

Influência de fachadas envidraçadas no consumo
de energia de um edifício de escritórios em
diferentes cidades brasileiras

Cínthia Andreis

CÍNTIA ANDREIS

**INFLUÊNCIA DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS NO CONSUMO
DE ENERGIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM
DIFERENTES CIDADES BRASILEIRAS**

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

Orientador: Fernando Simon Westphal, Dr.

Florianópolis

2014.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Andreis, Cíntia
Influência de Fachadas Envidraçadas no Consumo de
Energia de um Edifício de Escritórios em Diferentes Cidades
Brasileiras / Cíntia Andreis ; orientador, Fernando Simon
Westphal - Florianópolis, SC, 2014.
198 p.

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

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Fachadas envidraçadas. 3.
Edifícios de escritórios. 4. Desempenho energético. 5.
Condições bioclimáticas brasileiras. I. Westphal, Fernando
Simon. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III.
Título.

CÍNTHIA ANDREIS

**INFLUÊNCIA DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS NO CONSUMO DE
ENERGIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM DIFERENTES
CIDADES BRASILEIRAS**

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

Orientador: Fernando Simon Westphal, Dr.

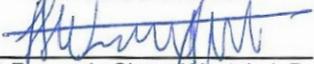
Florianópolis, 25 de agosto de 2014.



Prof. Fernando Barth, Dr.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:



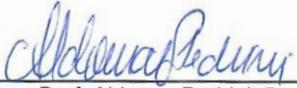
Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Orientador – UFSC



Prof. Fernando Oscar Ruttkey Pereira, PhD.
UFSC



Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.
UFSC



Prof. Aldomar Pedrini, Dr.
UFRN

Florianópolis, 2014

Dedico este trabalho à minha família e ao meu marido pelo apoio incondicional à realização dos meus sonhos. Aos grandes amigos pela paciência e compreensão, e ao meu orientador, Fernando Westphal, pela confiança e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Professor Fernando Simon Westphal pela oportunidade de formação no curso de mestrado, por sua seriedade, paciência, dedicação, apoio e incentivo ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, assim como pelas orientações prestadas para direcionamento, desenvolvimento e melhoramento da pesquisa. À Priscila Besen pelo auxílio no desenvolvimento dos modelos de simulação.

A Deus e aos meus pais, Nairo e Diana, por me apoiarem e darem suporte à minha formação durante toda a vida, sendo minha base, meu exemplo, e certamente meu maior orgulho. Aos meus irmãos, Carlos e Maurício, às cunhadas, Jociane e Giedre, e ao meu sobrinho Vicente, pelo amor incondicional, confiança e por entenderem minha ausência muitas vezes. Ao meu marido, Pedro Levy, por ser um incrível parceiro, me incentivando a melhorar e ir mais longe, tornando o caminho mais feliz. Aos meus sogros, Maris e Wilson, e cunhado, Wilson Eduardo, obrigada pelo carinho, confiança e apoio.

Aos meus grandes amigos da vida, Carine, Vagner, Ana Lúcia, Patrícia, Nathalia, Diego, Alice, André, Franciele, Mayara, Luciano, Ana, Rita, obrigada por compreenderem minha ausência muitas vezes. Aos meus amigos do Labcon, Raphaela, Carolina, Catalina, Silvana e Laura, Maíra, Gabriella, Alexandre, Natália, Rupp, Marcelo, e especialmente à Letícia, grande presente do período do mestrado, pela parceria inestimável desses altos e baixos do processo de pesquisa, e ainda mais pelos divertidíssimos cafés da bolha.

Aos Professores Fernando Ruttkay e Martin Ordenes pelas orientações, pelas contribuições ao trabalho na banca de Qualificação, e por aceitarem o convite para avaliar a dissertação de mestrado em sua forma final. Ao Professor Aldomar Pedrini por aceitar prontamente o convite para compor a Banca examinadora. À UFSC e ao Labcon, que me proporcionaram uma formação de qualidade desde a graduação, meus sinceros e eternos agradecimentos. À CAPES pelo apoio financeiro para a realização do trabalho.

RESUMO

O desempenho energético de edificações é diretamente influenciado pelas condições climáticas externas através da envoltória, por meio da qual ocorrem as trocas térmicas do edifício, alterando a carga térmica interna e, conseqüentemente, o consumo energético do sistema de condicionamento de ar. Dentre os elementos da envoltória, os vidros são os elementos mais complexos e mais sensíveis às variações climáticas, influenciando significativamente o consumo energético do edifício. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de simulação computacional, o desempenho energético decorrente da variação de parâmetros relativos às fachadas envidraçadas de um edifício de escritórios condicionado artificialmente em diversas condições bioclimáticas brasileiras. A metodologia consiste na elaboração do modelo computacional representativo de um edifício de escritórios retangular com 20 pavimentos e planta livre, variando-se os seguintes parâmetros: tipo de vidro e área de abertura, tipo de parede, orientação, tipo de revestimento da fachada, aplicação de isolante em fechamentos opacos e localização (Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro, Salvador e Recife). Conclui-se, com base nos dados obtidos, que em climas amenos (temperatura externa média anual abaixo de 24°C) componentes das fachadas com maior transmitância térmica reduzem o consumo energético para resfriamento, permitindo dissipação do calor interno através da fachada. Em climas quentes (temperatura externa média anual acima de 24°C), envoltória com menor transmitância térmica dificulta o ganho de calor para o ambiente interno, reduzindo o consumo energético. Verificou-se que os parâmetros que promovem maior impacto no consumo energético do modelo foram o tipo de configuração de fachada, sendo que fachadas com pele de vidro por vidro (pele de vidro) resultaram em consumo até 14,9% maior do que fachadas sem pele de vidro. A orientação do modelo influenciou o consumo em até 5,4% em Porto Alegre; o tipo de parede variou um máximo de 2,2% em Recife; e a aplicação de isolante na viga de borda de fachadas com pele de vidro é mais eficiente em climas quentes, acarretando redução do consumo de até 3,6% em Recife.

Palavras-chave: fachadas envidraçadas, edifício de escritórios, desempenho energético, condições bioclimáticas brasileiras.

ABSTRACT

Building energy performance is directly influenced by its envelope through which heat transfer occurs, changing the internal thermal load and hence the energy consumption of the air conditioning system. Among the elements of the envelope, the glass is more complex and more sensitive to climatic variations, with significant influence in the energy consumption of the building. In this context, by using of computer simulation this work aims to evaluate the thermal performance of an artificially conditioned office building in several Brazilian bioclimatic conditions against the variation of parameters related to façades. The methodology consists of the development of a computational model representative of a rectangular office building with twenty floors and an open floor plan. The parameters under analysis are: type of glass, window-to-wall ratio, wall type, orientation, thermal insulation and location (Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro, Salvador and Recife). From the data obtained it is concluded that in cold and mild climates, less thermally insulated façades have better energy performance, decreasing the cooling load. In hot climates, the better thermal insulation of the envelope of both wall and window glass reduces the heat gain and consequently the energy consumption for cooling. In all climates fully glazed single skin façades resulted in increased energy consumption due to the greenhouse effect created in the air gap between the opaque element and the external glazing layer. It was found that one of the parameters with larger impact on energy consumption of the model is the façade configuration, which showed that fully glazed façade resulted in higher energy consumption by 14.9% more than traditional façades (without glazed curtain wall). The other parameters are the orientation of the model which affect the energy consumption by up to 5.4% in Porto Alegre; the type of wall increased the consumption up to 2.2% in Recife; and the application of thermal insulation in the walls of fully glazed façades causes reduction of up to 3.6% in Recife, being more efficient in hot climates.

Keywords: Glazed façades, office building, energy performance, Brazilian bioclimatic conditions

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de Energia Elétrica no Brasil por Setor em 2011	33
Figura 2 - Efeitos do COP, cargas internas e padrões de uso no consumo de energia em condicionamento de ar de um edifício de escritórios, com o clima de Florianópolis	35
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro	42
Figura 4 - Esquema da radiação incidente em fechamentos opacos – absorção, reflexão, radiação e convecção	43
Figura 5 – Configurações dos vidros incolor, laminado e laminado de controle solar	45
Figura 6 - Vidro insulado com película Low-e	47
Figura 7 - Vidro duplo com câmara de ar	48
Figura 8 – Propriedades térmicas do vidro: radiação solar em fechamentos envidraçados	51
Figura 9 - Tipos de fechamentos envidraçados simulados	55
Figura 10 - Demanda energética mensal decorrente dos diferentes fechamentos envidraçados analisados, Itália	55
Figura 11 - Consumo energético decorrente da variação do tipo de vidro WWR [KJ]	61
Figura 12 - "Greenhouse effect" em fachada dupla	67
Figura 13 - Etapas do processo de simulação no Energy Plus	72
Figura 14 - Vista em perspectiva e zoneamento térmico do modelo de simulação	75
Figura 15 - Padrão de uso: Sistema de Iluminação Artificial	78
Figura 16 - Padrão de uso: Sistema de Condicionamento de Ar	78
Figura 17- Padrão de uso: Pessoas	78
Figura 18 - Modelo base de simulação - percentual de área de abertura nas fachadas	81

Figura 19 – Corte esquemático ilustrando os quatro modelos de WWR considerados no estudo (WWR 30%, 40%, 50% e 60%)	82
Figura 20 - Configuração dos vidros analisados	84
Figura 21 - 0° - Orientação das maiores fachadas no sentido Leste-Oeste	86
Figura 22 - 90° - Orientação das maiores fachadas no sentido Norte-Sul	86
Figura 23 - Corte esquemático de fachada tradicional	87
Figura 24 - Corte esquemático de fachada com pele de vidro	88
Figura 25 - Corte esquemático da fachada com pele de vidro com isolante	89
Figura 26 - Corte esquemático da fachada com pele de vidro sem isolante	89
Figura 27 - Localização geográfica das cidades analisadas	90
Figura 28 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Curitiba	92
Figura 29 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Porto Alegre	92
Figura 30 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para São Paulo	93
Figura 31 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Brasília	93
Figura 32 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Rio de Janeiro	94
Figura 33 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Salvador	94
Figura 34 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Recife	95
Figura 35 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Curitiba	99

Figura 36 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Porto Alegre.....	99
Figura 37 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR na cidade de São Paulo	100
Figura 38 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Brasília.....	100
Figura 39 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR na cidade do Rio de Janeiro	101
Figura 40 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Salvador	101
Figura 41 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Recife	102
Figura 42 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro laminado de controle solar em Curitiba.....	103
Figura 43 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro laminado de controle solar em Porto Alegre	103
Figura 44 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro verde na cidade de São Paulo	104
Figura 45 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR – Vidro duplo de controle solar na cidade de São Paulo.....	104
Figura 46 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR – Vidro duplo de controle solar na cidade do Rio de Janeiro	104
Figura 47 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro duplo de controle solar em Recife	104
Figura 48 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 30%).....	107

Figura 49 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 40%).....	108
Figura 50 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 50%).....	109
Figura 51 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 60%).....	109
Figura 52 - Aumento do consumo anual quando o WWR para de 30% para 60% em cada cidade de estudo [MWh].....	110
Figura 53 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 30%)	112
Figura 54 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 60%)	112
Figura 56 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Curitiba	115
Figura 57 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Porto Alegre	115
Figura 58 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede na cidade de São Paulo	116
Figura 59 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Brasília.....	116
Figura 60 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede na cidade do Rio de Janeiro	117

Figura 61 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Salvador	117
Figura 62 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Recife.....	118
Figura 63 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 30%)	118
Figura 64 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 40%)	119
Figura 65 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 50%)	119
Figura 66 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 60%)	120
Figura 67 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 30%).....	123
Figura 68 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 40%).....	124
Figura 69 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 50%).....	124
Figura 70 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 60%).....	125
Figura 71 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 30%).....	126

Figura 72 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 60%)	127
Figura 73 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando adota-se orientação 90° comparado 0° (WWR 30%)	131
Figura 74 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando adota-se orientação 90° comparado 0° (WWR 60%)	131
Figura 75 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando é aplicado isolante térmico em fachadas com pele de vidro (WWR 30%)	134
Figura 76 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando é aplicado isolante térmico em fachadas com pele de vidro (WWR 60%)	134
Figura 77 – Fluxo de calor através de fechamentos opacos com aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro	136
Figura 78 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Curitiba	138
Figura 79 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Curitiba	139
Figura 80 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Porto Alegre	141
Figura 81 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Porto Alegre.....	141
Figura 82 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros na cidade de São Paulo	143
Figura 83 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% na cidade de São Paulo	143

