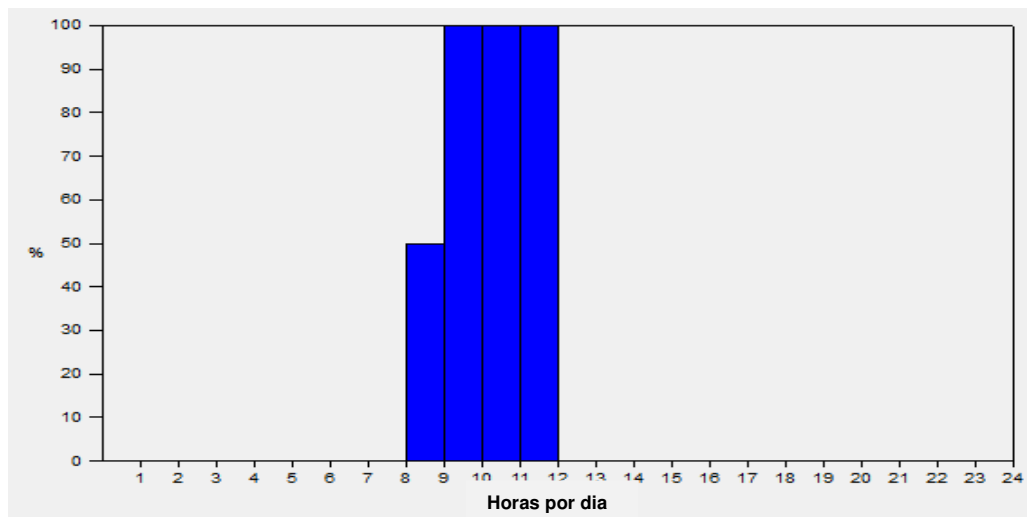


Figura 16 – *Schedule* padrão de ocupação - sábado  
 Fonte: Programa *Design Builder*

### 3.3.2 Padrão de Iluminação

A agenda da sala para fins de iluminação corresponde ao mesmo adotado para os funcionários, das 8h às 18h, mas com uso mais intenso das 9h às 12h e das 14h às 18h, conforme as Figuras 17 e 18. Para iluminar a sala de trabalho com o uso típico de escritório, foi utilizada uma iluminância geral de 500 lux, conforme NBR 5413 (ABNT, 0000), o tipo de luminária utilizada foi de sobrepor, com 3 lâmpadas

fluorescentes T5 (16mm de diâmetro) e reator com energia de iluminação de 3,30 W/m<sup>2</sup>-100 lux.

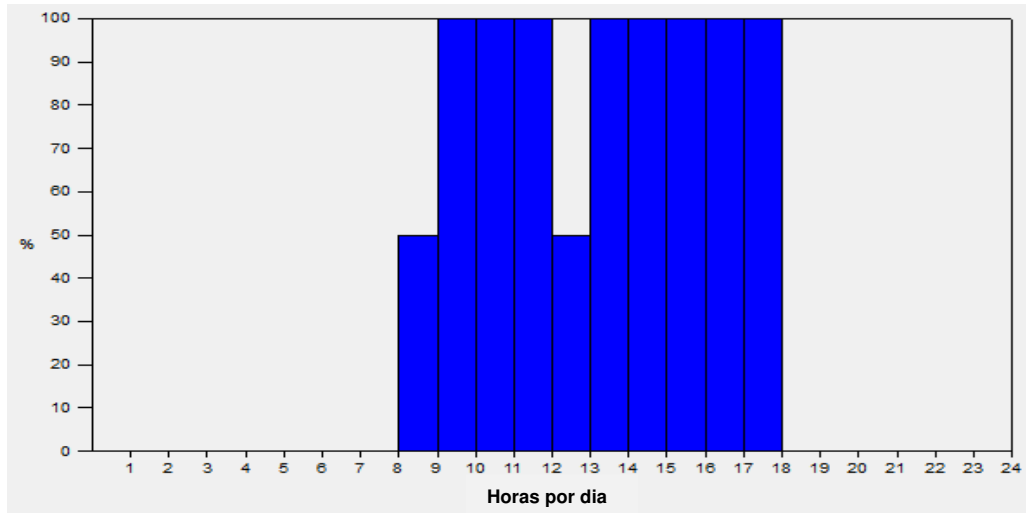


Figura 17 – *Schedule* padrão de iluminação - dias da semana  
Fonte: Programa *Design Builder*

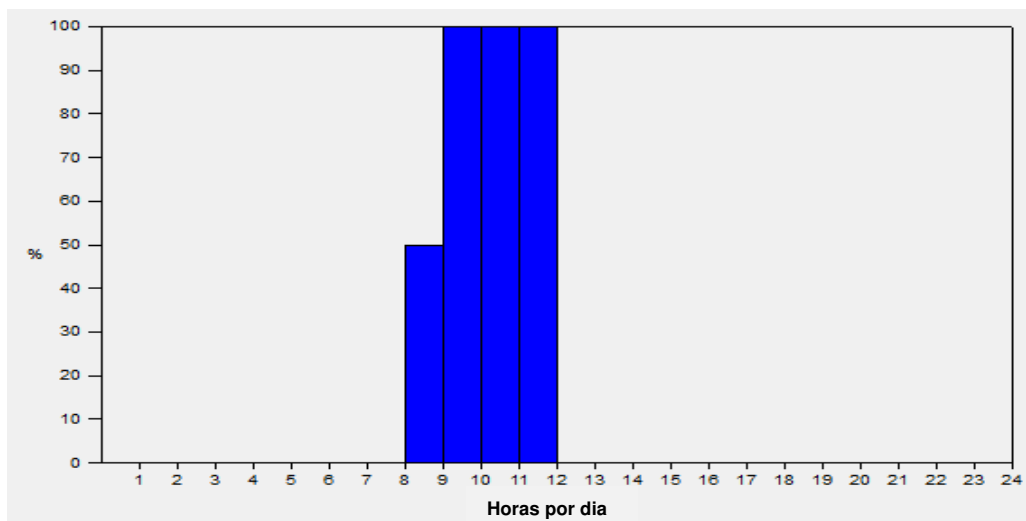


Figura 18 – *Schedule* padrão de iluminação - sábado  
Fonte: Programa *Design Builder*

### 3.3.3 Padrão de Equipamentos

No padrão de equipamentos, está incluído o uso dos computadores, que utiliza a mesma agenda dos padrões anteriores, e o uso de outros equipamentos



que são usados com menos frequência, como impressoras, copiadoras e fax. Verifica-se o padrão desse uso nas Figuras 19 e 20. Foi utilizado um valor de ganho térmico de 5 W/m<sup>2</sup>, tanto para os computadores quanto para os outros equipamentos.

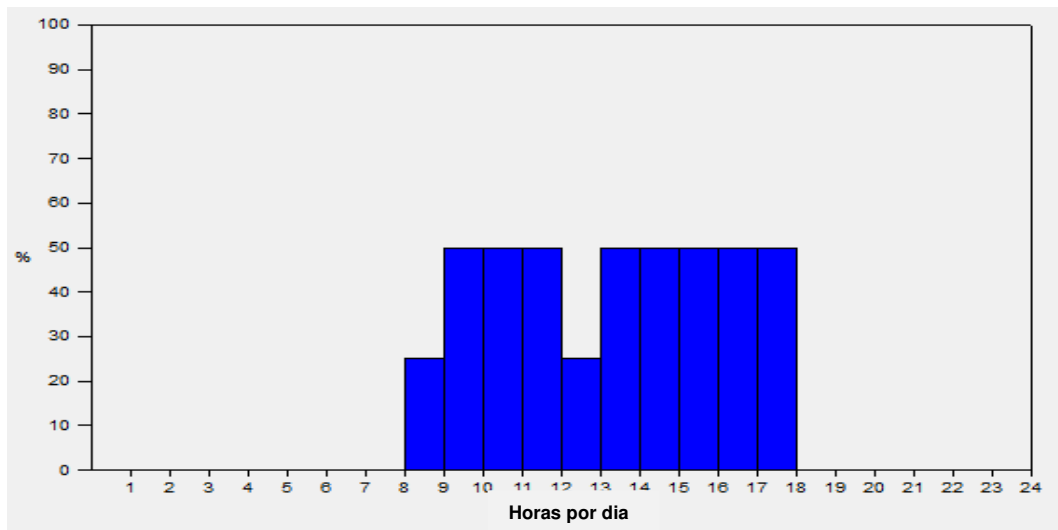


Figura 19 – *Schedule* padrão de outros equipamentos - dias da semana  
Fonte: Programa *Design Builder*

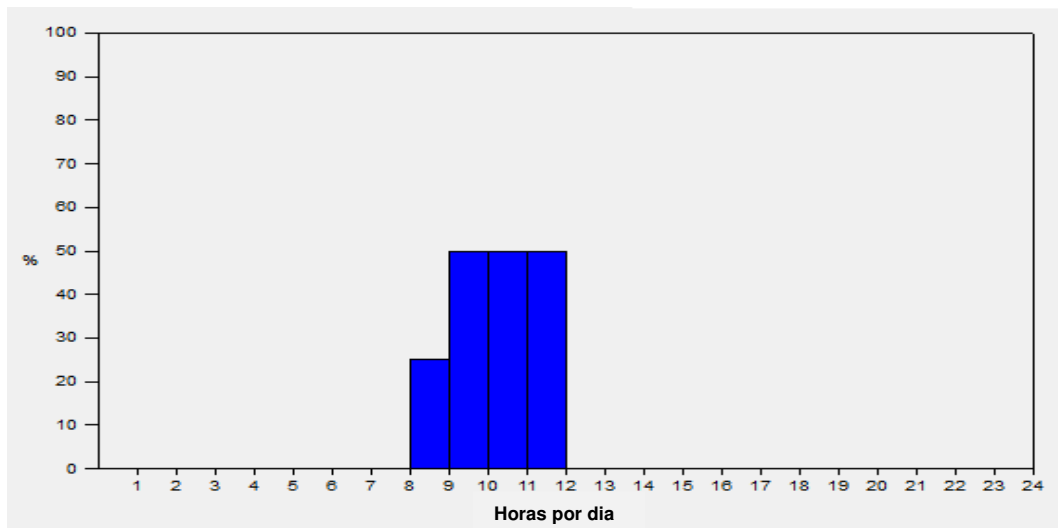


Figura 20 – *Schedule* padrão de outros equipamentos - sábado  
Fonte: Programa *Design Builder*

### 3.3.4 Padrão de Uso do Sistema de Ar-Condicionado

O sistema de ar-condicionado é formado por um aparelho tipo *split* em cada escritório, com valor do COP (*coefficient of performance*) de resfriamento e aquecimento de 3,20 – Selo Procel de Economia de Energia A, operando durante o horário médio de uso da edificação (8h às 18h), para manter a temperatura interna a 24°C. Para as temperaturas dos períodos frios, o sistema será acionado com temperaturas inferiores a 18°C, e para as temperaturas dos períodos quentes o sistema será acionado caso ocorram temperaturas acima de 28°C.

### 3.3.5 Arquivo Climático

Utilizou-se o arquivo climático de Santa Maria - RS com dados de localização conforme a Tabela 4, que contém dados horários desenvolvidos por *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), obtidos em um projeto juntamente com o INPE e LABSOLAR/UFSC, financiado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, que disponibilizou arquivos climáticos TMY para 20 cidades brasileiras.

Para a edificação simulada, foram inseridos no programa *Design Builder* os dados climáticos apresentados na Tabela 5.

Tabela 4 – Dados de localização geográfica para Santa Maria

<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Zona Horária</b>	<b>Altitude</b>
-29,70	-53.70	-3 (GMT)	114 m

Tabela 5 – Dados climáticos (valores médios mensais) da cidade de Santa Maria considerados na simulação computacional

<b>Mês</b>	<b>Temperatura de Bulbo Seco</b>	<b>Temperatura de Bulbo Úmido</b>	<b>Radiação Solar Direta</b>	<b>Radiação Solar Difusa Horizontal</b>	<b>Velocidade do Vento</b>	<b>Direção do Vento</b>	<b>Pressão Atmosférica</b>
	°C	°C	kWh	kWh	m/s	°	Pa
Jan	24,83	18,51	170,97	84,86	2,40	165,03	99668,01
Fev	23,88	19,95	119,25	75,43	2,04	130,10	99881,10
Mar	22,40	18,59	127,46	69,21	1,98	142,78	99856,72
Abr	20,22	15,23	103,11	51,64	2,08	140,21	100203,80
Mai	15,30	11,74	94,68	42,24	2,27	154,40	100156,20
Jun	15,29	11,06	79,81	35,04	2,20	166,32	100353,60
Jul	15,05	10,31	84,13	40,07	2,43	172,43	100320,70
Ago	17,21	11,68	100,88	47,86	2,48	159,34	100228,90
Set	16,28	11,91	95,12	60,73	3,04	154,32	100343,50
Out	19,17	14,65	128,47	72,68	2,73	127,74	99950,27
Nov	21,32	15,64	142,75	77,17	3,60	137,04	99836,39
Dez	23,88	17,97	155,55	86,14	2,11	159,10	99591,80

Fonte: Programa *Design Builder*



## 4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados de saída das simulações computacionais em função das diferentes orientações solares, percentual de abertura da fachada e diferentes tipos de vidros usados para a sala 02, do pavimento intermediário da edificação típica de escritórios em Santa Maria.

Todos os resultados oriundos do programa *Design Builder* estão sob forma de planilha em extensão CSV, formato este que pode ser lido pela maioria dos editores eletrônicos de planilhas. Também é possível obter-se os resultados em gráficos desenhados pelo próprio programa.

No programa *Design Builder* são quantificados os diferentes ganhos e perdas de energia, e também a quantidade de energia necessária para climatização do ambiente. Na Tabela 6, verifica-se um exemplo de tabelas de resultados, para o vidro comum incolor, com 20% PAF e orientação solar 0° Norte.

Dos resultados obtidos, foram escolhidos para a análise da influência dos diferentes parâmetros os valores de consumo de energia para aquecimento e para resfriamento, em destaque na Tabela 6.

Para melhor entendimento, dos dados extraídos do programa, os valores listados nas tabelas foram separados como consumo de energia para aquecimento, para resfriamento, e a soma de ambos foi definida como consumo de energia total.

Os resultados do consumo de energia mensal para cada tipo de vidro, obtidos através das simulações, para maior facilidade de observação e discussão, são apresentados em gráficos, relacionando o consumo de energia, a orientação solar e os meses do ano.

Tabela 6 – Dados de saída do programa *Design Builder*

<b>Mês</b>	<b>Vidro</b>	<b>Parede</b>	<b>Teto (int)</b>	<b>Piso (int)</b>	<b>Partição (int)</b>
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	-406,038	-2770,27	-106,502	-105,675	-425,648
Fevereiro	-377,335	-2525,63	15,13274	14,79847	-345,225
Março	-447,326	-2948,88	60,71115	59,63214	-544,167
Abril	-387,612	-2598,8	-11,6949	-10,2532	-781,33
Maio	-482,539	-3155,42	157,4339	157,2053	-821,898
Junho	-356,377	-2432,94	-15,6887	-17,6883	-935,436
Julho	-454,03	-2862,45	61,42899	61,84566	-867,273
Agosto	-379,43	-2566,75	-87,4064	-85,8175	-992,709
Setembro	-449,027	-2806,44	-12,1346	-13,79	-757,72
Outubro	-424,257	-2778,72	-111,003	-110,321	-707,735
Novembro	-440,816	-2793,41	-34,2222	-33,8265	-460,966
Dezembro	-444,542	-2929,79	5,724052	7,058769	-289,206
<b>Mês</b>	<b>Ventilação Natural Interna</b>	<b>Resfriamento Sensível</b>	<b>Infiltração Externa</b>	<b>Umidade Relativa</b>	<b>Zona de Aquecimento</b>
	kWh	kWh	kWh	%	kWh
Janeiro	-3,1E-05	-311,101	-0,00183	96,46074	0
Fevereiro	-8,3E-05	-282,445	-0,00175	96,74871	0
Março	-0,00067	-293,518	-0,00245	96,48234	0
Abril	-0,00108	-233,419	-0,00203	96,63081	0,818989
Maio	-0,00171	-118,807	-0,00368	97,37919	3,406998
Junho	-0,00139	-81,717	-0,00282	97,70284	17,62145
Julho	-0,00138	-97,5133	-0,00316	97,80263	11,07204
Agosto	-0,00131	-144,158	-0,00271	96,40707	4,089619
Setembro	-0,001	-90,1659	-0,00315	97,48636	6,284781
Outubro	-0,00054	-147,892	-0,0026	97,19955	0,512732
Novembro	-0,00029	-177,99	-0,00244	96,72928	0
Dezembro	-0,00022	-285,298	-0,00187	96,51543	0
<b>Mês</b>	<b>Iluminação Geral</b>	<b>Computadores + Equipamentos</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Aquecimento (Eletricidade)</b>	<b>Resfriamento (Eletricidade)</b>
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	37,9857	75,97141	593,4254	0	150,5781
Fevereiro	33,34491	66,68983	553,3687	0	135,4887
Março	35,49343	70,98685	704,5544	0	140,8517
Abril	36,43877	72,87754	1012,305	1,719877	116,4557
Maio	37,9857	75,97141	1380,958	7,154696	67,61388
Junho	33,9465	67,893	1334,601	37,00504	46,75432
Julho	37,9857	75,97141	1465,154	23,25129	56,06378
Agosto	37,04036	74,08071	1295,281	8,5882	76,98563
Setembro	34,89184	69,78368	1251,057	13,19804	54,09419
Outubro	37,9857	75,97141	1145,033	1,076737	80,59535
Novembro	35,49343	70,98685	867,6082	0	91,35765
Dezembro	36,43877	72,87754	594,3022	0	138,8

A Figura 21 apresenta um exemplo de gráficos de resultados de gastos de energia, considerando os dados da Tabela 6.

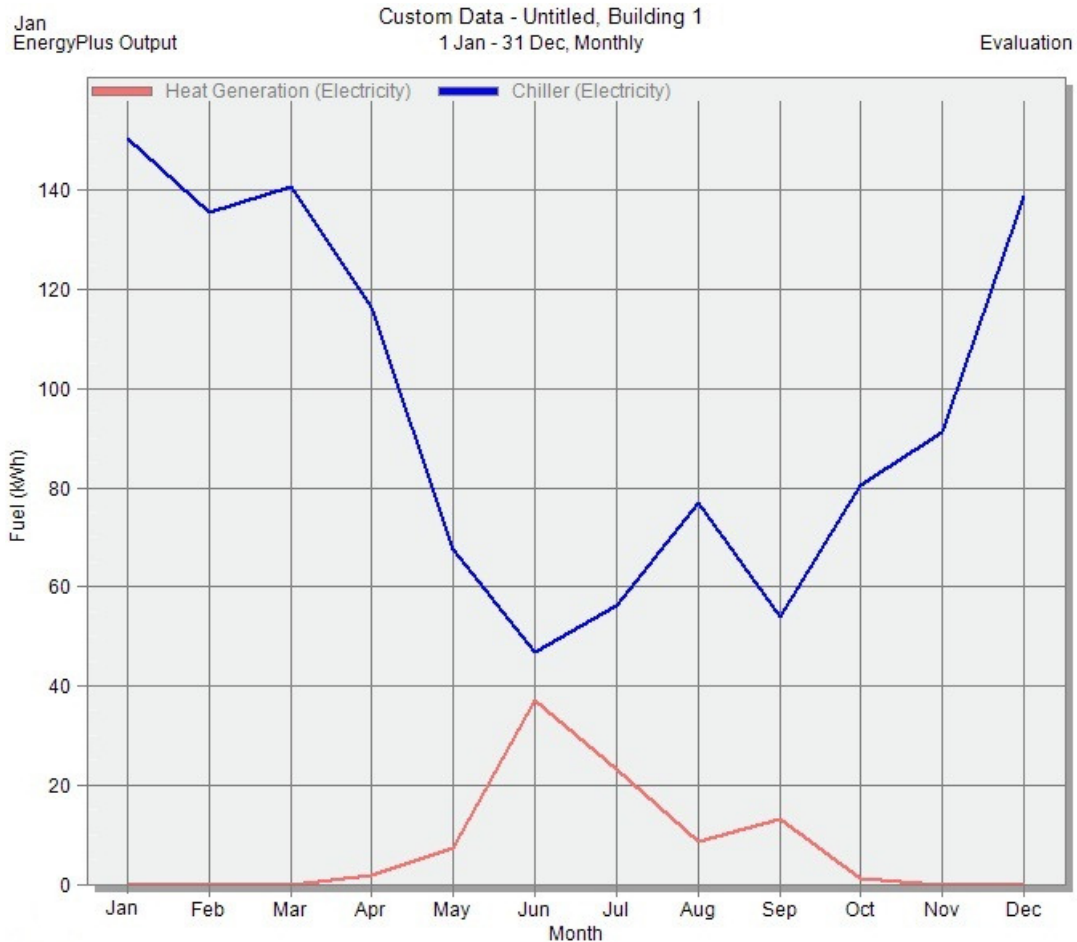


Figura 21 – Gráfico de saída do programa *Design Builder*, com os valores de consumo de aquecimento e resfriamento para o vidro Comum Incolor, percentual de abertura da fachada de 20% e orientação solar 0° Norte.

Fonte: Programa *Design Builder*

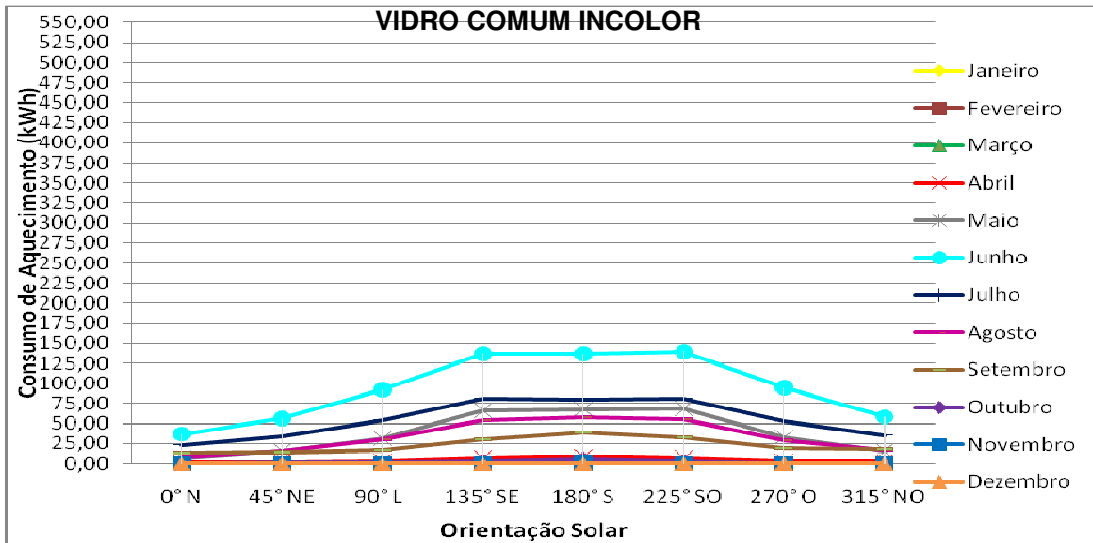
#### 4.1 Vidro Comum Incolor

As tabelas 7 a 9 apresentam os resultados das simulações para o vidro Comum Incolor, com Fator Solar de 85%, considerando-se os diferentes Percentuais de Abertura da Fachada: 20%, 50% e 80%. São apresentados os valores dos consumos de energia para aquecimento, para resfriamento e consumo total. As Figuras 22, 23 e 24 representam graficamente esses consumos de energia.

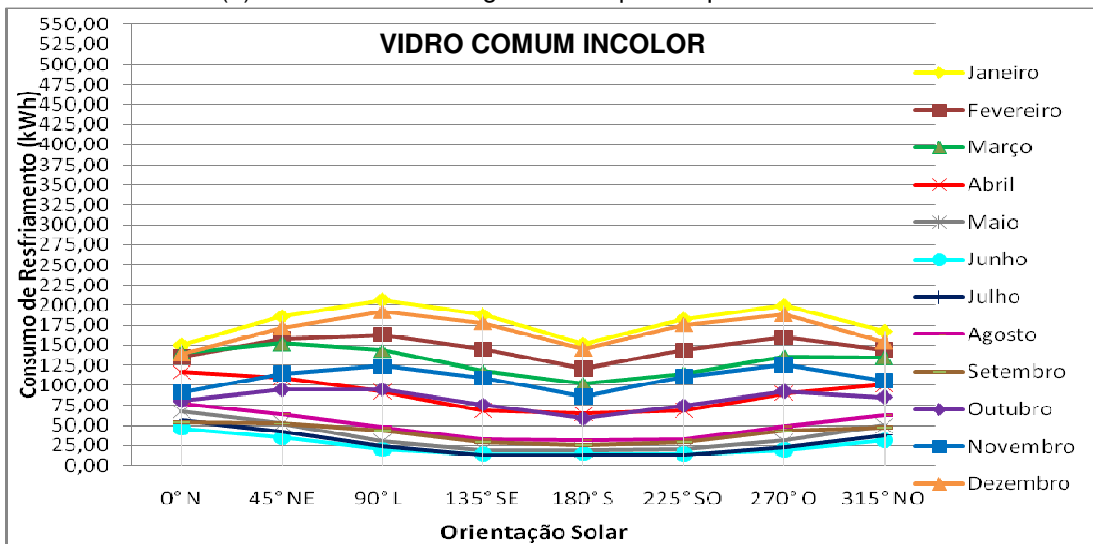
Tabela 7 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85

		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	1,72	2,26	3,12	6,56	8,65	6,97	2,76	2,42
	Maiο	7,15	15,41	31,60	66,01	67,86	68,30	33,20	15,09
	Junho	37,01	55,91	92,11	136,99	136,56	139,23	94,40	58,33
	Julho	23,25	33,97	54,17	80,99	80,12	81,17	52,79	35,60
	Agosto	8,59	15,80	30,42	53,61	57,57	54,89	29,41	16,99
	Setembro	13,20	13,72	17,17	30,50	38,78	32,35	19,62	18,12
	Outubro	1,08	1,26	1,71	3,44	5,80	2,76	0,38	0,55
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>92,00</b>	<b>138,33</b>	<b>230,30</b>	<b>378,10</b>	<b>395,58</b>	<b>385,67</b>	<b>232,56</b>	<b>147,10</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	150,58	186,20	206,42	188,22	151,59	182,91	199,26	167,38
	Fevereiro	135,49	158,27	163,28	144,79	120,90	143,56	159,80	143,95
	Março	140,85	152,15	143,78	117,69	101,63	114,59	135,75	134,41
	Abril	116,46	109,24	92,42	68,89	64,29	68,89	90,19	100,79
	Maiο	67,61	52,51	30,41	19,58	19,38	19,74	30,93	49,48
	Junho	46,75	34,74	19,86	14,15	14,62	14,38	19,16	31,65
	Julho	56,06	42,27	24,49	13,47	13,50	13,18	22,95	37,82
	Agosto	76,99	63,45	48,14	32,93	31,73	32,98	49,05	61,97
	Setembro	54,09	51,93	43,37	28,97	25,06	29,04	43,29	47,74
	Outubro	80,60	94,32	94,53	75,81	58,44	74,41	92,27	85,30
	Novembro	91,36	114,31	123,79	108,87	85,97	110,50	125,55	105,89
	Dezembro	138,80	171,86	192,48	178,11	144,98	175,64	188,45	154,55
	<b>ANUAL</b>	<b>1155,64</b>	<b>1231,25</b>	<b>1182,97</b>	<b>991,48</b>	<b>832,09</b>	<b>979,82</b>	<b>1156,65</b>	<b>1120,93</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	150,58	186,20	206,42	188,22	151,59	182,91	199,26	167,38
	Fevereiro	135,49	158,27	163,28	144,79	120,90	143,56	159,80	143,95
	Março	140,85	152,15	143,78	117,69	101,63	114,59	135,75	134,41
	Abril	118,18	111,50	95,55	75,45	72,94	75,87	92,95	103,21
	Maiο	74,77	67,92	62,01	85,59	87,24	88,03	64,13	64,57
	Junho	83,76	90,65	111,98	151,15	151,18	153,61	113,56	89,97
	Julho	79,32	76,24	78,65	94,46	93,62	94,34	75,74	73,42
	Agosto	85,57	79,25	78,56	86,54	89,30	87,87	78,46	78,95
	Setembro	67,29	65,65	60,55	59,46	63,84	61,39	62,91	65,86
	Outubro	81,67	95,58	96,24	79,25	64,24	77,17	92,65	85,85
	Novembro	91,36	114,31	123,79	108,87	86,21	110,50	125,55	105,89
	Dezembro	138,80	171,86	192,48	178,11	144,98	175,64	188,45	154,55
	<b>ANUAL</b>	<b>1247,64</b>	<b>1369,58</b>	<b>1413,29</b>	<b>1369,58</b>	<b>1227,67</b>	<b>1365,48</b>	<b>1389,21</b>	<b>1268,01</b>

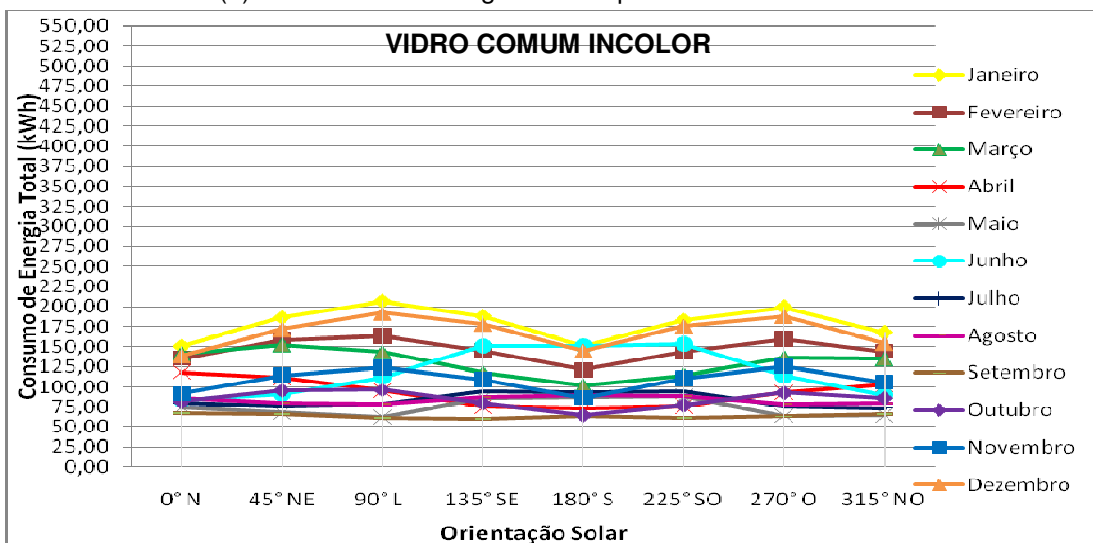




(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 22 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR

As seguintes considerações podem ser feitas em relação aos resultados de consumo de energia com o uso do vidro Comum Incolor e 20% de percentual de abertura da fachada:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, o consumo de energia para aquecimento não existe e, no mês de novembro, com exceção da orientação 180° (Sul), as demais orientações não tiveram consumo.
- Em abril, agosto, setembro e outubro observou-se que a fachada com orientação 180° (Sul) tem maior consumo de energia, e que nos meses de maio, junho e julho a fachada com maior consumo de aquecimento é a com orientação 225° (Sudoeste).
- O maior consumo para aquecimento ocorreu na orientação Sudoeste no mês de junho (139,23 kWh).
- Percebeu-se que a orientação 0° (Norte) apresenta o menor consumo de energia para aquecimento nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, enquanto que no mês de outubro o menor consumo ocorreu na orientação 270° (Oeste).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e dezembro, o Consumo de Energia para Resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste); durante o mês de março o maior consumo para resfriamento acontece na orientação 45° (Nordeste). Os meses de abril a setembro apresentam maior consumo de energia para o resfriamento, na orientação 0° (Norte), e no mês de novembro o mesmo ocorre na orientação 270° (Oeste).
- O maior consumo para resfriamento foi encontrado para a orientação Leste no mês de janeiro (206,42 kWh).
- Para os meses de dezembro e janeiro o menor consumo é a fachada com orientação 0° (Norte), e entre os meses de fevereiro, março, abril, maio,

agosto, setembro, outubro e novembro, a orientação de menor consumo é a 180° (Sul).

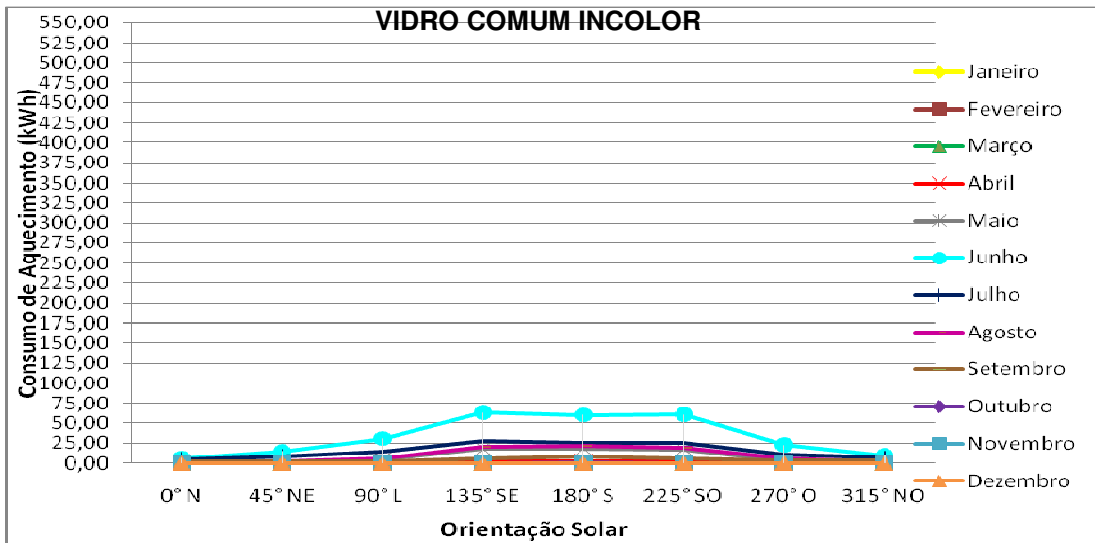
- No mês de junho a posição solar com menor consumo de energia para resfriamento é a 135° (Sudeste), no mês de julho o menor consumo é na orientação 225° (Sudoeste), sendo este o menor consumo de resfriamento geral, com valor de 13,18 kWh.

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

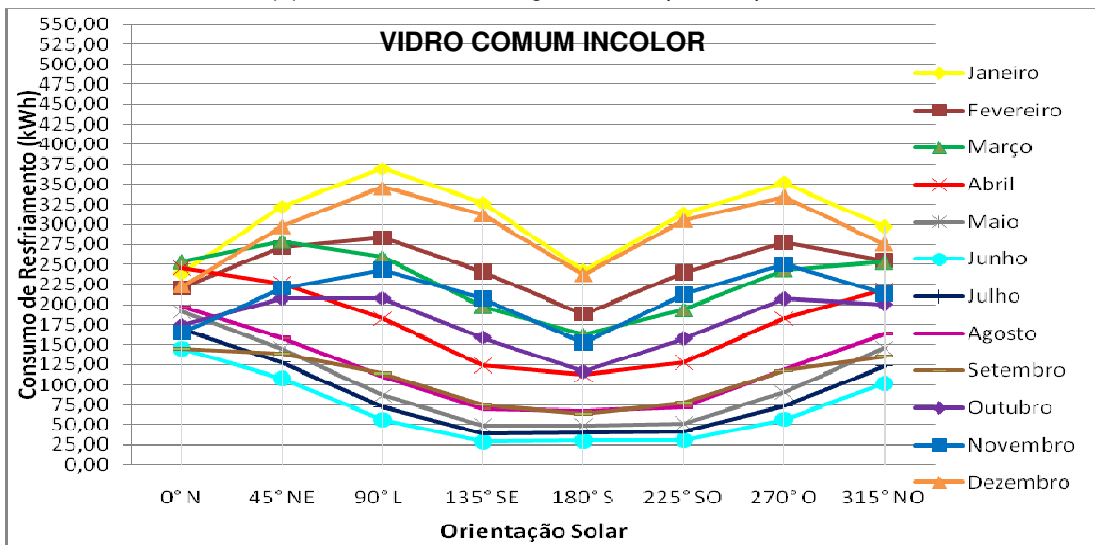
- Durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, como não existem consumo de aquecimento o consumo de energia total é igual ao consumo de resfriamento.
- No mês de outubro, o maior consumo total é observado na posição solar 90° (Leste), em maio e junho o maior consumo total ocorreu na orientação 225° (Sudoeste).
- Em julho, o consumo total mais alto ocorreu na posição 135° (Sudeste), no mês de agosto foi na posição 180° (Sul); em setembro isto ocorreu na orientação 0° (Norte) e no mês de novembro na posição 270° (Oeste).
- O maior consumo total ocorreu para o mês de janeiro na orientação Leste, devido à necessidade de resfriamento (206,42 kWh).
- Nos meses de janeiro, junho e dezembro a orientação solar com menor consumo de energia total foi a 0° (Norte), em fevereiro, março, abril, outubro e novembro houve menor consumo total na orientação 180° (Sul). No mês de maio, o menor consumo ocorreu na posição 90° (Leste), em julho na posição 315° (Noroeste), em agosto na posição 270° (Oeste) e em setembro na posição 135° (Sudeste).
- O menor valor de consumo total foi encontrado na orientação Sudeste, no mês de setembro (59,46 kWh).