Figura 84 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Brasília	145
Figura 85 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Brasília.....	145
Figura 86 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros na cidade do Rio de Janeiro	147
Figura 87 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% na cidade do Rio de Janeiro.....	147
Figura 88 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Salvador	148
Figura 89 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Salvador.....	149
Figura 90 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Recife	150
Figura 91 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Recife.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades ópticas e luminosas dos fechamentos envidraçados	51
Tabela 2 - Variáveis relacionadas a cada fonte de calor em uma edificação	74
Tabela 3 - Características do modelo de simulação.....	76
Tabela 4 - Cargas internas adotadas nas simulações.....	77
Tabela 5 - Composição dos elementos construtivos	79
Tabela 6 - Propriedades dos componentes construtivos inseridas no modelo de simulação	79
Tabela 7 - Propriedades do isolante térmico inseridas no modelo de simulação	80
Tabela 8 - Síntese dos parâmetros arquitetônicos variáveis.....	80
Tabela 9 - Propriedades térmicas e ópticas dos vidros adotados no estudo.....	83
Tabela 10 - Propriedades das paredes opacas das fachadas	85
Tabela 11 – Dados geográficos e climáticos das cidades de estudo	90
Tabela 12 - Características fixas e variáveis do modelo – variação de WWR e tipo de vidro	98
Tabela 13 - Características fixas e variáveis do modelo – variação do tipo de parede	114
Tabela 14 - Características fixas e variáveis do modelo – variação da orientação geográfica.....	129
Tabela 15 - Características fixas e variáveis do modelo – fachadas com pele de vidro com e sem a aplicação de isolamento térmico na viga de borda.....	133
Tabela 16 - Características fixas do modelo para análise de impacto dos parâmetros.....	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEA - Agência Internacional de Energia

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

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

BEN - Balanço Energético Nacional

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

COP - Coeficiente de Performance [$W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$]

CT - Capacidade Térmica [$\text{kJ/m}^2\text{K}$]

Dup. C. Sol. – Vidro duplo de controle solar

DOE - *Department of Energy*

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPW - *Energypius Weather Data*

GHA₂₀ – Graus Hora de Aquecimento com temperatura de referência 20°C

GHR₂₄ – Graus Hora de Resfriamento com temperatura de referência 24°C

ILD – Densidade de carga interna instalada [W/m^2]

Lam. C. Sol. – Vidro laminado de controle solar

SHGC - *Solar Heat Gain Coefficient* [%]

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*

MME - Ministério de Minas e Energia

NFRC - *National Fenestration Rating Council*

PROCEL Edifica - Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações

USGBC – *United States Green Building Council*

WWR - *Window to Wall Ratio* [%]

LISTA DE SÍMBOLOS

α - Absortância [adimensional]

c – Capacidade Térmica [J/kgK]

e – Espessura [mm]

FS – Fator Solar [%]

h_e - Coeficiente superficial externo de transmissão de calor [W/m^2 °C]

h_i - Coeficiente superficial interno de transmissão de calor [W/m^2 °C]

I_o - Energia Incidente [W/m^2]

I_α - Energia absorvida [W/m^2]

TE – Transmissão energética [W/m^2]

REe - Energia refletida externa [W/m^2]

REi - Energia refletida interna [W/m^2]

λ - Condutividade térmica do material, em [W/m^2 °C]

q - Ganho de calor através do vidro [W/m^2]

R_{se} - Resistência superficial externa [$W.m^2/°C$]

R_{si} - Resistência superficial interna [$W.m^2/°C$]

T_{ar} - Temperatura do ar [°C ou K]

U - Transmitância Térmica [$W/(m^2K)$]

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	31
1.1	PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA.....	32
1.2	OBJETIVOS.....	36
1.2.1	Objetivo geral.....	36
1.2.2	Objetivos específicos.....	36
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	37
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
2.1	EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS BRASILEIROS	39
2.2	VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA O DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES.....	41
2.2.1	Condições bioclimáticas segundo a NBR 15220	41
2.2.2	Carga térmica interna.....	42
2.2.3	Fechamentos opacos.....	43
2.2.4	Vidros.....	44
2.2.4.1	Tipos de vidro	44
2.2.4.2	Propriedades ópticas e térmicas dos vidros	48
2.2.4.3	Comportamento do vidro em relação à radiação solar	50
2.3	DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS COM FACHADAS ENVIDRAÇADAS.....	52
2.4	DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADAS DUPLAS E FACHADAS COM PELE DE VIDRO.....	64
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	68
3.	METODOLOGIA.....	70
3.1	FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA.....	71
3.2	DEFINIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	73
3.2.1	Características do modelo base	75

3.3	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS VARIÁVEIS PARA SIMULAÇÃO	80
3.3.1	Percentual de área de abertura nas fachadas (WWR).	81
3.3.2	Tipos de vidro nas aberturas	82
3.3.3	Tipos de parede externa	84
3.3.4	Orientação da edificação	85
3.3.5	Configurações de fachadas	86
3.3.6	Aplicação de isolante térmico em fachadas com pele de vidro	88
3.3.7	Cidades selecionadas e condições bioclimáticas	89
3.4	ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO OBTIDOS	95
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
4.1	SIMULAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	97
4.2	DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DE TIPO DE VIDRO E WWR NAS FACHADAS	98
4.2.1	Fachadas tradicionais	98
4.2.2	Fachadas com pele de vidro	106
4.2.3	Variação do consumo entre Fachadas tradicionais e Fachadas com pele de vidro	111
4.3	DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DE TIPO DE PAREDE EXTERNA	113
4.3.1	Fachadas tradicionais	114
4.3.2	Fachadas com pele de vidro	123
4.3.3	Variação do consumo entre Fachadas tradicionais e Fachadas com pele de vidro	125
4.4	DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DA ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	128

4.5	DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DA APLICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO EM FACHADAS COM PELE DE VIDRO	132
4.6	ANÁLISE SÍNTESE DE DESEMPENHO POR CIDADE	136
4.6.1	Curitiba	137
4.6.2	Porto Alegre	140
4.6.3	São Paulo	142
4.6.4	Brasília	144
4.6.5	Rio de Janeiro	146
4.6.6	Salvador	148
4.6.7	Recife	149
4.6.8	Considerações sobre a variação do consumo para os diferentes parâmetros	151
5.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
5.1	CONCLUSÕES QUANTO AO TIPO DE VIDRO E WWR NAS FACHADAS	154
5.1.1	Fachadas tradicionais	155
5.1.2	Fachadas com pele de vidro	156
5.2	CONCLUSÕES QUANTO AO TIPO DE PAREDE EXTERNA.....	157
5.2.1	Fachadas tradicionais	157
5.2.2	Fachadas com pele de vidro	158
5.3	CONCLUSÕES QUANTO À ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	159
5.4	CONCLUSÕES QUANTO À APLICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO EM FACHADAS COM PELE DE VIDRO	160
5.5	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	160
5.6	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	161
5.7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	161

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
APÊNDICES	169
APÊNDICE A – Temperaturas médias, médias das máximas e médias das mínimas das cidades de estudo.....	170
APÊNDICE B - Consumo energético decorrente da variação dos parâmetros em fachadas tradicionais.....	171
APÊNDICE C - Consumo energético decorrente da variação dos parâmetros em fachadas com pele de vidro.....	177
APÊNDICE D – Consumo energético decorrente da variação da configuração de fachada: tradicional versus com pele de vidro....	184
APÊNDICE E – Consumo energético decorrente da variação de diversos parâmetros.....	194

1. INTRODUÇÃO

Edificações comerciais com grandes áreas envidraçadas vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura adotado nos mais diversos países e condições bioclimáticas. As principais justificativas para a utilização deste tipo de configuração de fachadas são a transparência e possibilidade de integração visual com o exterior, admissão de luz natural, e o atrativo estético valorizado por projetistas e investidores (SHAMERI et al., 2011). Esses edifícios são frequentemente associados a projetos que compreendem aspectos de eficiência energética, sustentabilidade e uma imagem "verde". (GRATIA; DE HERDE, 2007)

No cenário nacional, essas edificações estão em franco crescimento, sendo que muitos desses edifícios já obtiveram certificação de desempenho energético e ambiental através de organismos mundialmente acreditados, como o USGBC, que concede a certificação LEED. Apesar disso, a eficiência energética dessas edificações em climas brasileiros é amplamente questionada, surgindo no mercado algumas recomendações de fabricantes de vidros e projetistas que propõem opções de tipos de vidros que acarretariam um melhor desempenho energético de edificações. Destacam-se dentre as opções disponíveis no mercado o uso de vidros duplos com câmara de ar e vidros laminados de controle solar. No caso do emprego de vidros duplos com câmara de ar, por exemplo, o conjunto proporciona maior isolamento térmico devido à camada de ar, o que, em climas mais rigorosos como o inverno europeu, dificulta a perda de calor do interior da edificação para o meio externo e, conseqüentemente, diminui o consumo energético para manutenção da temperatura de conforto; por outro lado, em climas muito quentes, este fechamento pode dificultar o ganho de calor por condução do exterior para o interior do edifício.

Apesar do incentivo à especificação de vidros supostamente de melhor desempenho energético, existem poucos estudos que analisam e verificam o desempenho energético decorrente de diferentes tipos de vidros em fachadas de edificações de escritórios em condições bioclimáticas brasileiras diversas. Baseando-se nessa incerteza, esta pesquisa propõe uma análise detalhada dos

impactos gerados por diferentes parâmetros relativos às fachadas na eficiência energética de um edifício de escritórios com fachadas envidraçadas, condicionado artificialmente, em diversas condições bioclimáticas brasileiras.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2012), o Brasil é o 10º maior consumidor de energia elétrica no mundo e o Ministério de Minas e Energia (MME, 2011) prevê que até 2020 a demanda total de energia no Brasil deverá crescer em mais de 60%. Segundo dados do relatório do Balanço Energético Nacional (BEN, 2012), entre 2002 e 2011, o consumo total de energia elétrica aumentou 48%, sendo que no setor comercial houve um aumento de 63% no mesmo período, evidenciando a importância do setor para a economia de energia.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2011), o aumento acelerado do consumo de energia reflete o crescimento da produção industrial e o padrão de consumo da população, atuando como um dos principais indicadores de desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida da sociedade. Por outro lado, o aumento do consumo energético também possui aspectos negativos, como o esgotamento das fontes geradoras de energia, o impacto da geração de energia no meio ambiente e o custo elevado empregado na pesquisa de fontes alternativas de energia. Uma das alternativas mais utilizadas para amenizar o impacto desse aumento é investir no incentivo à diminuição do consumo, tanto no que diz respeito às medidas educativas da população quanto do investimento em equipamentos e instalações eficientes, sem prejudicar o avanço econômico. (ANEEL, 2011)

Em 2011, o consumo de energia elétrica por setor, em porcentagem, apontou que as edificações são responsáveis por 47% do consumo total, sendo 15,4% edificações comerciais (Figura 1).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), o conceito de eficiência energética consiste na obtenção de um serviço com alta economia de energia. No caso das edificações, consiste em prover

o ambiente interno com as condições de conforto com menor consumo energético. A preocupação com a eficiência energética de edificações fortaleceu-se durante a crise do petróleo, na década de 1970, desencadeando o surgimento das primeiras normas relacionadas ao tema. Em 1975, nos Estados Unidos, foi publicada a ASHRAE Standard 90.1 estabelecendo requisitos mínimos de eficiência energética em edificações e, posteriormente, foi utilizada como base para o desenvolvimento de normas, certificações e legislações em muitos países, inclusive no Brasil.

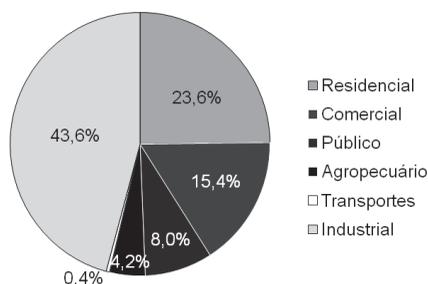


Figura 1 - Consumo de Energia Elétrica no Brasil por Setor em 2011

Fonte: Relatório final BEN, 2012. Elaborado pela autora.

Entre as principais políticas de incentivo às práticas sustentáveis e de eficiência energética no cenário mundial atualmente estão as certificações LEED e BREEAM, além da ASHRAE Standard 90.1, mencionada anteriormente. No Brasil, o Procel Edifica¹ foi a primeira iniciativa brasileira no âmbito de legislações, no ano de 2003, instituído pela Eletrobrás/Procel, devido à crise energética de 2001 e tendo como objetivo promover a eficiência energética de edificações. Posteriormente, surgiram outras certificações, entre elas o Selo Casa Azul, que incentiva práticas sustentáveis no projeto e construção de habitações, e o selo AQUA de qualidade ambiental. No que diz respeito às normativas, o Brasil possui hoje duas Normas de desempenho de edificações residenciais, que recomendam estratégias de condicionamento passivo para cada zona bioclimática brasileira

¹ Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações da Eletrobrás

objetivando a melhoria do desempenho térmico, sendo elas: ABNT NBR 15220 (2005) Desempenho térmico de edificações; e ABNT NBR 15575 (2013) Edifícios Habitacionais - Desempenho.

Para a obtenção de selos ou certificações de eficiência energética, uma prática determinante consiste no desenvolvimento de modelos computacionais representativos da edificação a ser analisada para estimar o consumo energético, determinando-se previamente o impacto das decisões de projeto no consumo total da edificação. A determinação do desempenho do modelo computacional é feita com base em um modelo de referência e depende das características da envoltória e dos materiais que a compõem, sistemas de condicionamento de ar, carga interna instalada e padrões de uso e ocupação.

No contexto das edificações comerciais, muitos autores apontam o sistema de condicionamento de ar como o responsável pela maior parte do consumo final de eletricidade. Em edificações comerciais no Brasil, Carlo e Lamberts (2008) estimam que esse sistema seja responsável por 70% do consumo total do edifício. Por outro lado, a participação do sistema de condicionamento de ar no consumo energético da edificação depende de diversos fatores, dentre eles, o coeficiente de performance (COP) do sistema, a densidade de cargas internas e o padrão de uso do edifício. A Figura 2 (WESTPHAL, 2007) evidencia a interdependência entre consumo energético e carga interna (*Internal Loads Density* - ILD), COP e padrão de uso (PU), verificando-se o aumento do consumo quando se aumenta ILD, PU, e quando o COP do sistema de condicionamento de ar é reduzido. A diminuição do COP de 3,19 W/W para 1,82 W/W com PU de 24h/dia gera um aumento de aproximadamente 30% no consumo energético anual da edificação.

Westphal (2007) destaca a influência, nestas condições específicas do modelo, primeiramente do padrão de ocupação, seguido pela densidade de carga interna, e depois do COP do sistema de condicionamento de ar. Dessa maneira, determinar o impacto do consumo do sistema de condicionamento de ar no consumo total da edificação mostra-se uma tarefa interdependente, permeada por outros parâmetros de projeto determinantes. É possível afirmar também que quanto melhor o desempenho dos sistemas, equipamentos e das estratégias de eficiência energética

utilizadas na edificação, menor o impacto do consumo do sistema de condicionamento de ar no consumo total da edificação.

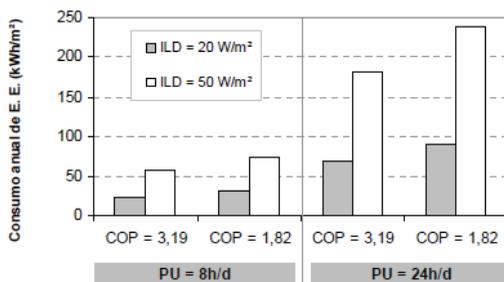


Figura 2 - Efeitos do COP, cargas internas e padrões de uso no consumo de energia em condicionamento de ar de um edifício de escritórios, com o clima de Florianópolis

Fonte: WESTPHAL, 2007, p. 55

O consumo do sistema de condicionamento de ar também é influenciado pela envoltória, através da qual ocorrem as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, sendo, portanto, elemento determinante para o consumo energético final. Segundo Palmer e Gentry (2012), os vidros compõem uma das maiores complexidades entre os componentes da edificação, tendo maior influência no conforto térmico e visual e no consumo energético. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) afirmam que a demanda energética para condicionamento de ar é diretamente influenciada pelo ganho de calor através das aberturas, de acordo com algumas variáveis principais, como orientação, tamanho da abertura, tipo de vidro e proteções solares (internas ou externas).

No que diz respeito ao projeto do edifício, Carvalho et al. (2010) afirmam que os melhores resultados quanto ao desempenho energético do edifício podem ser garantidos na fase inicial de projeto, quando as soluções de arquitetura estão sendo definidas. Contudo, sabe-se que o desenho arquitetônico em grande parte é definido pelas condições do terreno, já que por questões econômicas determina-se a área construída do edifício de acordo com o que o terreno e a legislação permitem. Assim, as intervenções na fase inicial de projeto do edifício, especialmente a adoção de estratégias passivas de condicionamento, ficam restritas

na grande maioria das vezes às adaptações baseadas no estudo de viabilidade econômica, podendo-se propor alterações principalmente relacionadas à configuração da fachada, detalhamento de materiais e especificações de equipamentos e sistemas com melhor desempenho energético.

Dessa forma, considerando-se a importância das edificações no consumo energético nacional, bem como a participação determinante dos elementos da envoltória e as limitações quanto à intervenção e alteração da sua configuração arquitetônica, evidencia-se a importância de determinar os impactos gerados pelas decisões de projeto e especificação de materiais relativos às configurações de fachadas no consumo energético do sistema de condicionamento de ar de edificações de escritórios em diferentes condições bioclimáticas brasileiras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar por meio de simulação computacional o desempenho térmico decorrente de diferentes configurações de fachadas envidraçadas de um edifício de escritórios em diversas condições bioclimáticas brasileiras.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos decorrentes das atividades desenvolvidas ao longo da pesquisa relativas à análise de fachadas de um edifício de escritórios condicionado artificialmente em diversas condições bioclimáticas brasileiras, pretende-se:

- a) Estudar a inter-relação entre parâmetros construtivos e arquitetônicos de fachadas envidraçadas e a influência no consumo energético do sistema de condicionamento de ar;
- b) Avaliar especificações de parede e de vidro mais adequadas para promover menor consumo de energia do sistema de condicionamento de ar em função do clima e da área de abertura nas fachadas;
- c) Identificar o impacto da variação da orientação do edifício no

- consumo energético do sistema de condicionamento de ar;
- d) Avaliar o desempenho térmico de fachadas com pele de vidro, identificando o impacto provocado pelo efeito estufa na câmara de ar entre a parede externa e o revestimento envidraçado no consumo energético para condicionamento de ar do edifício;
 - e) Quantificar a economia do sistema de condicionamento de ar gerada pela aplicação de isolante térmico na viga de borda de configurações de fachadas com pele de vidro.
 - f) Determinar os parâmetros de projeto de fachadas que geram maior variação do consumo para cada clima analisado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O **primeiro capítulo** corresponde à introdução, onde foram explicados o contexto geral do consumo de energia no Brasil e a participação das edificações neste contexto. Apresentou-se a justificativa do estudo proposto e os objetivos da pesquisa.

O **segundo capítulo** corresponde à revisão bibliográfica dos conceitos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa na área de eficiência energética de edificações e desempenho térmico dos componentes da envoltória, especialmente dos fechamentos envidraçados, sua interação nas trocas de calor entre o ambiente interno e externo e o consumo energético decorrente destas trocas, contribuindo para um melhor entendimento do desempenho energético de edificações.

O **terceiro capítulo** retrata a metodologia adotada no trabalho, apresentando a ferramenta de simulação computacional utilizada para determinação do consumo energético do sistema de condicionamento de ar do edifício analisado, os parâmetros variáveis de estudo relativos às configurações de fachadas, assim como a escolha das sete cidades representativas de diferentes condições bioclimáticas brasileiras. Demonstra-se também o método para tratamento e manipulação dos dados para avaliação dos resultados obtidos.

Na **quarta parte** são apresentados resultados de consumo energético do sistema de condicionamento de ar obtidos a partir da

variação dos parâmetros de estudo. A organização dos resultados baseou-se também nos parâmetros, subdivididos de acordo com as configurações de fachadas, sendo elas tradicionais (sem pele de vidro) ou com pele de vidro (completamente revestidas por vidro), apresentando a seguinte estrutura de resultados:

- a) tipo de vidro e área de abertura na fachada (WWR) – em fachadas tradicionais e com pele de vidro;
- b) tipo de parede externa – em fachadas tradicionais e com pele de vidro;
- c) orientação do edifício – em fachadas tradicionais;
- d) aplicação de isolante térmico na viga de borda – em fachadas com pele de vidro.

A partir da análise dos resultados das simulações, portanto, obtêm-se as conclusões e as considerações finais da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica abrangendo normas e certificações existentes de incentivo às práticas sustentáveis e de eficiência energética, as condições bioclimáticas brasileiras definidas pela NBR 15.220, bem como uma introdução quanto aos componentes opacos e transparentes das fachadas. Além disso, desenvolve-se uma revisão de trabalhos recentes com enfoque no tema desempenho energético de edifícios não residenciais condicionados artificialmente, enfatizando-se trabalhos desenvolvidos a partir de simulação computacional.

São explorados estudos relativos à análise de sensibilidade de parâmetros relativos aos elementos que compõe as fachadas de edificações de escritórios, apresentando-se os resultados obtidos para cada contexto e conclusões quanto aos parâmetros avaliados.

2.1 EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS BRASILEIROS

A evolução da arquitetura de edifícios de escritórios tem como ícone de desenvolvimento em termos demográficos e econômicos a cidade de São Paulo, concentrando recursos, empresas e pessoas, impulsionando o crescimento de edifícios de escritórios a partir da década de 1970. (MARCONDES, 2004)

Romero et al. (1999) analisam que nas últimas décadas ocorreram grandes mudanças no padrão arquitetônico dos edifícios de escritórios da cidade de São Paulo, alterando os materiais, forma, ocupação e área de abertura nas fachadas (WWR). Com relação ao pavimento-tipo, de um ambiente completamente compartimentado para um ambiente único, sem divisões internas de piso a teto, além da separação das áreas molhadas, serviços e escadas da área de escritórios, cuja alteração provocou impacto no consumo energético de dois sistemas principais: iluminação artificial (devido à redução da iluminação natural pelo aumento dos ambientes) e condicionamento de ar (devido ao aumento da carga térmica de pessoas e equipamentos). As fachadas, por sua vez, tiveram aumento de área envidraçada, elevando o ganho de calor por radiação solar. A necessidade crescente de condicionamento dos ambientes fez com que a arquitetura de edifícios de escritórios

isolasse os edifícios por meio do fechamento completo dos caixilhos, ou seja, impossibilitando a ventilação natural dos ambientes. De acordo com Shameri et al. (2011), no início o vidro era popularmente utilizado como símbolo do avanço, utilizado especialmente em edifícios de alto padrão.

Em 1990, devido à preocupação crescente com o aquecimento global, houve um aumento da demanda de edificações de alto padrão, encorajando projetistas a buscar novas soluções e tecnologias, juntamente com energias renováveis e limpas para serem utilizadas como fonte alternativa para iluminação, ventilação e condicionamento de ar em edificações. (MARQUES DA SILVA; GLÓRIA GOMES, 2008) O mercado comercial brasileiro, por sua vez, sofreu aquecimento desde o início da década de 2000, refletindo no setor de edifícios de escritórios, que acompanhou a demanda por edificações de alto padrão. Entre as principais características destas edificações estão plantas livres com flexibilidade de layout e uso, elevado grau de automação do edifício, gerenciamento predial, sistemas construtivos de primeira linha, condicionamento artificial do ar interno e revestimento externo envidraçado (MARCONDES, 2010). Segundo Romero et al. (1999), nos centros urbanos de todo o Brasil, em todas as latitudes, é muito comum encontrar-se edifícios em torre completamente revestidos por vidro e sem nenhuma proteção solar na envoltória. Segundo Shameri et al. (2011), na última década o vidro tem sido um dos materiais mais importantes para o projeto e construção de edificações comerciais, impulsionando o emprego de produtos de alta tecnologia que possibilitam o desenvolvimento de edifícios delgados e altamente arrojados.

Neste contexto, surge um conjunto de edificações de escritórios recentes, cuja configuração arquitetônica a nível internacional utiliza gabaritos altos, grandes áreas de abertura nas fachadas e condicionamento artificial do ar interno. Segundo Marcondes et al. (2012), grande parte destes edifícios utilizam o modelo convencional de fachadas com pele de vidro isoladas e sem sombreamento externo.

Edifícios de escritórios assim vêm sendo certificados por programas mundialmente reconhecidos, como o LEED, nas mais diversas condições bioclimáticas do Brasil e do mundo.

Paralelamente, os mesmos edifícios são alvo de questionamentos acerca de sua real eficiência energética e sustentabilidade, principalmente no que diz respeito às amplas áreas envidraçadas, sendo importante determinar o comportamento destas edificações não só em grandes centros como São Paulo, mas também nas demais condições bioclimáticas brasileiras.

2.2 VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA O DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

O desempenho térmico e energético de edificações depende da combinação de diversos fatores, sendo que as condições bioclimáticas em que o edifício se insere, padrões de uso e ocupação, assim como as propriedades dos materiais da envoltória, especialmente dos fechamentos transparentes, são as principais variáveis que afetam o consumo de energia. Por isso, neste item serão apresentadas resumidamente as variáveis mais importantes que afetam o desempenho energético de edifícios de escritórios condicionados artificialmente.

2.2.1 Condições bioclimáticas segundo a NBR 15220

O Brasil possui atualmente diferentes classificações quanto às condições bioclimáticas. A NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações, em vigor desde 2005, divide-se em cinco partes, sendo que a terceira parte compreende o zoneamento bioclimático brasileiro, classificando o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 3), assim como define diretrizes construtivas para habitações residenciais unifamiliares visando a melhoria do desempenho térmico por meio da adequação da edificação às condições climáticas. Os parâmetros utilizados para estas recomendações são: dimensões das aberturas para ventilação, proteção solar das aberturas, tipos de fechamentos da envoltória e estratégias de condicionamento passivo.

O zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220 classifica as cidades brasileiras do clima mais frio (ZB1) ao clima mais quente (ZB8), de acordo com as temperaturas médias, médias das mínimas e médias das máximas das cidades classificadas. Com

base nisso, é possível identificar as condições bioclimáticas das cidades de estudo.

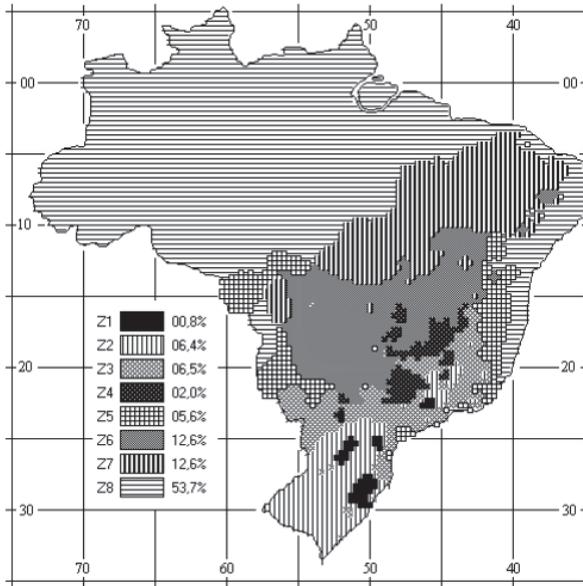


Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: NBR 15220, Parte 3, p.3 (2005)

2.2.2 Carga térmica interna

A carga térmica de uma edificação é definida por McQuiston, F. C. e Spitler (1992) como a taxa na qual o calor deve ser retirado do ambiente para manter sua temperatura e umidade relativa constantes. Dessa forma, pode ser utilizada para o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, assim como para estimar o consumo energético deste sistema. De acordo com Marcondes et al. (2012), devido à alta concentração de pessoas e equipamentos, edifícios de escritórios são caracterizados pela elevada carga térmica interna e alto consumo energético.

A taxa instantânea de ganho de calor, segundo McQuiston, F. C. e Spitler (1992), é a taxa na qual o calor entra ou é gerado no ambiente em um dado instante, sendo que o ganho de calor pode

ser classificado quanto ao modo de entrada, que ocorre por radiação ou convecção, sendo eles:

- a) Radiação solar através de superfícies transparentes;
- b) Condução de calor através das paredes externas e coberturas;
- c) Condução do calor através de paredes internas, forros e pisos;
- d) Calor gerado no ambiente por pessoas, equipamentos e iluminação;
- e) Energia transferida decorrente de ventilação e infiltração de ar externo.

2.2.3 Fechamentos opacos

A radiação solar é um dos principais fatores de transferência de energia, com a qual materiais opacos e transparentes se comportam de maneiras distintas quanto à capacidade de transmitir a radiação para o ambiente interno. A parcela de energia transmitida para o interior do edifício interfere no conforto e também no ganho térmico. As trocas térmicas ocorrem através da envoltória da edificação, sendo que a transmissão de calor em fechamentos opacos acontece em três fases, por convecção, radiação e condução, conforme Figura 4, quando existe uma diferença de temperatura entre uma superfície e outra, sempre do mais quente para o mais frio.

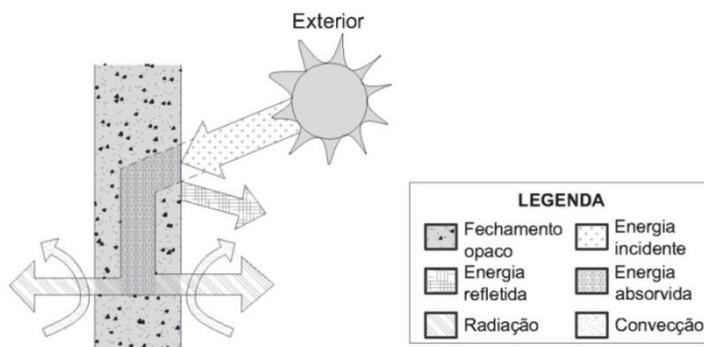


Figura 4 - Esquema da radiação incidente em fechamentos opacos – absorção, reflexão, radiação e convecção

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.4 Vidros

2.2.4.1 Tipos de vidro

Os vidros sílico-sodo-cálcicos, utilizados na construção são compostos de 70 a 72% de vitrificante, a sílica, introduzida sob a forma de areia, e os demais componentes são carbonato e sulfato, calcário e vários outros óxidos, tais como o alumínio e o magnésio, que melhoram as propriedades físicas dos vidros, especificamente a resistência à ação dos agentes atmosféricos. Determinados tipos de vidro sofrem a incorporação de diversos óxidos metálicos que permitem a coloração da massa.

Os vidros possuem características e especificações bastante variadas relativas à transmissão de calor, luz e isolamento proporcionados. O entendimento das diferenças que existem e as combinações possíveis entre eles pode proporcionar um bom desempenho termo-energético da edificação.

Atualmente existe uma grande variedade de vidros que podem ser utilizados para a composição de fachada de edificações, desde vidros simples ou transparentes, utilizados normalmente em edificações de pequeno porte, passando-se pelos vidros laminados, utilizados em edificações de maior altura nos quais os aspectos estruturais possuem mais relevância, vidros com alta reflexão ou absorção de calor, visando aperfeiçoar o desempenho térmico do elemento e, finalmente, vidros de baixa emissividade, que pertencem à categoria dos vidros refletivos ou absorvedores de calor. Todos esses produtos podem ser compostos por soluções onde se formam os chamados vidros múltiplos, com duas, três ou múltiplas camadas de vidro separadas por espaços de ar que, quando possuem duas camadas de vidro intermediadas por uma câmara de ar são chamados de vidros duplos ou insulados.

Com relação aos tipos de vidro e processos de fabricação, portanto, apresentam-se suas definições e principais características:

a) Vidro monolítico simples ou *float*

O vidro monolítico simples é mais conhecido no mercado como vidro *float*, devido ao processo de fabricação. Este vidro é amplamente utilizado na arquitetura convencional, e possui

transmitância solar muito alta, refletindo pequena parte dos raios ultravioleta, fazendo com que grande parte da energia solar passe através do vidro e aqueça o interior da edificação, aumentando a temperatura interna e, conseqüentemente, aumentando o consumo energético com o condicionamento artificial de ar (FENG, 2007).

Segundo a ASHRAE (2009), o vidro simples incolor transfere mais de 75% da radiação incidente e mais de 85% da luz visível, permitindo grande entrada de calor para o interior do edifício e admitindo, em condições típicas de verão, grande carga térmica. As espessuras tipicamente comercializadas dos vidros monolíticos na forma incolor variam de 2 a 19 mm, assim como em forma de vidros coloridos denominados pelo mercado como cinza, verde, verde escuro e bronze, variam de 3 a 10 mm, conforme Figura 5.

Este tipo de vidro não é termo-endurecido nem temperado e pode ser cortado, perfurado e polido. Além disso, o vidro *float* constitui a matéria-prima para o processamento de todos os demais vidros planos, podendo ser aplicado em diversos segmentos, assim como pode ser temperado, laminado, curvo, serigrafado e usado em duplo envidraçamento (vidros duplos com câmara de ar ou insulados).

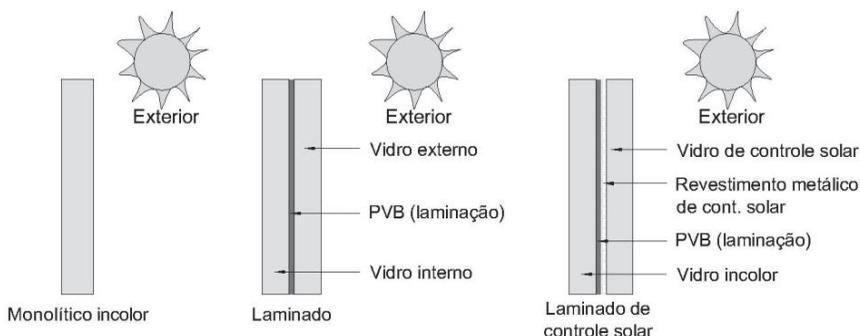


Figura 5 – Configurações dos vidros incolor, laminado e laminado de controle solar

Fonte: Adaptado pelo autor de Guardian (2010)

b) Vidro termo-endurecido

Este tipo de vidro passa por um processo cíclico de aquecimento e resfriamento, sendo mais resistente que o vidro monolítico, mas não pode ser cortado ou perfurado, nem utilizado como vidro de segurança.

c) Vidro temperado

Os vidros temperados são mais fortes que os termo-endurecidos e monolíticos, produzindo fragmentos menores ao quebrar e oferecendo menor perigo. Em sua fabricação é aquecido a 538 °C e resfriado rapidamente, sendo entendido como um vidro de segurança e não podendo ser cortado ou perfurado após o resfriamento.

d) Vidro laminado

Este vidro é formado por duas ou mais lâminas de vidro unidas permanentemente com uma ou mais películas de polivinil butiral (PVB), utilizando calor e pressão, estando esquematicamente demonstrado na Figura 5. As lâminas e as películas podem variar em cor e espessura para se adequar a cada projeto. Mesmo que o vidro laminado se quebre, os fragmentos aderem à camada de plástico. Assim, grande parte deles ficará intacta, reduzindo o risco de ferimentos, sendo considerado um vidro de segurança.

e) Vidro laminado de controle solar

O vidro laminado de controle solar é aquele no qual é aplicada uma camada metálica de alta durabilidade e resistência, mas visível a olho nu, reduzindo o ganho de calor através do vidro e, conseqüentemente, a carga térmica interna e demanda de resfriamento. O procedimento de manuseio e instalação é semelhante ao de um vidro comum, sem exigir mão-de-obra especializada. Vidros de controle solar estão disponíveis em várias cores e espessuras, flexibilizando a aplicação em diversos tipos de edifícios, podendo inclusive ser temperados, aplicados em composições de vidros laminados e duplos com câmara de ar (insulados).

No caso de vidro laminado de controle solar laminado (Figura 5), o fechamento é composto por duas chapas de vidro: uma de vidro laminado de controle solar e outra de vidro *float*, intercalada

com uma película plástica de grande resistência, o PVB, que pode ser incolor ou colorida. (FANAVID, 2014)

f) Vidros baixo-emissivos (*Low-e*)

Segundo a Guardian (2010), os vidros com revestimento baixo-emissivo (*Low-e*) reduzem a entrada direta de energia solar no edifício. Antes do seu desenvolvimento, utilizavam-se vidros coloridos ou revestimentos refletivos para reduzir a transmissão de energia solar para o ambiente interno. No caso de vidros coloridos existe a tendência a reirradiar o calor absorvido, enquanto que revestimentos refletivos, por sua vez, são efetivos para reduzir o ganho de calor, mas reduzem também a entrada de luz visível. Os revestimentos *Low-e* refletem menos luz visível, mas limitam a entrada de energia solar, reduzindo a carga térmica interna e, conseqüentemente, o consumo energético para condicionamento do ar.

O processo de produção de vidros baixo-emissivos consiste no revestimento do vidro por uma camada de óxido metálico sobre uma das faces do vidro, conforme a Figura 6.

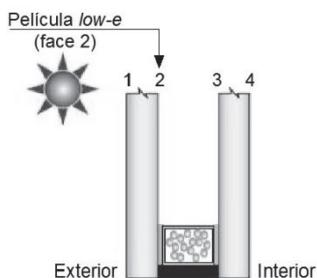


Figura 6 - Vidro insulado com película *Low-e*

Fonte: (GUARDIAN, 2010)

g) Vidro duplo com câmara de ar (insulado)

O vidro insulado é resultante da combinação de duas lâminas de vidro separadas por uma determinada distância, tendo seu perímetro selado de modo a constituir uma câmara sem que ocorram trocas entre a atmosfera interna dessa câmara e a atmosfera externa (Figura 7). O vidro insulado pode também ser montado de modo a resultarem duas ou mais câmaras. Este vidro é

eficiente como isolante do fluxo de calor por condução, pois a câmara de ar constitui, devido à resistência térmica do ar, um elemento isolante que reduz a transmitância térmica (U), dificultando a transferência de calor de um ambiente para o outro. (CARDOSO, 2004)

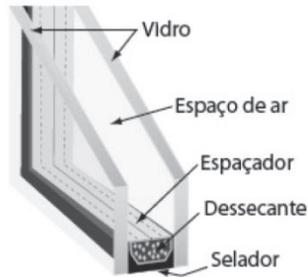


Figura 7 - Vidro duplo com câmara de ar

Fonte: (GUARDIAN, 2010)

2.2.4.2 Propriedades ópticas e térmicas dos vidros

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nos fechamentos envidraçados, ocorrendo neles três tipos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. A principal troca térmica quando se consideram os fechamentos envidraçados é a radiação solar, já que possui uma parcela diretamente transmitida ao interior, a qual depende da transmissividade do vidro. Apresentam-se a seguir os principais índices que caracterizam o comportamento térmico dos vidros.

a) Fator Solar (FS)

O Fator Solar é definido por ABNT (2011), segundo a NBR 16023, como a soma do calor da atmosfera por transmissão solar direta, mais transmissão indireta dos corpos aquecidos pelo sol. Ou seja, o FS é a parte da energia solar incidente que atravessa o vidro, incluindo tanto a energia transmitida diretamente, quanto a energia absorvida por convecção e radiação, que é retransmitida para o interior de uma edificação.

b) Transmitância Térmica (U)

A NBR 16023 define transmitância térmica como o calor que passa por uma unidade de tempo, em regime estacionário, através de uma superfície de vidro, para cada grau de diferença de temperatura entre o interior e o exterior. Segundo a ASHRAE (2009), a transmitância térmica no caso de fechamentos envidraçados depende de diversos fatores, como número de planos de vidro, dimensões de câmara de gás, composição do gás da câmara entre os vidros, orientação do plano de vidro em relação à vertical e emissividade de cada superfície.