Tabela 8 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85

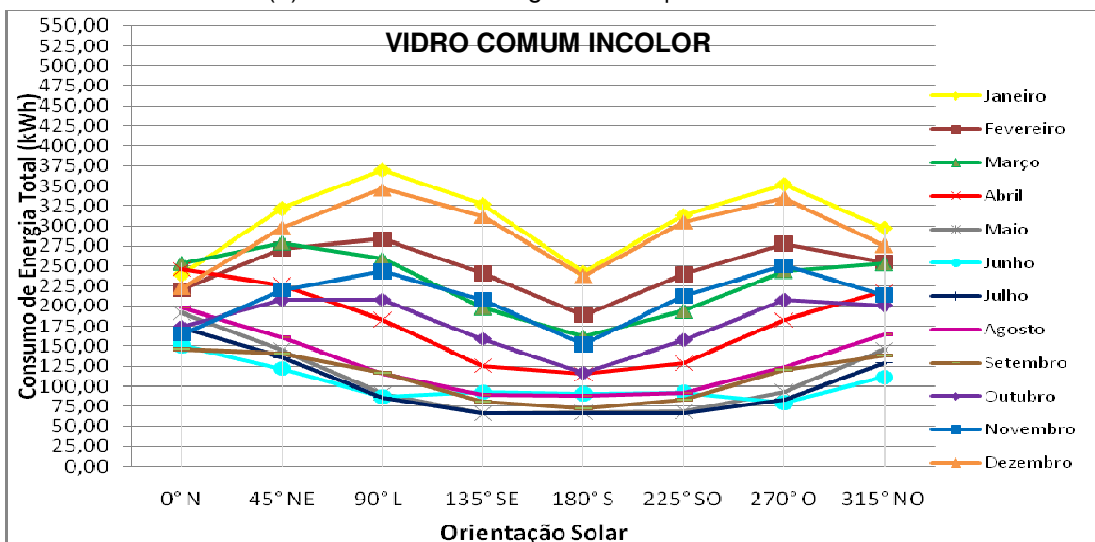
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	0,00	0,15	0,23	1,34	2,34	1,42	0,00	0,00
	Maiο	0,00	0,19	4,85	17,84	18,08	17,09	3,13	0,00
	Junho	6,23	14,26	30,66	63,49	60,37	60,96	22,81	9,59
	Julho	4,10	8,18	14,26	27,26	25,52	25,18	10,72	6,25
	Agosto	0,33	2,15	5,49	19,88	21,52	19,35	5,32	1,36
	Setembro	1,75	1,62	1,97	5,18	8,49	5,85	2,77	2,57
	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>12,41</b>	<b>26,55</b>	<b>57,46</b>	<b>134,99</b>	<b>136,58</b>	<b>129,85</b>	<b>44,75</b>	<b>19,77</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	239,58	321,82	369,68	327,01	242,04	313,86	352,31	297,35
	Fevereiro	220,77	271,21	283,44	240,58	188,39	239,79	278,18	254,87
	Março	253,32	279,24	259,67	197,82	161,48	193,66	243,62	252,73
	Abril	245,89	226,36	182,56	124,22	112,42	127,21	182,39	218,19
	Maiο	191,71	144,86	86,36	48,46	48,83	51,12	90,09	145,48
	Junho	144,94	107,52	56,39	29,22	30,16	30,75	56,52	101,59
	Julho	169,39	127,77	71,71	39,06	39,93	40,92	72,77	123,10
	Agosto	197,22	158,89	109,93	69,30	66,91	72,14	118,93	163,38
	Setembro	144,69	139,07	114,45	75,18	63,50	77,22	117,13	135,56
	Outubro	173,79	207,63	207,71	158,97	116,31	157,69	207,30	200,77
	Novembro	164,96	220,42	243,50	207,97	152,52	212,40	250,17	213,61
	Dezembro	222,85	297,61	346,33	312,48	237,14	305,22	334,91	275,87
	<b>ANUAL</b>	<b>2369,11</b>	<b>2502,40</b>	<b>2331,73</b>	<b>1830,27</b>	<b>1459,63</b>	<b>1821,98</b>	<b>2304,32</b>	<b>2382,50</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	239,58	321,82	369,68	327,01	242,04	313,86	352,31	297,35
	Fevereiro	220,77	271,21	283,44	240,58	188,39	239,79	278,18	254,87
	Março	253,32	279,24	259,67	197,82	161,48	193,66	243,62	252,73
	Abril	245,89	226,51	182,79	125,56	114,76	128,64	182,39	218,19
	Maiο	191,71	145,05	91,22	66,31	66,91	68,21	93,22	145,48
	Junho	151,17	121,78	87,04	92,72	90,53	91,71	79,33	111,18
	Julho	173,49	135,95	85,97	66,32	65,46	66,10	83,49	129,35
	Agosto	197,55	161,04	115,42	89,18	88,43	91,48	124,25	164,73
	Setembro	146,44	140,69	116,42	80,36	71,99	83,07	119,89	138,13
	Outubro	173,79	207,63	207,71	158,97	116,57	157,69	207,30	200,77
	Novembro	164,96	220,42	243,50	207,97	152,52	212,40	250,17	213,61
	Dezembro	222,85	297,61	346,33	312,48	237,14	305,22	334,91	275,87
	<b>ANUAL</b>	<b>2381,52</b>	<b>2528,95</b>	<b>2389,19</b>	<b>1965,28</b>	<b>1596,22</b>	<b>1951,83</b>	<b>2349,06</b>	<b>2402,26</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 23 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR

Com relação ao uso do vidro Comum Incolor com um percentual de abertura da fachada de 50%, observa-se:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Com o percentual de abertura da fachada de 50%, durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, o consumo de energia para aquecimento também não existe para nenhuma orientação de fachada, para outubro a única orientação solar que apresenta consumo é a 180° (Sul). Também são nulos os consumos no mês de abril para as orientações 0° (Norte), 270° (Oeste) e 315° (Noroeste), e, para maio, as orientações 0° (Norte) e 315° (Noroeste).
- Nos meses de abril, maio, agosto e setembro verifica-se que a fachada com orientação 180° (Sul) consome mais energia para aquecer, e que nos meses de junho e julho o maior consumo de aquecimento foi obtido na posição 135° (Sudeste).
- O maior consumo para aquecimento ocorre para a orientação Sudeste no mês de junho (63,49 kWh).
- Para os meses de junho, julho, agosto e setembro em que não ocorre nenhuma orientação com consumo nulo, o menor consumo para aquecimento ocorreu na orientação 0° (Norte).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- O consumo de energia para resfriamento segue praticamente os mesmos resultados do percentual de abertura da fachada de 20%.
- Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e dezembro, destaca-se a orientação 90° (Leste), como a de maior consumo energético. Em março, destaca-se a orientação 45° (Nordeste). Entre os meses de abril e setembro, o maior consumo de resfriamento ocorre na orientação 0° (Norte), e durante o mês de novembro observa-se maior consumo de resfriamento na posição solar 270° (Oeste)

- O maior consumo para resfriamento ocorreu no mês de janeiro para a orientação Leste (369,68 kWh).
- Para o menor consumo de energia de resfriamento, destaca-se, nos meses de dezembro e janeiro, a orientação 0° (Norte). Para os meses de fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro, isso ocorre na orientação 180° (Sul). Nos meses de maio, junho e julho a orientação 135° (Sudeste) é a de menor consumo de energia.

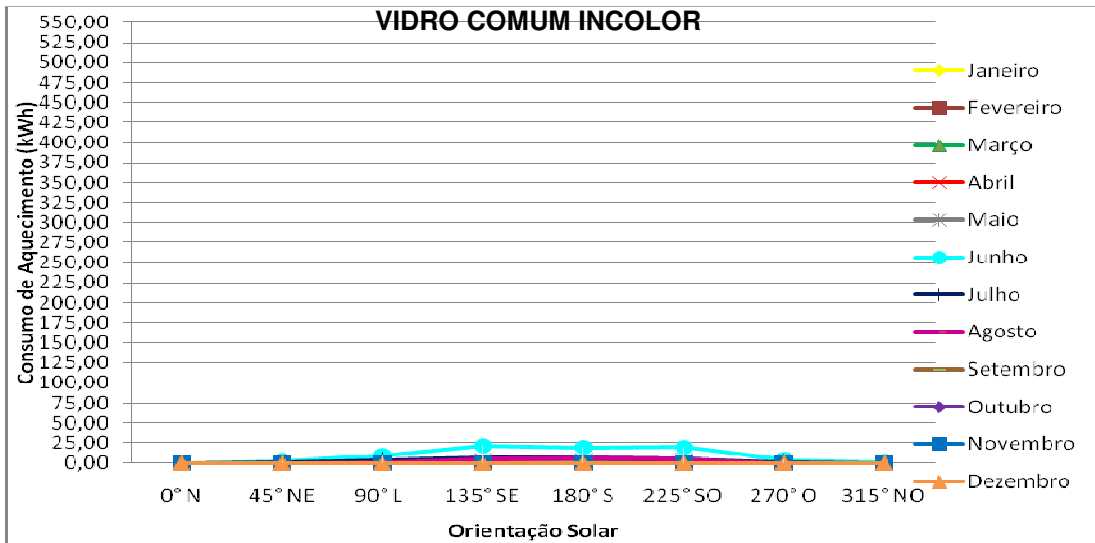
#### CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Assim como o percentual de abertura da fachada de 20%, durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, como não existe consumo de aquecimento, o consumo de energia total é igual ao consumo de resfriamento.
- Nos meses entre abril e setembro a orientação com maior consumo total é a 0° (Norte), enquanto em outubro é a orientação 90° (Leste).
- No mês de janeiro, com orientação Leste, ocorre o maior consumo total, devido unicamente ao resfriamento (369,68 kWh).
- Para o menor consumo de energia total destaca-se a orientação 180° (Sul) para os meses de abril, julho, agosto, setembro e outubro, enquanto o mês de Maio apresenta menor consumo na orientação 135° (Sudeste) e junho tem menor consumo nas orientações 270° (Oeste).
- O menor valor de consumo total está na orientação Sul, no mês de julho (65,46 kWh).

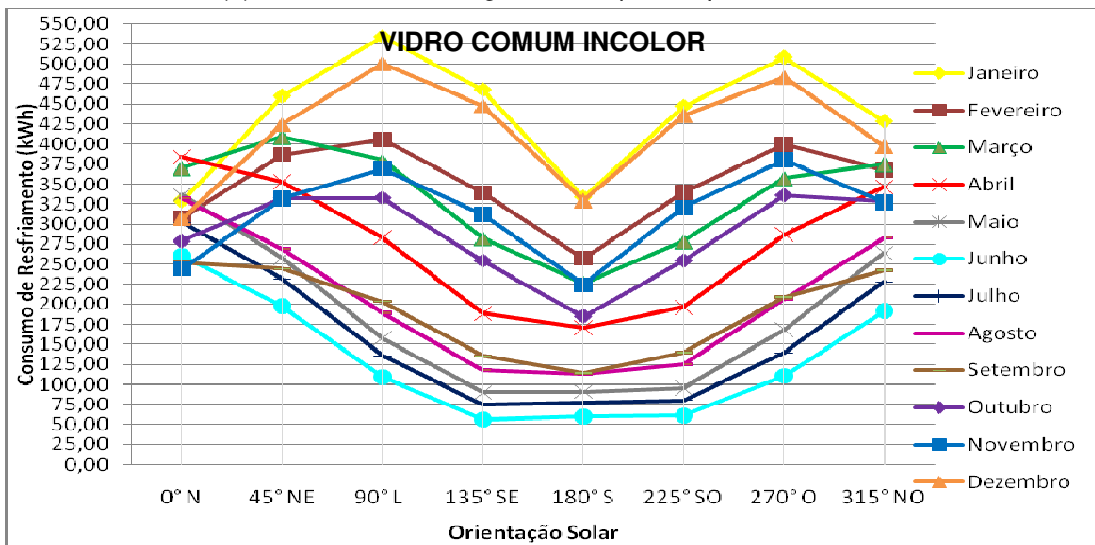
Tabela 9 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO COMUM INCOLOR – FS 0,85

		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mai	0,00	0,00	0,14	2,84	2,82	2,53	0,00	0,00
	Junho	0,07	2,80	8,99	21,31	19,05	19,10	3,62	0,80
	Julho	0,00	0,65	3,35	6,48	5,67	5,27	1,23	0,00
	Agosto	0,00	0,00	1,20	5,22	5,59	5,42	0,40	0,00
	Setembro	0,00	0,00	0,09	0,16	0,45	0,36	0,00	0,00
	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>0,07</b>	<b>3,45</b>	<b>13,77</b>	<b>36,01</b>	<b>33,58</b>	<b>32,68</b>	<b>5,25</b>	<b>0,80</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	328,77	459,41	533,72	467,08	333,19	447,01	507,88	427,79
	Fevereiro	307,64	386,83	405,54	339,06	257,52	339,39	400,13	367,54
	Março	370,03	409,24	379,56	282,59	226,44	278,72	357,44	375,15
	Abril	384,11	353,15	283,19	188,55	170,73	195,94	286,89	346,30
	Mai	336,55	257,87	157,50	90,20	91,11	95,87	168,10	263,89
	Junho	260,49	197,68	109,39	56,15	59,50	61,10	110,42	191,73
	Julho	302,15	231,78	135,79	74,52	77,31	79,69	139,74	228,22
	Agosto	332,55	269,02	188,95	117,40	112,86	124,57	206,72	282,74
	Setembro	252,21	244,00	203,29	135,62	114,11	140,22	208,89	241,95
	Outubro	278,49	332,49	332,32	254,02	184,71	254,04	335,60	328,82
	Novembro	243,85	331,89	369,56	312,27	224,29	320,44	379,94	327,10
	Dezembro	306,75	424,12	501,20	448,16	329,21	435,62	483,26	397,04
	<b>ANUAL</b>	<b>3703,59</b>	<b>3897,48</b>	<b>3600,01</b>	<b>2765,62</b>	<b>2180,98</b>	<b>2772,61</b>	<b>3585,01</b>	<b>3778,27</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	328,77	459,41	533,72	467,08	333,19	447,01	507,88	427,79
	Fevereiro	307,64	386,83	405,54	339,06	257,52	339,39	400,13	367,54
	Março	370,03	409,24	379,56	282,59	226,44	278,72	357,44	375,15
	Abril	384,11	353,15	283,19	188,55	170,73	195,94	286,89	346,30
	Mai	336,55	257,87	157,64	93,04	93,93	98,40	168,10	263,89
	Junho	260,56	200,48	118,38	77,46	78,55	80,20	114,04	192,53
	Julho	302,15	232,43	139,14	81,00	82,98	84,96	140,97	228,22
	Agosto	332,55	269,02	190,15	122,62	118,45	129,99	207,12	282,74
	Setembro	252,21	244,00	203,38	135,78	114,56	140,58	208,89	241,95
	Outubro	278,49	332,49	332,32	254,02	184,71	254,04	335,60	328,82
	Novembro	243,85	331,89	369,56	312,27	224,29	320,44	379,94	327,10
	Dezembro	306,75	424,12	501,20	448,16	329,21	435,62	483,26	397,04
	<b>ANUAL</b>	<b>3703,66</b>	<b>3900,93</b>	<b>3613,78</b>	<b>2801,63</b>	<b>2214,56</b>	<b>2805,29</b>	<b>3590,26</b>	<b>3779,07</b>

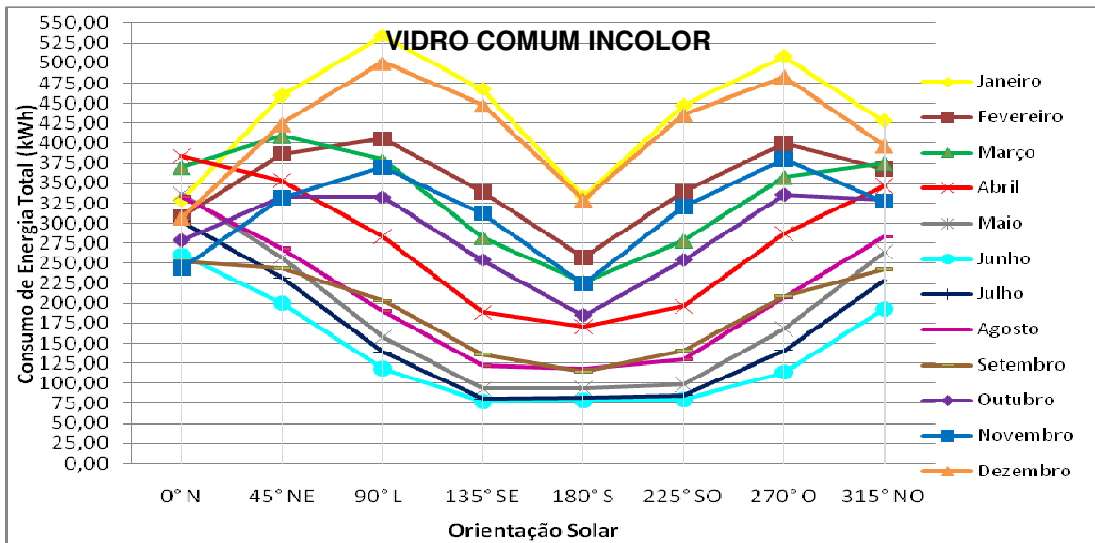




(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 24 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO COMUM INCOLOR

Com o uso do vidro Comum Incolor e um percentual de abertura da fachada de 80% são feitas as seguintes observações:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Para o PAF 80%, ocorreu grande quantidade de pontos com consumo de energia para aquecimento nulo nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, isto é, ocorreu consumo em apenas cinco meses do ano, dentre esses, nos meses de maio, junho e julho, a orientação de maior consumo de energia é a 135° (Sudeste) e, nos meses de agosto e setembro, é a orientação 180° (Sul).
- O maior consumo para aquecimento entre todos os meses ocorreu para a orientação Sudeste no mês de junho (21,31 kWh).
- O único mês que apresentou consumo para aquecimento em todas as orientações foi junho, em que o menor valor deu-se na orientação Norte, sendo quase nulo.

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro o consumo de energia para resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste); no mês de março, o maior consumo para resfriamento encontra-se na posição solar 45° (Nordeste).
- Entre os meses de abril a setembro observa-se o maior consumo para resfriamento na orientação 0° (Norte), e durante os meses de outubro e novembro o consumo mais elevado ocorre na orientação 270° (Oeste).
- Em dezembro e janeiro, o menor consumo de energia para resfriamento está localizado na posição solar 0° (Norte). Em fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro isto ocorreu na orientação de menor insolação, que é na posição 180° (Sul); e de maio a julho o menor consumo está na orientação 135° (Sudeste).
- O maior consumo para resfriamento foi encontrado para a orientação Leste, no mês de janeiro (533,72 kWh). O menor consumo foi para a orientação Sudeste, no mês de junho (56,15 kWh).

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Observa-se nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, que o consumo de energia total é maior na posição solar 90° (Leste), e no mês de março o maior consumo encontra-se na posição solar 45° (Nordeste).
- O consumo de energia total, nos meses de janeiro a abril e outubro, a dezembro é igual ao consumo para resfriamento, em todas as orientações, pois o consumo de aquecimento tem valor zero.
- De abril a setembro, o maior consumo total ocorre para a orientação 0° (Norte).
- Durante os meses de outubro e novembro, o consumo mais elevado ocorreu na orientação 270° (Oeste).
- O maior consumo total geral resultou no mês de janeiro para a orientação Leste (533,72 kWh).
- Em dezembro e janeiro, o menor consumo está localizado na posição solar 0° (Norte); em fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro na posição 180° (Sul); e de maio a julho na posição 135° (Sudeste).
- O menor valor de consumo de energia total geral foi na orientação Sudeste, no mês de junho (77,46 kWh).

### 4.1.1 Considerações gerais para o uso do vidro Comum Incolor

- Foi observado que, no resfriamento em geral, gasta-se mais energia do que no aquecimento.
- Durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março não há consumo de energia para aquecimento em nenhuma das orientações solares. Com a ampliação do PAF para 50%. Isto também ocorre em novembro e, com PAF ampliado para 80%, esta ocorrência se estende a outubro.

- O maior consumo de energia total para os três percentuais, em função do consumo de resfriamento ser dominante, acontece sempre na orientação Leste e no mês de janeiro.
- Nas orientações  $135^\circ$  (Sudeste),  $180^\circ$  (Sul) e  $225^\circ$  (Sudoeste), principalmente, o consumo de aquecimento nos meses de março a agosto ocasiona um salto no consumo total, comparado aos demais meses do ano, não sendo compensados pelos baixos valores no resfriamento.
- Com PAF 20%, ocorreram variações menos acentuadas de consumo energético com a variação da orientação solar. A orientação solar, nesse caso, tem uma importância menor no consumo de energia para este percentual de abertura da fachada.
- O consumo de energia para aquecimento decresce com o crescimento do percentual de abertura da fachada.
- O consumo de energia para resfriamento é sempre crescente, de acordo com o crescimento do percentual de abertura da fachada e, como há preponderância do resfriamento no consumo de energia total, acompanha o mesmo comportamento.
- Para este tipo de vidro, o percentual de abertura da fachada é um fator preponderante ao consumo de energia total, pois, quanto menor o PAF, menor é o consumo.
- No aquecimento, para todos os percentuais de abertura de fachada, apresenta-se como curva extrema o consumo do mês de junho.
- No resfriamento, para todos os percentuais de abertura de fachada, também como curva com valores extremos, apresenta-se o mês de janeiro.
- Exceto no percentual de 20%, como a predominância do consumo de resfriamento é muito acentuada, os gráficos do consumo de energia total mensal apresentam características estéticas semelhantes ao resfriamento.
- O PAF 20%, devido ao menor percentual de abertura de fachada, apresenta os resultados das curvas de consumo de energia total mensal com um intervalo de consumo com pequena variação entre os meses do ano.
- O comportamento do percentual de abertura da fachada de 50% apresenta características semelhantes ao PAF de 80%, porém com intervalos com

menor variação no consumo de energia total entre os diferentes meses do ano.

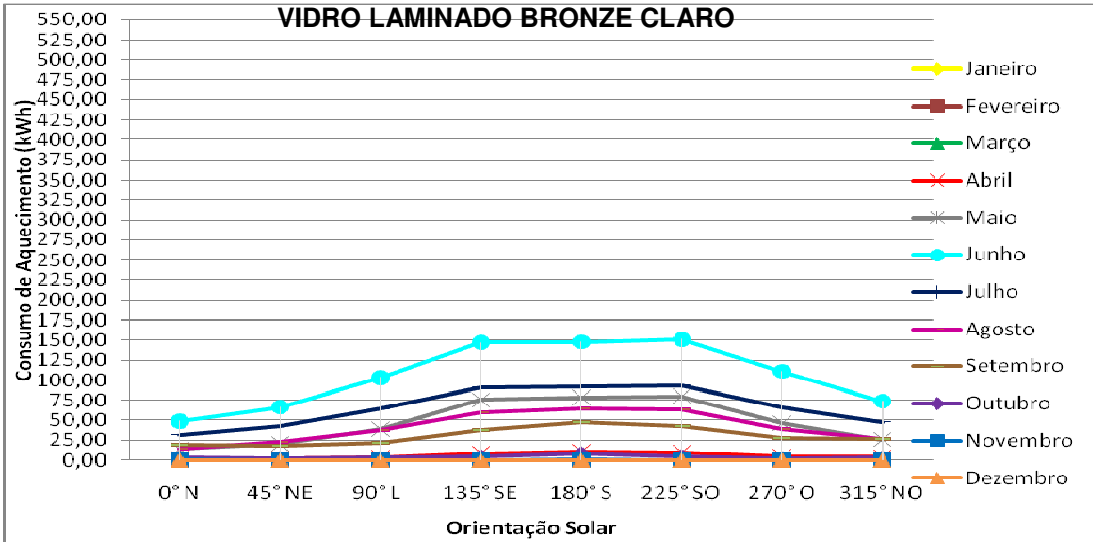
- O PAF 80%, devido ao maior percentual de abertura de fachada, apresenta condições com predominância do consumo de resfriamento, mantendo as características do gráfico para o resfriamento, contudo, elevando as curvas de consumo para os meses de maio, junho e julho, por interferência do consumo de energia de aquecimento, bastante reduzido para este percentual de abertura.

#### **4.2 Vidro Laminado Bronze Claro**

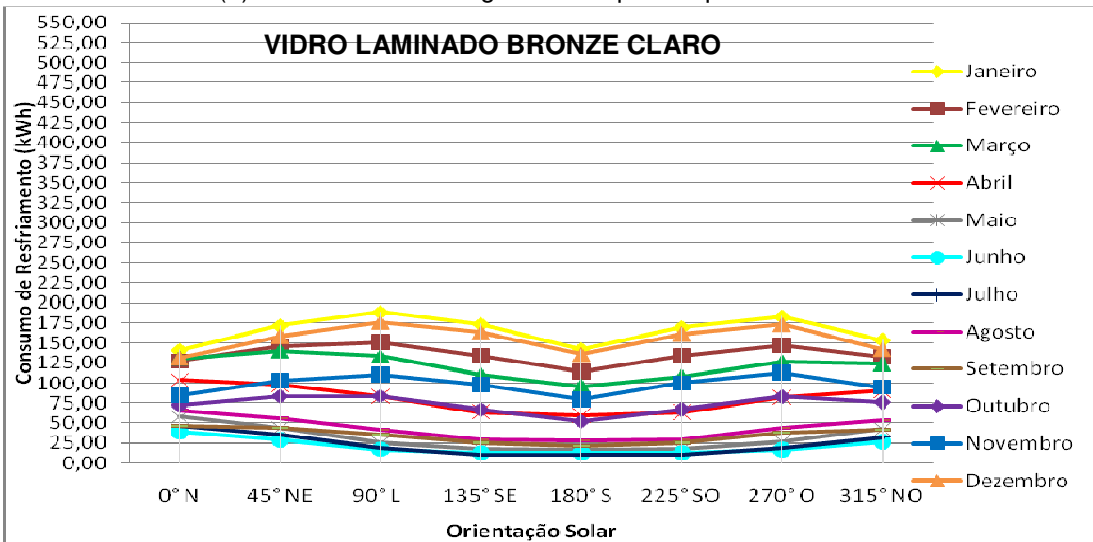
Nas Tabelas 10 a 12 são listados os resultados das simulações, considerando-se o uso do vidro Laminado Bronze Claro e diferentes Percentuais de Abertura da Fachada: 20%, 50% e 80%. São apresentados os valores dos consumos de energia para aquecimento, para resfriamento e consumo total. Os gráficos das Figuras 25, 26 e 27 representam esses consumos de energia.

Tabela 10 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70

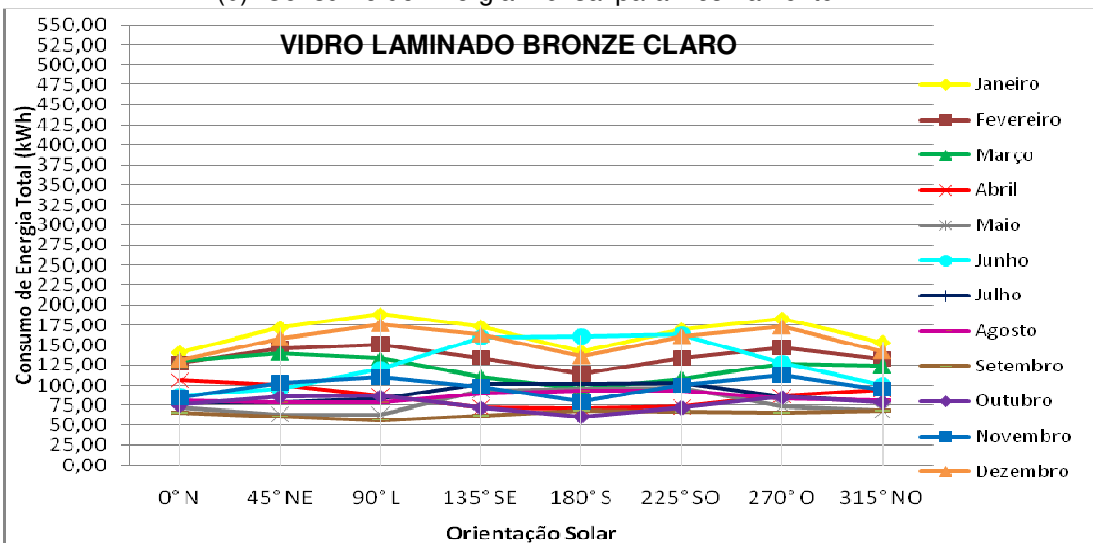
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	2,42	2,52	3,40	7,81	10,58	8,99	4,43	3,79
	Maiο	13,72	20,64	38,70	75,34	78,63	80,01	46,39	25,75
	Junho	48,83	66,51	103,18	147,09	147,79	151,03	110,88	73,95
	Julho	32,08	42,63	64,28	91,05	91,48	93,15	66,13	47,75
	Agosto	14,57	22,45	37,09	59,88	65,17	63,27	38,92	26,08
	Setembro	19,41	17,65	21,26	37,46	47,34	42,05	28,00	26,85
	Outubro	2,91	2,22	2,71	4,70	8,15	4,57	1,91	2,56
	Novembro	0,38	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>134,32</b>	<b>174,62</b>	<b>270,62</b>	<b>423,33</b>	<b>449,62</b>	<b>443,07</b>	<b>296,66</b>	<b>206,73</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	141,14	171,56	188,76	173,53	142,23	169,40	183,03	153,78
	Fevereiro	127,10	146,41	150,75	134,15	114,24	133,89	147,60	132,50
	Março	130,51	139,64	133,37	110,46	96,13	107,82	125,73	123,32
	Abril	103,79	97,69	83,21	64,02	60,00	63,86	82,08	90,83
	Maiο	58,09	43,20	24,78	17,40	17,14	17,34	26,84	42,19
	Junho	38,66	28,87	17,16	12,83	13,12	12,87	16,94	26,64
	Julho	46,13	35,22	19,50	10,71	10,54	10,19	19,22	32,08
	Agosto	65,87	55,66	41,73	29,43	28,10	29,43	44,02	54,16
	Setembro	46,54	44,02	35,48	24,85	21,44	25,47	38,00	41,44
	Outubro	72,73	83,64	83,80	67,21	52,76	67,49	83,18	76,35
	Novembro	84,15	102,90	110,53	98,21	79,25	99,98	112,60	94,89
	Dezembro	131,12	158,72	175,85	163,49	135,66	161,43	172,74	142,15
	<b>ANUAL</b>	<b>1045,83</b>	<b>1107,53</b>	<b>1064,92</b>	<b>906,29</b>	<b>770,61</b>	<b>899,17</b>	<b>1051,98</b>	<b>1010,33</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	141,14	171,56	188,76	173,53	142,23	169,40	183,03	153,78
	Fevereiro	127,10	146,41	150,75	134,15	114,24	133,89	147,60	132,50
	Março	130,51	139,64	133,37	110,46	96,13	107,82	125,73	123,32
	Abril	106,21	100,21	86,61	71,83	70,58	72,85	86,51	104,62
	Maiο	71,81	63,84	63,48	92,74	95,77	97,35	73,23	67,94
	Junho	87,49	95,38	120,34	159,92	160,91	163,90	127,82	100,59
	Julho	78,21	77,85	83,78	101,75	102,02	103,34	85,35	79,83
	Agosto	80,44	78,11	78,82	89,31	93,27	92,70	82,94	80,24
	Setembro	65,95	61,67	56,74	62,32	68,78	67,52	66,00	68,29
	Outubro	75,64	85,86	86,51	71,91	60,91	72,06	85,09	78,91
	Novembro	84,53	102,90	110,53	98,21	79,73	99,98	112,60	94,89
	Dezembro	131,12	158,72	175,85	163,49	135,66	161,43	172,74	142,15
	<b>ANUAL</b>	<b>1180,15</b>	<b>1282,15</b>	<b>1335,54</b>	<b>1329,62</b>	<b>1220,23</b>	<b>1342,24</b>	<b>1348,64</b>	<b>1227,06</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 25 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO

Com o uso do vidro Laminado Bronze Claro, com um percentual de abertura da fachada de 20%, as seguintes observações podem ser feitas:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Como aconteceu no vidro Comum Incolor, durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março o consumo de energia para aquecimento não existe. No mês de Novembro, com exceção das orientações 0° (Norte) e 180° (Sul), as outras orientações também possuem consumo nulo.
- Em abril, agosto, setembro, outubro e novembro, observa-se que a fachada com orientação 180° (Sul) tem maior consumo de energia para aquecimento, e que nos meses de maio, junho e julho a fachada com maior consumo de energia para aquecimento é a orientação 225° (Sudoeste).
- O maior consumo de aquecimento ocorre na orientação Sudoeste no mês de junho (151,03 kWh).
- Durante os meses de abril a agosto a orientação 0° (Norte) apresentou menor consumo para aquecimento. No mês de setembro, o menor consumo ocorreu na orientação 45° (Nordeste), e no mês de outubro ocorreu na orientação 270° (Oeste).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Verifica-se também, para o consumo de energia de resfriamento, um comportamento semelhante ao do vidro Comum Incolor.
- Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e dezembro, o consumo de energia para resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste). Durante o mês de março, o maior consumo acontece na orientação 45° (Nordeste), enquanto nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro isso ocorre na orientação 0° (Norte), e em novembro para a orientação 270° (Oeste).
- O mês de janeiro para a orientação Leste apresenta o maior consumo de resfriamento entre todos os valores (188,76 kWh).



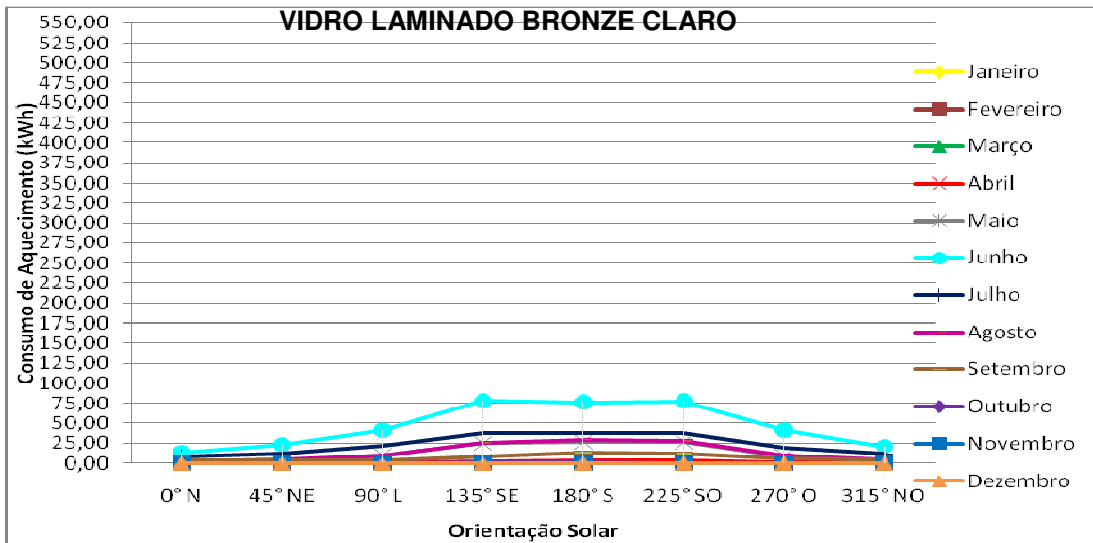
- Para os meses de dezembro e janeiro, o menor consumo de energia para resfriamento ocorre quando a fachada está orientada para a posição 0° (Norte). Entre os meses de fevereiro, março, abril, maio, agosto, setembro, outubro e novembro a orientação de menor consumo é a 180° (Sul), enquanto que no mês de junho a posição solar com menor consumo de energia para resfriamento é a 135° (Sudeste), e no mês de julho é na orientação 225° (Sudoeste).
- O menor valor de consumo de energia de resfriamento ocorreu no mês de julho, na orientação Sudoeste (10,19 kWh).

#### CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

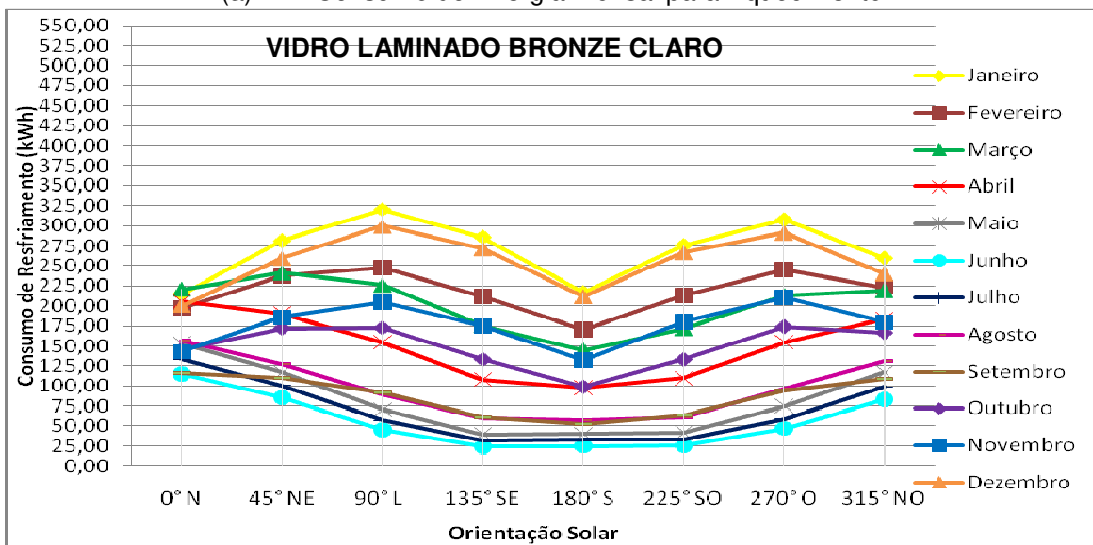
- Nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, o consumo de energia total é igual ao consumo de resfriamento, pois não há consumo de aquecimento nesses meses.
- Em abril, o maior consumo total é observado para a posição 0° (Norte); em outubro, ocorre para a posição 315° (Noroeste), e em novembro para a orientação 270° (Oeste). Estes meses também têm o predomínio do consumo de energia de resfriamento.
- Entre os meses de maio e julho, na orientação 225° (Sudoeste), ocorreu o maior consumo total. Em agosto e setembro, a orientação que se destacou como o maior consumo foi a 180° (Sul), sendo que nestes meses a energia para aquecimento é predominante.
- O maior valor de consumo de energia total foi observado no mês de janeiro, para a orientação Leste (188,76 kWh).
- O menor consumo total ocorreu na orientação 0° (Norte) para o mês de junho. Em abril, outubro e novembro, o menor consumo de energia total ocorreu para a orientação 180° (Sul). Em maio, isto ocorreu na orientação 90° (Leste); em julho e agosto na orientação 45° (Nordeste), e em setembro na orientação 90° (Leste).
- O menor valor de consumo total ocorreu na orientação Leste, em setembro (56,74 kWh).

Tabela 11 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70

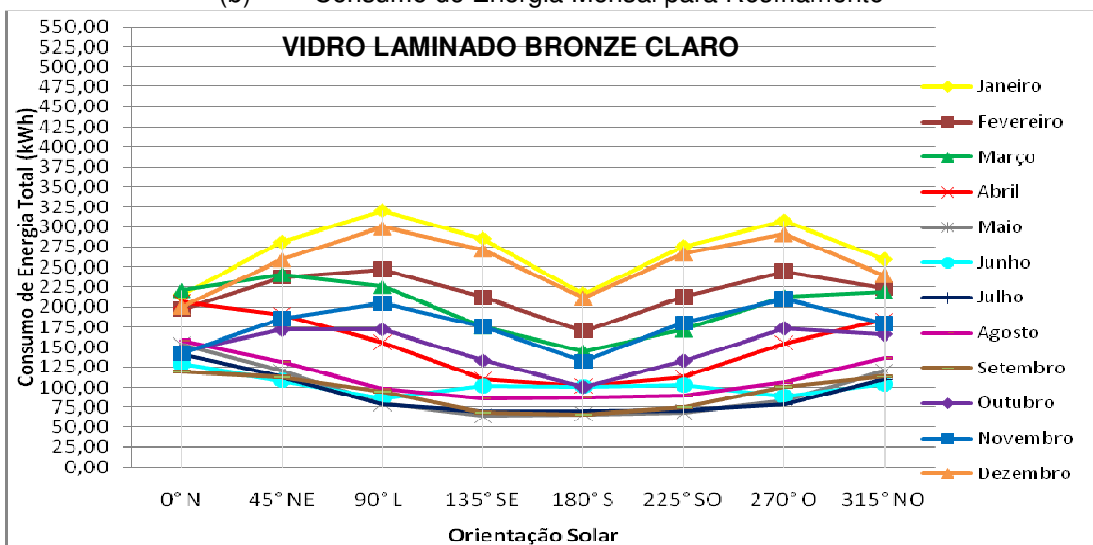
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	0,26	0,48	0,89	1,79	3,48	2,70	0,54	0,49
	Maiο	0,49	2,76	9,37	24,84	26,86	26,79	8,69	2,65
	Junho	13,45	22,62	41,41	77,71	76,27	77,61	41,60	20,97
	Julho	8,32	12,07	21,46	37,87	37,18	37,37	19,21	11,44
	Agosto	2,23	3,99	9,13	25,89	29,60	27,50	9,83	4,61
	Setembro	3,23	2,64	3,46	8,32	13,44	11,42	5,56	4,66
	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,16	1,28	0,00	0,00	0,00
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>27,98</b>	<b>44,56</b>	<b>85,72</b>	<b>176,58</b>	<b>188,11</b>	<b>183,39</b>	<b>85,43</b>	<b>44,82</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	214,82	281,13	320,13	285,73	216,52	275,77	307,36	259,42
	Fevereiro	197,13	237,71	247,34	212,00	169,93	212,84	244,93	223,24
	Março	220,81	241,26	225,98	175,50	144,99	171,50	213,02	219,11
	Abril	205,92	189,99	154,70	108,12	97,99	109,57	154,57	183,25
	Maiο	152,62	116,87	70,31	39,44	39,66	41,53	74,90	116,96
	Junho	115,27	85,68	44,78	23,98	24,65	25,12	46,71	83,21
	Julho	133,03	100,85	57,05	31,86	32,50	33,33	58,99	98,83
	Agosto	156,51	127,74	89,04	59,30	57,09	61,39	96,23	131,19
	Setembro	115,71	110,49	91,29	60,61	52,26	63,61	94,69	108,79
	Outubro	145,27	171,72	172,15	133,17	99,24	133,05	173,56	166,26
	Novembro	142,62	185,70	204,68	175,35	132,00	180,05	210,42	179,41
	Dezembro	200,15	259,27	299,52	271,70	211,39	266,68	291,23	240,17
	<b>ANUAL</b>	<b>1999,86</b>	<b>2108,41</b>	<b>1976,97</b>	<b>1576,76</b>	<b>1278,22</b>	<b>1574,44</b>	<b>1966,61</b>	<b>2009,84</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	214,82	281,13	320,13	285,73	216,52	275,77	307,36	259,42
	Fevereiro	197,13	237,71	247,34	212,00	169,93	212,84	244,93	223,24
	Março	220,81	241,26	225,98	175,50	144,99	171,50	213,02	219,11
	Abril	206,18	190,47	155,59	109,91	101,47	112,27	155,11	183,74
	Maiο	153,11	119,63	79,68	64,28	66,52	68,32	83,59	119,61
	Junho	128,72	108,30	86,19	101,69	100,92	102,73	88,31	104,18
	Julho	141,35	112,92	78,51	69,73	69,68	70,70	78,20	110,27
	Agosto	158,74	131,73	98,17	85,19	86,69	88,89	106,06	135,80
	Setembro	118,94	113,13	94,75	68,93	65,70	75,03	100,25	113,45
	Outubro	145,27	171,72	172,15	133,33	100,52	133,05	173,56	166,26
	Novembro	142,62	185,70	204,68	175,35	132,00	180,05	210,42	179,41
	Dezembro	200,15	259,27	299,52	271,70	211,39	266,68	291,23	240,17
	<b>ANUAL</b>	<b>2027,84</b>	<b>2152,97</b>	<b>2062,69</b>	<b>1753,34</b>	<b>1466,33</b>	<b>1757,83</b>	<b>2052,04</b>	<b>2054,66</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 26 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO

Para o uso do vidro Laminado Bronze Claro em uma fachada com 50% de percentual de abertura da fachada, constata-se os seguintes detalhes em relação ao consumo de energia:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Assim como no vidro Comum Incolor, nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, o consumo de energia para aquecimento é inexistente. No mês de outubro, este consumo também é bastante reduzido, ocorrendo apenas para a orientação 135° (Sudeste) e 180° (Sul), com valores muito pequenos.
- Diferenciando do vidro Comum Incolor, nos meses onde existe consumo de aquecimento os valores são mais elevados, se comparado ao mesmo 50% PAF.
- Os maiores consumos de energia para aquecimento nos meses de abril, maio, agosto e setembro ocorreram na orientação 180° (Sul). Já nos meses de junho e julho a posição solar 135° (Sudeste) foi a de maior consumo.
- O maior consumo de aquecimento geral é no mês de junho, na orientação Sudeste (77,71 kWh).
- Nos meses em que há a necessidade de energia para aquecimento, os menores consumos ocorreram todos na orientação solar 0° (Norte), exceto para o mês de setembro, onde a fachada voltada para 45° (Nordeste) apresentou o menor consumo para aquecimento.