Edificações comerciais que possuem grande carga de resfriamento mostram que, em climas quentes, o sistema envidraçado deve ter alta transmitância da porção visível do espectro, permitindo a admissão de luz natural e vista do exterior, e deve também ter baixa transmitância das demais porções do espectro para reduzir o ganho de calor solar. No caso de climas frios, o fechamento envidraçado deve ter alta transmitância de todo o espectro solar, de 0,38 a 3,5 μm , para máxima admissão da radiação solar para ganho de calor e iluminação. Além disso, em climas frios, os vidros devem ter baixa transmitância para ondas longas, com o objetivo de bloquear o calor refletido pelas superfícies dos ambientes internos, evitando a perda de calor para o ambiente externo. ASHRAE (2009)

No que diz respeito à transmitância térmica dos vidros, Feng (2007) afirma que melhorar o sistema de isolamento térmico das aberturas e reduzir a infiltração é a chave para a economia de energia. Por outro lado, Chvatal, Corvacho e Maldonado (2003), baseados em estudo relativo às consequências do aumento do isolamento térmico de edificações no Sul europeu, onde o verão é longo e marcado por temperaturas externas elevadas, afirmam que quando a envoltória possui grande isolamento térmico, a dissipação das cargas internas e do ganho de calor solar do interior do edifício é dificultada, contribuindo para o aumento da temperatura interna, o que influencia tanto o consumo energético do sistema de ar condicionado quanto o conforto dos usuários.

2.2.4.3 Comportamento do vidro em relação à radiação solar

A radiação solar é a energia emitida pelo sol que se propaga sob forma de ondas eletromagnéticas, no espaço ou em um meio material. A radiação que atravessa a atmosfera e chega à superfície terrestre distribui-se nas seguintes proporções aproximadamente, variando de acordo com as condições atmosféricas, nebulosidade, e presença de vapor d'água (CARAM, 2002):

- a) ultravioleta de 1 a 5%. Possui comprimentos de onda de 100 a 380 nm, provoca desbotamento ou descoloração de tecidos, melhora a síntese de vitamina através da pele. Possui efeito bactericida e é responsável pelo bronzeamento;
- b) visível de 41 a 45%. Comprimentos de onda de 380 a 780 nm, e está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente;
- c) infravermelho de 52 a 60%. Comprimentos de onda de 780 a 3000 nm, é fonte de calor que interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor solar. É invisível ao olho humano, mas é fonte de calor.

As características espectrofotométricas dos vidros fazem com que estes atuem de forma seletiva na radiação solar incidente (CARAM, 2002). No caso do vidro incolor com espessura de 3mm, é muito transparente aos comprimentos de onda compreendidos entre 40nm e 2800nm, ou seja, banda que inclui as radiações visíveis, o infravermelho próximo e a parte do infravermelho médio. Assim, a maior parte da energia incidente passa para o interior do ambiente, onde é absorvida e refletida pelos materiais e mobiliário internos. A transparência dos vidros à radiação solar é relativa e depende das características do componente.

A radiação solar incidente (I_o) em um fechamento transparente pode ser absorvida (I_a), refletida (RE) ou transmitida (TE) para o interior, de acordo com as características do vidro (absortividade, refletividade e transmissividade). No caso dos fechamentos envidraçados em fachadas, elemento principal desta pesquisa, o fluxo de calor ocorre de maneira simplificada conforme o esquema demonstrado na Figura 8, sendo que uma parcela da radiação é absorvida, outra é refletida e outra parcela é transmitida diretamente

através do vidro. As proporções relativas a essas componentes são determinadas pelo ângulo de incidência e pelas características espectrais do vidro (CARAM, 2002).

Segundo a ASHRAE (2009), a transferência de calor em janelas por radiação, condução e convecção da superfície externa mais aquecida para o interior da edificação é reduzida pelo revestimento, pela câmara de ar, e por adição de outros planos de vidro no sistema. Aberturas com vidros insulados protegem a edificação do calor radiante absorvido pelo plano de vidro externo no verão.

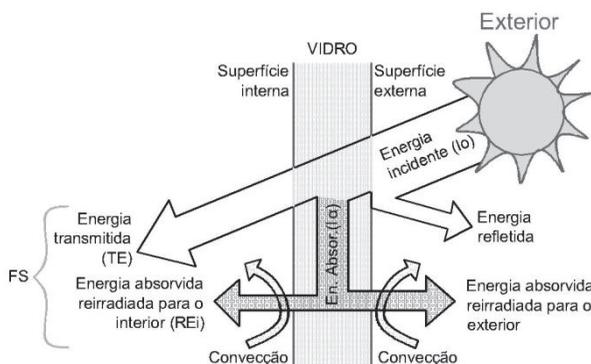


Figura 8 – Propriedades térmicas do vidro: radiação solar em fechamentos envidraçados

Fonte: Adaptado de NBR 16023 (2011).

Com relação às propriedades ópticas e luminosas dos fechamentos envidraçados, apresenta-se a Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades ópticas e luminosas dos fechamentos envidraçados

Absorção (I_a)	Fração da radiação solar incidente absorvida pelo vidro [%]
Transmissão energética (TE)	Fração da energia solar incidente transmitida diretamente pelo vidro [%]
Reflexão de energia externa (REe)	Fração da radiação solar incidente refletida diretamente para o lado externo [%]
Reflexão de energia interna (REi)	Fração da radiação solar incidente, absorvida pelo vidro e transmitida para o

	lado interno [%]
Transmissão luminosa (TL)	Fração da luz incidente transmitida através do vidro [%]
Reflexão luminosa externa (RLe)	Fração da luz incidente refletida para o lado externo [%]
Reflexão luminosa interna (RLi)	Fração da luz incidente refletida para o lado interno [%]

Fonte: NBR 16023 (2011).

2.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS COM FACHADAS ENVIDRAÇADAS

O consumo de energia em edificações é decorrente das suas cargas elétricas internas e ganhos e perdas de calor através da envoltória que resultam no consumo do sistema de condicionamento de ar. A envoltória de uma edificação, portanto, deve atuar como um filtro entre as condições internas e externas, servindo de controle para a entrada de ar, calor, frio, luz, além do controle de ruídos e odores (OLGAY, 2006). As propriedades dos materiais utilizados na construção, em especial os empregados na envoltória do edifício, são de suma importância, já que os mesmos determinam as relações entre as temperaturas interna e externa e as trocas térmicas.

No caso de edificações artificialmente condicionadas, o projeto arquitetônico pode ter impacto significativo no consumo de eletricidade. Pedrini e Szokolay (2005) analisaram esta influência por meio de simulação computacional do desempenho térmico e energético de edificações por meio de análise energética de mais de 38.000 modelos de salas comerciais, constando-se que as decisões arquitetônicas podem ter mais influência do que as decisões de instalações prediais, obtendo variação de até 72% entre a melhor e a pior combinação de variáveis arquitetônicas analisadas, enquanto que a utilização de sistemas prediais de diferentes eficiências teve uma variação de até 42% de acordo com a amostra de dados analisada.

Segundo Saldanha (2012) os fechamentos envidraçados usualmente empregados em fachadas são constituídos por vidros e películas poliméricas, sendo que esses materiais podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar, porém, os

resultados são limitados. Assim, se uma área transparente for mal dimensionada ou posicionada de forma errada, pode provocar um ganho de calor excessivo no ambiente. Com o objetivo de avaliar o desempenho térmico e eficiência energética de duas salas de escritórios, com foco na análise do desempenho de vidros diretamente expostos à radiação solar na cidade de Cuiabá-MT, foram realizadas simulações computacionais para determinar o consumo final de energia decorrente do uso de diferentes tipos de vidro, comparados ao edifício real, que utiliza fechamento de vidro simples. As opções de vidros propostas foram:

- a) vidro *low-e clear* 6mm;
- b) vidro duplo 1 (cinza 6mm + 6mm ar + vidro simples 6mm);
- c) vidro duplo 2 (Refletivo LO 6mm + 6mm ar + vidro simples clear 6mm); e
- d) redução do WWR para 20% com vidro simples.

Os resultados obtidos apontam para a menor influência do vidro *low-e clear* 6mm (opção 1) na redução do consumo quando comparado ao edifício real (vidro simples incolor). O melhor resultado obtido para o modelo na cidade de Cuiabá (MT) utilizou o fechamento com vidro duplo 2 (opção 3), obtendo a maior redução da carga térmica em todas as épocas consideradas.

Besen e Westphal (2012) analisaram por meio da ferramenta de simulação computacional EnergyPlus o desempenho energético e aspectos de conforto em edificações comerciais decorrentes da utilização de vidros duplos no Brasil, comparando-os com vidros laminados. O estudo considerou quatro cidades: Curitiba, Fortaleza, Rio de Janeiro e São Paulo. A partir dos resultados obtidos quanto ao consumo energético dos modelos comprovou-se que quanto maior o percentual de área envidraçada e o fator solar, maior o consumo. No caso de Curitiba, o consumo decorrente do uso de vidros duplos com câmara de ar e de vidros laminados foi muito semelhante, sendo que o consumo para resfriamento com vidros duplos foi maior, devido ao maior isolamento da abertura e, conseqüentemente, maior dificuldade de perder calor para o ambiente externo. Para aquecimento, o consumo decorrente de vidros laminados foi maior, equivalendo o consumo final anual da edificação para ambos os tipos de vidro. Em São Paulo a economia

gerada pela utilização de vidros duplos quando o FS é semelhante foi de 0,6%, enquanto que no Rio de Janeiro e Fortaleza, a economia foi de 1,4%. O estudo evidenciou a similaridade do desempenho energético de vidros duplos com câmara de ar e vidros laminados em condições climáticas amenas, além de apontar para um melhor desempenho do vidro insulado em condições climáticas que possuem temperaturas mais elevadas.

Buratti et al. (2012) realizaram um estudo na Universidade de Perugia, Itália por meio de simulação computacional de modelos não residenciais (análise numérica) e medição em uma sala de leitura (pesquisa experimental). O clima de Perugia é frio, com temperaturas mínimas no inverno próximas a 0°C e temperaturas máximas no verão atingindo 30°C, apresentando temperatura média anual de 13°C, com demanda de aquecimento em grande parte do ano. Concluiu-se que nessas condições climáticas o tipo de vidro e a orientação geográfica do edifício são determinantes no consumo energético final, assim como vidros de baixa emissividade e controle de luminosidade acarretam melhoria do desempenho energético das edificações. Além disso, sua forma, posição, localização e ocupação são fatores cruciais para o desempenho energético. Este estudo foi desenvolvido utilizando duas ferramentas de simulação, EnergyPlus e TRNSYS, para determinar o desempenho energético e conforto térmico de edificações não-residenciais. As variáveis consideradas foram temperatura do ar, radiação solar, e temperatura superficial externa dos elementos da envoltória, avaliando-se a influência de diferentes tipos de vidros e orientação no conforto térmico e desempenho energético das salas analisadas. Os resultados obtidos relativos à orientação denotam que no inverno as orientações Norte, Oeste e Leste possuem os maiores consumos anuais, enquanto que no verão o maior consumo se dá na orientação Sudoeste (1300 kWh por ano), seguido da orientação Leste (1145 kWh por ano) e por último Oeste (1063 kWh por ano).

Além da orientação, foram avaliados diferentes tipos de fechamentos envidraçados, conforme a Figura 9:

Glazing	Characteristics	U – value (W/m ² K)
4/12/6	Float glass with air in the interspace	2.8
I	Low-e and sunlight control glasses with air in the interspace	1.6
II	Low-e and sunlight control glasses with argon (90%) in the interspace	1.3
III	Low-e glass (<i>planibel Top-N</i>) with argon (90%) in the interspace	1.3
IV	Low-e glass (<i>planibel G</i>) with argon (90%) in the interspace	1.6

Figura 9 - Tipos de fechamentos envidraçados simulados

Fonte: (BURATTI et al., 2012)

O desempenho decorrente da utilização de cada tipo de vidro está demonstrado na Figura 10.

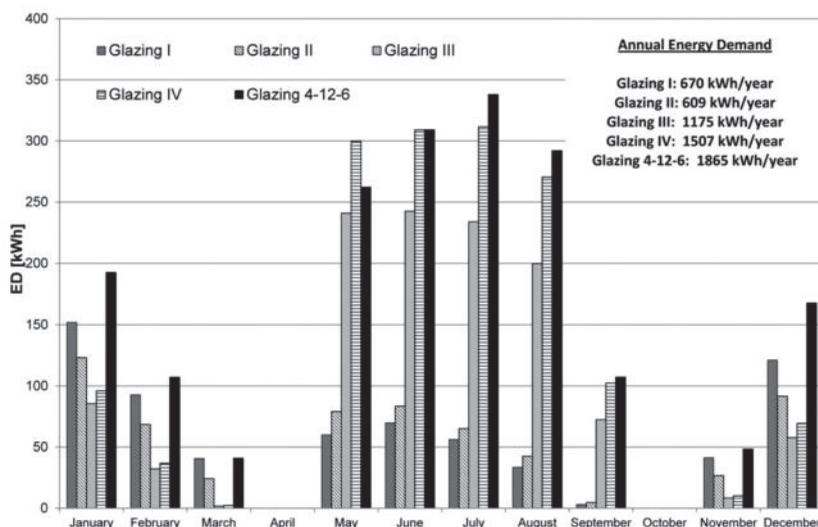


Figura 10 - Demanda energética mensal decorrente dos diferentes fechamentos envidraçados analisados, Itália

Fonte: BURATTI et al. (2012)

Os 4 tipos de fechamentos envidraçados analisados são vidros de baixa emissividade, com configurações diferentes entre si, cujos resultados foram comparados com o vidro da edificação real (dois planos de vidro incolor de 6mm separados por 12mm de câmara de ar). O consumo de energia decorrente dos sistemas envidraçados *low-e* foi reduzido, sendo que o vidro *low-e* com câmara de argônio foi o sistema com menor consumo para aquecimento (609 kWh por ano) e também os vidros duplos *low-e*

com câmara de ar tiveram bom desempenho (670 kWh por ano), enquanto que o sistema envidraçado da edificação real teve o pior desempenho energético, consumindo entre 1507 e 1865 kWh por ano. Isso demonstra a efetiva melhora do desempenho energético da edificação quando utilizados vidros de baixa emissividade nas condições bioclimáticas específicas da Itália, foco do estudo realizado.

Segundo Noh-Pat et al. (2011), a maior parte do ganho e perda de calor da edificação ocorre por meio da cobertura e das fachadas, principalmente em fachadas com grandes áreas de abertura, sendo que as aberturas são responsáveis pela absoluta maioria do ganho de calor indesejado do exterior para o interior do edifício. Com base nisso, os autores realizaram estudos relativos ao desempenho térmico de vidros duplos com câmara de ar no México, considerando-se a temperatura incidente no plano externo do vidro de 32°C e temperatura base de referência no plano interno do vidro de 24°C, com e sem a aplicação de revestimento de controle solar nos vidros, com o objetivo de determinar condições ótimas de espaçamento entre os planos de vidro e a influência do revestimento de controle solar no desempenho térmico da edificação. Para as condições analisadas, o estudo concluiu que a distância ótima entre os planos envidraçados, na qual o ganho de calor solar praticamente estabiliza, é de 6 cm. Além disso, o uso de revestimento de controle solar no conjunto do fechamento envidraçado proporciona redução aproximada de 55% no consumo energético da edificação quando a câmara de ar possui 6 cm ou mais, sendo altamente recomendado que se utilize revestimento de controle solar em climas quentes, já que eles reduzem a energia solar que passa através do fechamento envidraçado. Neste estudo, o ganho de calor solar para vidros duplos com revestimento de controle solar ficou entre 17 e 26%, enquanto que para vidros duplos sem revestimento o ganho de calor solar ficou entre 72 e 74,5%, de acordo com a espessura da camada de ar e a radiação solar incidente. Desta forma, os autores concluem que a utilização de película de controle solar, nas condições específicas deste estudo, pode ser comparada diretamente ao desempenho de fechamentos envidraçados como o revestimento low-e.

Yin, Xu e Shen (2012) também realizaram estudos relativos à aplicação de revestimentos de controle solar em fechamentos envidraçados em edificações comerciais em Shangai, China, cujo clima é subtropical úmido, apresentando invernos rigorosos e verões quentes e úmidos. Os resultados obtidos através de simulações com a ferramenta eQUEST quanto ao desempenho energético decorrente da utilização de películas de controle solar apontam para a redução das cargas de resfriamento de 44% e 56%, para os dois modelos analisados, reduzindo o consumo energético total da edificação em até 8%. A carga de aquecimento aumentou devido a este tipo de vidro, mas numa proporção muito menor do que a diminuição da carga de resfriamento para Shangai.

Verifica-se grande disparidade entre os dados de economia obtida nos estudos de Noh-Pat et al. (2011) e Yin, Xu e Shen (2012), segundo os quais a economia do edifício alcançou 55% e 8%, respectivamente. É necessário analisar detalhadamente o impacto de configurações de fachadas no desempenho energético da edificação de maneira crítica, de acordo com as condições do edifício e do clima, determinando-se a redução real no consumo decorrente de determinada especificação de fachadas envidraçadas.

Poirazis, Blomsterberg e Wall (2008) realizaram simulações para determinar o desempenho energético de um edifício de 6 pavimentos com fachadas simples de vidro na Suécia, onde o clima apresenta temperaturas mínimas negativas no inverno e a temperatura máxima no verão não ultrapassa 22°C. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que, em edifícios com grandes áreas envidraçadas na fachada na Suécia o consumo energético varia mais do que fachadas de edifícios tradicionais (cerca de 30% da área da fachada envidraçada), visto que os primeiros são particularmente sensíveis às condições externas. O estudo concluiu também que, especialmente em edifícios com grandes áreas envidraçadas, o controle da temperatura interna, o vidro e o sombreamento são cruciais para o desempenho energético, sendo necessário um projeto cuidadoso garantindo conforto térmico e redução do consumo de energia, baseando o projeto em simulações termoenergéticas detalhadas. Os principais parâmetros utilizados nas simulações foram: área envidraçada de 30, 60 e 90%, e os

parâmetros secundários foram orientação, tipo de superfície, de planta, temperatura interna e elementos externos das fachadas, com o objetivo de determinar o desempenho de fachadas envidraçadas em clima nórdico. Na comparação entre edificações com 30% e 60% de área envidraçada na fachada, o aumento da área envidraçada acarretou aumento de 22,7% no consumo energético da edificação. A utilização de aberturas com menor transmitância térmica diminui a demanda de aquecimento, enquanto que a demanda para resfriamento é pouco afetada.

Santana e Ghisi (2007) analisaram a influência dos parâmetros percentual de área de janela na fachada (WWR) e absorvância das paredes externas no consumo de energia elétrica na tipologia construtiva de edifícios de escritórios em Florianópolis, cidade com clima subtropical, com verões com temperaturas elevadas e invernos menos rigorosos. A pesquisa revelou que, em edificações com grandes áreas envidraçadas nas fachadas, a influência da absorvância das paredes externas é muito menor, de até 3,1%, enquanto que, quanto menor a área envidraçada, maior a influência da absorvância das paredes externas no consumo energético. Além disso, a influência das cores dos fechamentos opacos das fachadas varia de acordo com a proporção entre área envidraçada e área opaca, já que quanto menor a área de paredes, menor o impacto da absorvância das mesmas no consumo de energia da edificação. Para WWR de 90%, a variação das absorvâncias das paredes externas (entre 26,8 e 93,7%) acarretou um aumento de até 3,1% no consumo, enquanto que para fachadas com 10% de área envidraçada a variação atingiu até 21,6%. Concluiu-se também que a maior influência no modelo e clima analisado ocorre devido ao aumento da área de aberturas nas fachadas, chegando a uma variação de 41,6% na relação entre 10% e 90% de abertura.

A influência do fator solar dos vidros, percentual de área envidraçada, sombreamento externo, obstrução do entorno, transmitância térmica e absorvância dos materiais e orientação de edifícios de escritório em Florianópolis no desempenho energético dos mesmos foi estudada por Santana e Ghisi (2009) por meio de simulações computacionais com o programa EnergyPlus. Os resultados obtidos apontaram para um aumento de 2,9% no

consumo de energia quando se aumenta 10% de WWR. Comparando-se o consumo do caso base e dos modelos simulados, quando se utiliza WWR de 10%, diminui o consumo em 6,6%, enquanto que para WWR 100% o consumo aumenta 20,4%. Com relação ao fator solar dos vidros, o edifício base utiliza vidro fumê com FS 83%, e as opções simuladas foram vidro claro FS 70%, vidro refletivo prata com FS 61% e refletivo bronze com FS 22%. A redução no consumo energético anual foi de 3,5% para FS 22%; 0,6% para FS 61%; e para o vidro de FS 87% houve um aumento de 0,8% no consumo energético. A análise da orientação do edifício obteve como resultado a maior redução do consumo para o caso com fachada principal orientada para leste, de 3,1%, e orientada para Norte teve o pior desempenho, aumentando 1% o consumo anual da edificação.

Em estudo relativo ao desempenho energético de edificações não-residenciais a cidade de Florianópolis, Westphal (2007) realizou simulações do consumo anual de energia elétrica variando diferentes parâmetros, segundo os quais são apresentadas abaixo algumas conclusões. Com relação ao sistema de condicionamento de ar, Westphal observou que os resultados relativos aos grupos de modelos com o sistema de condicionamento de ar mais eficiente apresentaram uma menor dispersão dos valores de consumo anual de energia quando comparados àqueles casos com sistema de climatização menos eficientes. No caso do sistema de condicionamento artificial de ar menos eficiente, a influência dos parâmetros arquitetônicos no consumo de energia é mais significativa. No caso da variação do percentual de área envidraçada na fachada e o fator solar, os resultados das simulações apontam que quando o percentual de área envidraçada é pequeno (10%), o fator solar tem pouca influência sobre o consumo. Já quando a área envidraçada é maior (90%), a influência do fator solar no consumo energético é não linear, de acordo com o tipo de vidro do modelo. Ou seja, o aumento do fator solar do fechamento envidraçado não gera, necessariamente, o aumento proporcional do consumo energético da edificação.

A influência do tipo de vidro e orientação sobre o consumo energético de edificações residenciais que utilizam ventilação natural combinada com condicionamento artificial foi analisada por

Motta (2007). Os vidros do modelo de referência com o qual os resultados são comparados são vidros simples incolor de 4mm. As simulações foram feitas através da ferramenta Resfen 5.0, para as cidades São Paulo e Belo Horizonte. Com relação à variação da espessura dos vidros, a economia gerada pelo aumento foi pouco significativa para a melhoria do desempenho energético, enquanto que a cor dos vidros produziu resultados significativos, sendo que em Belo Horizonte o vidro verde 4mm gerou 27,31% de economia e o vidro cinza resultou em economia de 26,03%, ambos comparados ao consumo decorrente do uso de vidro incolor 4mm. Em São Paulo o vidro verde gerou economia de 26,93% e o cinza 25,75%. Em relação ao vidro insulado, em Belo Horizonte, a economia foi de 9,03%, enquanto que o vidro laminado resultou em 11,56% de economia em relação ao incolor 4mm. Em São Paulo, o vidro laminado teve economia de 12,36% e o insulado 12,83%, resultados bastante semelhantes para os dois sistemas envidraçados. Quanto à orientação das janelas houve grande influência no consumo energético das edificações analisadas, chegando para Belo Horizonte a 31,84% de economia para orientação Norte em relação à orientação Oeste com vidro incolor 4mm, e em São Paulo a orientação Leste obteve o melhor desempenho, economizando 28,54% em relação à edificação base.

Bouden (2007) estudou a influência de fachadas envidraçadas no consumo energético de edificações de escritórios no clima da Tunísia, apresentando inverno úmido e com temperaturas amenas (mínima próxima a 6°C em algumas regiões), enquanto que no verão a temperatura externa de pico supera 40°C e a umidade varia de acordo com a localização. Dessa forma, os autores apontam para a necessidade tanto de aquecimento quanto de resfriamento. O objetivo do estudo foi determinar se a utilização da configuração de fachada com grande área envidraçada é apropriada para a Tunísia e, neste caso, em que condições climáticas específicas. O estudo baseia-se em simulações computacionais através do programa TRNSYS, variando-se a área envidraçada e o tipo de vidro nas fachadas. A geometria da edificação adotada foi em “L” de quatro pavimentos, comparando-se a área envidraçada da fachada principal em 20% (edifícios tradicionais) e 90%. O estudo concluiu que, com a especificação correta de fechamento envidraçado, o consumo de fachadas com WWR alto pode ser menor do que

fachadas com 20%, por exemplo. Os resultados relativos aos consumos energéticos de quatro tipos de vidros para diferentes WWR estão apresentados na Figura 11.