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- O formato da curva de variação do consumo de energia para resfriamento é semelhante ao vidro Comum Incolor, porém, como o vidro Bronze Claro apresenta menor Fator Solar, os valores para este consumo são mais baixos.
- Durante os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, pode-se destacar a orientação 90° (Leste) como a de maior consumo energético. Em março, destaca-se a orientação 45° (Nordeste).

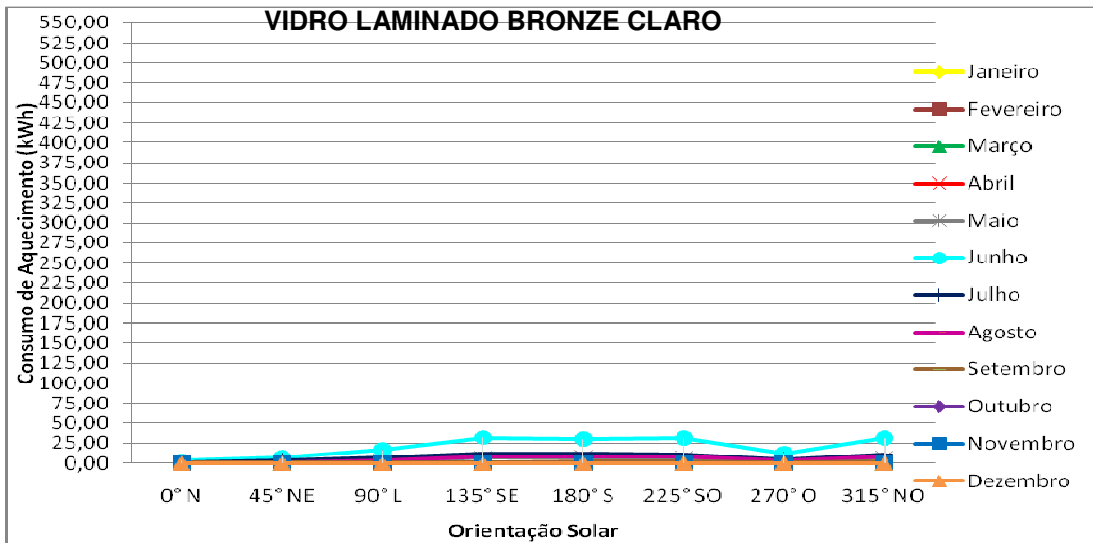
- Entre os meses de abril e setembro, o maior consumo de energia para resfriamento ocorre na fachada orientada a  $0^\circ$  (Norte), enquanto nos meses de outubro e novembro o consumo mais elevado encontra-se na posição solar  $270^\circ$  (Oeste).
- O maior consumo de energia para resfriamento encontra-se na orientação Leste, no mês de janeiro (320,13 kWh).
- Para os meses de verão, dezembro e janeiro, o menor consumo de resfriamento está na orientação  $0^\circ$  (Norte). Em fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro, na posição solar  $180^\circ$  (Sul), são encontrados os menores consumos para resfriamento.
- Nos meses de maio a julho, a orientação  $135^\circ$  (Sudeste) é onde se encontra o menor consumo de energia para resfriamento.

#### CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

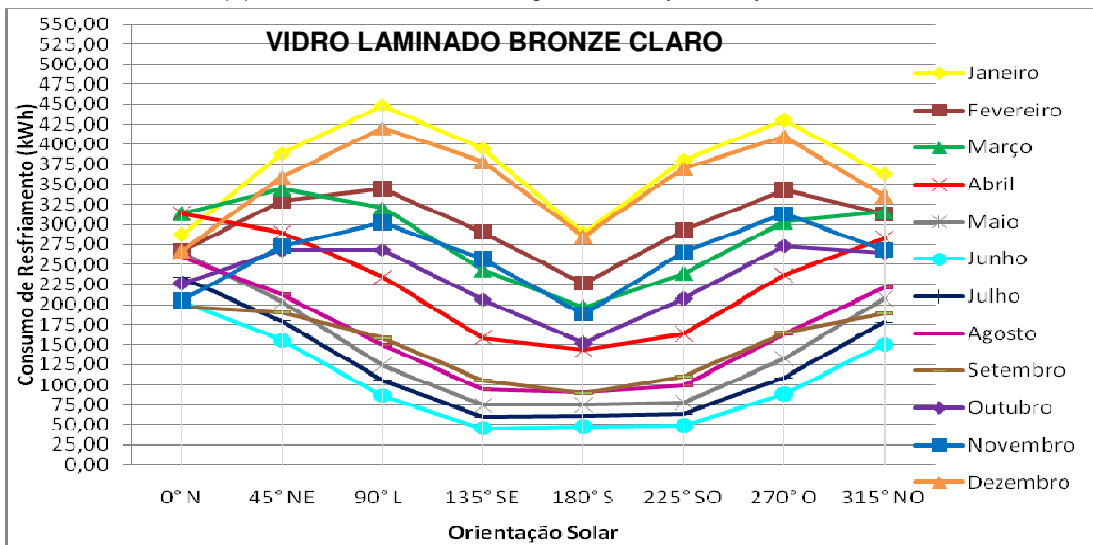
- Durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, como não há consumo de aquecimento, o consumo de energia total é igual ao consumo de resfriamento.
- Nos meses entre abril e setembro, a orientação com maior consumo de energia total é a  $0^\circ$  (Norte). Em outubro, isto ocorre na orientação  $270^\circ$  (Oeste).
- O maior consumo total é encontrado para o mês de janeiro, na orientação Leste (320,13 kWh).
- Para o menor consumo total, destaca-se a orientação  $180^\circ$  (Sul) para os meses de abril, maio, julho, setembro e outubro, enquanto no mês de Junho isto acontece na orientação  $90^\circ$  (Leste); e agosto tem menor consumo na orientação  $135^\circ$  (Sudeste).
- O menor consumo de energia total geral aconteceu na orientação Sudeste, no mês de maio (64,28 kWh).

Tabela 12 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO – FS 0,70

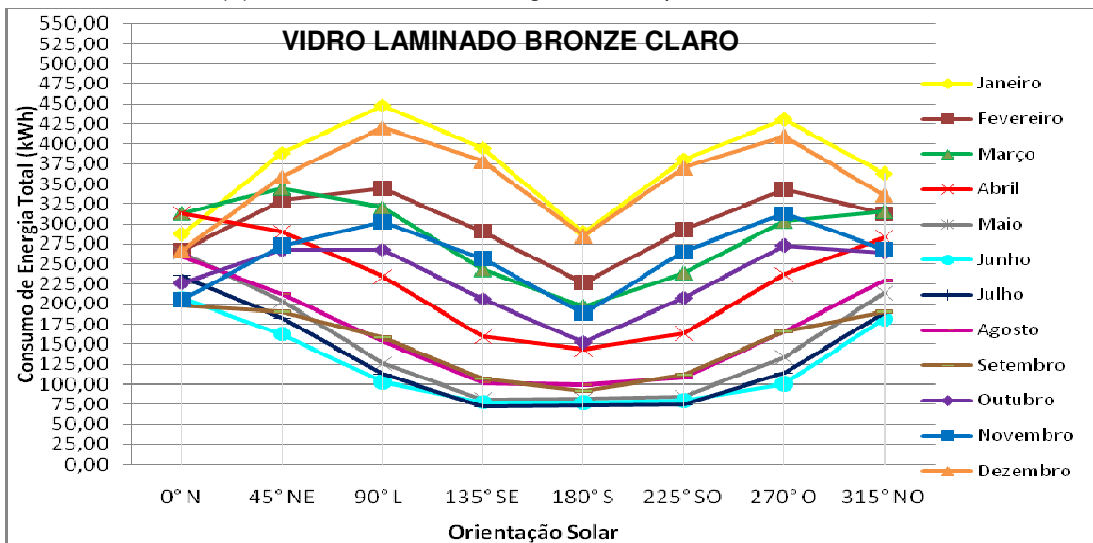
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	0,00	0,00	0,00	0,22	0,58	0,03	0,00	0,03
	Maiο	0,00	0,00	1,58	6,44	6,89	6,43	1,19	6,43
	Junho	2,73	7,27	16,41	32,06	29,98	31,14	12,02	31,14
	Julho	0,97	3,27	6,76	12,12	11,65	11,15	4,78	11,15
	Agosto	0,00	0,58	2,92	7,77	8,61	8,19	2,95	8,19
	Setembro	0,52	0,44	0,49	0,86	2,16	1,38	1,00	1,38
	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>4,22</b>	<b>11,56</b>	<b>28,16</b>	<b>59,47</b>	<b>59,87</b>	<b>58,32</b>	<b>21,94</b>	<b>58,32</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	287,01	388,17	448,41	394,46	289,01	379,94	430,49	362,87
	Fevereiro	266,43	329,02	344,50	290,65	226,62	292,72	342,86	313,20
	Março	313,69	344,68	321,05	243,07	197,02	238,90	303,32	315,85
	Abril	314,04	289,80	234,33	158,78	143,05	163,44	236,60	283,22
	Maiο	264,42	203,44	124,38	74,09	74,52	77,60	132,72	207,34
	Junho	204,42	155,37	86,23	45,44	47,17	48,54	88,46	150,58
	Julho	234,00	179,66	105,64	59,74	61,27	63,13	109,00	177,56
	Agosto	259,69	212,45	150,10	93,80	90,49	99,10	163,05	221,62
	Setembro	197,24	190,06	158,19	105,57	89,67	110,09	164,57	189,44
	Outubro	226,52	267,50	268,13	206,21	151,88	207,57	273,32	264,84
	Novembro	204,87	272,71	302,85	257,11	188,53	265,01	313,06	268,18
	Dezembro	267,09	359,35	420,84	378,98	285,75	370,29	409,54	336,10
	<b>ANUAL</b>	<b>3039,42</b>	<b>3192,21</b>	<b>2964,65</b>	<b>2307,90</b>	<b>1844,98</b>	<b>2316,33</b>	<b>2966,99</b>	<b>3090,80</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	287,01	388,17	448,41	394,46	289,01	379,94	430,49	362,87
	Fevereiro	266,43	329,02	344,50	290,65	226,62	292,72	342,86	313,20
	Março	313,69	344,68	321,05	243,07	197,02	238,90	303,32	315,85
	Abril	314,04	289,80	234,33	159,00	143,63	163,47	236,60	283,25
	Maiο	264,42	203,44	125,96	80,53	81,41	84,03	133,91	213,77
	Junho	207,15	162,64	102,64	77,50	77,15	79,68	100,48	181,72
	Julho	234,97	182,93	112,40	71,86	72,92	74,28	113,78	188,71
	Agosto	259,69	213,03	153,02	101,57	99,10	107,29	166,00	229,81
	Setembro	197,76	190,50	158,68	106,43	91,83	111,47	165,57	190,82
	Outubro	226,52	267,50	268,13	206,21	151,88	207,57	273,32	264,84
	Novembro	204,87	272,71	302,85	257,11	188,53	265,01	313,06	268,18
	Dezembro	267,09	359,35	420,84	378,98	285,75	370,29	409,54	336,10
		<b>ANUAL</b>	<b>3043,64</b>	<b>3203,77</b>	<b>2992,81</b>	<b>2367,37</b>	<b>1904,85</b>	<b>2374,65</b>	<b>2988,93</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 27 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO

Com o uso do vidro Laminado Bronze Claro com um percentual de abertura da fachada de 80%, observa-se:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- A exemplo do PAF 80% do vidro Comum Incolor, com este vidro também não ocorreu consumo de energia para aquecimento nos meses de outubro a março.
- Para os meses de abril, maio, agosto e setembro, os pontos que apresentaram consumo para aquecimento com valores maiores estão na orientação 180° (Sul). Em junho e julho, a fachada voltada para 135° (Sudeste) é a de maior consumo energético para aquecer.
- Na orientação Sudeste, no mês de junho, ocorre o maior consumo geral para aquecimento (32,06 kWh).
- Nos meses de junho e julho, o menor consumo de energia para aquecimento ocorre na orientação 0° (Norte), e em Setembro encontra-se na posição 45° (Nordeste).
- Em abril, o consumo de energia para aquecimento, com orientações 0° (Norte), 45° (Nordeste), 90° (Leste) e 270° (Oeste), apresenta-se nulo; assim como em maio nas orientações 0° (Norte) e 45° (Nordeste), e em agosto na orientação 0° (Norte).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, o consumo de energia para resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste); no mês de março, o maior consumo encontra-se na posição solar 45° (Nordeste). Entre os meses de abril a setembro, observa-se o maior consumo na orientação 0° (Norte), e nos meses de outubro e novembro na orientação 270° (Oeste).
- O maior consumo de resfriamento geral ocorre para a orientação Leste, no mês de janeiro (448,41 kWh).



- Durante os meses de dezembro e janeiro, o consumo mais baixo ocorreu na orientação 0° (Norte); em fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro, o menor consumo de resfriamento ocorreu na fachada com orientação 180° (Sul), e de maio a julho ocorreu na orientação 135° (Sudeste); sendo junho o mês de consumo com valor mais baixo, entre todos os meses do ano (45,44 kWh).

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Observa-se que, nos meses de janeiro e fevereiro, o consumo de energia total é maior na posição solar 90° (Leste); no mês de março encontra-se na posição solar 45° (Nordeste). Este consumo nos meses de abril a setembro é mais elevado na orientação 0° (Norte), mesmo sendo praticamente igual ao consumo de resfriamento, enquanto que nos meses de outubro a dezembro o maior consumo localiza-se na orientação 270° (Oeste).
- Em dezembro e janeiro, o menor consumo está na posição solar 0° (Norte); em fevereiro, março, abril, junho, agosto, setembro, outubro e novembro, na posição 180° (Sul); e em maio e julho, na posição 135° (Sudeste).
- O maior consumo total geral encontra-se na orientação Leste, no mês de janeiro (448,41 kWh), e o menor está na posição Sudeste no mês de julho (71,86 kWh).

### 4.2.1 Considerações gerais para o Vidro Laminado Bronze Claro

- Com o vidro Laminado Bronze Claro, Fator Solar de 70%, ocorrem as mesmas tendências do vidro Comum Incolor, apresentando predominância de consumo maior de resfriamento do que para o aquecimento.
- Apesar do consumo de energia para aquecimento apresentar valores um pouco acima do vidro Comum Incolor, o comportamento nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março também mostra um consumo de aquecimento nulo, em todas as orientações solares. Isto ocorre, inclusive, no

mês de novembro, quando o percentual de abertura da fachada aumenta para 50%; incluindo nesta ocorrência o mês de outubro, quando o PAF aumenta para 80%.

- Também para o PAF 20%, apesar da curva de consumo apresentar nítida deflexão na orientação 180° (Sul) para o consumo de energia total, a pequena variação com a mudança da orientação solar deixa claro que, para este percentual de abertura de fachada, a orientação solar não é um fator de grande influência na variação do consumo total.
- Todos os gráficos relacionados apresentam o mesmo tipo de traçado do vidro Comum Incolor, alterando-se os valores dos consumos em geral.
- As curvas do gráfico de consumo de energia para aquecimento apresentam intervalos de variação menores descritas, conforme a ampliação do PAF.
- As curvas do gráfico de resfriamento têm intervalos de variação maiores entre as curvas, conforme o crescimento do PAF.
- Como se pode observar no gráfico de energia para aquecimento, as orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste) estão situados em picos de consumo. No gráfico do resfriamento, as orientações que representam os picos de consumo são a 90° (Leste) e 270° (Oeste).
- Como o Fator Solar deste vidro é mais baixo que o do Vidro Incolor, a energia solar penetra menos. Por este motivo, o consumo de energia para aquecimento é maior e o consumo de energia para resfriamento é menor. Em função da predominância do consumo de resfriamento, o consumo de energia total adquire essa característica com valores menores que o vidro Comum Incolor para o mesmo PAF.
- Comparando-se os gráficos de consumo, é possível observar que os meses de janeiro e junho apresentam-se como curvas extremas, sempre com comportamento opostos; janeiro como pico de consumo do resfriamento e mínimo de aquecimento; sendo que em junho os consumos são inversos, ou seja, apresenta-se como o mês de máximo consumo de aquecimento e mínimo consumo de resfriamento.

- O ponto de pico no consumo de resfriamento está na orientação  $90^\circ$  (Leste), no mês de janeiro, assim como o de menor consumo é a orientação  $225^\circ$  (Sudoeste) no mês de julho.
- Quanto maior o percentual de abertura de fachada, mais importante se torna a orientação solar para o consumo de energia total.
- O gráfico do maior percentual de abertura da fachada (80%), no consumo de energia total, é praticamente a reprodução do gráfico consumo de resfriamento, em virtude da preponderância desse consumo de energia.

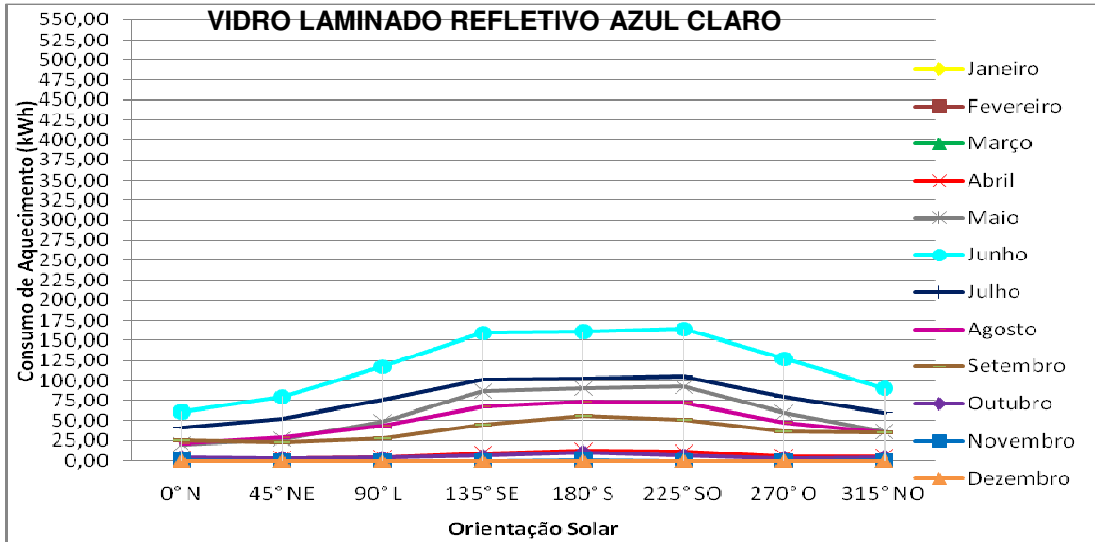
### **4.3 Vidro Laminado Refletivo Azul Claro**

As Tabelas 13 a 15 apresentam os resultados das simulações, considerando-se o uso vidro Laminado Refletivo Azul Claro, avaliando-se o percentual de abertura da fachada de 20%, 50% e 80%. Nestas tabelas são apresentados, separadamente, os valores dos consumos de energia para aquecimento, para resfriamento e consumo total.

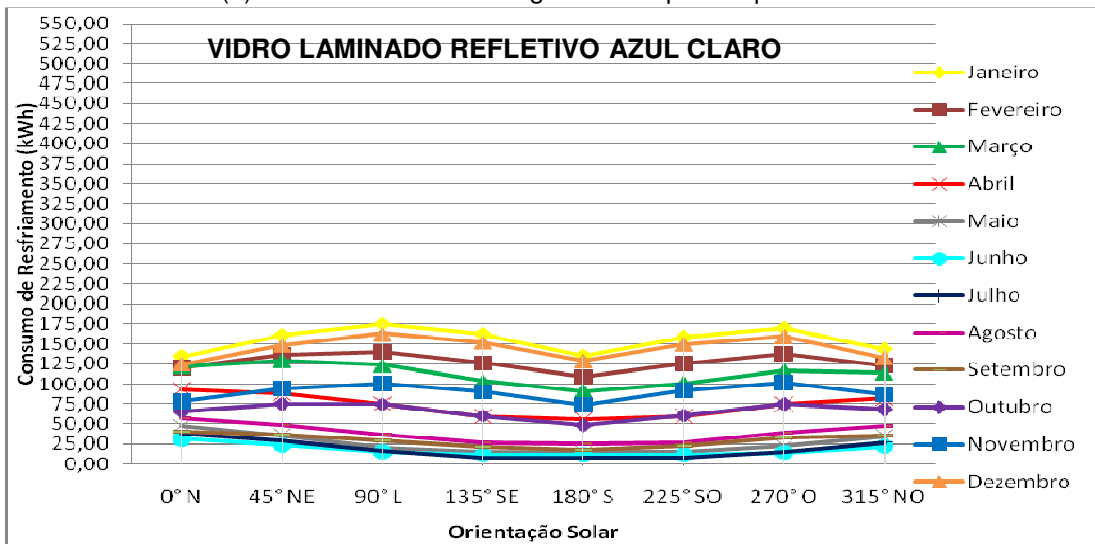
As Figuras 28, 29 e 30 apresentam na forma de gráficos esses resultados, para permitir uma melhor observação do comportamento de variação do consumo de energia com os meses do ano e com a orientação solar da fachada.

Tabela 13 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56

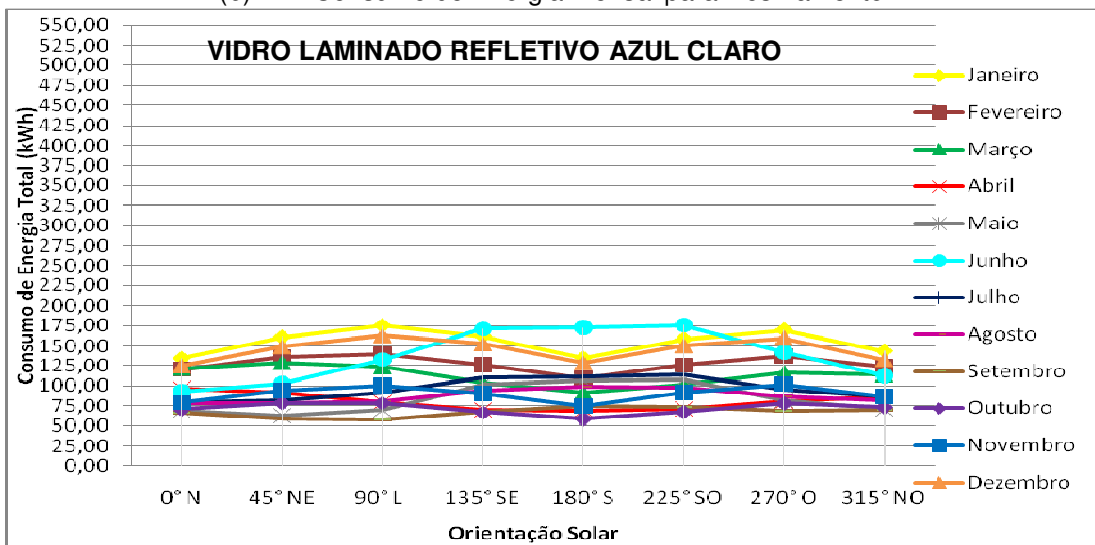
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
<b>AQUECIMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Fevereiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Março</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Abril</b>	3,37	3,38	4,38	9,71	12,68	11,17	6,12	5,39
	<b>Mai</b>	20,29	27,15	48,44	86,69	90,85	92,56	59,66	36,33
	<b>Junho</b>	61,32	79,62	117,11	159,12	160,72	164,10	127,09	90,45
	<b>Julho</b>	41,46	52,44	75,58	102,13	103,33	105,48	79,24	60,36
	<b>Agosto</b>	21,39	29,59	43,92	67,41	73,35	71,71	47,83	35,37
	<b>Setembro</b>	25,46	22,90	27,71	45,58	56,04	50,88	36,16	35,08
	<b>Outubro</b>	4,40	3,75	4,13	6,32	10,61	6,63	3,59	4,73
	<b>Novembro</b>	0,63	0,00	0,00	0,06	0,76	0,01	0,00	0,27
	<b>Dezembro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>178,32</b>	<b>218,83</b>	<b>321,27</b>	<b>477,02</b>	<b>508,34</b>	<b>502,54</b>	<b>359,69</b>	<b>267,98</b>
<b>RESFRIAMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	134,30	160,49	174,70	162,00	134,74	157,98	169,33	143,50
	<b>Fevereiro</b>	120,37	136,23	139,76	125,79	108,52	125,43	137,25	123,23
	<b>Março</b>	121,57	128,89	123,31	103,66	91,18	100,97	116,34	113,68
	<b>Abril</b>	93,68	87,86	75,07	59,94	56,21	59,54	74,68	81,80
	<b>Mai</b>	48,06	34,96	20,69	15,32	15,01	15,16	22,36	34,25
	<b>Junho</b>	31,71	23,57	15,39	11,77	11,81	11,52	14,79	22,25
	<b>Julho</b>	37,78	29,34	16,53	8,21	7,95	7,70	15,85	26,91
	<b>Agosto</b>	57,34	48,64	36,32	26,38	25,13	26,28	38,48	47,03
	<b>Setembro</b>	39,90	36,24	29,50	21,20	18,36	22,33	32,20	34,65
	<b>Outubro</b>	66,32	74,99	74,47	60,25	48,17	60,74	74,66	68,54
	<b>Novembro</b>	78,34	94,13	100,12	90,04	73,91	91,51	102,02	86,52
	<b>Dezembro</b>	124,31	148,69	162,89	152,60	128,32	150,03	159,65	132,40
	<b>ANUAL</b>	<b>953,68</b>	<b>1004,03</b>	<b>968,75</b>	<b>837,16</b>	<b>719,31</b>	<b>829,19</b>	<b>957,61</b>	<b>914,76</b>
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>Janeiro</b>	134,30	160,49	174,70	162,00	134,74	157,98	169,33	143,50
	<b>Fevereiro</b>	120,37	136,23	139,76	125,79	108,52	125,43	137,25	123,23
	<b>Março</b>	121,57	128,89	123,31	103,66	91,18	100,97	116,34	113,68
	<b>Abril</b>	97,05	91,24	79,45	69,65	68,89	70,71	80,80	87,19
	<b>Mai</b>	68,35	62,11	69,13	102,01	105,86	107,72	82,02	70,58
	<b>Junho</b>	93,03	103,19	132,50	170,89	172,53	175,62	141,89	112,69
	<b>Julho</b>	79,24	81,78	92,11	110,34	111,28	113,18	95,09	87,27
	<b>Agosto</b>	78,73	78,23	80,24	93,79	98,48	97,99	86,31	82,41
	<b>Setembro</b>	65,36	59,14	57,21	66,78	74,40	73,21	68,36	69,73
	<b>Outubro</b>	70,72	78,74	78,60	66,57	58,78	67,37	78,24	73,27
	<b>Novembro</b>	78,97	94,13	100,12	90,10	74,67	91,52	102,02	86,79
	<b>Dezembro</b>	124,31	148,69	162,89	152,60	128,32	150,03	159,65	132,40
	<b>ANUAL</b>	<b>1132,00</b>	<b>1222,86</b>	<b>1290,02</b>	<b>1314,18</b>	<b>1227,65</b>	<b>1331,73</b>	<b>1317,30</b>	<b>1182,74</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 28 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO

A partir das simulações com o uso do vidro Laminado Refletivo Azul Claro, com um Percentual de Abertura da Fachada de 20%, podem ser feitas as seguintes considerações:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Como aconteceu nos vidros anteriormente apresentados, durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, o consumo de energia para aquecimento não existe para este PAF.
- Durante os meses de abril, agosto, setembro, outubro e novembro, observa-se que a fachada com orientação 180° (Sul) tem maior consumo de energia para aquecimento. Em maio, junho e julho, a fachada com maior consumo é a orientada 225° (Sudoeste).
- O maior consumo para aquecimento geral é na orientação Sudoeste, no mês de junho (164,10 kWh).
- Observou-se que a orientação 0° (Norte) é a que tem menor consumo de energia para aquecimento nos meses de abril a agosto, enquanto em setembro o menor consumo ocorreu na orientação 45° (Nordeste); em outubro, isto ocorreu na orientação 270° (Oeste). Em novembro, o menor consumo foi nulo nas orientações 45° (Nordeste), 90° (Leste) e 270° (Oeste).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Durante os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, o consumo de energia para resfriamento é mais elevado na fachada orientada a 90° (Leste), enquanto nos meses de março e outubro o maior valor acontece na orientação 45° (Nordeste). Os meses de abril a setembro têm um maior consumo de energia para o resfriamento na orientação 0° (Norte), e no mês de novembro isso ocorre na orientação 270° (Oeste).
- O consumo mais elevado para resfriamento foi encontrado no mês de janeiro, na orientação Leste (174,70 kWh).
- Em dezembro e janeiro, o menor consumo de energia para resfriamento é a fachada orientada para 0° (Norte), entre os meses de fevereiro a maio e de

agosto a novembro, a orientação com menor consumo de energia para resfriamento é a 180° (Sul), e nos meses de junho e julho a posição solar com menor consumo energético é a 225° (Sudoeste), sendo de julho o mês de menor consumo geral com 7,70 kWh.

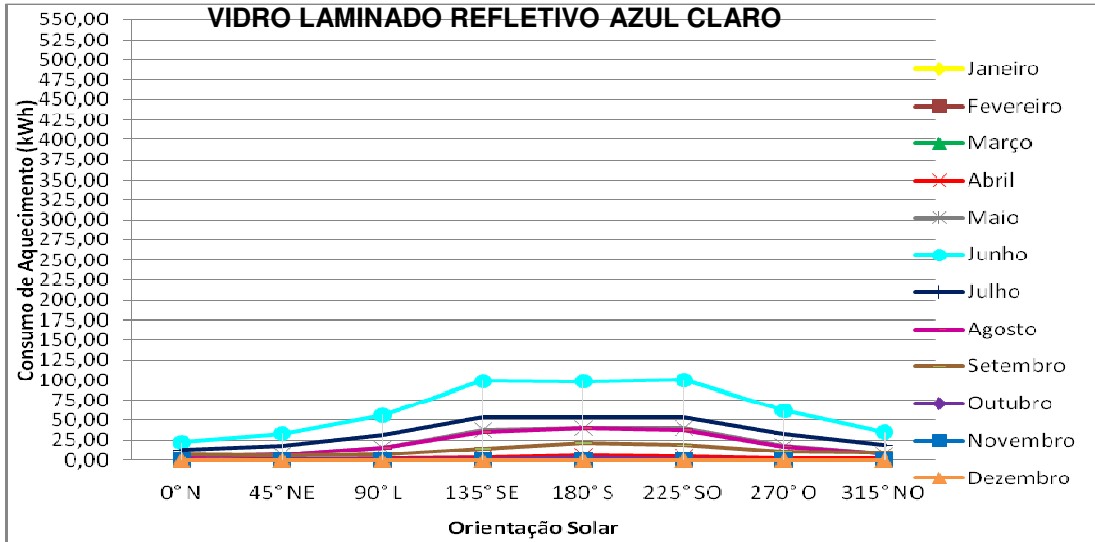
## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Nos meses de verão, - janeiro, fevereiro e dezembro-, destaca-se a orientação 90° (Leste) como a de maior consumo de energia total, conforme ocorre no resfriamento. Já que não existe consumo de aquecimento nesses meses, o consumo total é igual ao consumo de resfriamento.
- Em março e outubro, o maior consumo total encontra-se na posição solar 45° (Nordeste), sendo que em abril o maior consumo é na posição 0° (Norte). Entre os meses de maio e julho, a orientação 225° (Sudoeste) foi onde ocorreu o maior consumo total. Em agosto e setembro, a orientação que se destaca é a 180° (Sul), enquanto que em novembro é a orientação 270° (Oeste).
- O maior consumo total mensal ocorre na orientação Leste, no mês de janeiro (174,70 kWh).
- O menor consumo total ocorreu na orientação 0° (Norte), para os meses de janeiro, junho, julho e dezembro; enquanto em fevereiro, março, abril, outubro e novembro o menor consumo total está posicionado na orientação 180° (Sul). Em maio e agosto, ocorreu na orientação 45° (Nordeste), e em setembro na orientação 90° (Leste).
- O menor consumo de energia total geral ocorreu no mês de maio, na orientação Nordeste (62,11 kWh).

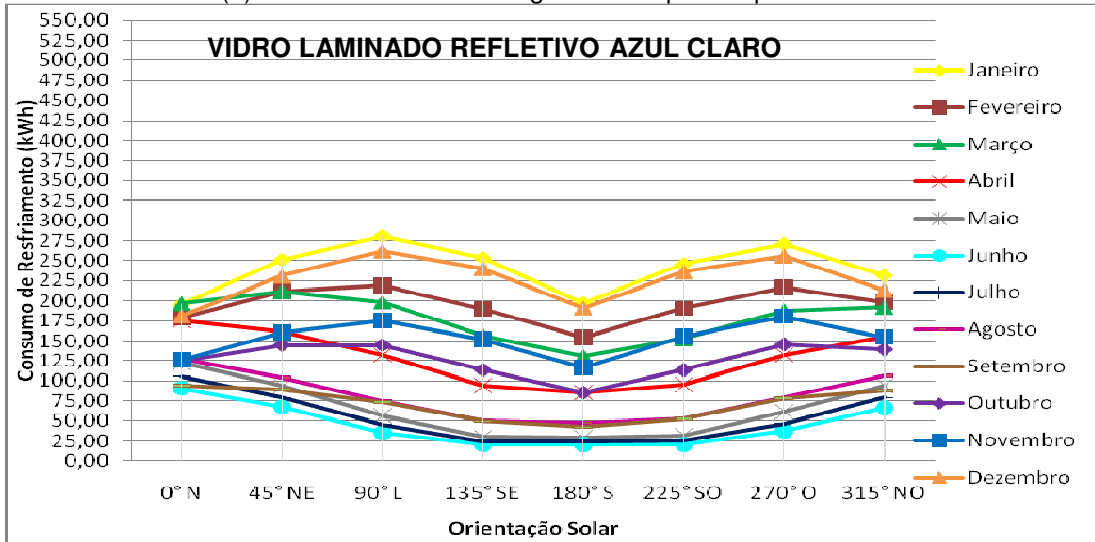
Tabela 14 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56

		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
<b>AQUECIMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Fevereiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Março</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Abril</b>	0,74	1,09	1,46	3,12	5,47	4,21	1,91	1,34
	<b>Mai</b>	2,97	6,64	15,49	37,73	40,45	40,31	18,21	7,48
	<b>Junho</b>	22,30	33,14	56,18	98,82	98,62	100,04	61,76	35,12
	<b>Julho</b>	12,99	18,46	31,96	53,13	53,59	53,43	32,27	18,68
	<b>Agosto</b>	4,31	6,74	15,27	34,79	39,95	37,67	17,30	8,45
	<b>Setembro</b>	6,24	5,12	6,66	13,88	21,54	18,57	11,12	9,63
	<b>Outubro</b>	0,07	0,10	0,31	0,93	2,78	0,92	0,00	0,00
	<b>Novembro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Dezembro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>49,62</b>	<b>71,29</b>	<b>127,33</b>	<b>242,40</b>	<b>262,40</b>	<b>255,15</b>	<b>142,57</b>	<b>80,70</b>
<b>RESFRIAMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	195,37	250,91	281,01	253,53	197,00	245,53	271,02	231,26
	<b>Fevereiro</b>	178,72	211,66	219,06	189,89	154,24	190,37	216,45	198,35
	<b>Março</b>	196,49	211,75	198,67	156,91	130,69	152,81	187,36	191,63
	<b>Abril</b>	175,33	161,30	132,31	94,13	85,26	95,46	131,94	154,98
	<b>Mai</b>	122,05	93,73	55,83	29,79	29,37	31,34	60,71	93,80
	<b>Junho</b>	90,96	66,84	35,46	19,97	20,37	20,56	37,37	66,09
	<b>Julho</b>	105,36	79,08	45,16	24,19	24,39	25,17	46,57	78,83
	<b>Agosto</b>	127,10	103,74	74,43	49,91	47,54	51,92	79,73	105,90
	<b>Setembro</b>	94,36	89,14	73,59	49,41	42,03	52,14	77,70	87,78
	<b>Outubro</b>	124,55	144,99	144,77	113,44	85,44	113,34	145,74	139,40
	<b>Novembro</b>	125,70	160,52	174,92	151,85	116,40	155,75	180,38	154,69
	<b>Dezembro</b>	181,01	231,06	262,68	240,42	191,24	236,06	256,28	213,59
	<b>ANUAL</b>	<b>1717,00</b>	<b>1804,72</b>	<b>1697,89</b>	<b>1373,44</b>	<b>1123,97</b>	<b>1370,45</b>	<b>1691,25</b>	<b>1716,30</b>
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>Janeiro</b>	195,37	250,91	281,01	253,53	197,00	245,53	271,02	231,26
	<b>Fevereiro</b>	178,72	211,66	219,06	189,89	154,24	190,37	216,45	198,35
	<b>Março</b>	196,49	211,75	198,67	156,91	130,69	152,81	187,36	191,63
	<b>Abril</b>	176,07	162,39	133,77	97,25	90,73	99,67	133,84	156,32
	<b>Mai</b>	125,02	100,37	71,32	67,52	69,82	71,65	78,92	101,28
	<b>Junho</b>	113,26	99,98	91,64	118,79	118,99	120,60	99,13	101,21
	<b>Julho</b>	118,35	97,54	77,13	77,32	77,98	78,60	78,84	97,51
	<b>Agosto</b>	131,41	110,48	89,70	84,70	87,49	89,59	97,04	114,35
	<b>Setembro</b>	100,60	94,26	80,25	63,29	63,57	70,71	88,82	97,41
	<b>Outubro</b>	124,62	145,09	145,07	114,37	88,22	114,26	145,74	139,40
	<b>Novembro</b>	125,70	160,52	174,92	151,85	116,40	155,75	180,38	154,69
	<b>Dezembro</b>	181,01	231,06	262,68	240,42	191,24	236,06	256,28	213,59
		<b>ANUAL</b>	<b>1766,62</b>	<b>1876,01</b>	<b>1825,22</b>	<b>1615,84</b>	<b>1386,37</b>	<b>1625,60</b>	<b>1833,82</b>

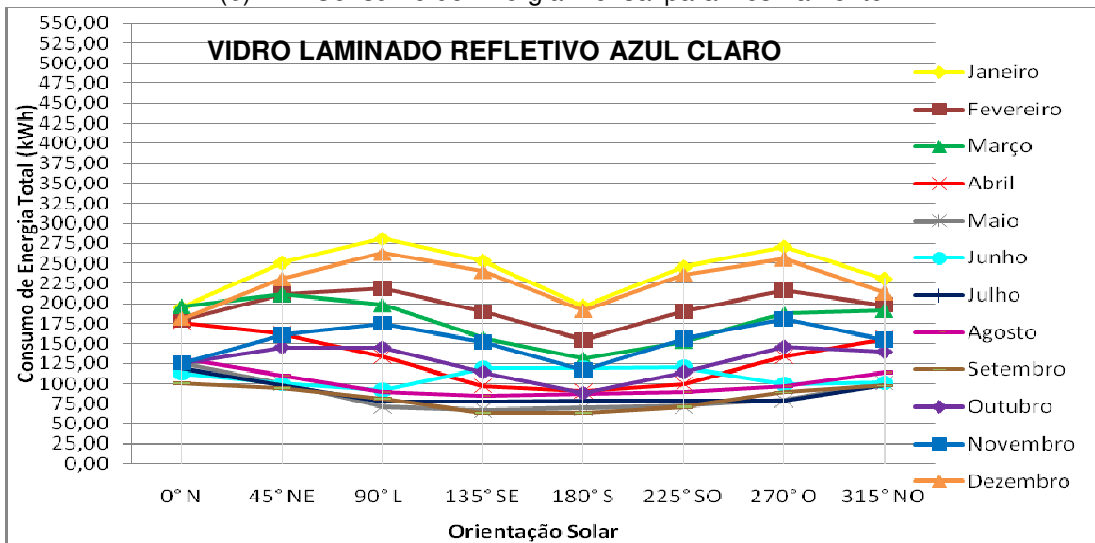




(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 29 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO

A simulação com o uso do vidro Laminado Refletivo Azul Claro, considerando-se 50% de percentual de abertura da fachada, permite concluir:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, o consumo de energia para aquecimento é nulo para este vidro e com 50% de PAF.
- A orientação 180° (Sul) tem os valores de maior consumo de energia de aquecimento para os meses de abril e maio e para os meses entre julho a outubro. No mês de junho, o maior consumo está na orientação 225° (Sudoeste).
- O maior consumo para aquecimento ocorreu na orientação Sudoeste no mês de junho (100,04 kWh).
- O menor consumo de energia para aquecimento ocorre para a fachada posicionada a 0° (Norte), para os meses entre abril e agosto; para setembro, o menor consumo ocorre para a orientação 45° (Nordeste), e para outubro, nas orientações 270° (Oeste) e 315° (Noroeste), o valor do consumo é nulo.

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- A curva do consumo de energia para resfriamento é semelhante aos resultados do PAF 20%, apenas com valores mais elevados.
- Em janeiro, fevereiro e dezembro, destaca-se a posição solar 90° (Leste) como a de maior consumo energético para resfriamento. Em março, este tipo de consumo está localizado na orientação 45° (Nordeste).
- Observa-se que, entre os meses de abril e setembro, o maior consumo de energia ocorre na orientação 0° (Norte); enquanto nos meses de outubro e novembro o ponto mais elevado do consumo de resfriamento ocorreu na posição solar 270° (Oeste).
- Para o menor consumo de energia de resfriamento, pode-se destacar, nos meses de dezembro e janeiro, a orientação 0° (Norte). Para os meses de junho e julho, isso ocorre na orientação 135° (Sudeste), e para os demais

meses do ano, fevereiro, março, abril, maio, agosto, setembro, outubro e novembro, ocorre na orientação 180° (Sul).

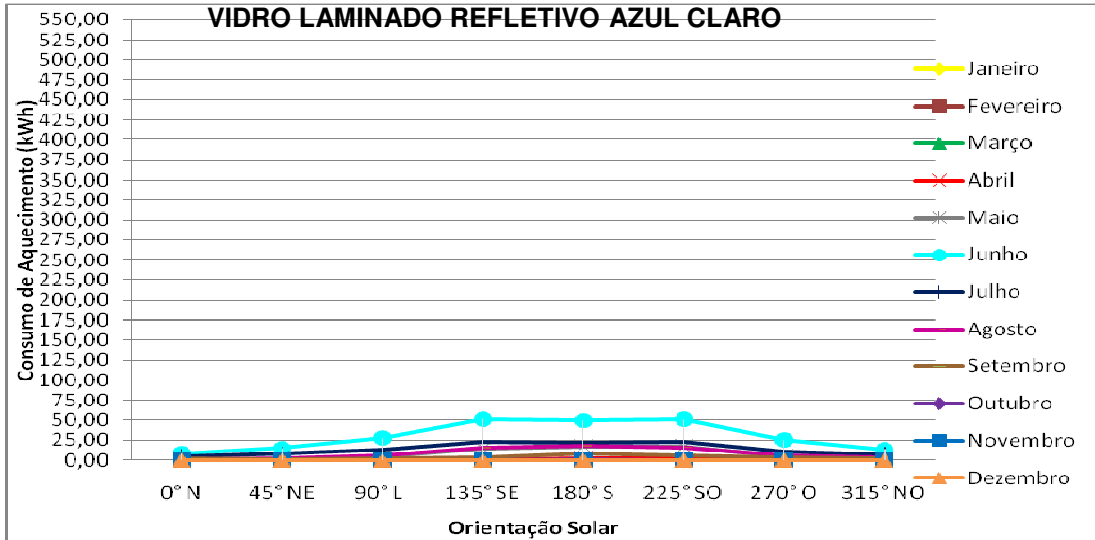
- O mês de janeiro na orientação Leste apresentou o maior valor de consumo para resfriamento (281,01 kWh). No mês de junho, na orientação Sudeste, o menor valor de resfriamento (19,97 kWh).

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

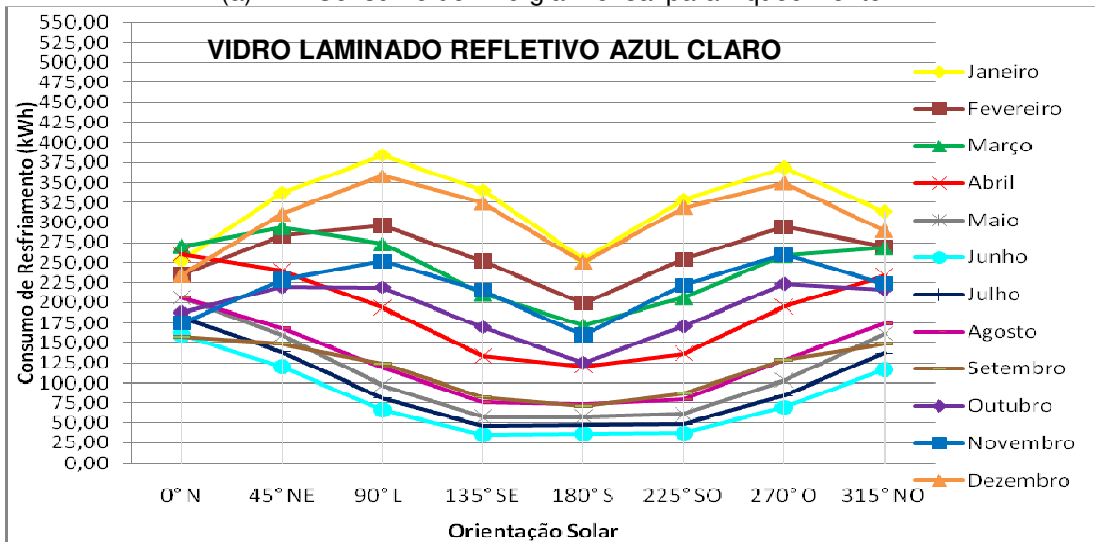
- No PAF 50%, assim como com o consumo deste mesmo vidro com o PAF 20%, durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, por não haver consumo de aquecimento, o consumo de energia total é igual ao consumo de resfriamento. Neste caso, o maior consumo de energia total para os meses janeiro, fevereiro e dezembro ocorre à orientação 90° (Leste); para o mês de março para 45° (Nordeste) e novembro para 270° (Oeste), sendo o mês de janeiro, na orientação leste, o que apresenta o consumo total mais elevado entre todos os meses do ano (281,01 kWh).
- Em abril, maio, junho, agosto e setembro, a orientação com maior consumo de energia total é 45° (Nordeste).
- Para o menor consumo de energia total, para os meses de janeiro e dezembro, destaca-se a orientação 0° (Norte); nos meses de fevereiro, março, abril, outubro e novembro a orientação 180° (Sul); nos meses de maio, agosto e setembro a orientação 135° (Sudeste), e nos meses de junho e julho a orientação 90° (Leste), sendo o mês de setembro, na orientação Sudeste, o de menor consumo total mensal com valor de 63,29 kWh.

Tabela 15 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO – FS 0,56

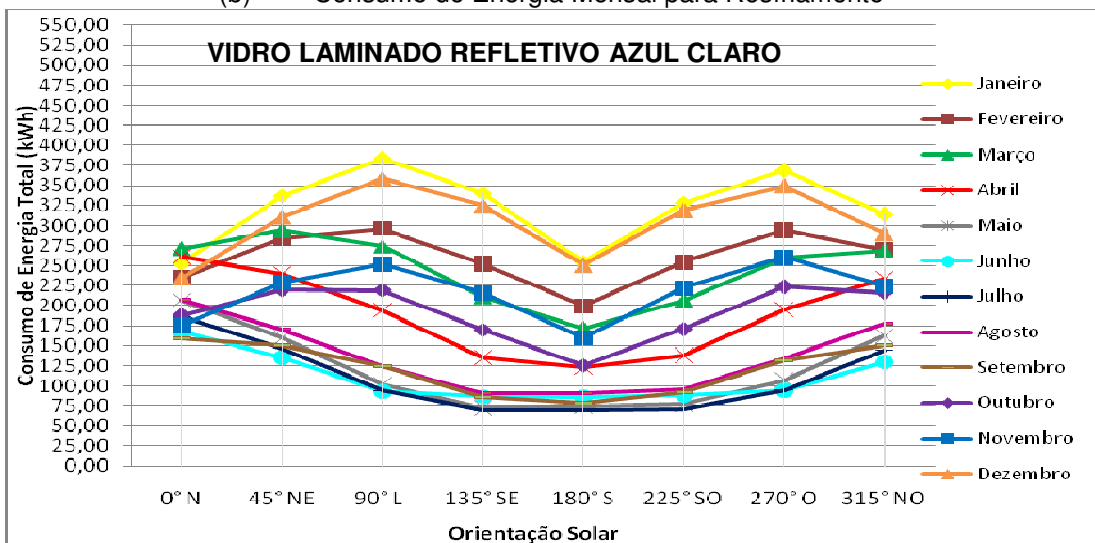
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	0,00	0,24	0,41	1,06	2,14	1,51	0,00	0,00
	Mai	0,00	0,93	4,68	14,56	16,87	16,37	4,07	0,95
	Junho	7,84	14,88	27,71	51,32	49,43	50,92	25,11	13,18
	Julho	4,65	7,57	13,06	22,82	21,94	22,36	10,57	7,00
	Agosto	0,83	2,46	5,11	15,05	17,49	16,06	5,82	2,88
	Setembro	1,58	1,10	1,41	3,64	7,77	6,11	2,68	2,47
	Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>14,90</b>	<b>27,18</b>	<b>52,38</b>	<b>108,45</b>	<b>115,82</b>	<b>113,33</b>	<b>48,25</b>	<b>26,48</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	253,30	336,78	383,95	340,24	254,15	328,06	368,64	314,17
	Fevereiro	235,25	284,30	295,98	252,24	199,43	254,02	294,60	269,85
	Março	270,61	293,98	273,97	210,77	171,98	206,32	259,13	268,77
	Abril	260,81	239,59	193,83	134,08	120,58	136,74	195,31	233,19
	Mai	206,69	159,30	97,32	57,60	57,77	60,61	103,41	161,21
	Junho	159,47	120,45	65,63	35,14	36,10	37,06	69,22	116,65
	Julho	181,52	139,04	80,83	46,28	47,22	48,48	84,07	137,26
	Agosto	206,62	168,34	119,00	76,24	73,46	79,77	128,65	174,32
	Setembro	157,09	148,74	123,35	82,59	70,52	86,37	128,70	148,28
	Outubro	188,07	219,41	219,03	169,72	125,38	170,83	223,36	216,21
	Novembro	174,91	228,77	251,55	215,62	159,86	221,89	260,25	224,18
	Dezembro	234,54	310,80	358,84	324,82	250,57	318,85	349,40	290,22
	<b>ANUAL</b>	<b>2528,88</b>	<b>2649,50</b>	<b>2463,28</b>	<b>1945,34</b>	<b>1567,02</b>	<b>1949,00</b>	<b>2464,74</b>	<b>2554,31</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	253,30	336,78	383,95	340,24	254,15	328,06	368,64	314,17
	Fevereiro	235,25	284,30	295,98	252,24	199,43	254,02	294,60	269,85
	Março	270,61	293,98	273,97	210,77	171,98	206,32	259,13	268,77
	Abril	260,81	239,83	194,24	135,14	122,72	138,25	195,31	233,19
	Mai	206,69	160,23	102,00	72,16	74,64	76,98	107,48	162,16
	Junho	167,31	135,33	93,34	86,46	85,53	87,98	94,33	129,83
	Julho	186,17	146,62	93,89	69,10	69,16	70,84	94,64	144,26
	Agosto	207,45	170,79	124,11	91,29	90,95	95,83	134,47	177,20
	Setembro	158,67	149,84	124,76	86,23	78,29	92,48	131,38	150,75
	Outubro	188,07	219,41	219,03	169,72	125,56	170,83	223,36	216,21
	Novembro	174,91	228,77	251,55	215,62	159,86	221,89	260,25	224,18
	Dezembro	234,54	310,80	358,84	324,82	250,57	318,85	349,40	290,22
	<b>ANUAL</b>	<b>2543,78</b>	<b>2676,68</b>	<b>2515,66</b>	<b>2053,79</b>	<b>1682,84</b>	<b>2062,33</b>	<b>2512,99</b>	<b>2580,79</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 30 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO

Os resultados dos consumos de energia, quando se considera na simulação o uso do vidro Laminado Refletivo Azul Claro com um Percentual de Abertura da Fachada de 80%, possibilitaram as seguintes considerações:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Para o uso do vidro Laminado Refletivo Azul Claro; com PAF 80%, o consumo de aquecimento foi nulo nos meses de novembro a março, ocorrendo consumo em apenas sete meses do ano. Dentre eles, nos meses de abril, maio, agosto e setembro a orientação de maior consumo de energia é a 180° (Sul), e nos meses de junho e julho é a orientação 135° (Sudeste). O mês de outubro apenas apresenta um pequeno consumo de aquecimento para a orientação 180° (Sul).
- O maior consumo de energia para aquecimento entre todos os meses ocorreu na posição 135° (Sudeste), no mês de junho (51,32 kWh).
- O menor consumo de aquecimento ocorre para a posição 0° (Norte), nos meses de inverno, junho, julho e agosto. Em setembro, o menor consumo para aquecimento é para a orientação 45° (Nordeste). No mês de maio, o consumo é nulo para a orientação 0° (Norte), e em abril o consumo também foi nulo para as orientações 0° (Norte), 270° (Oeste) e 315° (Noroeste).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Nos meses de verão, dezembro, janeiro e fevereiro, o consumo de energia para resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste); em março, o maior consumo para resfriamento encontra-se na posição solar 45° (Nordeste). Entre os meses de abril e setembro, observa-se o maior consumo energético para resfriar na orientação 0° (Norte), e nos meses de outubro e novembro o consumo mais alto para resfriamento ocorreu na orientação 270° (Oeste).
- O consumo de resfriamento maior entre todos os valores ocorre na orientação Leste e no mês de janeiro (383,95 kWh).
- Nos meses de dezembro e janeiro, o menor consumo está localizado na posição solar 0° (Norte). Em fevereiro, março e abril, agosto, setembro,

outubro e novembro na posição 180° (Sul); e entre maio e Julho na posição 135° (Sudeste).

- O menor consumo de resfriamento encontra-se no mês de junho, na orientação Sudeste com valor de 35,14 kWh.

#### CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Observa-se que, para o maior consumo de energia total, as orientações solares são as mesmas no consumo de resfriamento, pois, apesar do consumo de aquecimento nos meses de abril a outubro, os valores são insignificantes se relacionados aos consumos de resfriamento.
- O consumo total mais elevado está na orientação 90° (Leste), no mês de janeiro, com valor de 383,95 kWh.
- Os valores para menor consumo de energia total mantiveram-se iguais ao consumo de resfriamento para os meses de fevereiro, março, abril, junho, agosto, setembro, outubro e novembro, com a fachada orientada a 180° (Sul); e os meses de maio e julho na orientação 135° (Sudeste), sem interferência do consumo de aquecimento. Apenas no mês de junho houve mudança na orientação solar, com menor consumo total ocorrendo para a fachada 180° (Sul), mas com valores muito próximos a 135° (Sudeste).
- O menor consumo total encontra-se no mês de julho, na orientação Sudoeste, com valor de 69,10 kWh.

#### 4.3.1 Considerações gerais para o uso do vidro Laminado Refletivo Azul Claro

- Da mesma forma que com os vidros anteriores, para o vidro Laminado Refletivo Azul Claro, o resfriamento permanece com o maior consumo energético, apesar do aumento no consumo da energia de aquecimento para este vidro, principalmente, para o percentual de 20% de abertura da fachada.
- Apesar do consumo de energia para aquecimento apresentar valores um pouco acima dos vidros anteriores, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro

e março, o consumo de energia permanece nulo para o aquecimento em todas as orientações solares. Com este vidro, isso ocorre, inclusive, no mês de novembro, para o PAF de 50% e 80%.

- Pela grande interferência do consumo para aquecimento neste vidro, no PAF 20%, no gráfico do consumo de energia total, a curva do mês de junho destaca-se como ponto de consumo máximo, nas orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste).
- Apesar da diminuição de consumo para todos os percentuais de abertura da fachada, apenas no PAF 20% a orientação solar tem pouca influência na variação do consumo total.
- Todos os gráficos relacionados apresentam o traçado com curvas semelhantes aos vidros anteriores, com o diferencial de aumentar o consumo para aquecimento e reduzir o consumo para resfriamento.
- Conforme se observa no gráfico do aquecimento, as orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste) estão situados em picos de consumo, e no gráfico do resfriamento as orientações que apresentam picos de consumo são a 90° (Leste) e a 270° (Oeste).
- Em função do FS deste vidro ser mais baixo que nos vidros anteriores, a radiação solar encontra maior bloqueio, por este motivo, o consumo de energia para aquecimento é maior e o consumo de energia para resfriamento é menor. Como existe esta predominância do consumo de resfriamento, o consumo de energia total adquire essa característica, diferindo no PAF 20%, onde o aumento do consumo de aquecimento é significativo, alterando o comportamento do consumo de energia total.
- O comportamento descrito anteriormente é tão acentuado no PAF 20%, a ponto de alterar os picos de consumo de energia total nas orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste).
- Como observação lógica, vale dizer que todo ponto de alta no consumo do aquecimento corresponde a um ponto de baixa no consumo de resfriamento.
- Os meses de junho e janeiro apresentam-se como curvas extremas, sempre em situação opostas: junho o pico de consumo do aquecimento e mínimo de resfriamento; em janeiro, o inverso.



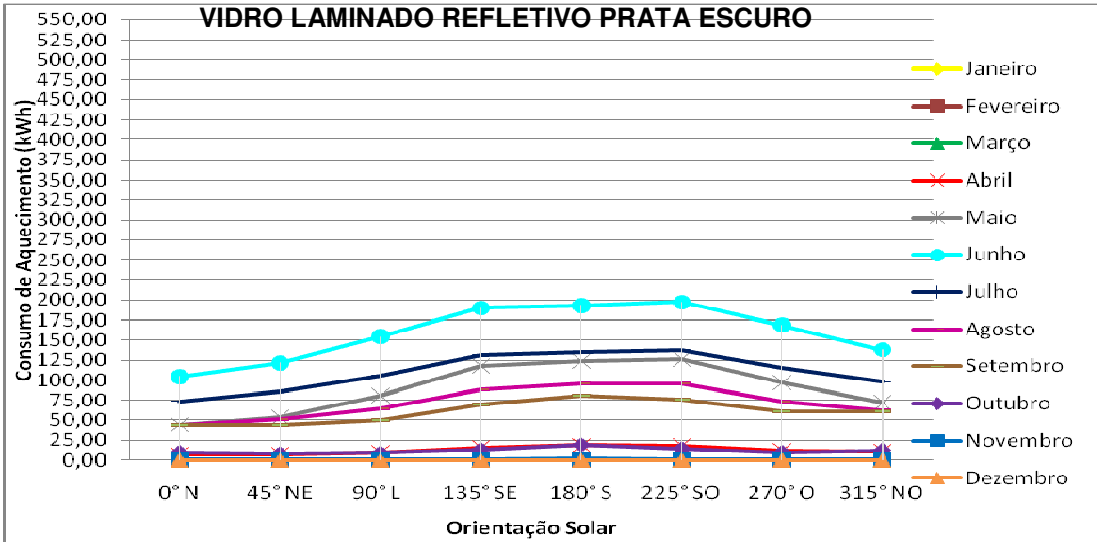
- O ponto de pico no consumo de resfriamento está na orientação 90° (Leste) no mês de janeiro, assim como o de menor consumo é a orientação 225° (Sudoeste) no mês de julho.
- O Fator Solar mais restritivo deste vidro, apesar de causar aumento do consumo de aquecimento, se mostra fundamental na redução do consumo de resfriamento e do consumo de energia total.
- As curvas do gráfico de consumo de energia para aquecimento têm intervalos menores entre elas, conforme se amplia o PAF, demonstrando comportamento inversamente proporcional. As curvas do gráfico de resfriamento ficam descritas em intervalos mais abertos, conforme o crescimento do PAF, com comportamento diretamente proporcional.
- O gráfico de consumo de energia total no maior percentual de abertura da fachada é praticamente a reprodução do gráfico do consumo de resfriamento, em virtude da preponderância desse consumo de energia.

#### **4.4 Vidro Laminado Refletivo Prata Escuro**

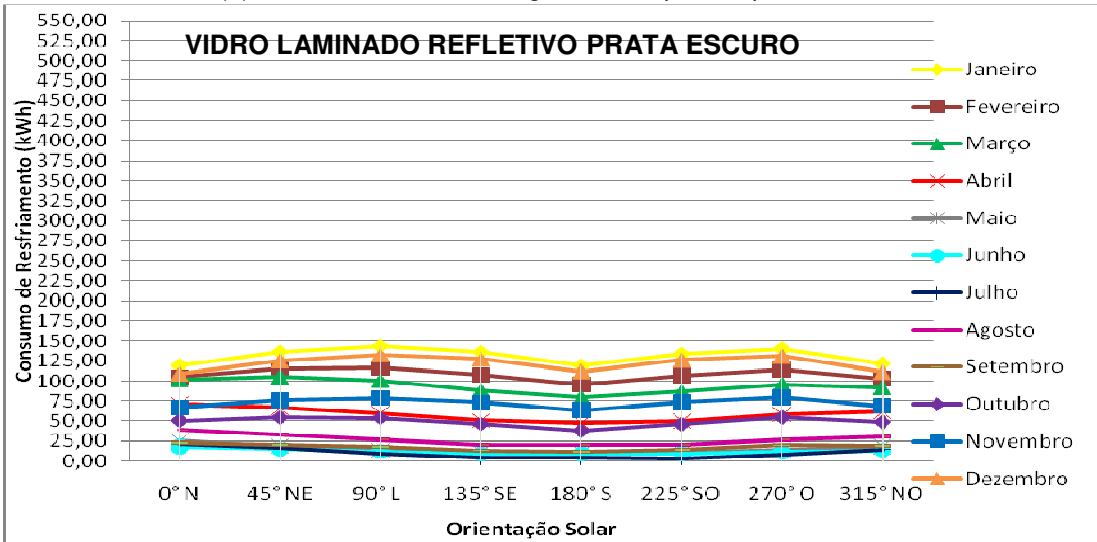
As Tabelas 16 a 18 apresentam os resultados numéricos das simulações computacionais, considerando o uso na fachada do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro, com Fator Solar de 29%. A Tabela 16 considera um PAF de 20%, a Tabela 17 um PAF de 50% e a Tabela 18 um PAF de 80%. As Figuras 31 a 33 representam graficamente os resultados destas tabelas.

Tabela 16 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 20% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO – FS 0,29

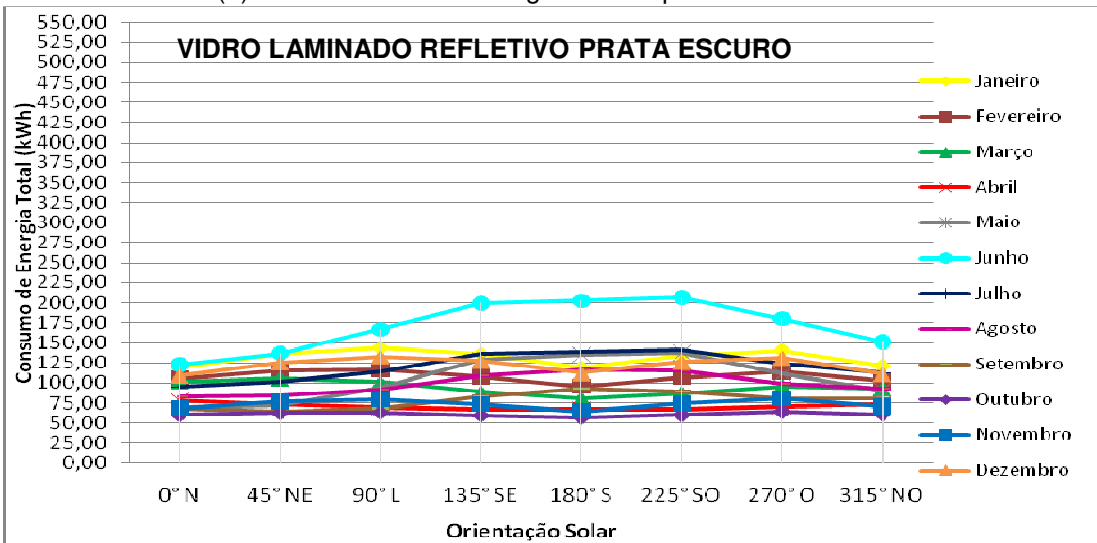
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
<b>AQUECIMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Fevereiro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Março</b>	0,08	0,04	0,07	0,30	0,99	0,53	0,08	0,62
	<b>Abril</b>	6,78	6,79	9,02	15,66	18,81	17,63	12,25	10,84
	<b>Mai</b>	44,40	53,41	80,68	117,69	123,83	126,49	96,63	72,44
	<b>Junho</b>	104,31	121,59	154,52	189,84	193,19	197,28	168,73	137,81
	<b>Julho</b>	73,65	85,36	105,58	131,54	134,77	137,70	115,46	97,71
	<b>Agosto</b>	44,30	51,58	65,02	88,32	95,91	95,03	72,87	62,32
	<b>Setembro</b>	44,35	43,60	50,52	69,24	80,33	75,27	60,67	60,79
	<b>Outubro</b>	9,61	8,04	9,08	13,30	18,85	14,18	9,57	12,32
	<b>Novembro</b>	1,24	0,51	0,24	0,56	1,57	0,81	0,50	1,18
	<b>Dezembro</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>328,72</b>	<b>370,92</b>	<b>474,73</b>	<b>626,45</b>	<b>668,25</b>	<b>664,92</b>	<b>536,76</b>	<b>456,03</b>
<b>RESFRIAMENTO</b>	<b>Janeiro</b>	119,18	136,19	143,71	136,08	118,83	133,67	140,31	121,23
	<b>Fevereiro</b>	104,94	114,70	115,92	107,50	95,83	106,89	114,11	102,87
	<b>Março</b>	101,72	105,19	101,05	88,65	79,60	86,36	95,80	91,98
	<b>Abril</b>	71,24	66,75	60,16	50,71	47,79	49,78	58,42	62,05
	<b>Mai</b>	25,29	18,41	13,87	11,27	11,04	11,01	14,20	17,59
	<b>Junho</b>	17,96	14,98	12,15	9,64	9,46	9,24	11,33	13,40
	<b>Julho</b>	21,19	16,49	8,71	4,17	3,90	3,74	8,56	14,43
	<b>Agosto</b>	38,27	32,18	26,19	20,57	20,21	20,26	26,66	30,54
	<b>Setembro</b>	23,21	20,57	17,56	13,59	12,03	14,07	19,83	19,04
	<b>Outubro</b>	50,55	54,46	53,85	46,14	37,87	45,82	54,62	48,69
	<b>Novembro</b>	66,78	75,92	78,81	72,87	63,19	73,64	79,88	69,05
	<b>Dezembro</b>	109,05	125,28	133,00	127,24	112,12	125,75	130,93	111,04
	<b>ANUAL</b>	<b>749,38</b>	<b>781,12</b>	<b>764,98</b>	<b>688,43</b>	<b>611,87</b>	<b>680,23</b>	<b>754,65</b>	<b>701,91</b>
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>Janeiro</b>	119,18	136,19	143,71	136,08	118,83	133,67	140,31	121,23
	<b>Fevereiro</b>	104,94	114,70	115,92	107,50	95,83	106,89	114,11	102,87
	<b>Março</b>	101,80	105,23	101,12	88,95	80,59	86,89	95,88	92,60
	<b>Abril</b>	78,02	73,54	69,18	66,38	66,60	67,41	70,67	72,89
	<b>Mai</b>	69,69	71,82	94,55	128,95	134,87	137,50	110,83	90,03
	<b>Junho</b>	122,27	136,57	166,67	199,48	202,65	206,52	180,06	151,21
	<b>Julho</b>	94,83	101,85	114,29	135,72	138,67	141,44	124,02	112,13
	<b>Agosto</b>	82,56	83,76	91,21	108,89	116,12	115,29	99,53	92,86
	<b>Setembro</b>	67,55	64,17	68,08	82,83	92,36	89,34	80,50	79,84
	<b>Outubro</b>	60,17	62,50	62,93	59,43	56,72	60,00	64,19	61,01
	<b>Novembro</b>	68,02	76,43	79,05	73,43	64,76	74,45	80,38	70,23
	<b>Dezembro</b>	109,05	125,28	133,00	127,24	112,12	125,75	130,93	111,04
	<b>ANUAL</b>	<b>1078,10</b>	<b>1152,04</b>	<b>1239,71</b>	<b>1314,88</b>	<b>1280,12</b>	<b>1345,15</b>	<b>1291,41</b>	<b>1157,94</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 31 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO

As principais considerações que podem ser feitas a partir dos resultados da simulação, com o uso do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro e percentual de abertura da fachada de 20% são:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Observa-se que, neste vidro, com este PAF, apenas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro o consumo de energia para aquecimento não existe. Isto demonstra que o consumo de energia para aquecimento aumentou.
- Percebe-se, nos meses de março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro que a fachada com orientação 180° (Sul) apresentou o maior consumo de energia para aquecimento. Nos meses de maio, junho e julho, a fachada com maior consumo para aquecimento está na orientação 225° (Sudoeste).
- O maior consumo geral para aquecimento localiza-se na orientação Sudoeste no mês de junho (197,28 kWh).
- A orientação 0° (Norte) apresenta menor consumo de energia para aquecimento nos meses de abril a agosto; nos meses de março, setembro e outubro ocorre o menor consumo na orientação 45° (Nordeste), enquanto no mês de novembro o mesmo ocorre para 90° (Leste).

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Pode-se destacar a ocorrência de consumo de energia para resfriamento bem menor, comparando-se o vidro Laminado refletivo Prata Escuro aos outros, principalmente, nos meses de maio, junho e julho.
- Nos meses janeiro, fevereiro e dezembro, o consumo de energia para resfriamento é maior na posição solar 90° (Leste). Durante o mês de março, o maior consumo para resfriamento acontece na orientação 45° (Nordeste); nos meses de abril a setembro, está na orientação 0° (Norte) e, nos meses de outubro e novembro, na orientação 270° (Oeste).
- O valor mais elevado de consumo para resfriamento está em janeiro, na orientação Leste (143,71 kWh).

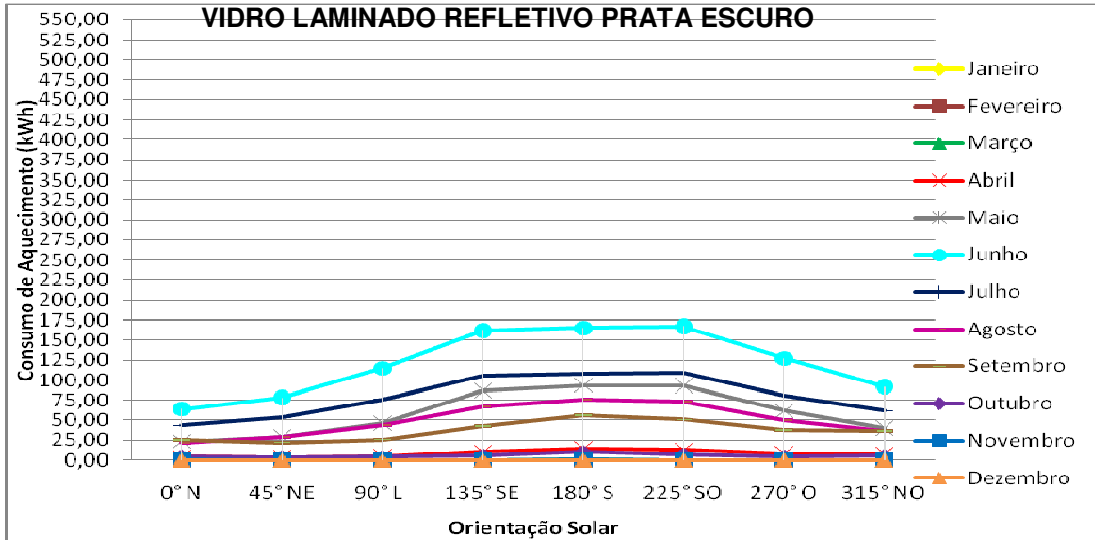
- Para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro e novembro o menor consumo de energia para resfriamento ocorre na fachada orientada 180° (Sul). Nos meses de maio, junho e julho, a orientação de menor consumo é 225° (Sudoeste), e no mês de dezembro é 0° (Norte).
- O menor consumo de energia para resfriamento está na orientação Sudoeste, no mês de maio, com valor de 11,01 kWh.

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

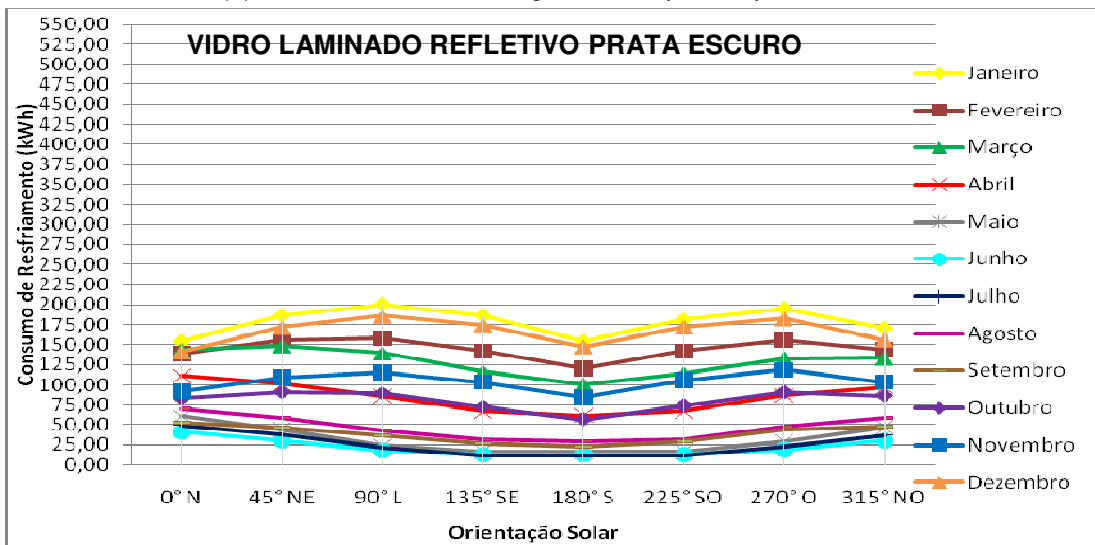
- Nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro destaca-se a orientação Leste com o maior consumo de energia total, conforme ocorre no consumo de resfriamento, pois como não há consumo de aquecimento nesses meses, o consumo de energia total é igual ao de resfriamento.
- Em março, o maior consumo de energia total é observado na posição solar 45° (Nordeste); em abril é na posição 0° (Norte); em agosto e setembro é na posição 180° (Sul), e em outubro e novembro é na posição 270° (Oeste). Nos meses de maio, junho e julho, a orientação 225° (Sudoeste) ocorreu o maior consumo de energia total, o que demonstra o crescimento da energia de aquecimento para este vidro e define claramente a orientação de consumo mais elevado nos meses frios.
- O maior consumo de energia total ocorreu no mês de janeiro, na posição Leste, com valor de 143,71 kWh.
- O menor valor de consumo de energia total ocorreu na orientação Sul, para os meses de janeiro, fevereiro, março e novembro; na orientação Sudeste para o mês de abril, na orientação Nordeste para o mês de setembro, e na orientação Sudoeste para o mês de outubro. Em maio, junho, julho, agosto e dezembro, ocorreu o menor consumo total na orientação Norte, devido, principalmente, à redução da energia para aquecimento.
- No mês de Outubro, na orientação Sul, ocorreu o menor valor para consumo de energia total (56,72 kWh).

Tabela 17 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 50% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO – FS 0,29

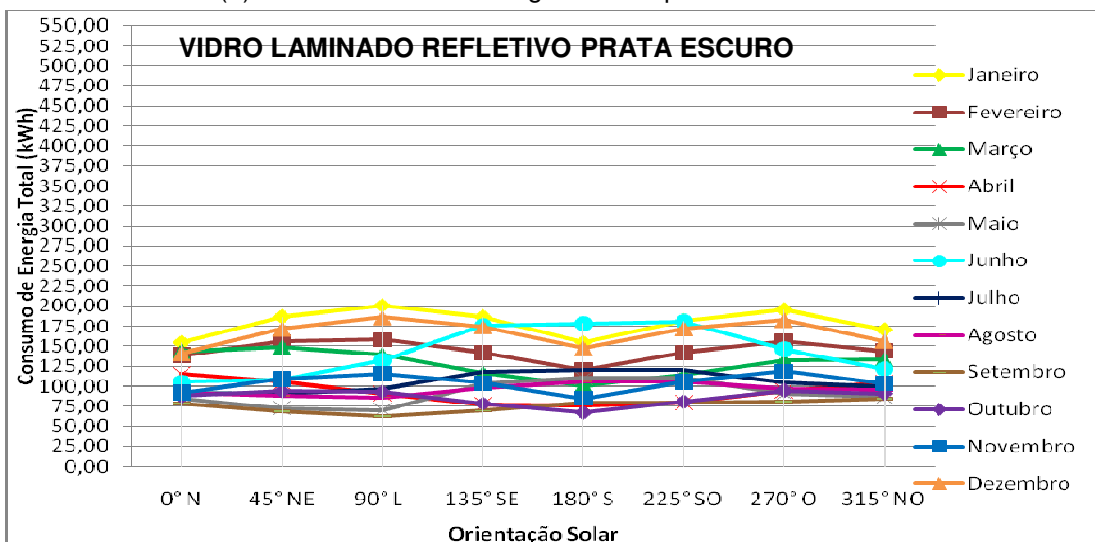
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,00	0,00	0,00
	Abril	3,99	3,76	4,69	10,17	14,38	12,60	7,92	6,85
	Maiο	23,29	28,77	46,58	86,92	93,55	93,37	61,79	40,12
	Junho	64,10	78,05	114,65	162,29	165,16	167,31	127,20	91,53
	Julho	43,39	53,10	75,97	104,88	107,96	108,59	81,14	62,05
	Agosto	21,84	29,30	43,31	67,36	76,15	73,18	49,73	36,39
	Setembro	25,72	22,25	25,94	43,02	56,24	50,62	38,05	36,50
	Outubro	4,66	3,70	4,00	6,12	10,08	6,97	4,28	5,06
	Novembro	0,43	0,00	0,00	0,02	0,54	0,00	0,00	0,02
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>187,42</b>	<b>218,93</b>	<b>315,14</b>	<b>480,81</b>	<b>524,34</b>	<b>512,64</b>	<b>370,11</b>	<b>278,52</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	154,49	186,69	200,36	186,56	154,48	181,55	195,26	170,64
	Fevereiro	138,32	155,44	157,78	141,85	120,39	141,81	156,11	144,04
	Março	143,16	148,68	139,92	116,81	100,79	113,71	132,65	133,34
	Abril	111,03	101,43	85,81	66,63	61,60	66,62	86,38	97,16
	Maiο	60,56	43,91	23,65	16,63	16,32	16,85	29,07	46,80
	Junho	40,80	29,88	17,70	13,26	13,24	13,19	19,01	30,23
	Julho	48,93	37,61	21,12	12,23	11,95	12,03	23,24	36,74
	Agosto	69,80	58,56	42,96	30,91	29,49	31,76	47,54	59,04
	Setembro	52,14	46,64	36,61	26,05	22,77	28,48	43,21	47,85
	Outubro	82,98	90,60	89,18	72,24	56,55	73,70	90,58	86,13
	Novembro	91,68	109,07	115,05	103,54	84,45	105,63	118,53	103,42
	Dezembro	141,08	171,57	186,19	174,81	147,59	172,19	182,59	156,51
	<b>ANUAL</b>	<b>1134,97</b>	<b>1180,08</b>	<b>1116,33</b>	<b>961,52</b>	<b>819,62</b>	<b>957,52</b>	<b>1124,17</b>	<b>1111,90</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	154,49	186,69	200,36	186,56	154,48	181,55	195,26	170,64
	Fevereiro	138,32	155,44	157,78	141,85	120,39	141,81	156,11	144,04
	Março	143,16	148,68	139,92	116,84	101,07	113,71	132,65	133,34
	Abril	115,02	105,19	90,50	76,80	75,98	79,22	94,30	104,01
	Maiο	83,85	72,68	70,23	103,55	109,87	110,22	90,86	86,92
	Junho	104,90	107,93	132,35	175,55	178,40	180,50	146,21	121,76
	Julho	92,32	90,71	97,09	117,11	119,91	120,62	104,38	98,79
	Agosto	91,64	87,86	86,27	98,27	105,64	104,94	97,27	95,43
	Setembro	77,86	68,89	62,54	69,07	79,01	79,10	81,26	84,35
	Outubro	87,64	94,30	93,19	78,36	66,63	80,67	94,86	91,19
	Novembro	92,11	109,07	115,05	103,56	84,99	105,63	118,53	103,44
	Dezembro	141,08	171,57	186,19	174,81	147,59	172,19	182,59	156,51
	<b>ANUAL</b>	<b>1322,39</b>	<b>1399,01</b>	<b>1431,47</b>	<b>1442,33</b>	<b>1343,96</b>	<b>1470,16</b>	<b>1494,28</b>	<b>1390,42</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 32 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO

Os resultados com o uso do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro com Percentual de Abertura da Fachada de 50% permitem as seguintes observações:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Assim como no PAF 20%, nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, o consumo de energia para aquecimento é inexistente.
- O mês de março somente apresenta consumo para aquecimento nas orientações 135° (Sudeste) e 180° (Sul). O mês de novembro, além destas orientações, apresenta consumo também nas orientações 0° (Norte) e 315° (Noroeste).
- Os maiores consumos de energia para aquecimento foram obtidos na orientação 180° (Sul), exceto nos meses de junho e julho, obtido na posição solar 225° (Sudoeste), onde ocorreu maior consumo.
- O consumo mais elevado geral de aquecimento ocorreu na orientação Sudoeste, no mês de junho (167,31 kWh).
- O menor consumo de energia para aquecimento ocorreu na fachada orientada a 45° (Nordeste) para os meses de abril, setembro e outubro, e a 0° (Norte) para os meses de maio, junho, julho e agosto.