1. Vidro simples incolor da edificação base
2. Vidro insulado composto por dois planos de vidro incolor
3. Vidro insulado composto por vidro incolor + câmara de argônio + vidro low-e
4. Vidro insulado composto por plano de vidro incolor + vidro refletivo

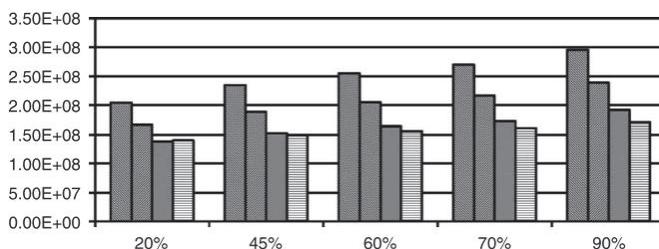


Figura 11 - Consumo energético decorrente da variação do tipo de vidro WWR [KJ]

Fonte: (BOUDEN, 2007)

Pode-se perceber nos resultados acima que, utilizando-se o vidro adequado às condições bioclimáticas, é possível alcançar desempenho bastante satisfatório para áreas envidraçadas maiores, como é o caso da comparação entre o vidro 4 e WWR 90% e o vidro 1 WWR 20%.

Carvalho, La Rovere e Gonçalves (2010) também analisaram as variáveis que influenciam o consumo de energia em edificações comerciais no Brasil, com fachadas envidraçadas, baseados nos parâmetros relativos à envoltória, como vidro, parede, cobertura e brises, com o objetivo de orientar os profissionais quanto às primeiras decisões projetuais. O desempenho energético foi determinado através de simulações com o VisualDOE 2.61, tendo os resultados comparados a um modelo base existente, condicionado artificialmente, de 5 pavimentos e que utiliza vidro refletivo verde simples nas fachadas. De acordo com os resultados relativos ao tipo de vidro, o maior consumo energético da edificação em relação ao modelo base se deu devido ao uso de vidro simples

incolor, aumentando o consumo em 11,79%. O melhor caso utilizou vidros duplos com câmara de argônio, economizando 1,87%, enquanto que a substituição do vidro existente por duplo low-e aumentou o consumo em 3,18%. Concluiu-se também que consumo energético decresce quando o fator solar dos vidros diminui. Como se pode perceber, a utilização de vidros de baixa emissividade nem sempre é adequada para a melhoria do desempenho energético da edificação, sendo importante estimar o consumo resultante de fechamentos envidraçados de alto desempenho para as diversas condições bioclimáticas, permitindo que os profissionais especifiquem o material mais adequado.

Palmer e Gentry (2012) afirmam que recentemente normas para edificações têm requerido fatores de transmitância térmica (U) menores para janelas e que esta tendência irá permanecer nas agências reguladoras, objetivando economia de energia e redução de emissões de carbono. A definição de níveis de eficiência energética de janelas leva em consideração ganhos e perdas de calor, dependendo da predominância de necessidade de aquecimento ou resfriamento da edificação e da iluminação natural. Contudo, é importante ressaltar que também se pode promover a melhoria do desempenho de janelas através da utilização de vidros com menor fator solar (FS) ou sombreamento das janelas, não necessariamente diminuindo-se a transmitância térmica do componente.

Tradicionalmente o bom desempenho térmico e energético de edificações é relacionado ao isolamento da envoltória. Neste contexto, Chvatal, Corvacho e Maldonado (2003) realizaram estudos para analisar o impacto do aumento do isolamento térmico da envoltória de edificações residenciais no consumo energético anual para aquecimento e resfriamento em Portugal. A pesquisa baseou-se na análise do aumento da temperatura interna no verão e a demanda de condicionamento de ar. O estudo, realizado para três cidades portuguesas (Porto, Lisboa e Évora) concluiu que no verão a envoltória com grande isolamento dificulta a dissipação das cargas internas (iluminação, pessoas e equipamentos) e das cargas relativas ao ganho de calor solar, aumentando o consumo com condicionamento de ar para a retirada do calor interno. Os parâmetros variados para a análise foram principalmente os

materiais dos fechamentos opacos, segundo três opções: paredes duplas, paredes de pedras e paredes de cerâmica, com diferentes espessuras e valores de transmitância. Os autores concluíram que o aumento do isolamento da envoltória só é favorável quando o ganho de calor solar através das aberturas está dentro de determinados limites.

A influência do isolamento térmico no período do verão em edifícios comerciais e residenciais em Portugal foi analisada através da ferramenta de simulação TRNSYS, por Chvatal e Maldonado (2005), segundo o consumo anual de energia da edificação. Os modelos combinaram o isolamento térmico com diversas possibilidades de sombreamento externo. Foram selecionados três modelos de edificações e variados os parâmetros: sombreamento das aberturas, uso da edificação, taxas de ventilação, isolamento da envoltória e clima. No caso das edificações de escritórios, devido aos altos ganhos de calor interno, o desconforto é maior quando se aumenta o isolamento, mesmo quando há proteções solares adequadas, normalmente requerendo a utilização de condicionamento artificial. Com relação ao desempenho energético, o isolamento gera benefícios durante o inverno, mas o mesmo não ocorre no verão, período em que a demanda de ar condicionado na edificação é significativa.

Com relação ao impacto da transmitância térmica das paredes e cobertura no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar de edificações em Florianópolis, Westphal (2007) concluiu que o desempenho energético depende da absorvância à radiação solar das superfícies externas, da densidade de carga interna e de seus padrões de uso.

Com alta densidade de carga interna e elevado padrão de uso, o modelo do edifício de cinco pavimentos, quando simulado com cores claras no exterior, teve melhor desempenho energético com componentes construtivos de transmitância térmica mais elevada. Neste caso, a menor resistência térmica dos fechamentos opacos possibilitou maior dissipação da carga térmica gerada internamente, diminuindo o consumo de energia com condicionamento de ar. (WESTPHAL, 2007)

Melo e Lamberts (2009) analisaram o desempenho energético decorrente do isolamento da envoltória de edificações comerciais em condições climáticas diversas, Denver nos Estados Unidos e Florianópolis no Brasil, por meio da análise de ganho e perda de calor através dos fechamentos opacos, simulados na ferramenta EnergyPlus. Em Denver, o aumento da transmitância térmica da envoltória de 1 para 4 W/m²K acarretou um aumento de 250% na demanda de aquecimento da edificação, visto que a maior demanda de energia se deve à necessidade de aquecimento, já que o período de inverno é bastante rigoroso e os verões amenos. Por outro lado, em Florianópolis, o mesmo aumento da transmitância térmica resultou no aumento do pico de consumo para resfriamento em 26%, mas a demanda de resfriamento anual diminuiu 10%. Pode-se perceber que, para aplicação em climas com invernos rigorosos, o aumento do isolamento térmico da envoltória proporciona benefícios quanto ao desempenho energético da edificação, mantendo as cargas internas no interior da edificação e reduzindo o consumo para aquecimento. Já no caso de climas medianos e com verões mais longos, o aumento do isolamento térmico da envoltória dificulta a dissipação da carga interna, bastante elevada em edifícios comerciais devido a equipamentos, pessoas e iluminação, aumentando a demanda energética para resfriamento.

2.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADAS DUPLAS E FACHADAS COM PELE DE VIDRO

Nos últimos anos tem crescido o interesse por fachadas duplas devido ao apelo estético e economia de energia em períodos frios, atrelado à imagem de alta tecnologia, proteção contra ruídos externos e redução da carga térmica de infiltração de ar externo. (GRATIA; DE HERDE, 2007) Shameri et al. (2011) apontam para a importância do projeto cuidadoso de fachadas para economia de energia na edificação, com base no clima e decisões de projeto, considerando-se ventilação, tipo de vidro, geometria e sombreamento, assim como custos de manutenção e limpeza. Nesse contexto, a fachada dupla tem sido adotada como uma boa solução para controlar a interação entre o ambiente interno e externo.

De acordo com Neveen (2008), configurações de fachadas duplas têm seu conceito arquitetônico destacado principalmente na Europa, Japão e América do Norte, sendo compostas por duas camadas separadas por uma câmara, variando-se sua profundidade e preenchimento. A camada externa normalmente é de vidro transparente. O desempenho térmico do conjunto de materiais e camadas e a especificação adequada para cada clima ainda estão sendo estudadas.

Verifica-se a existência de diferentes definições para fachadas duplas, como por exemplo, um plano de vidro sobreposto à fachada tradicional. A câmara de ar contida entre as duas fachadas pode ser ventilada para reduzir os impactos do aquecimento no verão e reduzir o consumo de energia, ou também possuir algum sistema intermediário de controle de insolação. (SHAMERI et al., 2011)

No Brasil utiliza-se frequentemente o revestimento envidraçado configurando uma “pele de vidro” fixada sobre a fachada tradicional, sem que haja um grande espaçamento entre as superfícies da fachada e o revestimento de vidro. No presente trabalho trata-se esse tipo de fachada como “fachada com pele de vidro”.

A maioria das pesquisas sobre fachadas com pele de vidro e fachadas duplas, segundo Neveen (2008), ainda são desenvolvidas prioritariamente para climas frios e moderados e, apesar de haver pouca pesquisa nos demais climas, esta configuração de fachada estava sendo exportada para regiões áridas como símbolo de empresas de sucesso. Estima-se que as fachadas sejam responsáveis por mais de 45% das cargas de resfriamento da edificação, evidenciando a necessidade de desenvolver-se uma envoltória que atue como moderadora entre os ambientes interno e externo reduzindo o consumo da edificação. Baseado nessa demanda, o autor analisa e compara o desempenho decorrente de fachadas simples e fachadas duplas (com três variações) em clima quente e árido do Egito, na cidade do Cairo. Assumiu-se como base referencial um edifício com fachada simples, planta livre, quadrada de 30m x 30m, com vidro refletivo 6mm nas aberturas e WWR 40%, igual para as quatro fachadas; as paredes não utilizam isolamento térmico, com $U=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. A fachada de revestimento utiliza três

variações, que são: vidro incolor (FS=0,85), vidro colorido (FS=0,59) e vidro refletivo (FS=0,27), verificando-se o impacto de cada configuração de fachada nas cargas internas de resfriamento. Todos os vidros analisados possuem a mesma transmitância térmica ($U=5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$), variando apenas o Fator Solar. O estudo concluiu que nas condições delimitadas na pesquisa, o caso base de fachada simples com vidros refletivos consome menos do que fachadas duplas com vidro incolor de revestimento externo, visto que o vidro incolor reflete apenas uma pequena parcela da radiação solar incidente. Por outro lado, o desempenho energético de fachadas duplas que utilizam vidros coloridos e refletivos (com menor Fator Solar) em clima quente árido foi melhor do que fachadas simples sem revestimento. Na comparação entre fachadas simples com vidro incolor 6mm (FS=0,85) nas aberturas e vidro refletivo (FS=0,27) houve a redução tanto das cargas de resfriamento, assim como da carga pico de resfriamento. O estudo conclui, portanto, que fachadas duplas com vidro incolor tem pior desempenho quando comparado à fachadas simples com o emprego do vidro adequado, reduzindo o consumo sem a necessidade de aplicação de uma segunda camada na fachada.

Gratia e de Herde (2007) analisaram o impacto de diversos parâmetros na elevação da temperatura na cavidade de ar entre a fachada tradicional e a segunda camada envidraçada sobreposta à primeira. Os parâmetros identificados foram radiação solar, orientação, elementos de sombreamento e suas cores, WWR, velocidade dos ventos, profundidade da cavidade de ar entre as fachadas, tipo de vidro na fachada interna e aberturas na fachada externa.