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Durante os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, pode-se destacar a orientação 90° (Leste) como a de maior consumo energético para resfriamento. Em março e outubro, destaca-se a orientação 45° (Nordeste); em novembro, a orientação 270° (Oeste). Entre os meses de abril e setembro, o consumo mais alto para resfriamento ocorre na fachada orientada a 0° (Norte).
- O maior consumo de energia para resfriamento aconteceu no mês de janeiro, na orientação Leste com valor de 200,36 kWh.
- Para o menor consumo de energia de resfriamento, a fachada com orientação 180° (Sul) concentra todos os meses do ano, exceto os meses de junho, onde



o menor consumo está posicionado na orientação 225° (Sudoeste), e dezembro na orientação 0° (Norte).

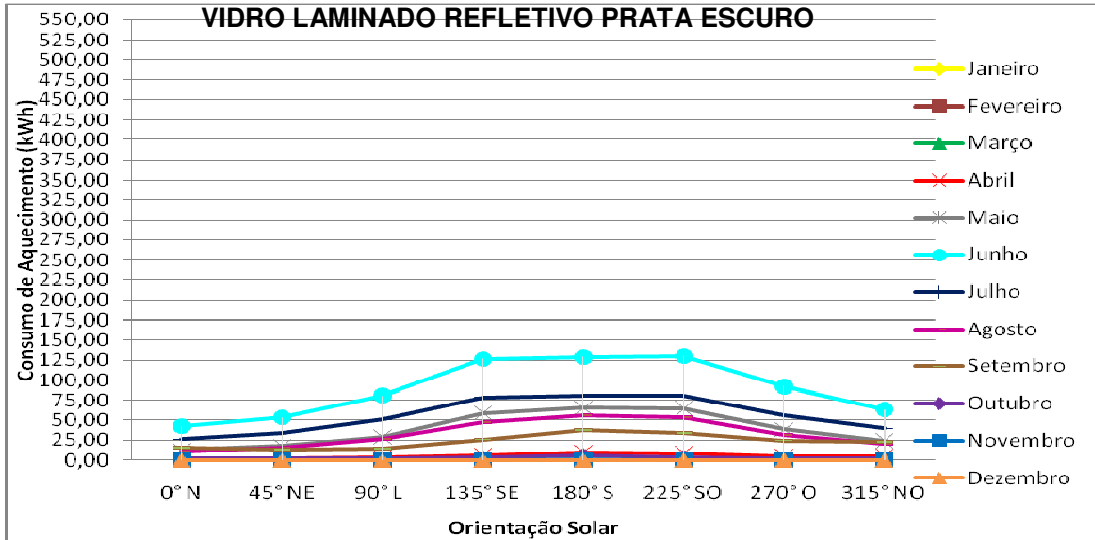
- O consumo de resfriamento mais baixo aconteceu no mês de julho, na posição Sul, com valor de 11,95 kWh.

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

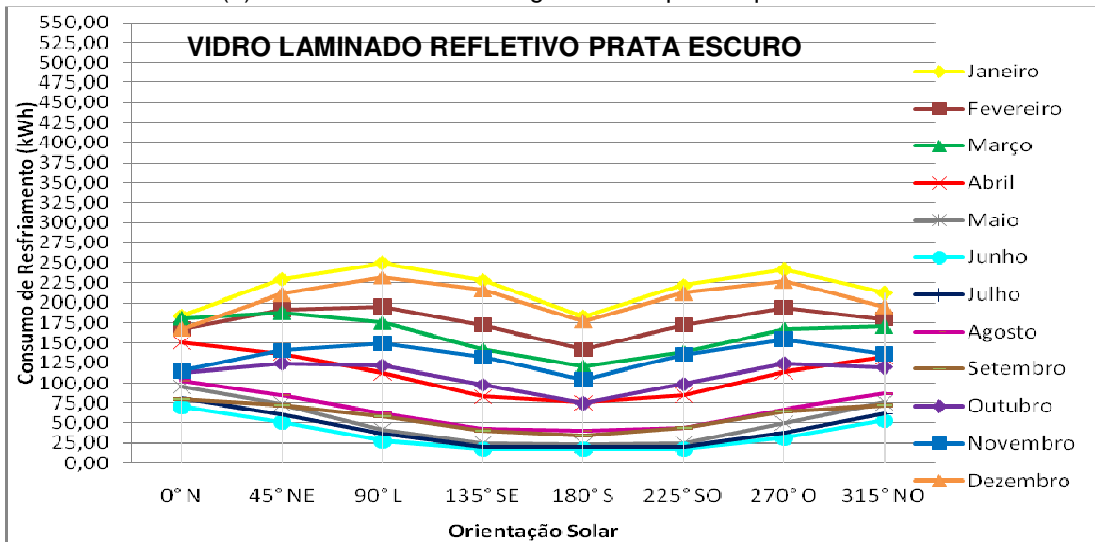
- Em função dos valores do consumo de energia para aquecimento serem altos, o consumo de energia total não segue o padrão dos vidros anteriores, apresentando curvas com grande interferência de consumo de aquecimento.
- Apenas durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, como não existe consumo de aquecimento, o consumo de energia total é igual ao consumo de energia para resfriamento, com maior consumo destacando-se na orientação 90° (Leste).
- No mês de março, o maior consumo de energia total ocorreu na orientação 45° (Nordeste); no mês de abril, na orientação 0° (Norte); nos meses de maio, junho e julho, na orientação 225° (Sudoeste); no mês de agosto, na orientação 180° (Sul); no mês de setembro, na orientação 315° (Noroeste); e, nos meses de outubro e novembro, na orientação 270° (Oeste).
- Para o menor consumo de energia total, destaca-se a orientação 180° (Sul) para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro e novembro. Em maio, agosto e setembro, o menor consumo total foi na posição solar 90° (Leste); em junho, na posição solar 0° (Norte), e em julho foi na posição 45° (Nordeste).
- O maior consumo total ocorreu no mês de janeiro, na orientação Leste (200,36 kWh). O menor consumo aconteceu no mês de setembro, na orientação Leste (62,54 kWh).

Tabela 18 – Valores de Consumo de Energia Mensal: 80% de Percentual de Abertura da Fachada – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO – FS 0,29

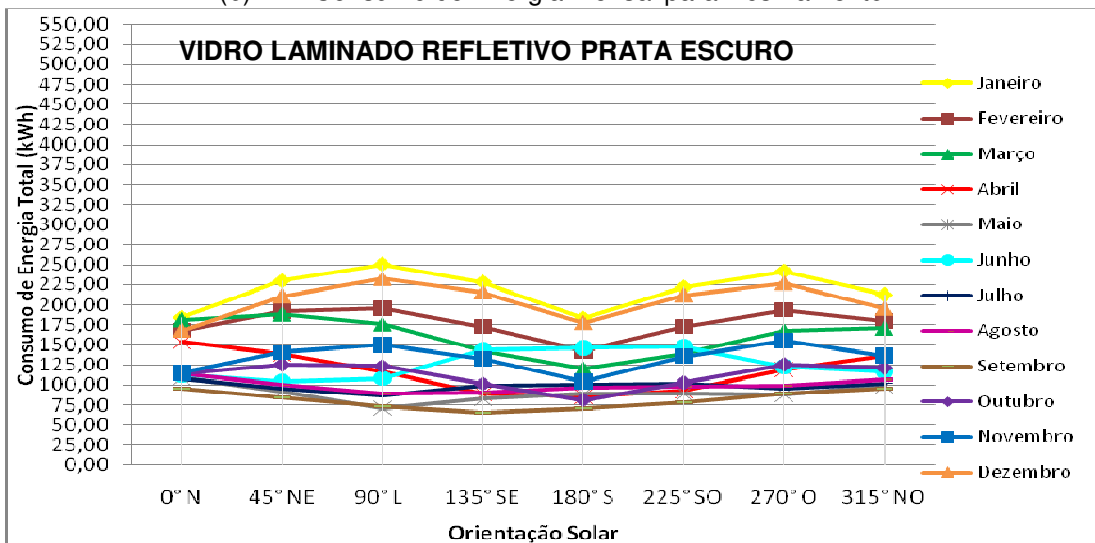
		0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
AQUECIMENTO	Janeiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fevereiro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Março	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Abril	2,45	2,35	3,05	5,93	9,87	8,36	4,82	4,20
	Maiο	12,61	17,49	29,14	59,17	65,45	64,51	38,38	23,84
	Junho	42,27	53,31	80,62	126,53	128,87	130,06	92,00	63,33
	Julho	26,29	34,28	51,17	78,34	80,63	80,43	56,64	39,51
	Agosto	10,75	15,62	27,10	47,89	56,14	53,19	31,89	20,27
	Setembro	15,20	12,46	14,47	25,91	37,49	33,81	24,69	22,54
	Outubro	1,58	1,36	1,62	3,06	6,06	3,59	1,42	1,60
	Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
	Dezembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>ANUAL</b>	<b>111,15</b>	<b>136,87</b>	<b>207,17</b>	<b>346,83</b>	<b>384,59</b>	<b>373,95</b>	<b>249,84</b>	<b>175,29</b>
RESFRIAMENTO	Janeiro	184,12	229,73	249,99	228,41	183,25	221,83	241,90	212,53
	Fevereiro	167,54	191,72	195,30	172,51	141,81	172,52	193,74	179,85
	Março	181,11	188,37	176,04	142,74	119,91	138,86	166,89	170,72
	Abril	150,65	136,57	112,84	82,72	75,23	84,72	113,76	132,06
	Maiο	95,71	73,94	41,95	23,93	23,05	24,71	49,69	75,50
	Junho	70,53	51,02	27,43	17,39	17,40	17,57	30,90	53,16
	Julho	80,85	60,80	35,92	20,46	20,13	20,67	38,24	62,13
	Agosto	102,69	84,02	62,44	42,04	40,17	44,30	67,36	86,35
	Setembro	79,55	71,60	58,99	40,05	33,53	43,69	64,58	72,68
	Outubro	112,19	123,88	121,65	97,85	74,89	98,68	123,95	119,48
	Novembro	114,88	140,54	149,60	132,12	104,06	135,53	155,02	135,85
	Dezembro	167,56	210,89	232,74	216,06	177,19	212,04	227,09	195,26
	<b>ANUAL</b>	<b>1507,38</b>	<b>1563,08</b>	<b>1464,89</b>	<b>1216,28</b>	<b>1010,62</b>	<b>1215,12</b>	<b>1473,12</b>	<b>1495,57</b>
CONSUMO TOTAL	Janeiro	184,12	229,73	249,99	228,41	183,25	221,83	241,90	212,53
	Fevereiro	167,54	191,72	195,30	172,51	141,81	172,52	193,74	179,85
	Março	181,11	188,37	176,04	142,74	119,91	138,86	166,89	170,72
	Abril	153,10	138,92	115,90	88,65	85,10	93,08	118,58	136,26
	Maiο	108,32	91,43	71,09	83,10	88,50	89,22	88,07	99,34
	Junho	112,80	104,33	108,05	143,92	146,27	147,63	122,90	116,49
	Julho	107,14	95,08	87,09	98,80	100,76	101,10	94,88	101,64
	Agosto	113,44	99,64	89,53	89,93	96,31	97,49	99,25	106,62
	Setembro	94,75	84,06	73,46	65,96	71,02	77,50	89,27	95,22
	Outubro	113,77	125,24	123,27	100,91	80,95	102,27	125,37	121,08
	Novembro	114,88	140,54	149,60	132,12	104,14	135,53	155,02	135,85
	Dezembro	167,56	210,89	232,74	216,06	177,19	212,04	227,09	195,26
	<b>ANUAL</b>	<b>1618,53</b>	<b>1699,95</b>	<b>1672,06</b>	<b>1563,11</b>	<b>1395,21</b>	<b>1589,07</b>	<b>1722,96</b>	<b>1670,86</b>



(a) Consumo de Energia Mensal para Aquecimento



(b) Consumo de Energia Mensal para Resfriamento



(c) Consumo de Energia Mensal Total

Figura 33 – Gráficos do Consumo de Energia Mensal (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de PAF – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO

Considerando-se os resultados obtidos com o uso do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro com 80% de percentual de abertura da fachada, observa-se:

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO

- Além dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, também não ocorreu consumo de energia para aquecimento no mês de março, pois o aumento do percentual de abertura de fachada acarreta diminuição no consumo de aquecimento. O mês de novembro tem consumo somente na orientação 180° (Sul), mas com valores quase nulos.
- Os valores para maior consumo de energia para aquecimento ocorreram na orientação 180° (Sul) para os meses de abril, maio, julho, agosto, setembro e outubro, e para o mês de junho a orientação com maior consumo é a fachada orientada a 225° (Sudoeste).
- O maior valor de consumo para aquecimento está na orientação Sudoeste, no mês de junho (130,06 kWh).
- O menor consumo de energia para aquecimento ocorreu nas orientações 0° (Norte) para os meses entre maio a agosto; e 45° (Nordeste) para os meses de abril, setembro e outubro.

#### CONSUMO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO

- Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro mantêm o maior consumo de energia para resfriamento na posição solar 90° (Leste), enquanto no mês de março o maior consumo de resfriamento ocorre na orientação 45° (Nordeste). Entre os meses de abril a setembro, ocorre maior consumo na orientação 0° (Norte), e nos meses de outubro e novembro na orientação 270° (Oeste).
- O consumo para resfriamento mais elevado está no mês de janeiro, na orientação Leste, com valor de 249,99 kWh.
- Nos meses de janeiro a maio e julho a novembro, o valor mais baixo de consumo de energia para resfriamento ocorreu na orientação 180° (Sul). Para o mês de junho, o menor consumo de resfriamento ocorreu na posição 135° (Sudeste), e, para o mês de dezembro, na posição 0° (Norte).

- O valor mais baixo para consumo de resfriamento ocorreu no mês de junho, na orientação Sudoeste (17,39 kWh).

## CONSUMO DE ENERGIA TOTAL

- Verifica-se, nos meses de verão, dezembro, janeiro, fevereiro e março, que o comportamento do consumo de energia total mantém-se igual ao consumo para resfriamento.
- Nos meses de abril, maio, julho e agosto, o maior valor de consumo de energia total encontra-se na posição 0° (Norte), enquanto no mês de junho encontra-se na posição 225° (Sudoeste), no mês de setembro na posição 315° (Noroeste) e nos meses de outubro e novembro na orientação 270° (Oeste).
- O maior consumo de energia total ocorreu na orientação Leste, no mês de janeiro (249,99 kWh), como aconteceu com o consumo de resfriamento.
- Para os valores de menor consumo de energia total, houve um destaque da orientação 180° (Sul), localizando-se aí a maioria dos meses, dentre eles, de janeiro a abril, e outubro e novembro. Nos meses de maio, julho e agosto, a menor ocorrência foi na orientação 90° (Leste), para o mês de junho, na orientação 45° (Nordeste). Para o mês de setembro, ocorreu na orientação 135° (Sudeste); e, para o mês de dezembro, na orientação 0° (Norte).
- O consumo de energia total mais baixo aconteceu no mês de setembro, na posição Sudeste, com valor de 65,96 kWh.

#### 4.4.1 Considerações gerais para o uso do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro

- Com a diminuição do Fator Solar, a insolação recebeu maior bloqueio, o que acarretou aumento considerável no consumo de energia para aquecimento, alterando o padrão de variação da curva de consumo energético total.
- Ocorreu ainda mais a interferência do menor Fator Solar, pela elevação de seu bloqueio neste vidro, que, mesmo causando um aumento no consumo de aquecimento, se mostra ainda mais eficiente na redução do consumo de resfriamento e do consumo de energia total.
- Apesar da diminuição do fator solar que aumenta o bloqueio da radiação solar, causando uma elevação no consumo de aquecimento, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro permanecem com consumo de aquecimento nulo para os três percentuais de abertura, e março para o PAF 80%.
- Ressaltando a grande interferência do consumo para aquecimento, no PAF 20%, o gráfico do consumo de energia total apresentou a curva do mês de junho, como ponto de consumo máximo, para todas as orientações solares, o que significa dizer que ela ocupou o topo do consumo.
- Também para este vidro, apesar da diminuição de consumo total para todos os percentuais de abertura da fachada, apenas no PAF 20% a orientação solar tem pouca influência na variação do consumo total.
- Pela observação lógica, vale dizer que todo ponto de alta no consumo do aquecimento corresponde a um ponto de baixa no consumo de resfriamento.
- Todos os gráficos relacionados apresentam o mesmo padrão de traçado dos vidros anteriores. Ficando ainda mais evidente o aumento do consumo para aquecimento e a redução do consumo para resfriamento.
- Permanece a observação no gráfico do consumo de aquecimento, em que, nas orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste), ocorrem os picos de consumo. No gráfico do consumo de resfriamento, as orientações que representam picos de consumo são a 90° (Leste) e 270° (Oeste).

- A elevação do consumo de energia para aquecimento se faz notar claramente no PAF 20%, com elevação acentuada dos picos de consumo de energia total nas orientações 135° (Sudeste), 180° (Sul) e 225° (Sudoeste).
- Permanecem os meses de junho e janeiro como curvas extremas, sempre em situações opostas, junho apresenta-se como pico de consumo do aquecimento e mínimo de resfriamento, sendo que, no mês de janeiro, ocorre o contrário.
- O ponto de pico no consumo de resfriamento está na orientação 90° (Leste) no mês de janeiro, assim como, no mês de julho, o de menor consumo é a orientação 225° (Sudoeste).
- A interferência do consumo de aquecimento é ainda maior no consumo de energia total para este vidro, elevando toda a curva do mês de junho, e transformando-a como curva de extremo consumo, para o PAF 20%.

#### **4.5 Máximos e mínimos de consumo de energia para aquecimento, resfriamento e total mensal**

A Tabela 19 apresenta, para os diferentes tipos de vidro e percentuais de abertura da fachada, um resumo das orientações solares e meses do ano onde ocorre o máximo valor de consumo de energia para aquecimento, resfriamento e total. E a Tabela 20 apresenta o mínimo valor de consumo para as mesmas energias, sendo que os meses assinalados em cor verde têm consumo igual a zero, e para os outros ocorrem consumo mínimo diferente de zero.

Tabela 19 – Máximos de consumo de energia mensal para os diferentes tipos de vidro, percentuais de abertura da fachada e orientações solares

Vidro	PAF	Máximo Consumo de Energia	0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
			kWh	kWh	kWh	KWh	kWh	kWh	kWh	kWh
COMUM INCOLOR	20%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	50%	AQUEC.				Junho				
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	80%	AQUEC.				Junho				
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
BRONZE CLARO	20%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	50%	AQUEC.				Junho				
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	80%	AQUEC.				Junho				
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
AZUL CLARO	20%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	50%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	80%	AQUEC.				Junho				
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
PRATA ESCURO	20%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	50%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					
	80%	AQUEC.						Junho		
		RESFRIAM.			Janeiro					
		TOTAL			Janeiro					



Tabela 20 – Mínimos de consumo de energia mensal para os diferentes tipos de vidro, percentuais de abertura da fachada e orientações solares

Vidro	PAF	Mínimo Consumo de Energia	0°N	45°NE	90°L	135°SE	180°S	225°SO	270°O	315°NO
			kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
COMUM INCOLOR	20%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.						Julho		
		TOTAL				Setembro				
	50%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Outubro / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL					Julho			
	80%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Abril / Maio / Setembro / Outubro / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Junho				
BRONZE CLARO	20%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Dezembro							
		RESFRIAM.				Julho				
		TOTAL			Setembro					
	50%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Outubro / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Maio				
	80%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Abril / Outubro / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Julho				
AZUL CLARO	20%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Dezembro							
		RESFRIAM.						Julho		
		TOTAL		Maio						
	50%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Setembro				
	80%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Outubro / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Julho				
PRATA ESCURO	20%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Dezembro							
		RESFRIAM.						Julho		
		TOTAL				Outubro				
	50%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Dezembro							
		RESFRIAM.						Julho		
		TOTAL						Outubro		
	80%	AQUEC.	Janeiro / Fevereiro / Março / Novembro / Dezembro							
		RESFRIAM.				Junho				
		TOTAL				Setembro				



## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo visa tornar a quantidade de dados obtidos nas simulações em observações práticas para profissionais da área. Com isso, possibilitando uma avaliação prévia das implicações decorrentes da especificação de diferentes tipos de vidros em edificações com materiais e processo construtivos, semelhantes ao que foi utilizado para este estudo.

As simulações computacionais realizadas através do software *Design Builder* geraram dados usados na montagem de planilhas e gráficos que apresentam o consumo energético gasto na climatização do ambiente de trabalho da edificação comercial, definida como tipologia construtiva característica da região estudada.

Foram analisados os vidros Comum Incolor, Laminado Bronze Claro, Laminado Refletivo Azul Claro e Laminado Refletivo Prata Escuro, com as variações das orientações solares 0° Norte, 45° Nordeste, 90° Leste, 135° Sudeste, 180° Sul, 225° Sudoeste, 270° Oeste e 315° Noroeste, assim como as alterações de percentuais de abertura da fachada 20%, 50% e 80%.

Os consumos mensais foram transformados em consumo anual, permitindo a análise combinada das variações de orientação solar, percentual de abertura da fachada e tipo de vidro utilizado. Estas combinações geraram gráficos que permitiram analisar mais facilmente a influência das três variáveis utilizadas no presente estudo, considerando-se o consumo de energia para aquecimento anual, consumo de energia para resfriamento anual e consumo de energia total anual.

Foram gerados, também, gráficos com os percentuais relativos de consumo de energia total, relacionados com as diferentes orientações solares, percentuais de abertura da fachada e com os tipos de vidro utilizados. Este percentual relativo de consumo foi determinado pelo quociente dos consumos totais de cada vidro, pelo consumo obtido em uma situação que se configura como padrão de referência. No caso do estudo da influência da orientação solar, é usado como referência o consumo para o vidro Comum Incolor na orientação Norte. Na influência do percentual de abertura da fachada, o referencial foi o PAF 80%, com o vidro Comum Incolor.

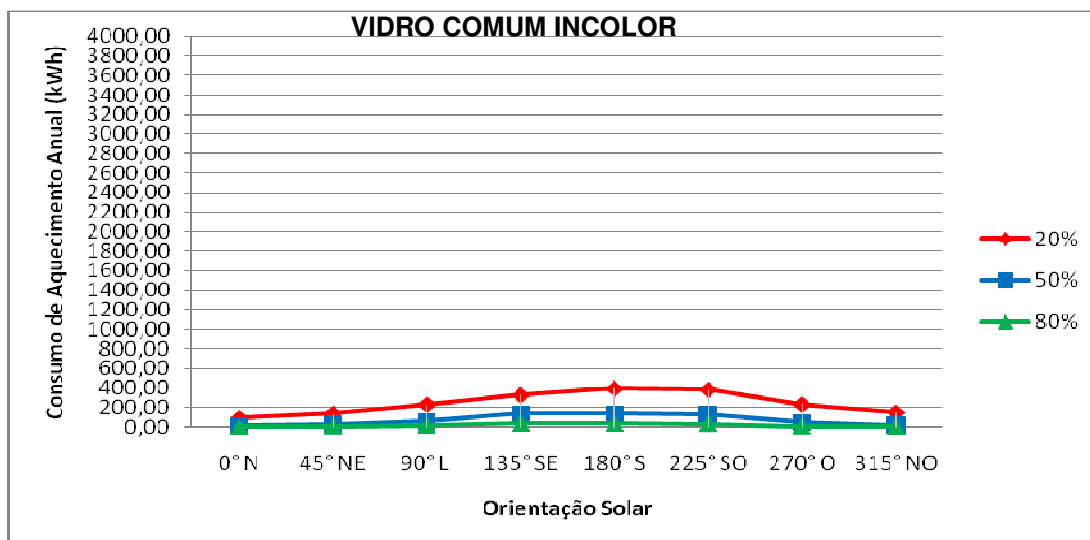
Os gráficos de percentuais relativos de consumo permitem uma avaliação da variação percentual de consumo, associada às diferentes alterações no tipo de vidro, no percentual de abertura da fachada ou na orientação solar.

## **5.1 Influência da Orientação Solar no Consumo de Energia**

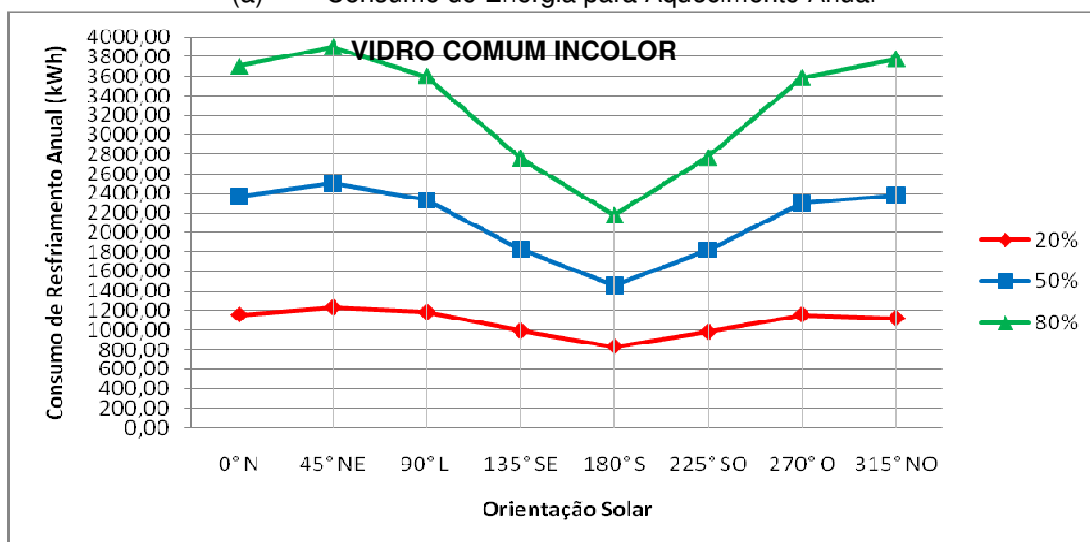
A orientação solar representa um papel determinante no consumo de energia, porque define a intensidade da radiação solar, constituindo-se em fator importante na variação do consumo de energia total. A radiação solar, ao mesmo tempo em que colabora com a redução da energia de aquecimento no período frio, tem grande importância no aumento da energia de resfriamento no período quente. Sendo necessária uma análise conjunta destes dois períodos para a avaliação correta da colaboração deste parâmetro.

As Figuras 34, 35, 36 e 37 apresentam gráficos de consumo de energia para aquecimento, resfriamento e total, para diferentes orientações solares, considerando-se o percentual de abertura da fachada (PAF), para diferentes tipos de vidro

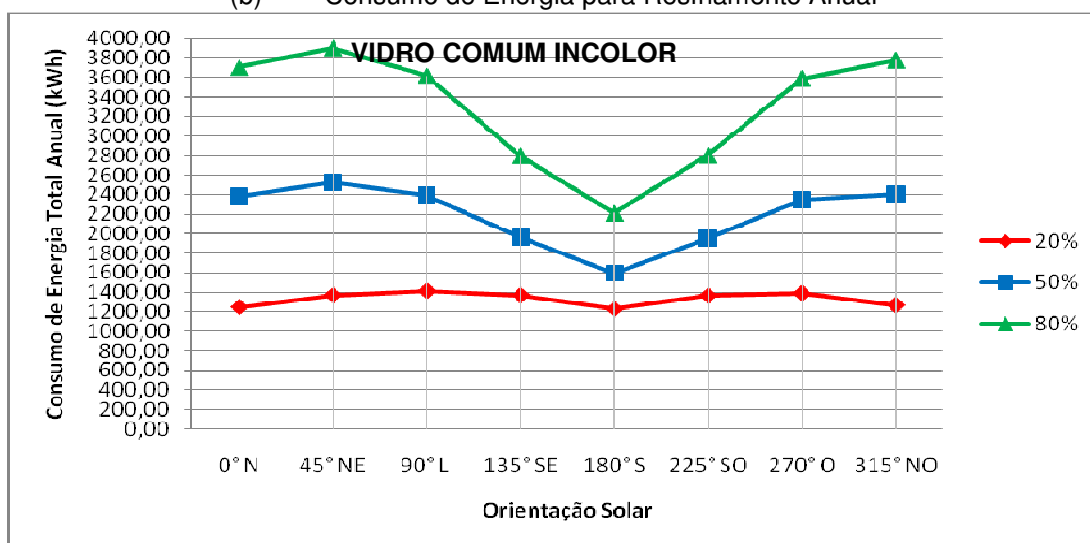
No gráfico da Figura 38, 39 e 40, são apresentados os percentuais relativos de consumo de energia total anual, determinados pela relação do valor de consumo do vidro, analisados pelo consumo com o uso do vidro Comum Incolor, considerando-se a orientação Norte, para qualquer dos percentuais de abertura da fachada.



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

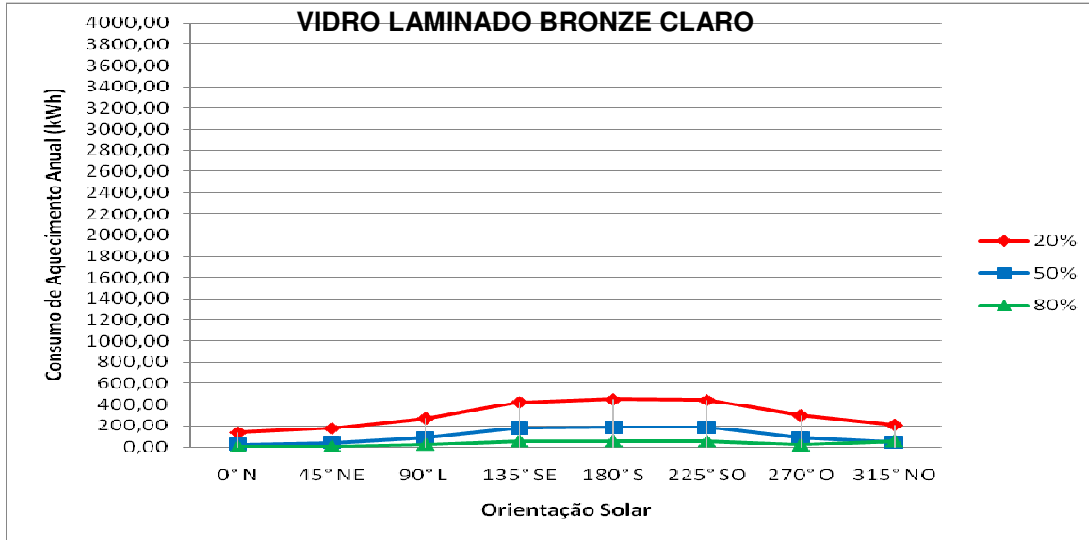


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

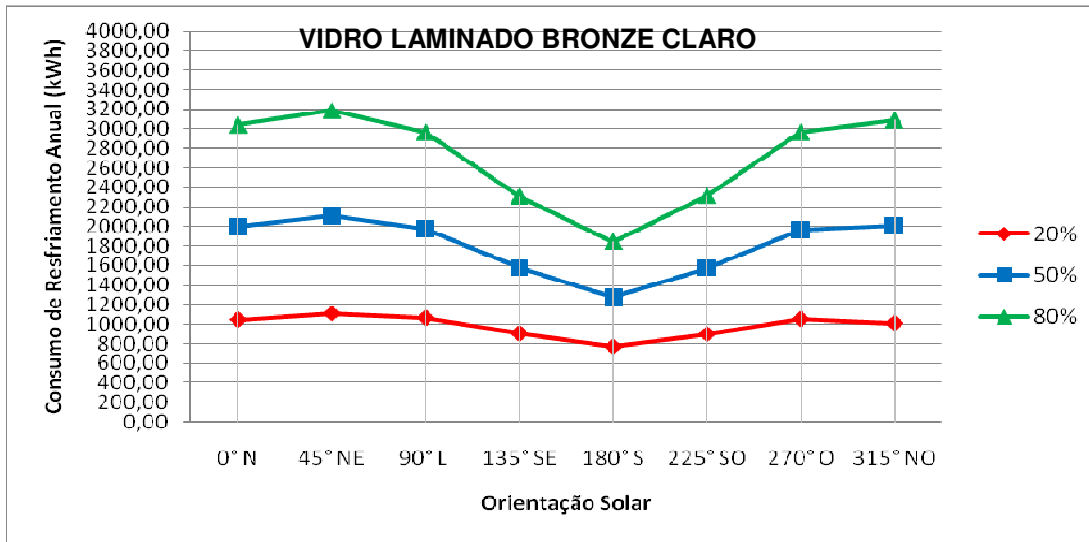


(c) Consumo de Energia Total Anual

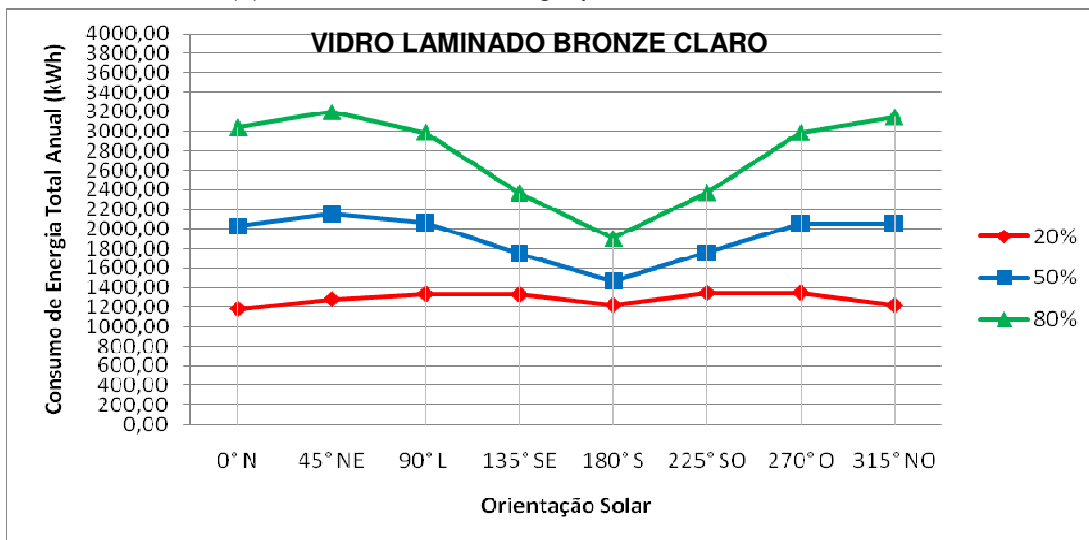
Figura 34 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO COMUM INCOLOR



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

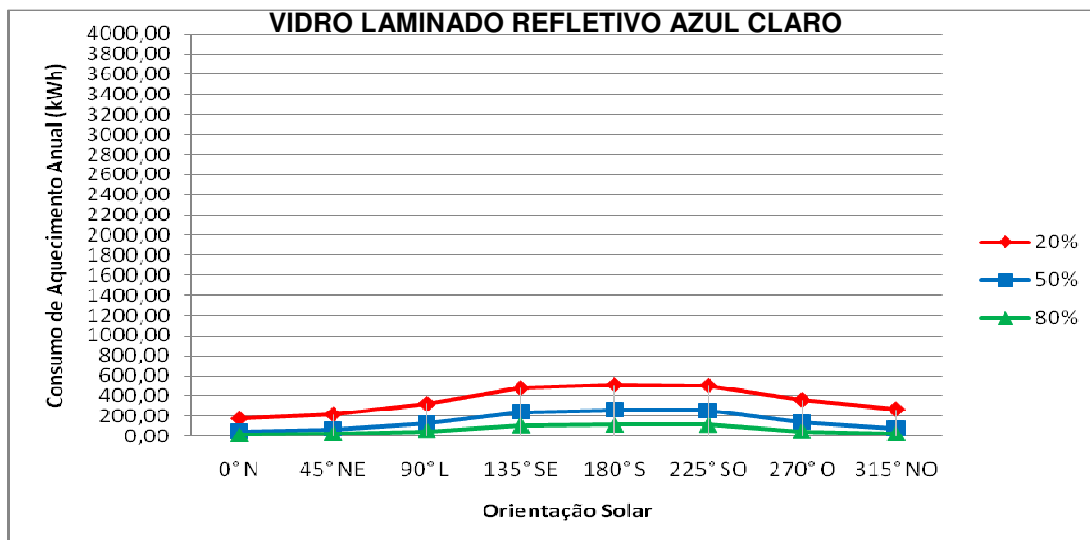


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

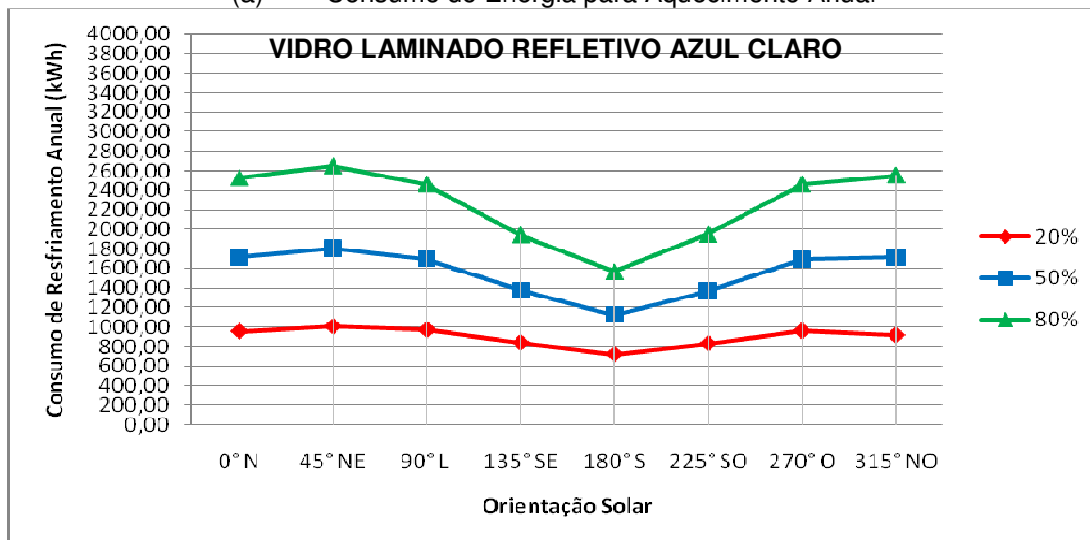


(c) Consumo de Energia Total Anual

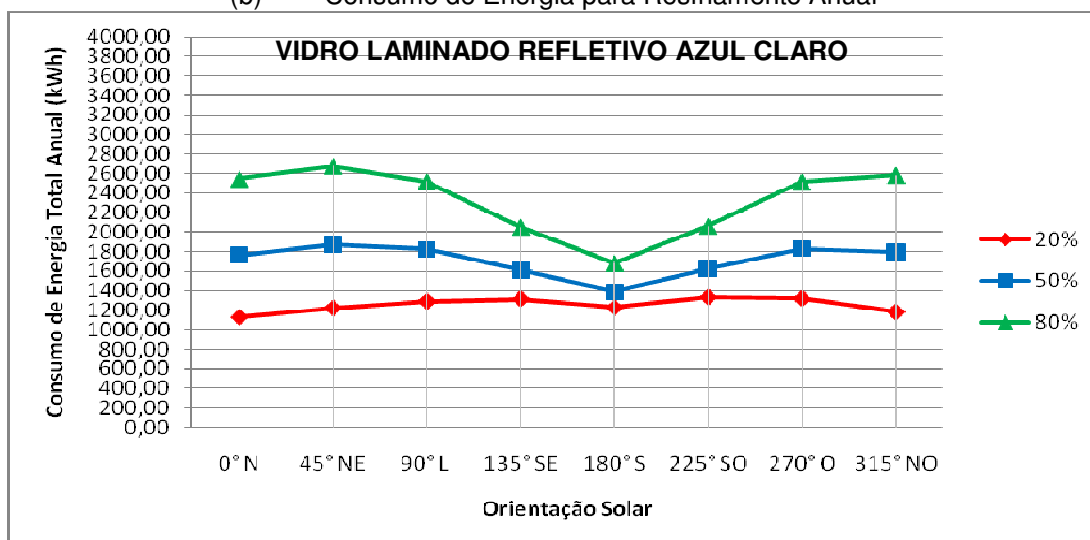
Figura 35 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

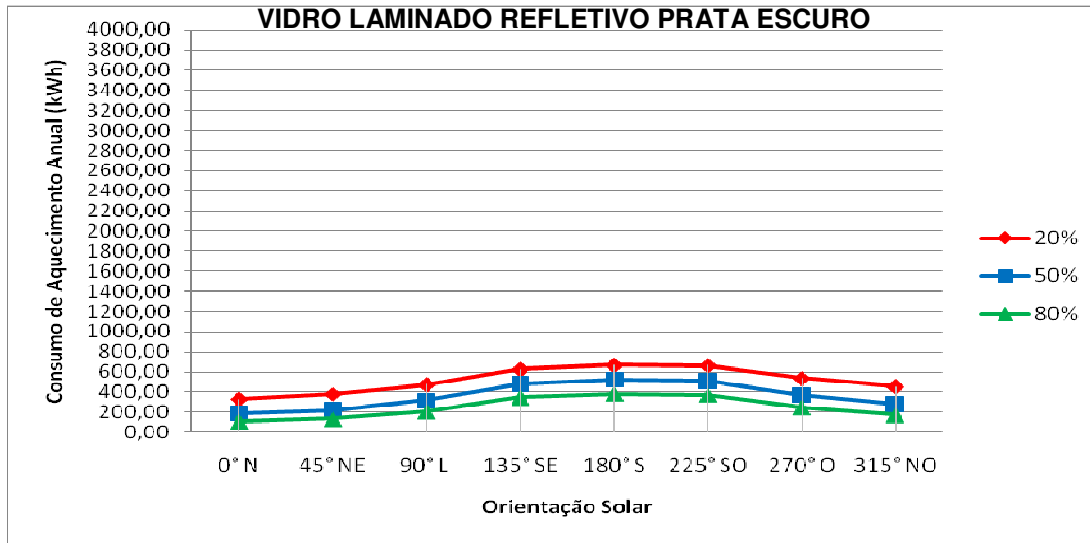


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

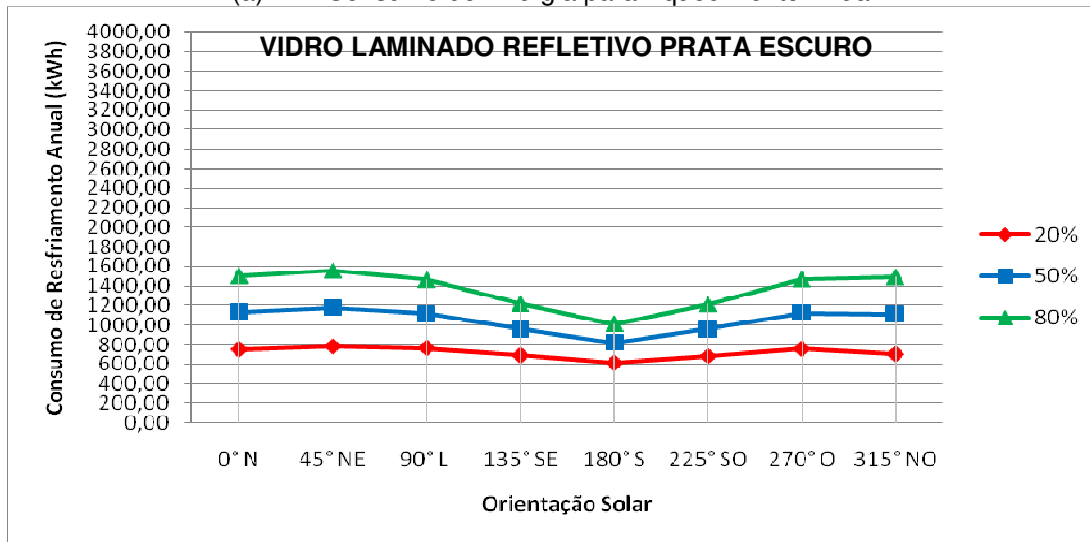


(c) Consumo de Energia Total Anual

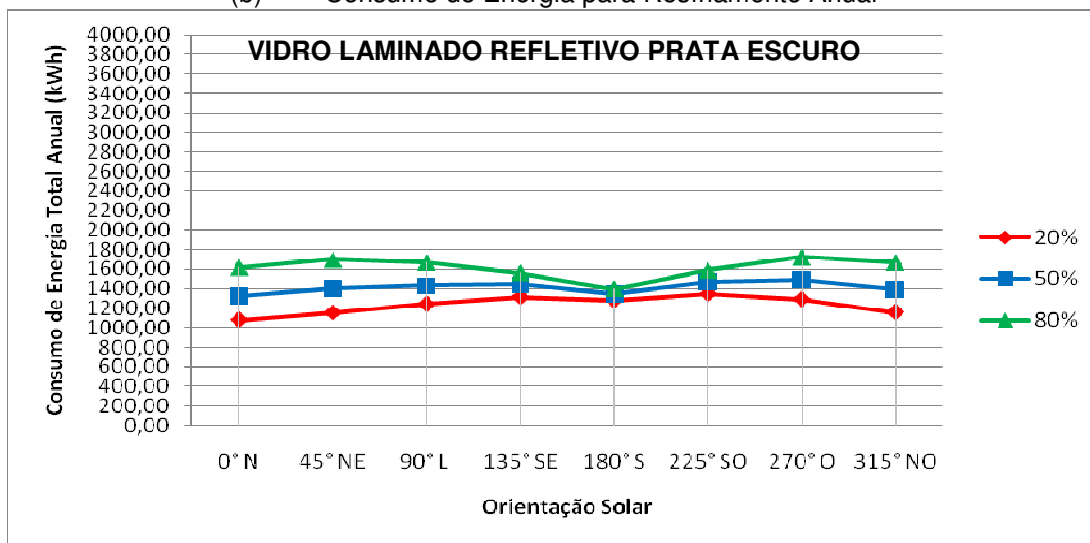
Figura 36 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual



(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual



(c) Consumo de Energia Total Anual

Figura 37 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação à orientação solar (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO



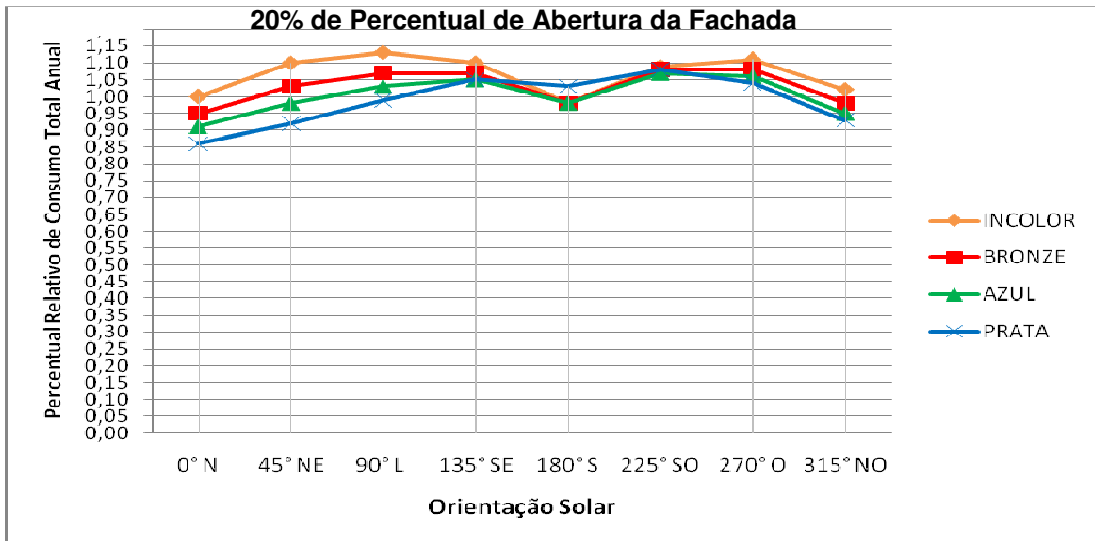


Figura 38 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 20% de Percentual de Abertura da Fachada

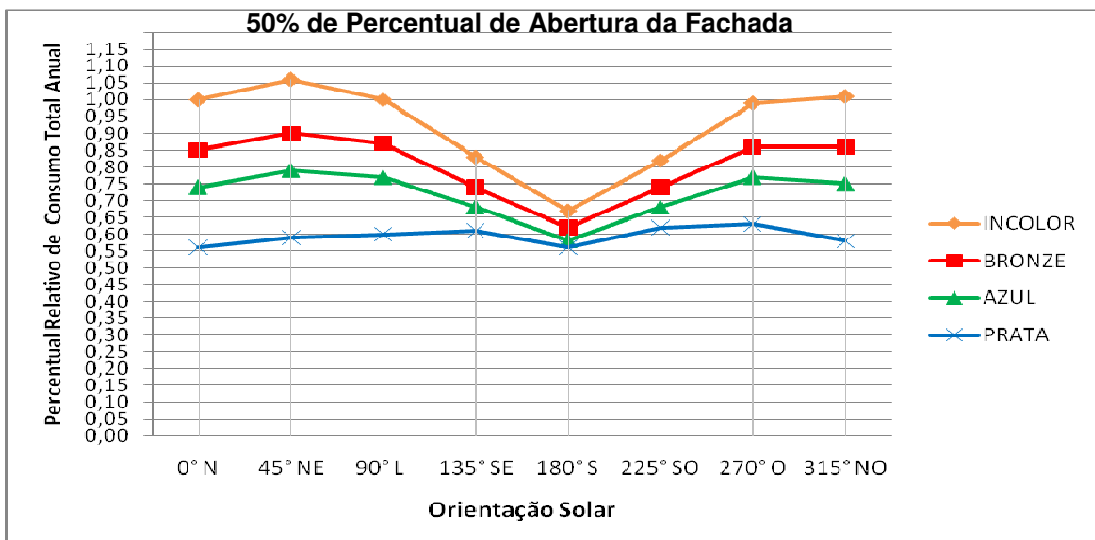


Figura 39 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 50% de Percentual de Abertura da Fachada

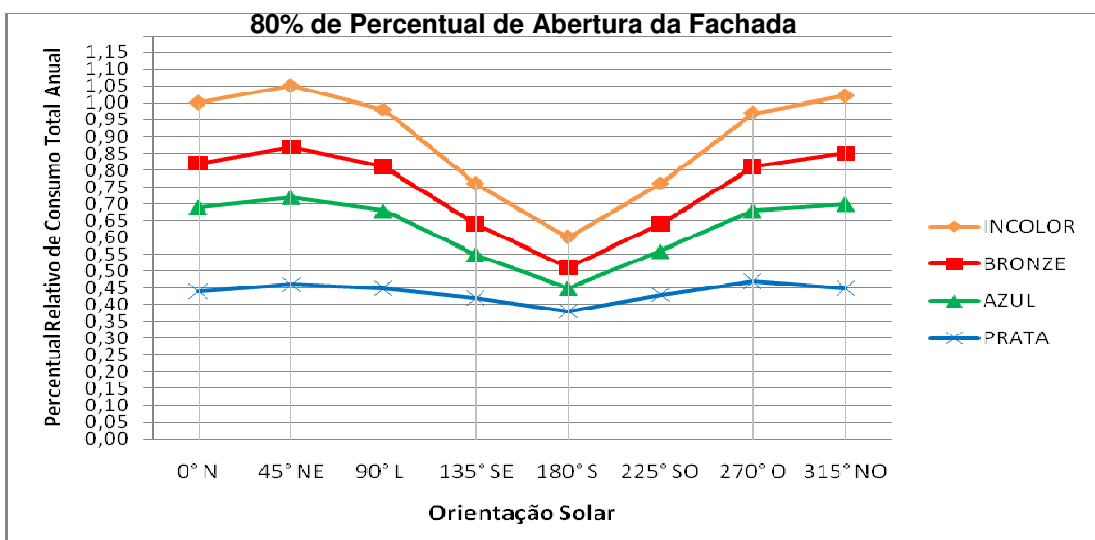


Figura 40 – Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação à orientação solar – 80% de Percentual de Abertura da Fachada

Conforme esperado, a energia para aquecimento é responsável por uma pequena parcela do consumo, decrescendo com o crescimento do percentual de abertura da fachada, e crescendo com o aumento do bloqueio solar. Isto fica bem nítido analisando-se os gráficos do aquecimento para os vidros Comum Incolor e Laminado Refletivo Prata Escuro. Os pontos de maior consumo para aquecimento são aqueles onde a abertura da fachada está voltada na direção Sudeste, Sul e Sudoeste, que são os pontos de menor insolação, dificultando a penetração de raios solares no ambiente estudado.

O consumo de resfriamento apresenta pico de consumo bem diferenciado do aquecimento, pois a edificação é 100% climatizada e fechada, sem proteção solar. O ponto de consumo máximo do resfriamento está localizado na orientação Nordeste, para todos os vidros e todos os percentuais de abertura estudados.

Pela grande diferença entre o consumo de resfriamento e aquecimento, os gráficos do consumo de energia total assumem curvas similares às de resfriamento. Inclusive com todas as características daqueles gráficos, com uma diferença evidente dada pela elevação dos picos de consumo de aquecimento nas orientações Sul, Sudoeste e Sudeste, que ocasionam uma aproximação entre as curvas de consumo total nessas orientações.

Para todos os vidros estudados, assim como todas as orientações solares, o percentual de abertura da fachada de 20% ocupou sempre os menores valores dos gráficos de consumo total, resultando em curvas com pequena variação no consumo.

No gráfico do PAF 20%, da Figura 38, verifica-se a proximidade de todas as curvas, para qualquer tipo de vidro utilizado. São observadas variações relacionadas à orientação solar, com valor máximo de 1,13 e mínimo de 0,86 e amplitude de 0,27. Para o PAF 50%, esta amplitude é de 0,50, e para o PAF 80% é de 0,67. Esta maior amplitude está relacionada basicamente ao maior efeito do Fator Solar do vidro quando o percentual de abertura da fachada é ampliado. Quando aumenta o PAF, também é visível o aumento da importância da orientação solar para um mesmo vidro. Esta importância aumenta também com o aumento do Fator Solar. Assim, para o clima considerado, deve se ter maior cuidado com a orientação solar, conforme se tenha maior área de abertura e um vidro com maior Fator Solar.

Na Figura 39, com PAF 50%, observa-se que o vidro Prata tem a curva de menor variação no percentual relativo de consumo, concluindo-se que, para este

vidro, em qualquer orientação solar, a variação percentual entre o ponto de máximo e mínimo consumo ficará abaixo de 8%. Para os outros tipos de vidros, pode-se chegar até 45% entre os pontos extremos da curva, observados na orientação Nordeste (máximo) e Sul (mínimo). Sendo definida uma orientação solar com pouca insolação (Sul), sendo que esta variação fica restrita a aproximadamente 10%, considerando-se os diferentes tipos de vidro.

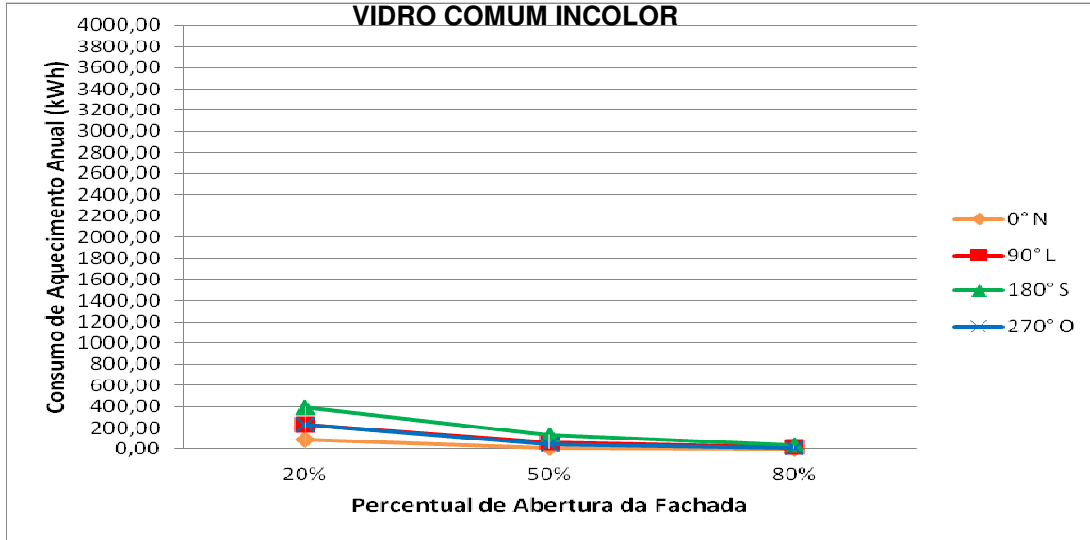
Na Figura 40, com PAF 80%, o melhor desempenho do vidro Prata fica ainda mais destacado, para qualquer que seja a orientação da fachada, mesmo com este maior PAF, sua variação percentual fica inferior a 10%. O vidro Azul descreve uma curva com uma diferença de 27% entre os pontos extremos. Para o vidro Bronze, esta diferença fica em 36%. Se a opção for o vidro Comum Incolor, a diferença entre o ponto de máximo, na orientação Nordeste, e mínimo, na orientação Sul, é de 45%.

## **5.2 Influência do Percentual de Abertura da Fachada no Consumo de Energia**

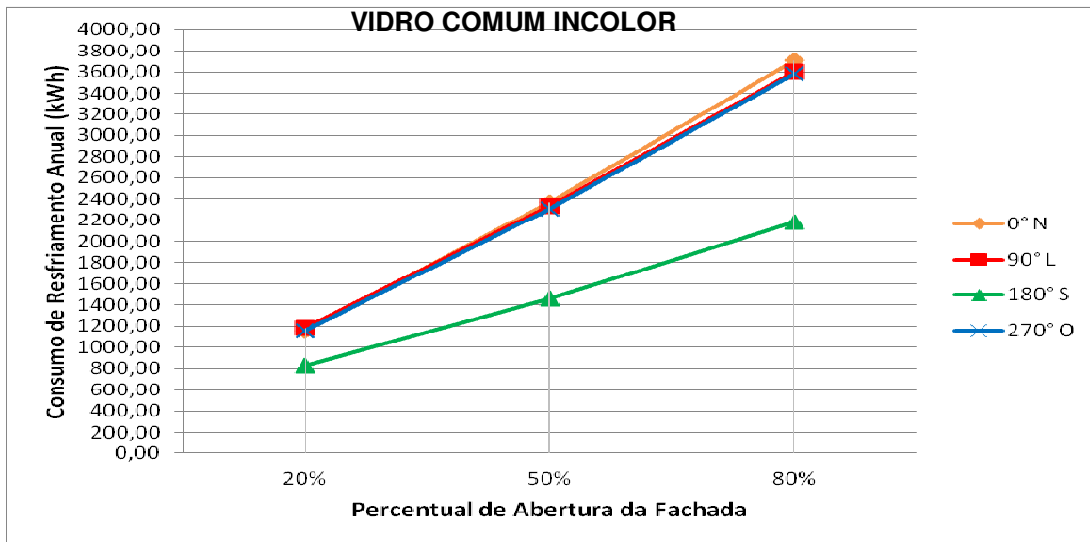
O percentual de abertura da fachada possibilita maior ou menor absorção de radiação solar para o ambiente, e esta intensidade de ganho de calor será responsável pela variação no Consumo de Energia para Aquecimento, Resfriamento e Total.

As Figuras 41 a 44 representam as curvas de variações de consumo de energia anual, em função dos diferentes percentuais de abertura da fachada (PAF), considerando-se as quatro principais orientações da fachada, para os tipos de vidros analisados. Foram utilizadas para os gráficos as quatro principais orientações solares, por serem as mais expressivas para análise.

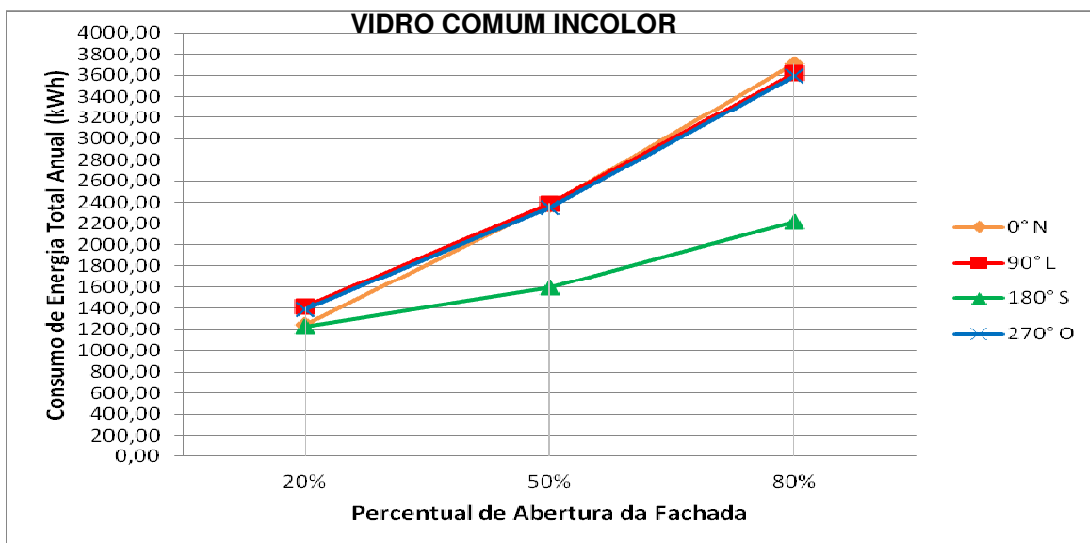
Nos gráficos da Figura 45 a 48, são apresentados os percentuais relativos de consumo de energia total anual, determinados pela relação do valor de consumo do vidro analisado com determinado percentual de abertura da fachada pelo consumo do vidro Comum Incolor com PAF 80%, considerando-se diferentes orientações solares.



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

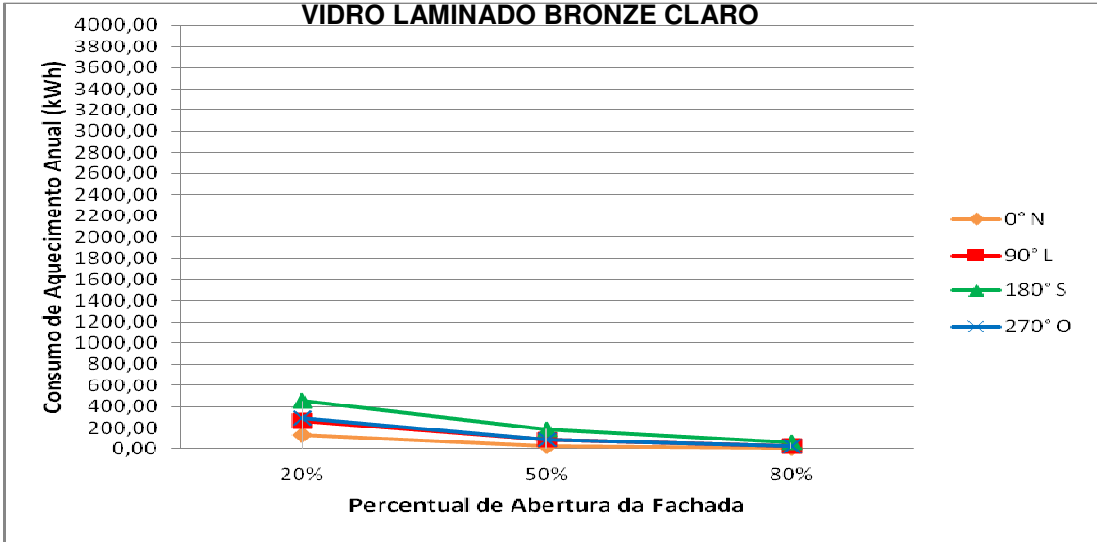


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

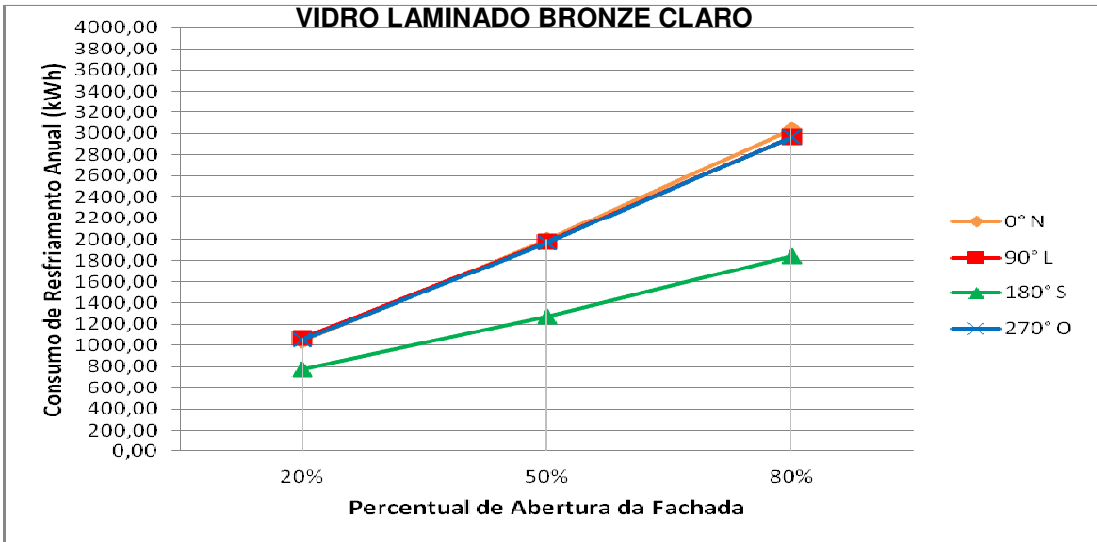


(c) Consumo de Energia Total Anual

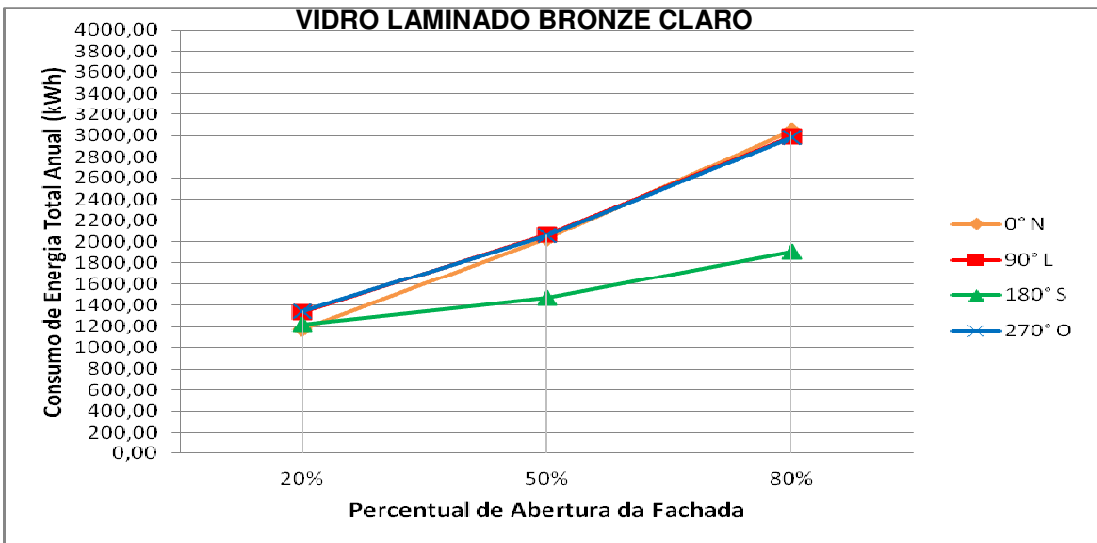
Figura 41 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO COMUM INCOLOR



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

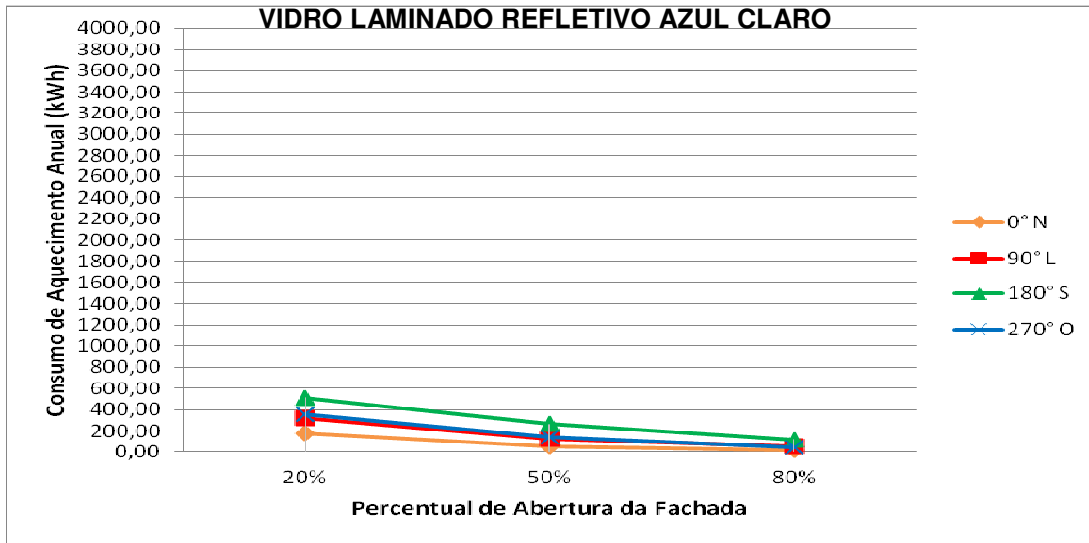


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

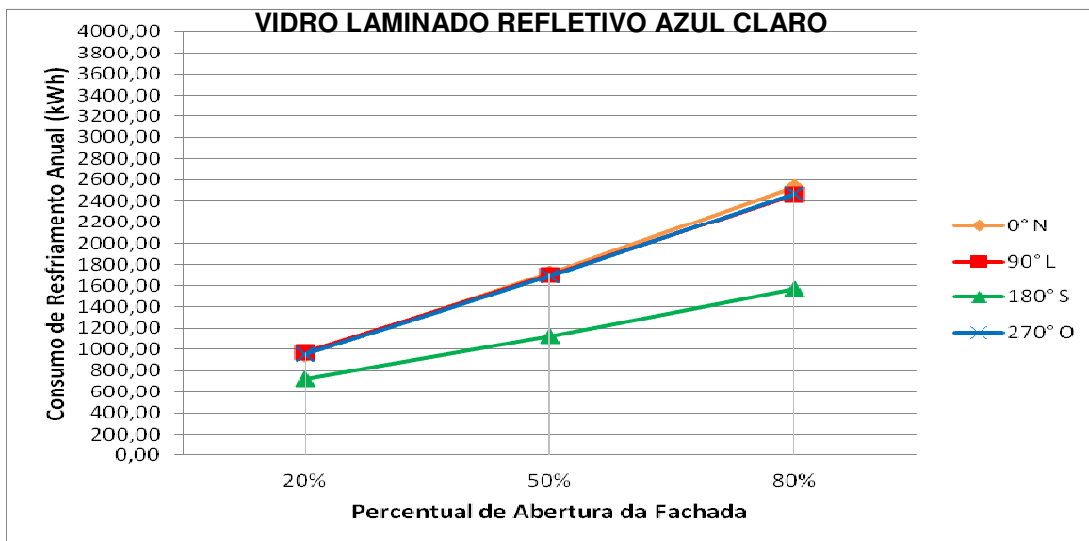


(c) Consumo de Energia Total Anual

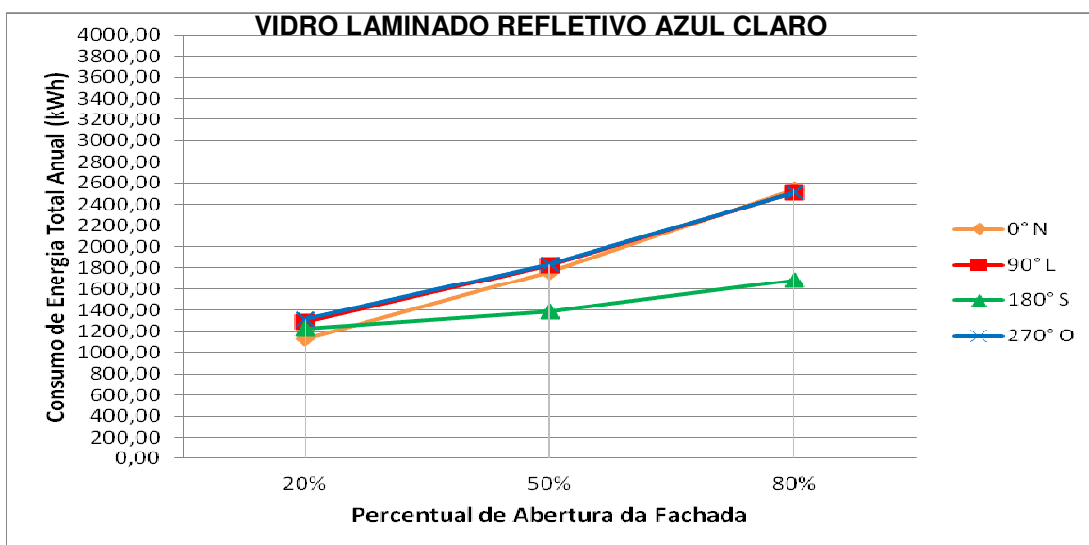
Figura 42 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO BRONZE CLARO



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

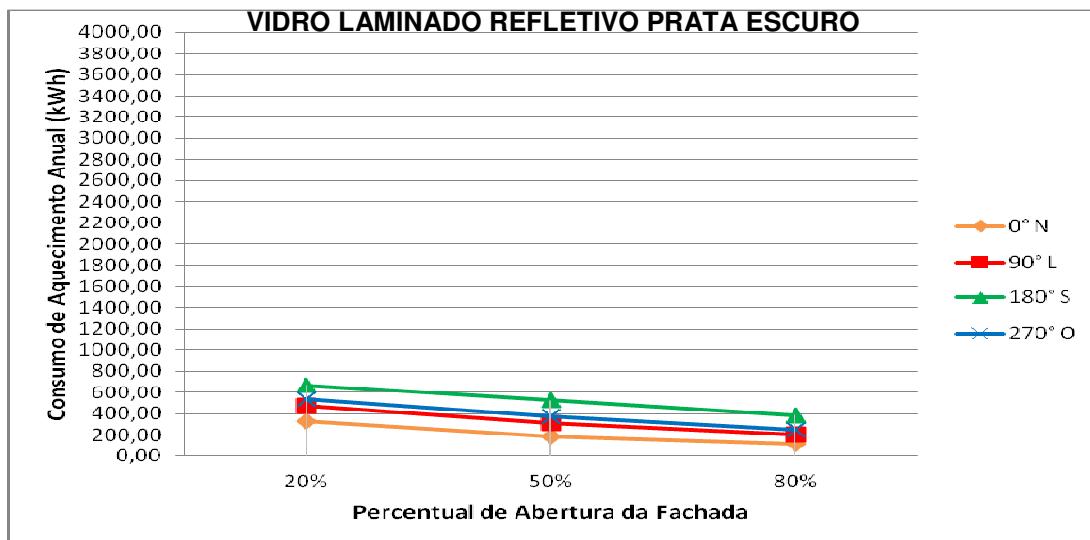


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

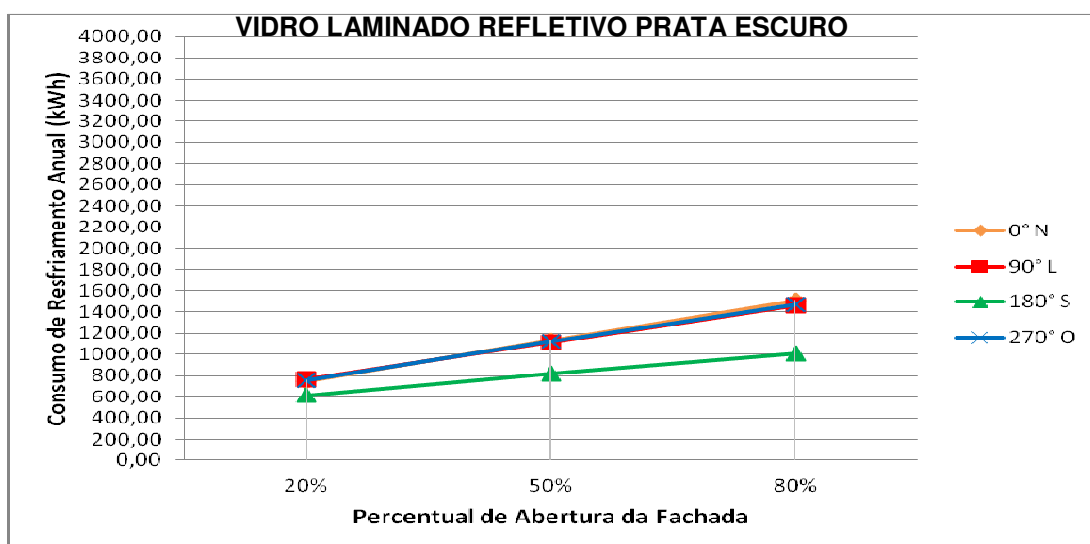


(c) Consumo de Energia Total Anual

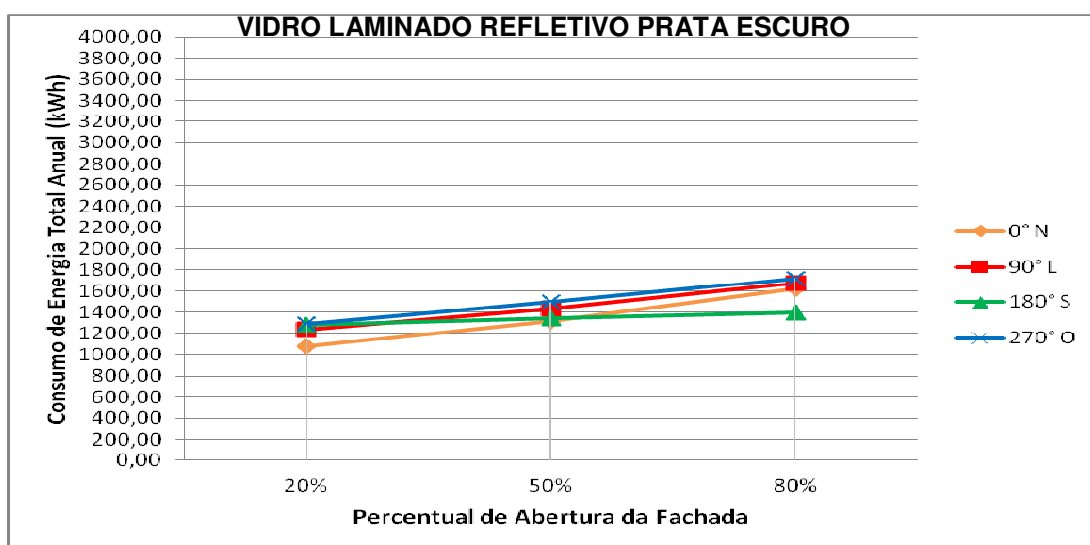
Figura 43 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO AZUL CLARO



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual



(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual



(c) Consumo de Energia Total Anual

Figura 44 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao PAF (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – VIDRO LAMINADO REFLETIVO PRATA ESCURO

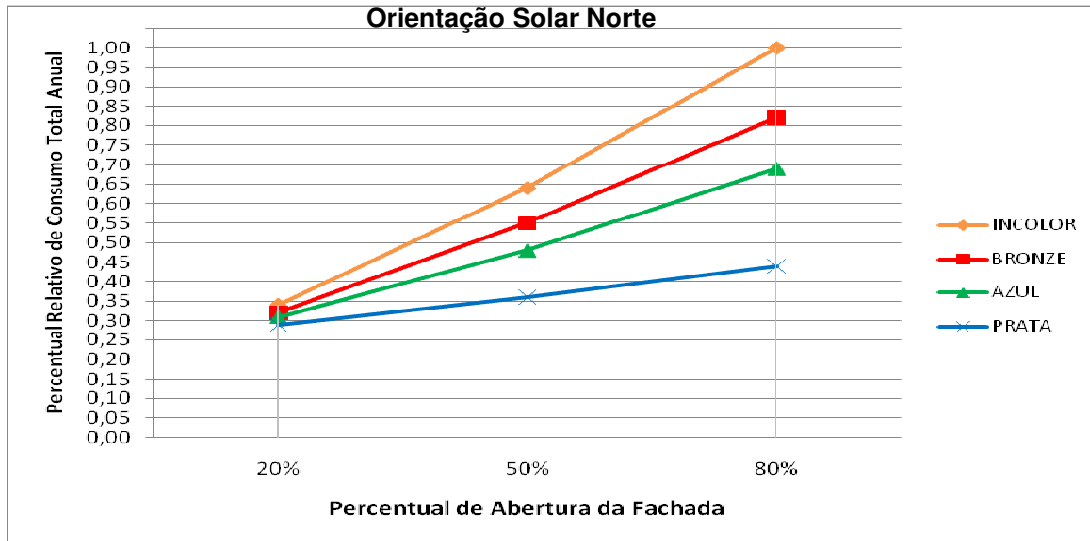


Figura 45 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Norte

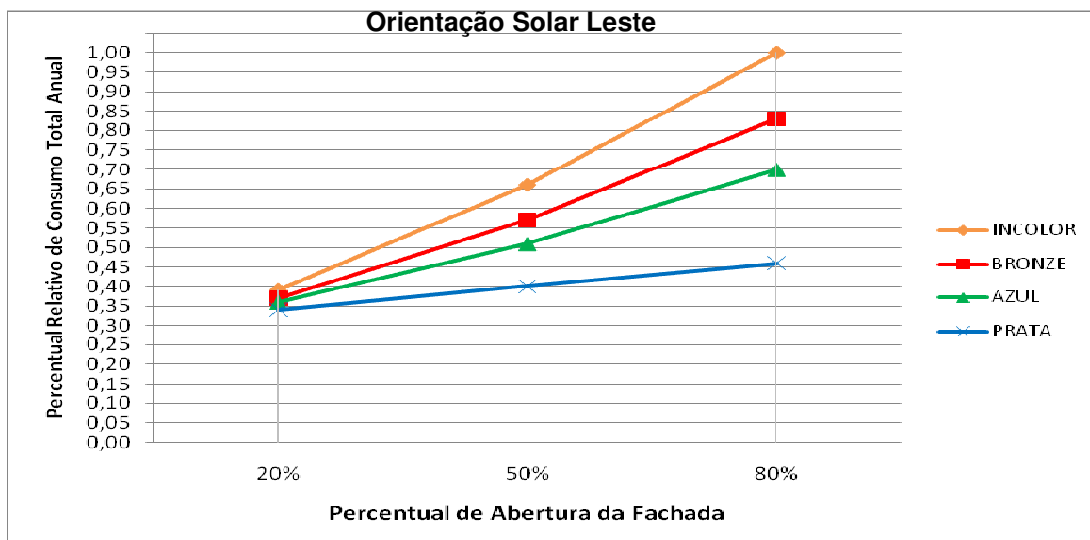


Figura 46 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Leste

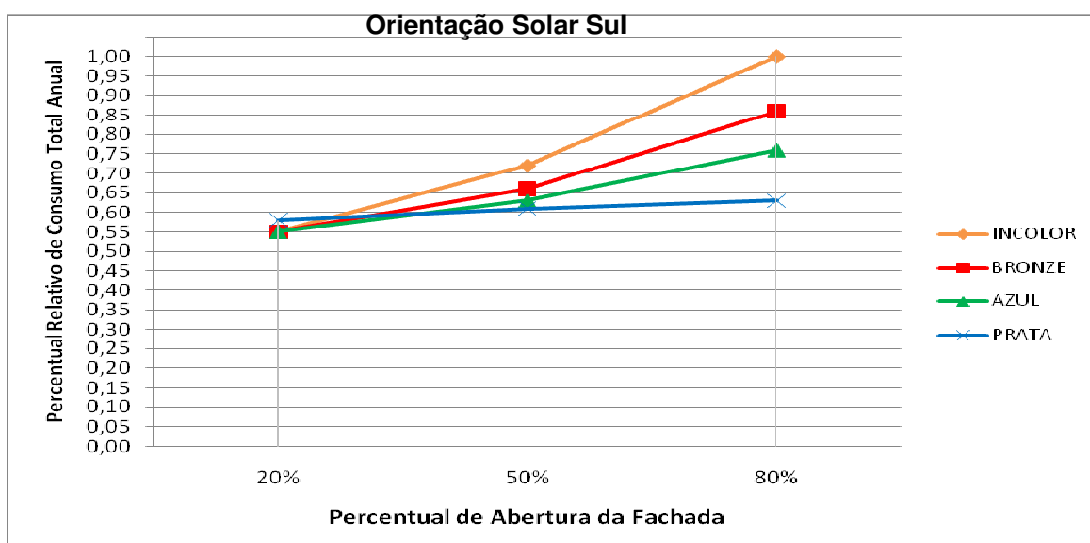


Figura 47 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Sul



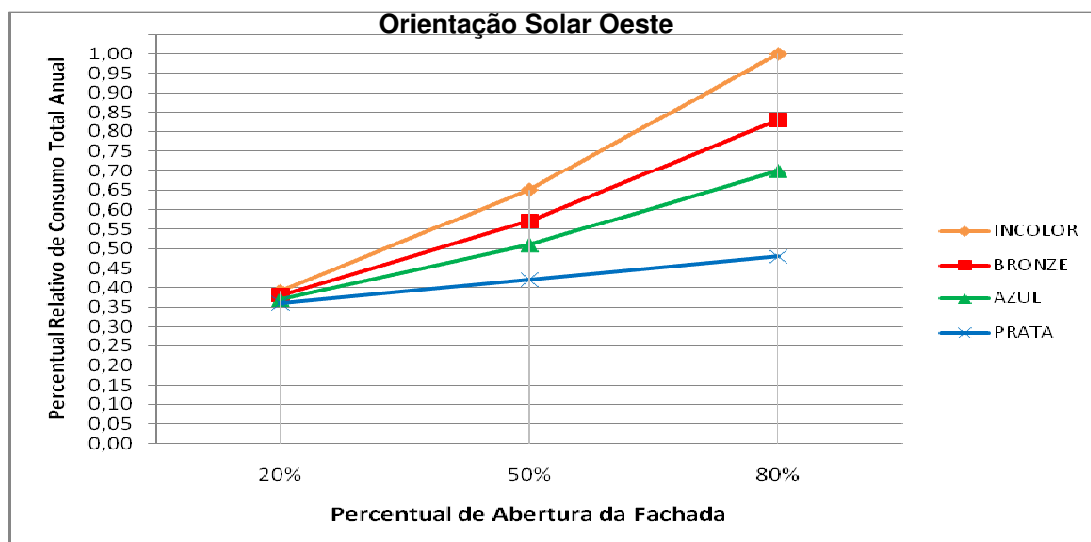


Figura 48 – Gráfico do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao Percentual de Abertura da Fachada orientação Oeste

Nos gráficos do vidro Comum Incolor, confirma-se que no consumo de energia para aquecimento anual a curva da orientação Sul ocupa os valores maiores de consumo, declinando do percentual de abertura de 20% ao 80%, sendo este último um ponto de concordância com valor nulo para todas as orientações solares. No consumo para resfriamento, a curva de orientação Sul tem valores inferiores, enquanto as outras orientações apresentam valores muito semelhantes, sendo que em todas ocorre um aumento de consumo do percentual de 20% para 80%. O consumo de energia total apresenta um gráfico semelhante ao de consumo para resfriamento, demonstrando a predominância deste consumo em todos os casos.

As curvas de variação de consumo de energia do vidro Laminado Bronze Claro apresentam as mesmas características para o consumo para aquecimento, resfriamento e total do vidro Comum Incolor, apenas com valores superiores de aquecimento e inferiores de resfriamento e total. Também neste vidro as curvas de consumo de energia são muito semelhantes para as orientações Norte, Leste e Oeste, destacando-se a orientação Sul com valores totais mais reduzidos.

O vidro Laminado Refletivo Azul Claro também reproduz as mesmas características dos vidros anteriores para os três consumos. Por apresentar menor Fator Solar, resulta em curvas com valores menos afastados para diferentes orientações, se comparado ao vidro Comum Incolor. O aumento do PAF, também para este vidro, acarreta, para todas as orientações solares, redução no consumo de aquecimento e aumento no consumo de resfriamento e total.

As observações anteriores também são válidas para o vidro Laminado Refletivo Prata Escuro, por apresentar Fator Solar mais baixo (igual a 0,29). Nos gráficos de variação de consumo deste vidro, observa-se que a influência do PAF é ainda mais reduzida, com variações menos acentuadas de consumo.

Em síntese, no consumo de energia para aquecimento, as curvas dos vidros Comum Incolor, Laminado Bronze Claro e Laminado Refletivo Azul Claro são bem semelhantes, com valores mais elevados no percentual de abertura de 20%, e com as curvas decrescendo e tendendo a uma convergência no 80% e valores bastante reduzidos ou nulos. No vidro Laminado Refletivo Prata Escuro, o gráfico de aquecimento se diferencia das outras, por ter valores mais elevados, não caracterizando um ponto de encontro no percentual de 80%.

O consumo de energia para resfriamento nos quatro tipos de vidro apresenta valores mais reduzidos para o percentual de abertura da fachada de 20%, crescendo com a ampliação para o PAF 80%. Este crescimento é mais acentuado para as orientações solares de maior incidência solar (Norte, Leste e Oeste), e menos acentuado com a diminuição do Fator Solar. A orientação Sul tem valores destacadamente menores deste consumo, em relação às outras curvas. O aumento do PAF acarreta aumento da diferença de consumo de resfriamento e total entre as orientações Norte, Leste e Oeste e a orientação Sul de menor consumo. O mesmo ocorre com a variação do tipo de vidro (Fator Solar) que tem maior influência nesses consumos com o aumento do PAF.

Pela influência do aumento do percentual de abertura da fachada, o consumo de energia total cresce e o gráfico mantém as características do gráfico de consumo de resfriamento, diferenciando-se em dois detalhes, por interferência direta do consumo de aquecimento: variação da inclinação da curva Norte e elevação da curva de consumo Sul, por ser esta a orientação solar de maior consumo de aquecimento.

Nas figuras 45 a 48, é apresentado o percentual relativo de consumo relacionado à situação mais desfavorável dada pelo vidro Comum Incolor, no PAF 80%. Os gráficos das orientações solares Norte, Leste e Oeste têm grande similaridade entre si, inclusive em valores percentuais, ficando a orientação solar Sul diferenciada dos demais, com valores percentuais distintos, e com as curvas mais próximas umas das outras. A declividade de cada curva representa o percentual de consumo de cada vidro na orientação solar considerada, indicando qual será a

diferença percentual no consumo substituindo-se o vidro Comum Incolor por outro, na mesma orientação, reduzindo ou não o PAF de 80 a 20%.

Ainda nestas figuras, os gráficos podem ser manipulados de forma a orientar possíveis trocas na dimensão ou material dos fechamentos transparentes: na orientação solar Norte, um vão de PAF 50% do vidro Incolor terá um consumo semelhante a um vão de abertura de aproximadamente 60% para o vidro Bronze, ou aproximadamente 75% se for usado o vidro Azul. Se for mantido o PAF de 50%, os consumos serão, respectivamente, 0,55 e 0,48 do consumido pelo vidro Incolor.

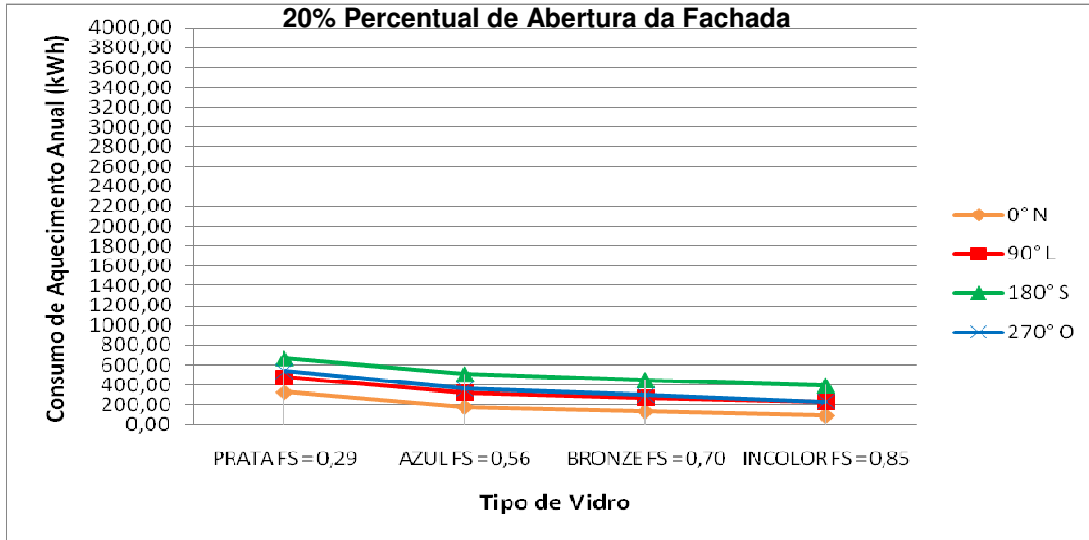
De acordo com a influência do percentual de abertura da fachada, é importante destacar que, se for considerado o consumo de energia total, no percentual de 20%, o tipo de vidro não representa diferença significativa no consumo. Caso o percentual de abertura da fachada seja maior (50% ou 80%), deverá ser priorizado vidro com Fator Solar mais baixo, caso seja usado vidro com Fator Solar mais elevado, deve-se orientar a fachada a Sul ou compensar o maior valor com proteção solar.

### **5.3 Influência do Fator Solar do Vidro no Consumo de Energia**

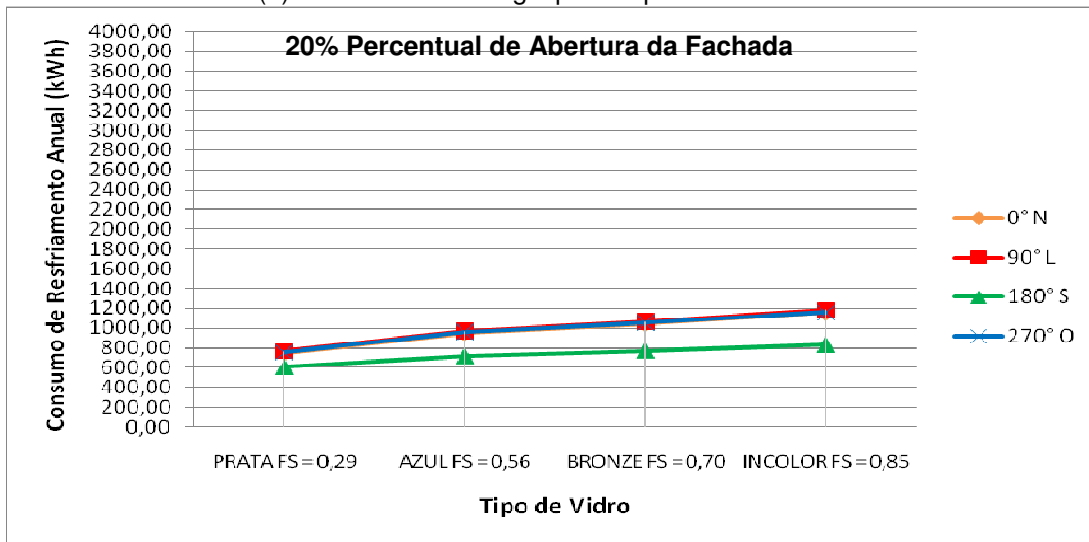
O Fator Solar do vidro esta relacionado à possibilidade de bloqueio dos raios solares, representando o percentual de radiação possível de ser admitida ao ambiente, quando incidir sobre o material transparente.

Os gráficos das Figuras 49 a 51 apresentam, conforme o percentual de abertura da fachada, as curvas de variação do consumo de energia anual, em relação aos diferentes valores de Fator Solar dos vidros, considerando-se as diversas orientações solares. Neste caso, também as orientações solares foram reduzidas aos quatro principais pontos cardeais, para uma melhor avaliação.

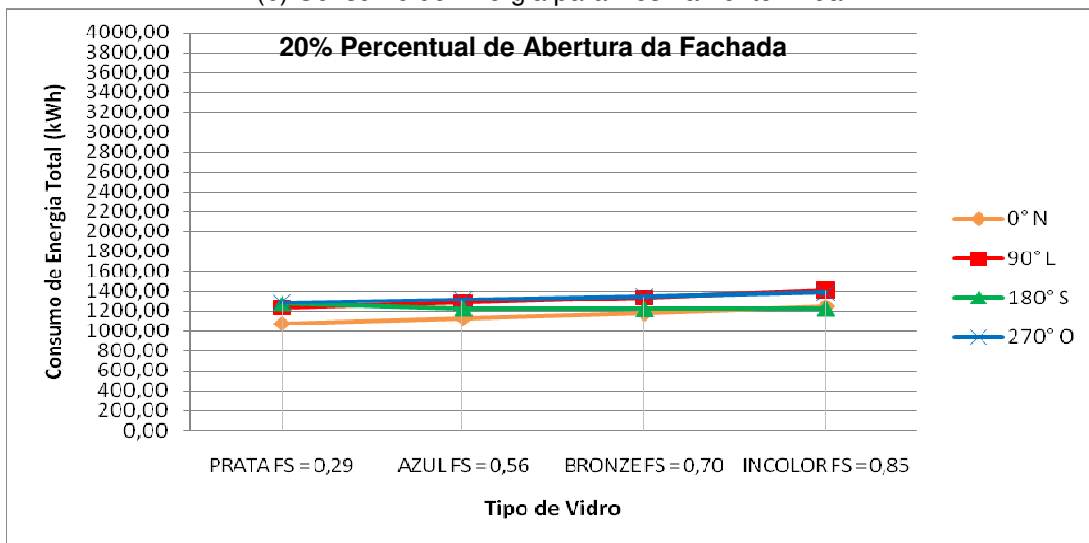
Nas Figuras 52, 53 e 54, são apresentados os percentuais relativos de consumo de energia total anual, relacionando os diferentes vidros e orientações solares à condição determinada pelo vidro Comum Incolor, na orientação Norte, para os percentuais de abertura da fachada 20%, 50% e 80%. São traçadas curvas para as orientações Norte, Leste, Sul e Oeste, em função do Fator Solar do vidro considerado.



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

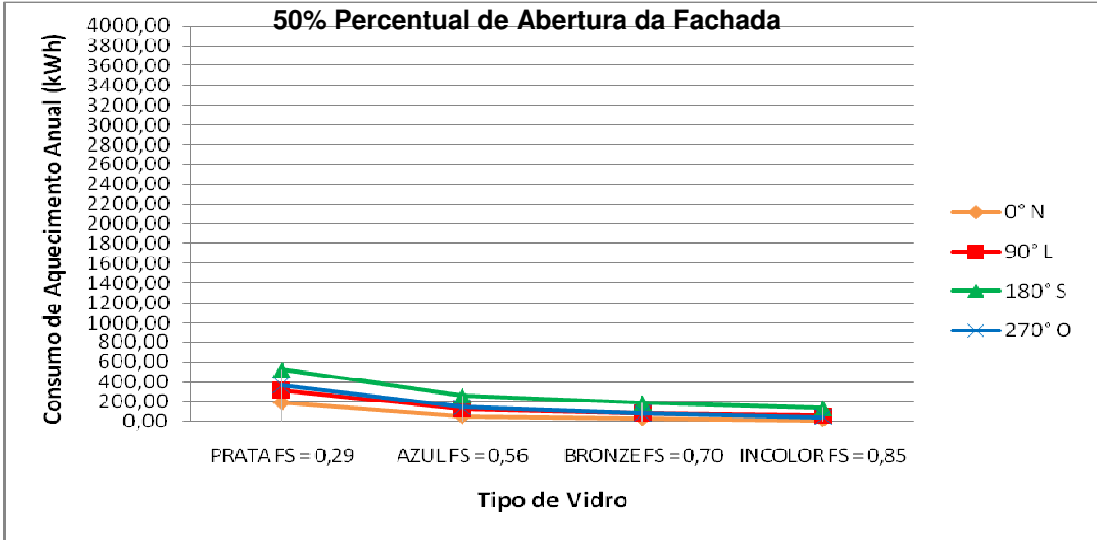


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

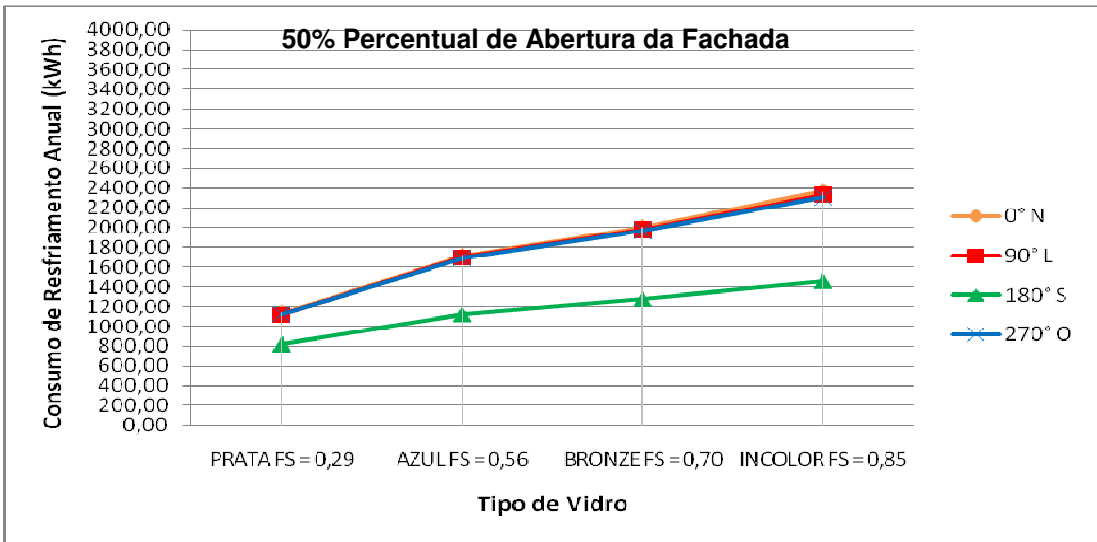


(c) Consumo de Energia Total Anual

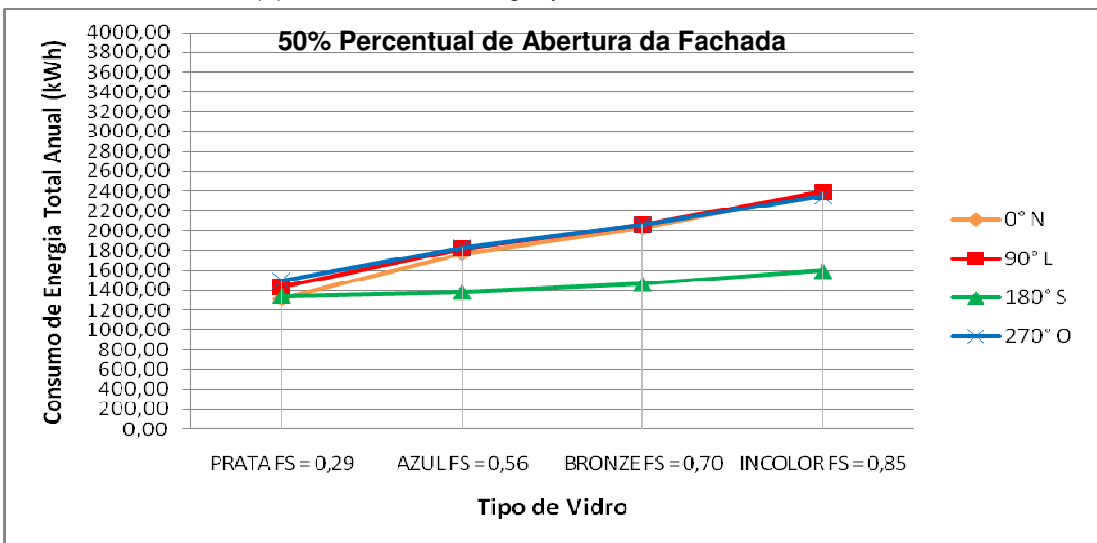
Figura 49 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 20% de Percentual de Abertura da Fachada



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual

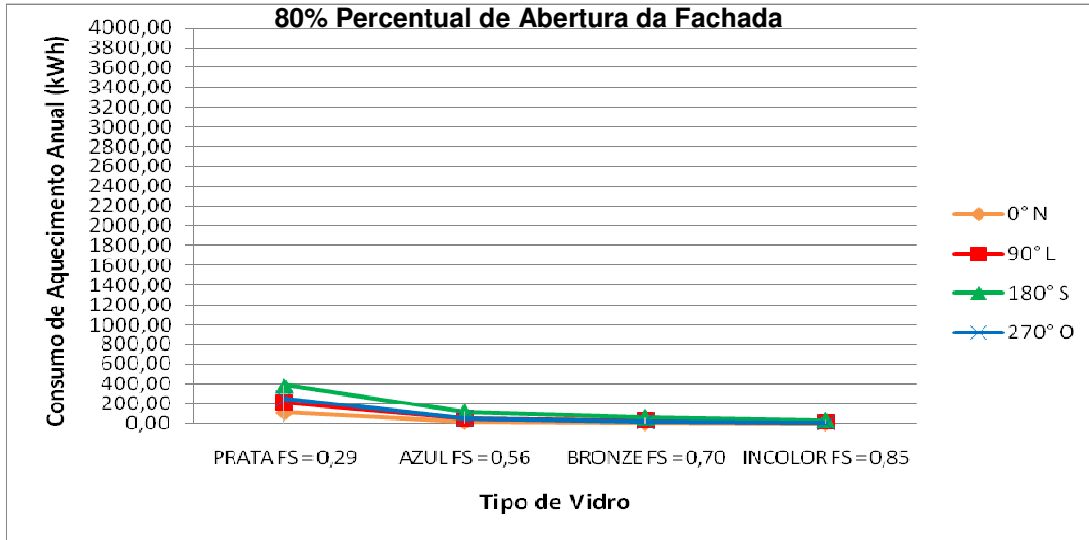


(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual

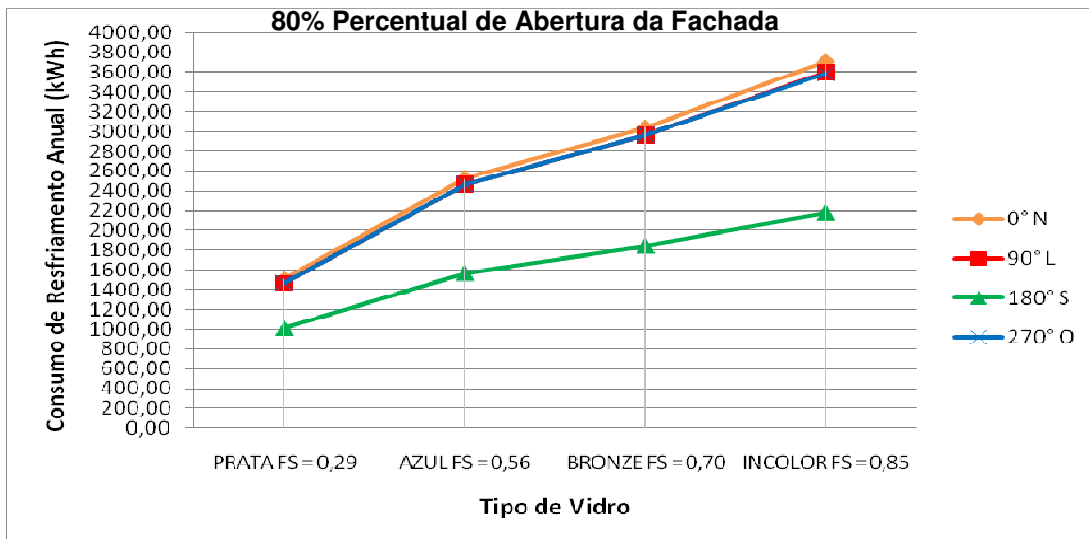


(c) Consumo de Energia Total Anual

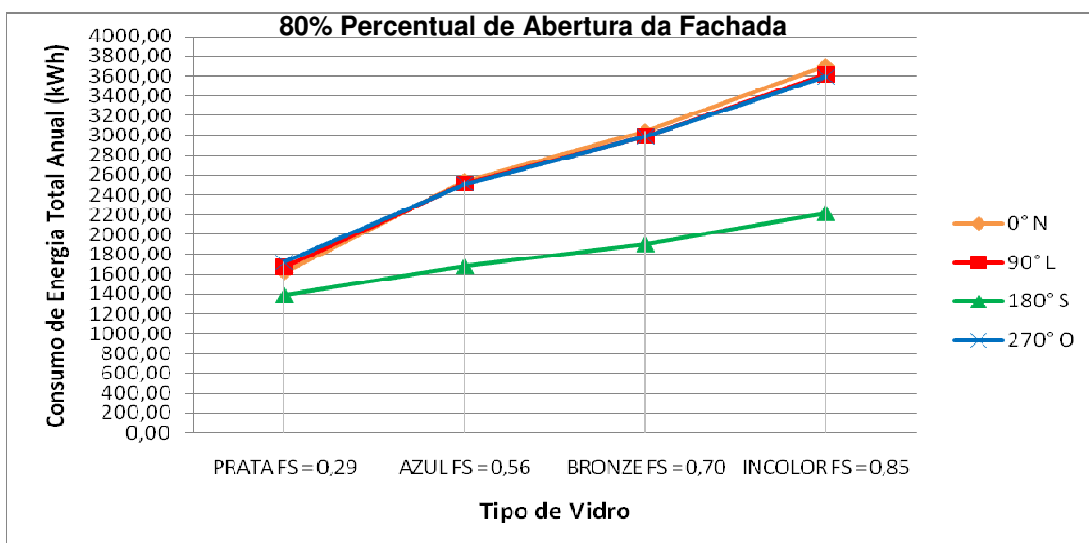
Figura 50 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 50% de Percentual de Abertura da Fachada



(a) Consumo de Energia para Aquecimento Anual



(b) Consumo de Energia para Resfriamento Anual



(c) Consumo de Energia Total Anual

Figura 51 – Gráficos do Consumo de Energia Anual em relação ao tipo de vidro – Fator Solar – (a) Aquecimento (b) Resfriamento (c) Total – 80% de Percentual de Abertura da Fachada

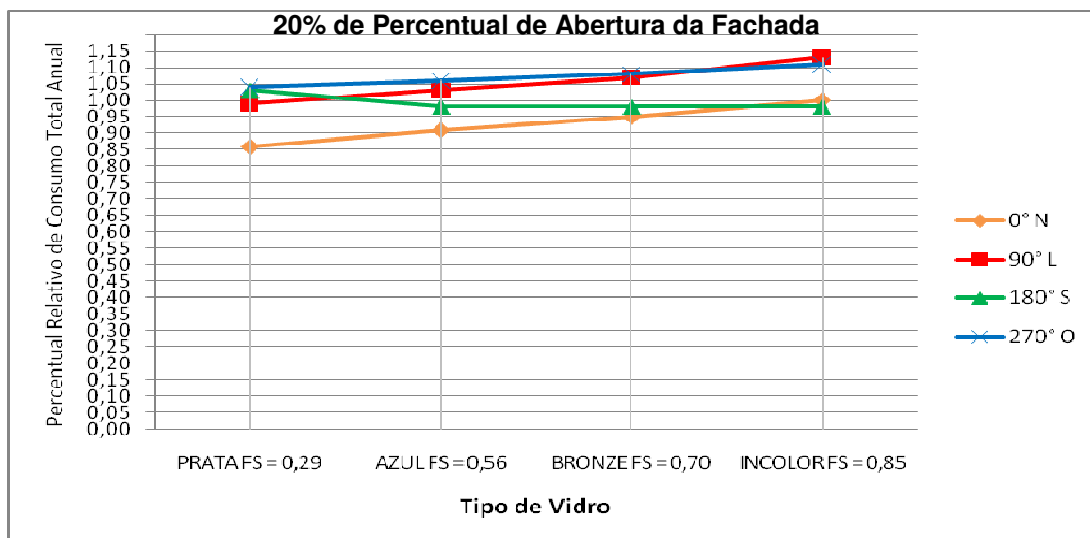


Figura 52 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 20% de Percentual de Abertura da Fachada

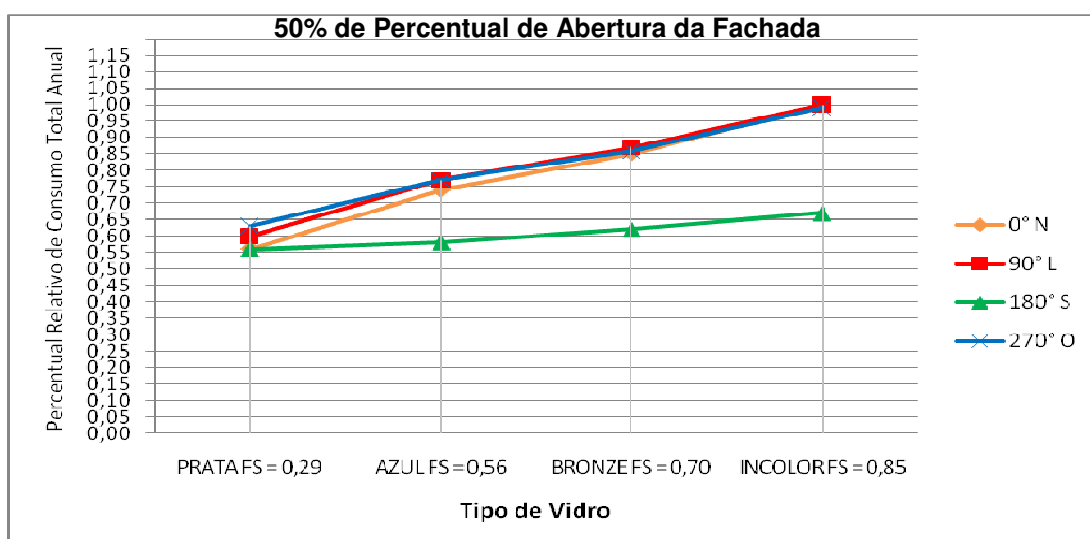


Figura 53 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 50% de Percentual de Abertura da Fachada

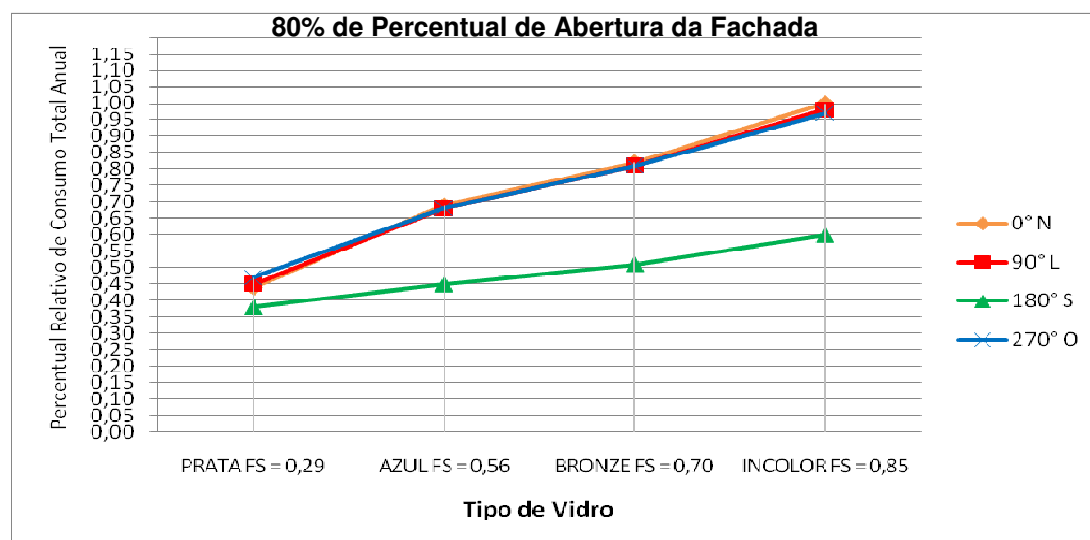


Figura 54 – Gráficos do Percentual Relativo do Consumo de Energia Total Anual em relação ao tipo de vidro (Fator Solar) – 80% de Percentual de Abertura da Fachada

Os gráficos de consumo de energia para aquecimento apresentam comportamentos semelhantes para todos os percentuais de abertura da fachada, onde, com a elevação do bloqueio solar, ao mesmo tempo em que ocorre a elevação do consumo de energia para aquecimento, ocorre também a aproximação da curva de consumo conforme o aumento do percentual da abertura da fachada. Isso indica menor influência da orientação solar sobre este consumo, com o aumento do percentual de abertura da fachada.

Relacionando-se as curvas do consumo de aquecimento em função dos tipos de vidros para diferentes orientações, para o PAF 20%, as curvas se mostram com o traçado muito semelhante, com valores em que, para qualquer vidro, a curva Sul ocupa pontos de máxima e a Norte ocupa ponto de mínima, com valores decrescentes com o aumento do Fator Solar. Para os PAF 50% e 80%, as curvas convergem para um ponto de valor semelhante de consumo em direção ao vidro de menor bloqueio (Comum Incolor).

Todos os consumos de resfriamento crescem conforme o crescimento do Fator Solar, porém, baseados ainda na constatação de que o maior consumo refere-se à refrigeração do ambiente. Traçando parâmetros entre os vidros utilizados, observa-se com facilidade que o bloqueio solar se torna um fator de grande relevância na redução do consumo de resfriamento, e, por conseguinte, no consumo total, o que reforça a necessidade de proteção externa e/ou interna em uma edificação. Como consequência do consumo da refrigeração, a curva que representa a orientação Sul apresenta-se como curva de menor consumo total.

O consumo de energia total cresce com o aumento do Fator Solar, pois a maior passagem da radiação solar consome mais energia, que será gasta no resfriamento que tem gasto predominante. No gráfico do PAF 20%, o consumo de energia total é praticamente uma linha reta e com todas as orientações apresentando curvas com valores bem próximos. Para este PAF, com orientação Sul, é a única situação em que o aumento do Fator Solar reduz o consumo de energia total.

Com o PAF 50%, as curvas de consumo total para fachada Norte, Leste e Oeste mantiveram uma superposição com valores mais elevados que o PAF 20%, apresentando comportamento crescente e com maior declividade, com o aumento do Fator Solar. Neste caso, a curva da orientação Sul manteve-se abaixo das outras,



apresentando pouca variação do consumo com a alteração do tipo de vidro, distanciando-se das outras com o aumento do Fator Solar.

No gráfico do consumo de energia total para o PAF 80%, observa-se que a ampliação do percentual de abertura eleva também os valores de consumo, assumindo um comportamento crescente com a maior declividade das curvas com o aumento do Fator Solar. Ainda mantendo a superposição das curvas de consumo para as orientações Norte, Leste e Oeste, que se diferenciam ainda mais da curva da orientação Sul, com menor declividade que as anteriores.

Nas Figuras 52, 53 e 54, os gráficos do percentual relativo de consumo de energia total anual, em função do Fator Solar, para diferentes percentuais de abertura da fachada e orientações solares. No gráfico do PAF 20%, as curvas representativas das orientações solares Leste e Oeste apresentam-se próximas, com crescimento percentual no sentido do aumento do Fator Solar. A curva da orientação Sul, por estar voltada a uma direção que dificulta entrada de radiação solar no interior do ambiente, apresenta percentual com pouca variação de consumo, mas com redução de consumo e aumento do Fator Solar. Já a curva da orientação Norte está representada como curva de consumo inferior e também com o crescimento no sentido do aumento do Fator Solar. As variações percentuais de consumo se mostram inferiores a 25% entre os diversos valores de consumo total para este percentual de abertura da fachada, sendo um indicativo da pequena interferência, tanto do tipo de vidro quanto da orientação da fachada neste percentual de abertura.

Nas Figuras 53 e 54, os gráficos para o PAF 50% e PAF 80% possuem características semelhantes, apresentando as curvas das orientações Norte, Leste e Oeste superpostas para ambos os percentuais, e a curva Sul destacada demonstrando um consumo inferior. No entanto, fica claro que no PAF 80% as variações atingem percentuais maiores que no PAF 50%. Se a orientação da fachada estiver voltada para o Sul, o tipo de vidro apresentará menor interferência no consumo, assim como o vidro de pequeno fator solar também tem o consumo reduzido.

Quando o percentual de abertura for reduzido e/ou se a orientação da fachada estiver orientada a Sul, para qualquer PAF considerado, as variações de consumo serão pequenas, podendo ser usado qualquer tipo de vidro. No entanto, se for utilizado PAF 50% e 80% nas orientações solares Norte, Leste e Oeste a

prioridade dos tipos de vidros deve recair para aqueles com menor Fator Solar, ou com o uso de proteções solares.

#### 5.4 Influência conjunta da Orientação Solar, do Percentual de Abertura da Fachada e do Fator Solar do Vidro no Consumo de Energia

O gráfico da Figura 55 representa o consumo de energia para aquecimento, em função das orientações solares, sob influência concomitante do tipo de vidro (Fator Solar) e do percentual de abertura da fachada. Em um único gráfico, é possível analisar o desempenho do percentual de abertura e dos diversos tipos de vidros estudados e relacioná-los diretamente.

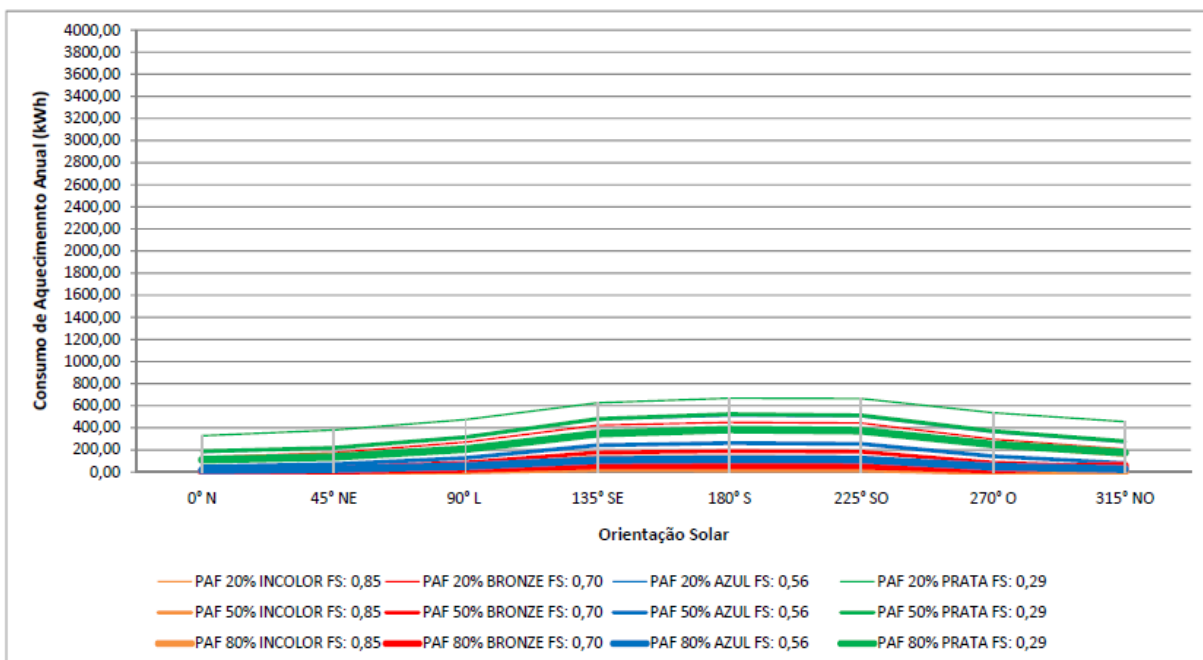


Figura 55 – Gráfico do consumo de energia para aquecimento anual em função da orientação solar, do tipo de vidro e do PAF

Observa-se que, independente das outras variáveis, as orientações Sul, Sudeste e Sudoeste apresentaram os valores mais elevados de consumo para aquecimento.

O gráfico do PAF 20% é o que apresenta consumo mais elevado para aquecimento, para qualquer valor do fator solar, enquanto que em relação ao PAF 80% ocorre o inverso, ou seja, para qualquer tipo de vidro, é o que apresenta menor consumo de energia para aquecimento.

O vidro Prata (FS 0,29), por sua elevada barreira à radiação solar faz com que o consumo de energia para aquecimento também se eleve. Não por acaso, a curva deste vidro com PAF 20% é a que ocupa o topo do gráfico, confirmando ser a situação de maior consumo no aquecimento. Verifica-se, ainda, que o consumo de energia para aquecimento decresce com o crescimento do percentual de abertura da fachada.

Ficam visíveis neste gráfico os maiores valores de consumo das curvas do vidro Prata, com Fator Solar 0,29, ocupando o topo do gráfico; com valores mais elevados para a curva do PAF 20%. Embaixo desta a do PAF 50%, mais abaixo a do PAF 80%. Isto confirma que, quanto menor o Fator Solar, maior será o consumo de energia para aquecimento. A mesmo tempo, verifica-se que, quanto maior o percentual de abertura da fachada, menor será este consumo.

O gráfico da Figura 56 representa o consumo de energia para resfriamento, em função da orientação solar, também sob influência simultânea do tipo de vidro (Fator Solar) e do percentual de abertura da fachada. Desta forma, pode-se analisar a influência conjunta com relação ao consumo de energia para resfriamento.

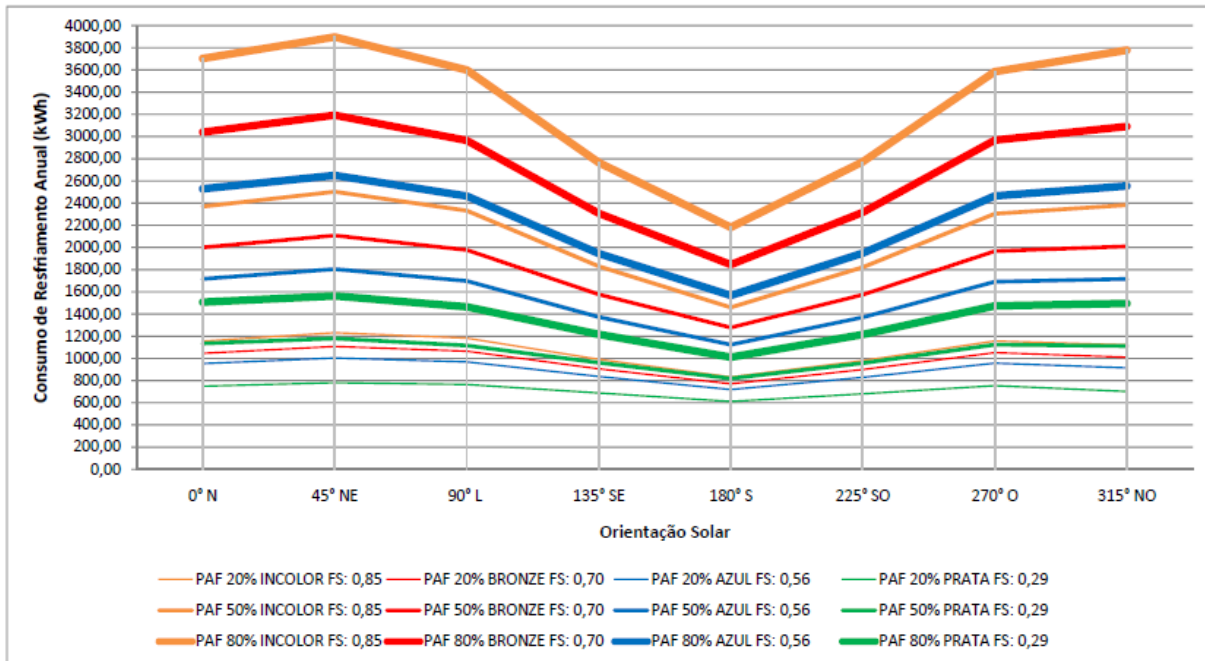


Figura 56 – Gráfico do consumo de energia para resfriamento anual em função da orientação solar, do tipo de vidro e do PAF

A orientação Nordeste acarreta os maiores valores de consumo anual para resfriamento, independente do tipo de vidro ou percentual de abertura da fachada, pois em função do acumulo de calor durante a noite o ar-condicionado trabalha mais durante a manhã. As orientações Noroeste, Leste e Oeste resultam em valores inferiores, embora muito próximos a Nordeste. Da mesma forma, para todas as curvas de consumo para resfriamento, a orientação solar Sul ocupa o ponto de menor consumo, comprovando a característica dessa orientação solar.

No consumo de energia para resfriamento, tanto o comportamento do vidro quanto o percentual de abertura da fachada apresentam resultados opostos ao aquecimento. Isto fica muito claro na comparação direta dos gráficos, observando-se agora que as curvas do vidro Prata ocupam a base deste gráfico, sendo que agora a curva que representa o PAF 20% deste vidro está na posição mais baixa do gráfico.

O consumo de energia para resfriamento é sempre crescente, de acordo com o crescimento do percentual de abertura da fachada e do Fator Solar.

No gráfico da Figura 57, está representada a influência simultânea no consumo de energia total da orientação solar, do Fator Solar do vidro e do percentual de abertura da fachada.

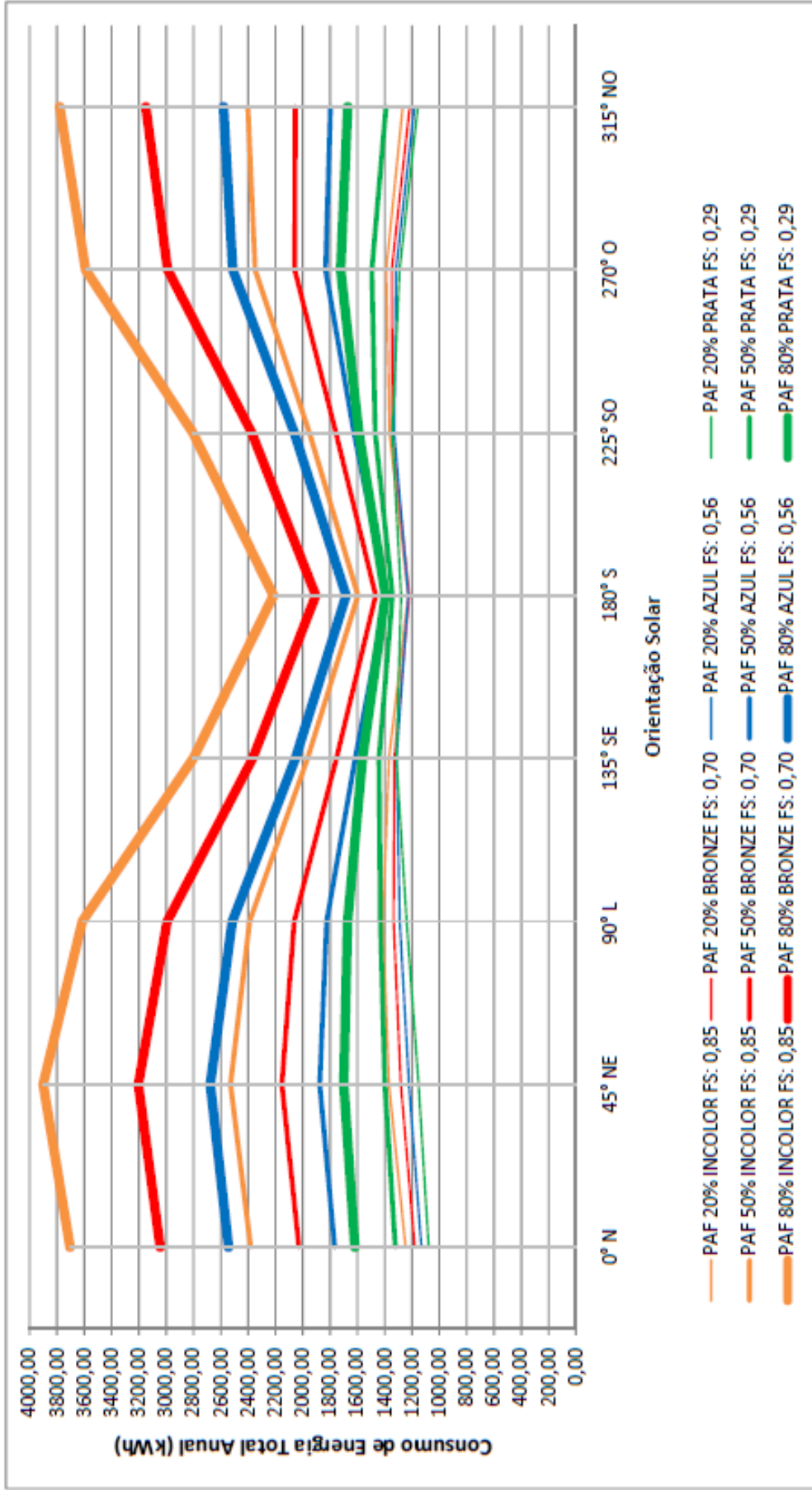


Figura 57 – Gráfico do Consumo de Energia Total Anual em função da orientação solar, do tipo de vidro e do PAF

O gráfico de consumo de energia total apresenta grande similaridade ao gráfico de resfriamento. A diferença principal é que no gráfico do consumo de energia para resfriamento os valores da curva mais baixa começam em torno de 600 kWh. Enquanto no gráfico do consumo de energia total, os valores já iniciam acima de 1000 kWh, por interferência do consumo para aquecimento.

As orientações Norte, Nordeste e Noroeste são as que apresentam o maior gasto de energia total anual e a maior influência do tipo de vidro ou da área de abertura na fachada, ou seja, são as orientações que necessitam maior cuidado no uso de fechamentos transparentes. A orientação solar Sul, ao contrário, apresenta menor consumo e menor influência da variação dos parâmetros analisados, permitindo maior liberdade na especificação de fechamentos transparentes.

Nas fachadas Norte, Nordeste e Noroeste, a redução no consumo de energia total é mais acentuada: em torno de 70% com o vidro de baixo Fator Solar (0,29) em abertura reduzida (20%), em relação ao vidro com alto fator solar (0,85) e grande área de abertura (80%). Considerando-se apenas a variação da área de abertura de 80% para 20%, para o vidro de baixo Fator Solar, a redução do consumo é em torno de 33%, enquanto para o vidro de maior fator solar será de 66%. Isto demonstra a necessidade de uma maior preocupação com os vãos de abertura mais elevados, tornando-se mais lógico o uso de vidro com maior fator solar.

Os gráficos das Figuras 55, 56 e 57 possibilitaram a avaliação aproximada dos gastos de energia para situações diferentes daquelas simuladas, podendo-se considerar outros valores das variáveis estudadas, mediante a interpolação dos gastos encontrados nos ensaios.

Na Figura 58, é representado graficamente o consumo de energia total anual em valores percentuais relativos, relacionados à condição de consumo dada pela orientação solar Norte para o vidro Comum Incolor no PAF 80% (valor 1,0).

Esse gráfico permite induzir o comportamento do consumo energético, em relação à condição considerada como referência para possíveis trocas do tipo de vidro ou percentual de abertura da fachada, segundo a variável da orientação solar.

Também permite determinar a variação do percentual relativo do consumo de energia total para o uso de cada tipo de vidro, analisando-se conjuntamente as alterações dos percentuais de abertura da fachada e ainda a orientação solar da fachada.

Como por exemplo, comparando-se na posição Sul para o PAF 20% o consumo de energia total para o vidro Comum Incolor (FS 85%) com o do vidro Laminado Refletivo Prata Escuro (FS 29%), o vidro Incolor é 2% menor do que o consumo do vidro Prata, nas mesmas condições. Isto quer dizer que o vidro Prata, apesar de ter menor Fator Solar, consumiu uma quantidade maior de energia total para a orientação solar que apresenta menor consumo de resfriamento e maior consumo de aquecimento. Este diferencial se justifica pelo pequeno vão de abertura, onde o tipo de vidro apresenta menor interferência no consumo energético, e pelo maior consumo de aquecimento do vidro Prata.

Ainda comparando-se o vidro Comum Incolor e o Laminado Refletivo Prata Escuro, no mesmo PAF 20%, na posição Nordeste, com maior insolação, o que significa uma redução no consumo de aquecimento e uma elevação no consumo de resfriamento, a diferença no consumo de energia total ocasionado entre ambos os vidros foi de 5% menor no vidro Prata. Isto representa que o vidro de menor fator solar cumpriu o seu papel de bloqueio dos raios solares, reduzindo com isso o consumo de energia para resfriamento, fazendo diferença, mesmo em um pequeno vão de abertura de fachada.

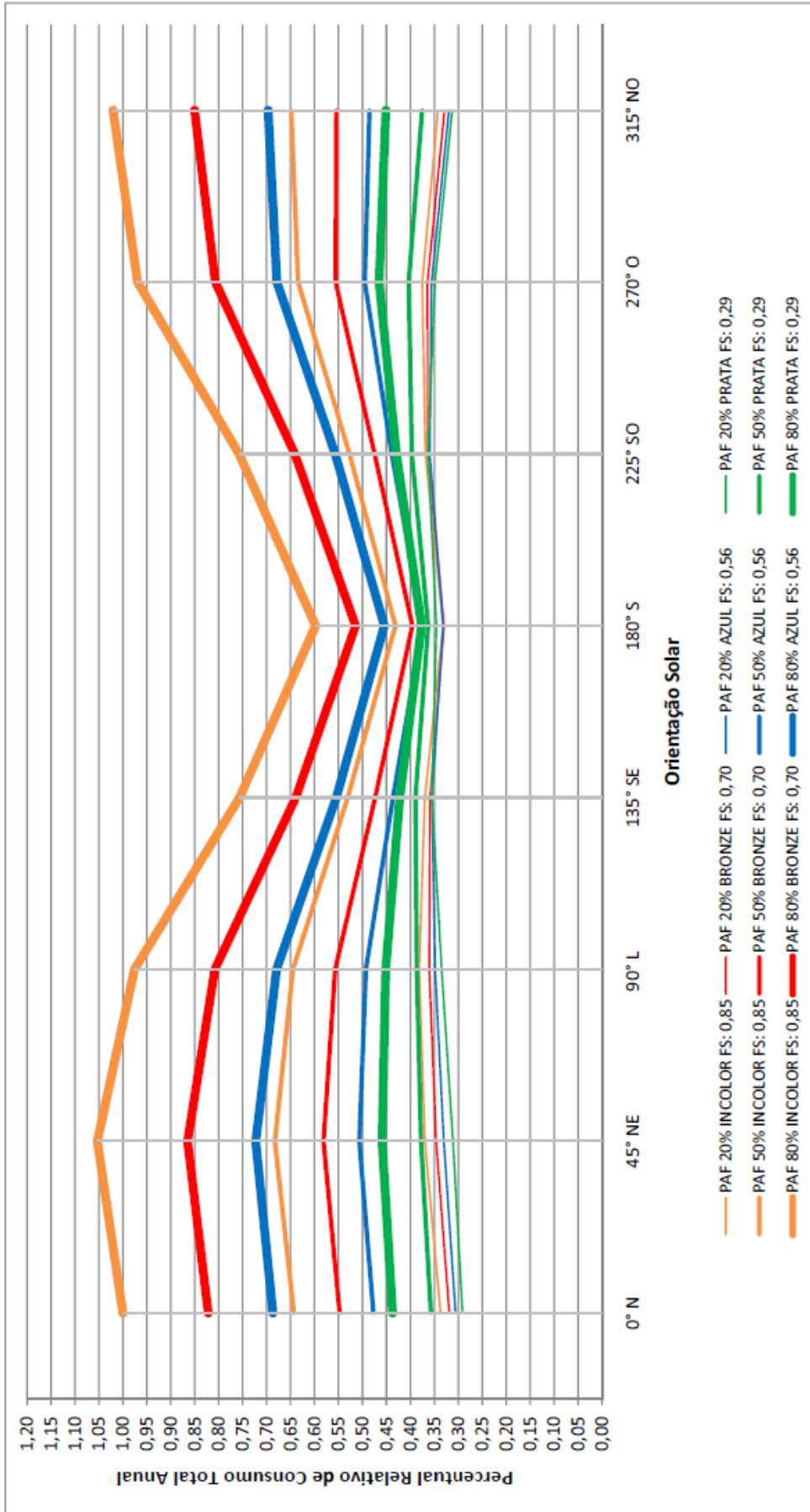


Figura 58 – Gráfico do Percentual Relativo Consumo de Energia Total Anual com relação a orientação solar



Repetindo-se as comparações dos vidros com pontos de extremos, vidro Comum Incolor e o Laminado Refletivo Prata Escuro, para a posição Sul, com vão de abertura de fachada de 80%, que representa um percentual muito significativo no consumo de energia total, o vidro Prata se mostrou eficiente neste consumo. Apresentou um percentual 21% menor que o do vidro Incolor, isso num ponto de orientação solar de menor relevância para o consumo de resfriamento.

Comparando-se agora os mesmos vidros para o PAF 80%, na orientação solar Nordeste, o vidro Laminado Refletivo Prata Escuro também se mostrou mais eficiente com consumo de energia total, obtendo um resultado 56% menor que o consumo do vidro Comum Incolor.

Na comparação direta entre os vãos de abertura 20% e 80%, para os vidros em estudo, nas orientações solares Sul e Nordeste, comprova-se que o vão de 20% representou sempre consumo menor do que o vão de 80%. As diferenças percentuais entre o consumo, considerando-se o PAF 20% e o PAF 80% para as duas orientações citadas, podem ser observadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Comparação entre os Percentuais de Abertura da Fachada 20% e 80%

<b>Tipo de Vidro</b>	<b>Fator Solar</b>	<b>45° Nordeste</b>	<b>180° Sul</b>
Comum Incolor	0,85	65%	45%
Laminado Bronze Claro	0,70	60%	36%
Laminado Refletivo Azul Claro	0,56	54%	27%
Laminado Refletivo Prata Escuro	0,29	32%	8%

Observa-se na tabela que, com a diminuição do fator solar, também diminui a diferença percentual entre os consumos, indicando a importância do Fator Solar na redução do consumo energético total.

Os gráficos de barra, a seguir, definem melhor qual variável (PAF, tipo de vidro e orientação solar) apresenta interferência mais significativa, respectivamente, no consumo de aquecimento, resfriamento e total, relacionando-os ao ponto mais crítico do referido consumo.

Na Figura 59, apresenta-se o gráfico de barras para comparação do consumo de energia para aquecimento, possibilitando determinar as variações percentuais, tomando por referência o ponto mais crítico deste consumo que é na orientação Sul

do PAF 20% do vidro Prata. Este gráfico tem como finalidade observar qual das variáveis estudadas tem maior influência sobre o consumo de energia para aquecimento.

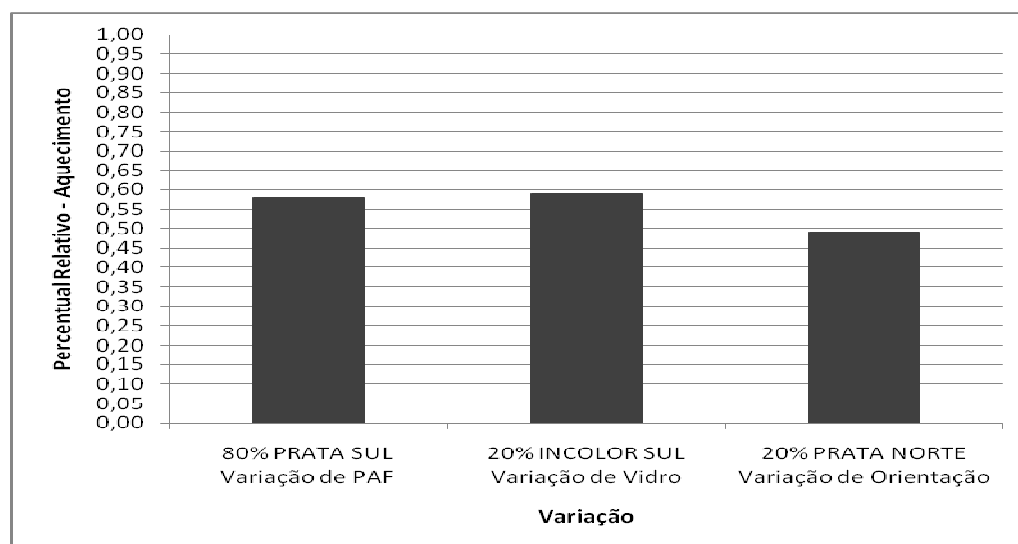


Figura 59 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia para aquecimento anual (20% Prata Sul = 1,0)

Na primeira barra, confronta-se o PAF 80%, do vidro Prata na orientação Sul, com o ponto mais crítico deste consumo. O resultado está representado por uma barra de 58%, o que significa dizer que, utilizando-se o vidro Prata, com variação do PAF 20% para 80%, obtém-se uma redução no consumo de energia para aquecimento.

Na segunda barra, resultou o percentual de 59%, que surgiu do comparativo do consumo mais desfavorável com o PAF 20% da orientação Sul do vidro Incolor, o que significa dizer que se for usado o vidro Incolor no mesmo percentual de abertura e na mesma orientação solar, a diferença no consumo é integralmente de responsabilidade da opção pelo vidro Incolor, ou seja, no consumo de 59% do vidro Prata.

Na terceira barra, o confronto se dá na orientação solar Norte, que representa um percentual de 49% do consumo mais crítico de aquecimento para o vidro Prata, no mesmo PAF, tomando-se como opção esta orientação solar.

Estas comparações permitem concluir que, para o consumo de energia para aquecimento, a interferência que repercutiu resultado mais significativo foi a mudança da orientação solar, revelando o menor percentual de consumo, mas com valores muito próximos.

Na Figura 60, representa-se outro gráfico de barras, agora confrontando o ponto crítico para o consumo de energia para resfriamento, definido como PAF 80% do vidro Incolor na orientação solar Nordeste, com as alterações no PAF, no tipo de vidro e na orientação solar.

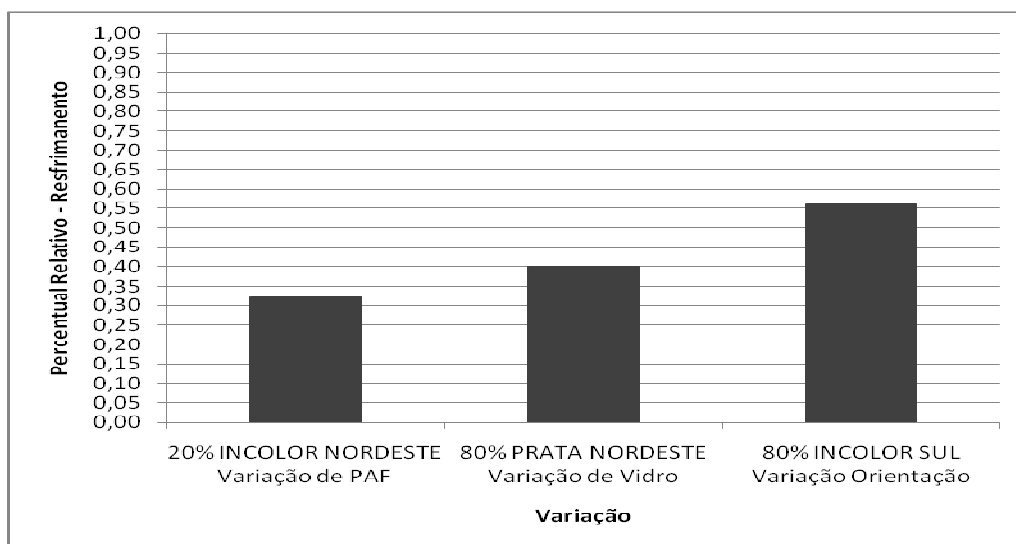


Figura 60 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia para resfriamento anual (80% Incolor Nordeste = 1,0)

Na barra inicial, o comparativo foi definido entre o PAF 20% do vidro Incolor na orientação solar Nordeste com a condição de maior consumo do resfriamento, resultando em um percentual de 32%. Significa que reduzindo-se do PAF 80% para o PAF 20%, mantendo-se as outras condições inalteradas, serão consumidos 32% da energia em relação a situação mais crítica deste consumo.

A comparação deste gráfico apresenta o vidro Prata do PAF 80% da orientação solar Nordeste, com o consumo mais desfavorável do resfriamento, obtendo 40% do consumo, tornando-se claro que, se o vidro for mudado para Prata, o ganho do consumo será de 60%.

O resultado representado na terceira barra do gráfico expressa o confronto do PAF 80% do vidro Incolor, considerando-se a orientação Sul, que representa orientação solar com característica oposta para o consumo de resfriamento. O resultado obtido foi 56%, o que significa dizer que se for trocada a orientação da fachada para Sul, mantendo-se as condições iniciais, haverá um consumo de 56% daquela energia.

Portanto, para o consumo de energia para resfriamento, o comparativo de barra demonstra que será mais eficiente a adoção do PAF 20% para este consumo, do que mudar o tipo de vidro ou alterar a orientação solar.

Na Figura 61, representa-se o gráfico de barras com o comparativo de consumo em relação à condição de maior consumo de energia total, encontrado para o vidro Incolor do PAF 80% da orientação solar Nordeste.

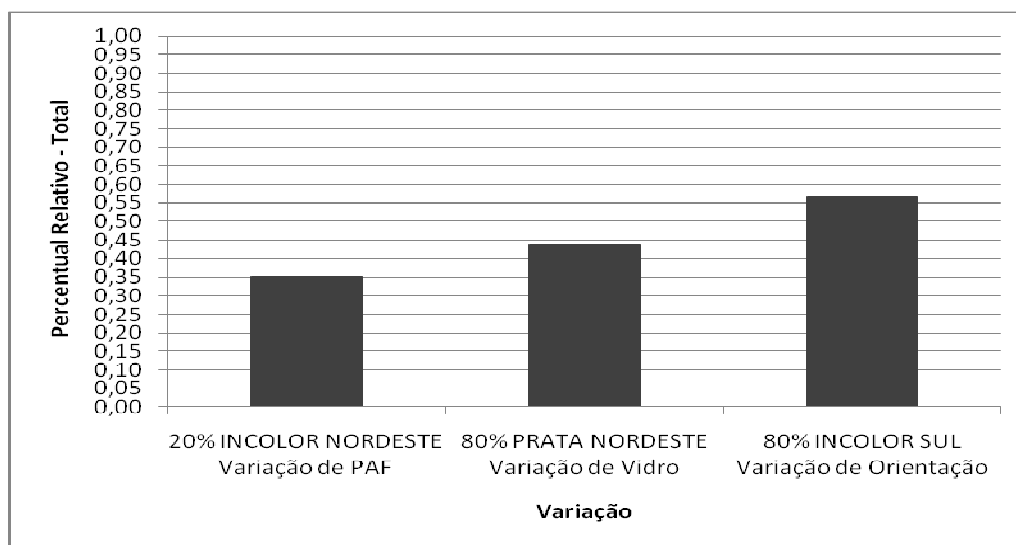


Figura 61 – Gráfico comparativo da influência das variáveis analisadas de consumo da energia total anual (80% Incolor Nordeste = 1,0)

Este gráfico de barras tem característica semelhante ao gráfico comparativo do resfriamento, o que acontece pela predominância do resfriamento no consumo total. Na comparação entre os PAFs 20% e 80%, mantendo constantes as demais condições, o consumo de energia total será de 35%, variando-se o PAF.

Na segunda barra, onde a comparação está configurada na alteração do tipo de vidro, mantendo-se constante as demais condições, o vidro Prata resultou em 44% do consumo mais crítico, o que confirma a eficiência deste tipo de vidro.

Na última barra deste gráfico, a troca da orientação solar para Sul resultou em um valor de 56%, significando dizer que, para o consumo de energia total, a orientação Sul resulta neste percentual de consumo em relação a Nordeste.

Novamente, observa-se, no caso da redução do consumo total, a maior eficiência da redução do PAF.



## 6 CONCLUSÃO

A partir da simulação computacional, o presente trabalho teve como objetivo analisar a influência do tipo de vidro no consumo de energia para climatização de prédios comerciais na cidade de Santa Maria-RS, dentro da zona bioclimática 2 brasileira.

O uso do programa computacional *Design Builder* se mostrou eficaz para a simulação realizada, apresentando facilidade de execução e resultados coerentes com o arquivo climático TMY da cidade de Santa Maria-RS, que tem verão muito quente e inverno com temperaturas amenas. Destacando ainda que o edifício não possui ventilação natural gerando um acúmulo de calor em seu interior.

Foi observado que a especificação de diferentes tipos de vidros representa uma influência importante na demanda de consumo energético de sistemas de ar-condicionado em edificações comerciais, e que esta importância está relacionada ao percentual de área de fechamento transparente, bem como à orientação solar da fachada.

Os resultados das simulações indicaram forte influência dos ganhos térmicos motivados pela incidência de radiação solar, cuja intensidade tem relação direta do tipo de vidro com o percentual de abertura da fachada, e também com a orientação solar da fachada. Aspectos que são dependentes um dos outros no cálculo de ganhos de calor solar, sendo analisados de forma conjunta neste trabalho.

Foi observado que o consumo de energia para resfriamento do edifício apresenta preponderância sobre o aquecimento, e que decisões que colaboram na redução de um dos consumos sempre levam à ampliação do outro consumo. Por este motivo, no processo de definição das aberturas, devem ser analisadas, simultaneamente, todas as variáveis, na busca de condições que, conjuntamente, obtenham o melhor resultado no consumo de energia ao longo do ano.

A orientação solar interfere diretamente na possibilidade ou não da incidência e penetração da radiação solar, constituindo-se em um fator de grande importância no controle do consumo de energia. Em todas as orientações solares nas simulações realizadas, o resfriamento apresentou maior consumo. Com uma única exceção, usando o vidro Laminado Refletivo Prata Escuro, de maior bloqueio solar

(FS 29%), na orientação Sul, o consumo de aquecimento apresentou resultado superior ao resfriamento.

Nas orientações com grande incidência de radiação, que são as posicionadas a Norte, Nordeste, Leste, Noroeste e Oeste, esta maior incidência se transforma mais intensamente em aquecimento do ambiente, aumentando o consumo do resfriamento. As orientações Sul, Sudeste e Sudoeste são as que possibilitam menor penetração da insolação, apresentando redução no consumo de resfriamento, mas um aumento no consumo de aquecimento. Tomando-se como exemplo de comparação entre orientações, considerando-se o PAF 80% e o vidro Comum Incolor, resulta em um consumo total anual, na orientação Sul, de 43% do consumido na orientação Nordeste.

Observou-se que, com o aumento do percentual de abertura da fachada (PAF), aumenta a importância da orientação solar, tal como ocorre com o aumento do Fator Solar do vidro. Os resultados mostraram também que o PAF 20% não apresenta diferença significativa no consumo de energia com a variação da orientação solar.

O estudo do percentual de abertura da fachada revelou que o consumo de energia para resfriamento cresce com a ampliação do vão, uma vez que contribui no aumento da incidência de radiação solar no interior dos ambientes.

Relacionando para o vidro Comum Incolor, diretamente o PAF 80% com o PAF 20% da orientação solar Nordeste, para uma redução de 75% do vão de abertura, o consumo total corresponde a uma economia significativa de 65%. Porém, o dimensionamento do vão deve também considerar todos os demais critérios pertinentes ao projeto.

O tipo de vidro especificado para a envoltória apresenta interferência nas condições de conforto do ambiente, principalmente, ao conjugá-lo à orientação solar. Dentre os valores estudados nas simulações, ficou claro que o vidro Comum Incolor (FS 85%) apresenta maiores consumos ao ser especificado, e que o vidro Laminado Refletivo Prata Escuro (FS 29%) foi o que permitiu resultado com menores consumos totais.

Tomando-se o tipo de vidro como variável de comparação, se considerados os vidros Comum Incolor e Laminado Refletivo Prata Escuro (redução de 66% do Fator Solar), mantendo-se inalterados o PAF 80% e a orientação Nordeste, a redução do consumo total chega a 56%. Comparando-se os PAF 80% e 20%



(redução de 75%), mantendo-se fixas as condicionantes do vidro Comum Incolor e a orientação Nordeste, a redução no consumo total será de 65%.

Levando-se em consideração o grande percentual de ganhos térmicos através das superfícies transparentes, infere-se a necessidade de critérios mais apurados de definição no projeto do percentual de abertura da fachada e do tipo de vidro, em função da orientação solar. Da mesma forma, as normas brasileiras deveriam considerar estas três variáveis conjuntamente para a especificação de valores limites de áreas de fechamentos transparentes ou de Fator Solar dos materiais.

O estudo satisfaz as condições indicadas por Mahoney, quanto ao padrão de aberturas, assim como está de acordo com a NBR 15220-3, que estabelece condições para residências unifamiliares de interesse social.

As presentes comparações, além de outras possíveis a partir das simulações efetivadas, servirão de parâmetros para novos projetos, juntamente com outras condicionantes que, da mesma forma que o consumo de energia, se mostrem relevantes à arte de projetar.

## **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

A partir desse trabalho, sugere-se o desenvolvimento dos seguintes temas e assuntos:

- Necessidade de considerar a operação de janelas e cortinas na simulação computacional.
- Analisar a climatização natural entre os set-points de aquecimento e resfriamento.
- Analisar a utilização de proteção externa ou interna de janelas.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**. Desempenho térmico de edificações: Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 23p.

AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Saint-Gobain Vidros Brasil. Centro Técnico de Elaboração do Vidro – CETEV, 2000. 37p.

ALVES, A.; PIMENTA, J.; BALTORE, A. Análise computacional do ganho de calor por fachada de vidro em um edifício público em Brasília. IX CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DE AR. **Anais...** CONBRAVA, 2005.

ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., SI Edition, Atlanta, USA, 1993

ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., SI Edition, Atlanta, USA, 2001

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió, EdUFAL, 2005.

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

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dezembro 2001. Seção 1, p. 5, v. 138, n. 242.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 outubro 2001. Seção 1, p. 1, v. 138, n. 200.

CARAM DE ASSIS, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. 1998. 118p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARMODY, J. et al. **Residential windows: a guide to new technologies and energy performance**. New York: W.W.Norton, 2000.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 2006

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (Eletrobrás). Disponível em: [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br). Acesso em: novembro de 2009

CHOWDHURY A. A., RASUL M. G., KHAN M. M. K.; **Modeling and simulation of building energy consumption: A case study on an institutional building in central Queensland, Australia**. College of Engineering and the Built Environment Faculty of Sciences, Engineering and Health Central Queensland University Rockhampton, Queensland, Australia; Building Simulation 2007.

Companhia Vidraria SANTA MARINA. *O Vidro na Arquitetura*. São Paulo, Projeto Editores Associados Ltda, 1993.

CORNER, V. N. **A janela como elemento térmico na construção: considerações em clima tropical úmido, situação de verão**. 2001. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

DI TRAPANO, Patrizia. **Forma e qualidade ambiental na arquitetura contemporânea brasileira**. Rio de Janeiro, 2008. Tese (Doutorado em Ciências em Arquitetura). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, Maurício. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. In: X Congresso Internacional de Tintas, 2007, São Paulo. Anais do X Congresso Internacional de Tintas. São Paulo: ABRAFATI, 2007.

FERNANDES, A. E.P. **A influência do vidro no consumo de energia em edificações**. In: Congresso Latino-americano de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, 1998, São Paulo.

FERREIRA, Francéli. **Desempenho térmico em edifícios de escritório na região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2007

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos; **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo** - 5. ed.; São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005. p. 81-93

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied, 1981.

GOMÉZ, L. A.; LAMBERTS, R. Simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios. In: III ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1995.

GOULART, S. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 1993. 111p.

GRILLO, José Carlos; AMORIM, Cláudia Naves. **Janela na Edificação: Normas e Indicações para Projeto**. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2004, São Paulo.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE)/ Departamento de Engenharia Civil / UFSC. Disponível em: [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)  
Acesso em: novembro 2010

LAMBERTS, R. (2003) “**Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil.**” Projeto financiado pelo CNPq, relativo ao Edital CT-Energ/CNPq 01/2003.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, O. R. **Eficiência energética na Arquitetura.** 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMPERT, C., SELKOWITZ, S.; **Application of Large-Area Chromogenics to Architectural Glazings, book Chapter in Large Area Chromogenics: Materials and Devices for Transmittance Control**, C.M. Lampert and C.G. Granqvist, Optical Engineering Press, Bellingham, WA.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **The cool colors project.** Disponível em: <http://coolcolors.lbl.gov>. Acesso em: março 2011.

MALHEIROS, F. **Desempenho térmico de pavilhões industriais: estudos de casos em Panambi/RS.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2005

MARINOSKI, Deivis Luis. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através de aberturas.** Dissertação (Trabalho de Conclusão do Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENDES, N. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2005. p. 47-68.

MICHELATO, R. **Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos: estudo de caso em células-teste.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007.

Ministério de Minas e Energia (2011) - MME. “**Balanco Energético Nacional 2011 – Ano Base 2010**”. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: Novembro 2011

MORET Rodrigues, A.; CANHA DA PIEDADE, A.; BRAGA, A. M., **Térmica de Edifícios**, Edições Orion, Lisboa, Março de 2009.

NASCIMENTO, L. B. P.; BARBOSA, M. J.; **Análise da influência de variáveis construtivas e de variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório.** In: X ENCONTRO NACIONAL e VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Natal. **Anais...** Natal: ENGAC - ELACAC, 2009.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima:** manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

O VIDRO PLANO. Da Massa do Vidraceiro aos Modernos Envidraçamentos. *O Vidroplano*, n.316, p.12-7, Abril, 1999.

PAPST, A. L., E. GHISI, F. COLLE, S. L. ABREU, S. GOULART, T. BORGES. **Eficiência Energética e Uso Racional da Energia na Edificação.** Labsolar, 2005.

PEREIRA, F. L. **Avaliação da influência termo-energética do tipo de vidro utilizado na envoltória de edificações.** Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002

PILKINGTON DO BRASIL. Disponível em: <http://www.pilkington.com/south-america/brazil/portuguese/building+products/pilkington4architects/about+glass/default.htm>. Acesso em: março 2011

PROCEL (2005) Apresentação do site Procel Edifica. Disponível em: [www.eletronbras.com/elb/procel](http://www.eletronbras.com/elb/procel). Acesso em: novembro 2010

REDDY, T. A. **The Design and Sizing of Active Solar Thermal Systems.** New York, Oxford University Press, 1987.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima:** acondicionamento térmico natural. 2.ed. Porto Alegre: D.C.Luzzatto, 1986.

RORIZ, M. **Conforto e desempenho térmico de edificações.** Apostila da disciplina - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis - SC.** Dissertação (Trabalho de Conclusão do Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em

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

SANTOS, J. C. P. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** 2002. 363 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SARDEIRO, P. S. **Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas visando o conforto térmico e visual na edificação.** 2007. 202 p. Tese (Doutorado) - Universidade estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2007.

TRIBESS, A.; HERNANDEZ NETO, A.; VITORINO, F.; PEÇANHA, M. Aspectos de conservação de energia em ambientes condicionados. In: IV ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1997. p. 413-417.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. **Treinamento para o programa Design Builder.** Apostila. Natal: Labcon/UFRN, 2008