O avanço tecnológico referente a computadores e equipamentos elevou a carga interna de edifícios de escritórios, enquanto que fachadas envidraçadas geralmente sem sombreamento se tornaram muito comuns, sendo necessárias algumas precauções para evitar o super aquecimento do edifício. A adição de uma segunda camada à fachada eleva este risco, principalmente injetando o ar quente para os escritórios, decorrente do aquecimento da câmara de ar entre fachadas, conforme Figura 12. (GRATIA; DE HERDE, 2007)

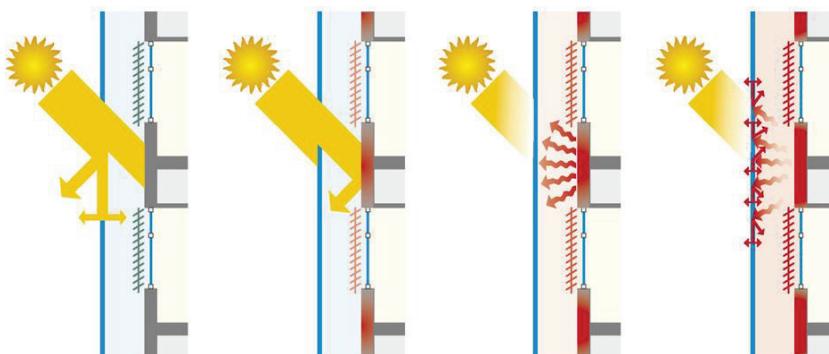


Figura 12 - "Greenhouse effect" em fachada dupla

Fonte: (GRATIA; DE HERDE, 2007)

A intensidade do ganho de calor na câmara de ar (*greenhouse effect*) depende da proporção de superfícies capazes de absorver a radiação solar na fachada interna, ou seja, quanto maior a área de fechamento opaco (WWR menores), maior o aquecimento da câmara de ar entre as camadas da fachada dupla. Se a área de janela na fachada interna aumenta, a maioria da radiação solar incidente não será absorvida pelo fechamento opaco, sendo diretamente transmitida para o interior do edifício. Em períodos frios, WWR maiores reduzem a demanda de aquecimento devido à radiação solar direta no interior da edificação; por outro lado, em períodos quentes, WWR elevados aumentam a demanda de resfriamento, pelo mesmo motivo.

Desta forma, verifica-se que em climas muito frios nos quais a necessidade de aquecimento é determinante, o *greenhouse effect* analisado pode ser favorável para a redução do consumo energético da edificação, visto que mantém a câmara de ar aquecida por meio da radiação solar, aquecendo a parede e, por convecção, o ambiente interno. Contudo, nos climas brasileiros, predominantemente amenos e quentes, questiona-se o real impacto de um revestimento envidraçado sobre a fachada de edifícios de escritórios, visto que devido à elevada carga interna de pessoas, iluminação e equipamentos, apresentam pouca ou nenhuma necessidade de aquecimento, podendo elevar o consumo de

maneira expressiva quando utilizado o revestimento total das fachadas por vidro.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho teve como enfoque dois pontos principais: variáveis que interferem no desempenho energético do sistema de condicionamento de ar da edificação, enfatizando-se elementos envidraçados das fachadas; e a revisão de pesquisas realizadas na área de desempenho energético de edificações de escritórios condicionadas artificialmente de acordo com parâmetros relativos à envoltória do edifício.

No que diz respeito ao comportamento térmico e energético dos fechamentos opacos e transparentes, verifica-se que os primeiros são menos suscetíveis às variações do clima externo, enquanto que os vidros, por apresentarem transmitância térmica mais elevada e admitir a passagem de parte da radiação solar diretamente, são mais sensíveis, facilitando trocas térmicas do ambiente interno com o externo. Por outro lado, a demanda crescente por vidros de melhor desempenho para edifícios de alto padrão impulsionou o desenvolvimento de fechamentos envidraçados de melhor qualidade, que dificultam a passagem de calor, reduzindo a carga térmica proveniente de fachadas com grandes áreas envidraçadas. Dessa maneira, constatou-se que a especificação adequada do tipo de vidro pode garantir menor consumo de projetos com WWR elevados quando comparados a modelos com WWR menores e vidro de pior desempenho (incolor, por exemplo). Isso evidencia a necessidade de se verificar o real desempenho de diferentes tipos de vidro e áreas de abertura nas fachadas em condições bioclimáticas brasileiras.

Em relação aos fechamentos opacos, verifica-se o impacto da utilização de paredes com maior ou menor isolamento térmico de acordo com o clima em que o edifício se insere, sendo importante considerar que em climas amenos a carga térmica interna pode ser parcialmente dissipada através da envoltória de acordo com a transmitância térmica, reduzindo o consumo energético para resfriamento. Quanto menor a resistência ao fluxo de calor do

interior para o exterior do edifício, menor o consumo energético para resfriamento. Dessa forma, tem-se que o maior isolamento da envoltória (tanto de paredes quanto de aberturas) é benéfico para edifícios de escritórios localizados em climas muito frios ao longo do ano, reduzindo a perda de calor para o ambiente externo, assim como em climas muito quentes, reduzindo o ganho de calor através da envoltória para o interior da edificação.

Fachadas com pele de vidro e fachadas duplas denotaram bom desempenho em climas muito frios, visto que acarretam maior isolamento da envoltória e a radiação solar aquece a câmara de ar entre as camadas da fachada, reduzindo o consumo de energia para aquecimento da edificação. Contudo, este efeito em climas amenos e quentes brasileiros pode acarretar a elevação da temperatura interna e dificultar a dissipação de calor através das fachadas, elevando a carga térmica de resfriamento no interior da edificação.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é descrito o método para verificação e análise do consumo energético do sistema de condicionamento artificial do ar de edificações com fachadas envidraçadas em diversas condições bioclimáticas brasileiras por meio de simulações computacionais paramétricas. Segundo Pedrini (2003), simulações paramétricas tornaram-se um método comum para identificar a influência das características da edificação no seu comportamento térmico e desempenho energético. O procedimento consiste na criação de um caso base replicado muitas vezes, sendo alterada uma variável por vez, gerando resultados relativos às configurações determinadas no modelo.

No presente trabalho, o modelo de um edifício de escritórios desenvolvido por Besen e Westphal (2012) foi adotado como caso base. Variando-se os parâmetros determinados nesta pesquisa com base na análise de resultados obtidos em estudos preliminares verificados na revisão bibliográfica, estimam-se os resultados de consumo energético anual para condicionamento de ar do edifício.

O modelo apresenta características invariáveis como padrão de uso e ocupação, material da cobertura, lajes e paredes internas, bem como carga interna fixa.

Com relação aos parâmetros variáveis, verificou-se a partir das pesquisas analisadas no capítulo de revisão bibliográfica, que o desempenho energético de edificações comerciais condicionadas artificialmente é influenciado diretamente por determinadas variáveis, que dependem do clima específico analisado. Com base nas condições bioclimáticas estabelecidas, então, outras variáveis geram impacto significativo no desempenho energético da edificação, sendo elas: características do edifício (especificações dos vidros, paredes e transmitância térmica), orientação geográfica e tipo de configuração de fachadas.

Desta maneira, adotaram-se os seguintes parâmetros variáveis de estudo: tipo de vidro, percentual de área de abertura nas fachadas (WWR), tipo de parede, tipo de configuração de fachada (com pele de vidro ou tradicional), uso de isolante em viga de borda de fachadas com pele de vidro, orientação e localização do edifício.

Como ferramenta de simulação computacional de desempenho energético de edificações utiliza-se nessa pesquisa o *software* EnergyPlus. A partir dos resultados obtidos verificam-se os parâmetros que geram maior impacto no consumo de energia da edificação e as configurações que apresentam melhor desempenho para cada condição bioclimática. Dentre as variáveis consideradas no estudo, determinam-se as soluções de projeto mais adequadas de configuração de fachadas e as características arquitetônicas que promovem melhor desempenho da edificação.

3.1 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

O *EnergyPlus* é uma ferramenta de simulação termo-energética desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) com base nos programas BLAST e DOE-2, simulando o comportamento de edificações quanto à demanda de aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia do edifício. Esta ferramenta foi escolhida por ser um *software* gratuito, validado e reconhecido internacionalmente, amplamente utilizado no contexto nacional, possibilitando maior capacidade de resolução de problemas e interpretação de dados por meio da interação com os pesquisadores e profissionais que a utilizam. Além disso, com base nos estudos citados na revisão bibliográfica, percebe-se que é um software com grande aceitação e confiabilidade de resultados de desempenho térmico e energético, dando suporte a esta pesquisa.

Os dados de entrada necessários para realizar as simulações são divididos entre aqueles que caracterizam a edificação e o arquivo climático do local contendo informações básicas de temperatura, umidade, radiação solar, ventos, dentre outras. A modelagem geométrica do edifício pode ser feita por meio do *plugin* *OpenStudio* para o *Sketchup 3D*, disponibilizado gratuitamente e desenvolvido pelo mesmo organismo do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Os componentes da edificação que podem ser modelados são principalmente os sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e a envoltória.

O modelo de simulação computacional utiliza dados referentes à geometria da edificação, às propriedades térmicas de seus materiais construtivos, à eficiência energética de equipamentos

elétricos, à capacidade do sistema de condicionamento de ar, aos padrões de uso e ocupação do prédio, arquivo climático da cidade onde se localiza o edifício, ganhos de calor interno da edificação, infiltração de ar e área de ventilação, na primeira etapa de processamento, conforme apresentação na Figura 13.

Cada superfície da edificação tem sua constituição detalhadamente especificada no programa, com propriedades físicas dos materiais, como condutividade térmica, densidade, calor específico e absorvância. As informações são utilizadas pelos algoritmos do programa para estimar as trocas de calor do edifício com o meio externo, os ganhos de calor interno, a temperatura interna resultante em cada zona térmica e o consumo de energia elétrica de cada sistema do edifício, incluindo o condicionamento de ar, que depende de todos os parâmetros anteriores, sendo apresentada resumidamente nas etapas 2 e 3 da Figura 13.

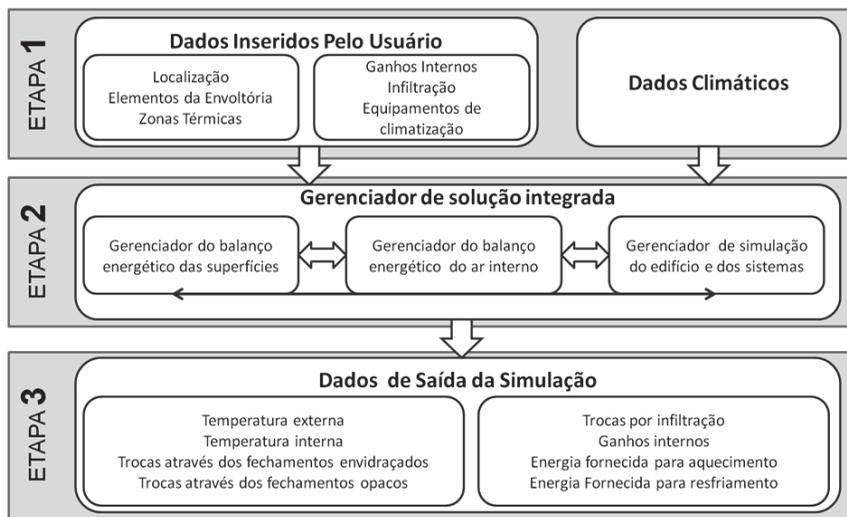


Figura 13 - Etapas do processo de simulação no Energy Plus

Fonte: adaptado de Gouveia (2008).

A transferência de calor por condução na envoltória da edificação é um dos principais componentes para o dimensionamento de necessidade de refrigeração e aquecimento de uma zona térmica, assim como para determinar o consumo

energético. O programa calcula por meio do balanço de calor as cargas térmicas da edificação, que relacionam a temperatura interna e externa e o calor transmitido por condução através da envoltória da edificação.

Como produto da simulação computacional dinâmica, o *EnergyPlus* gera relatórios de acordo com os dados solicitados pelo usuário. Para a presente pesquisa serão utilizados os dados relativos ao consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar.

Os arquivos climáticos utilizados para simulação dos modelos no *EnergyPlus* têm formato EPW (*Energyplus Weather Data*), com dados horários medidos em estações climatológicas, disponíveis no site do LABEEE²/UFSC, revisados em 2012.

3.2 DEFINIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Para a determinação do desempenho térmico e energético de um modelo de simulação é necessário considerar as fontes de calor da edificação para o cálculo do balanço térmico. Estas fontes de calor, segundo Westphal (2007), são oito:

- a) condução de calor pelas paredes;
- b) condução de calor pela cobertura,
- c) condução de calor pelo piso;
- d) condução de calor e ganho de calor por radiação solar nas janelas;
- e) infiltração de ar externo ou perda de ar interno;
- f) geração de calor pelo sistema de iluminação artificial;
- g) geração de calor pelos demais equipamentos elétricos; e
- h) geração de calor sensível e latente pelas pessoas.

Baseado nas fontes de calor que influenciam o desempenho termo-energético de edificações, Westphal (2007) apresenta a

Tabela 2, contendo as variáveis fundamentais para resolução do balanço térmico.

² Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (www.labeee.ufsc.br)

Tabela 2 - Variáveis relacionadas a cada fonte de calor em uma edificação

Fonte de calor	Variáveis relacionadas
Paredes e cobertura	Dimensões
	Orientação solar
	Transmitância térmica
	Capacidade térmica
	Absortância à radiação solar
Piso	Emissividade
	Dimensões
	Contato externo (com o solo ou não)
	Transmitância térmica
	Capacidade térmica
Janelas	Emissividade
	Dimensões*
	Orientação solar*
	Transmitância térmica*
	Transmitância, absortância e refletância à radiação solar*
Infiltração	Proteções solares externas e internas
	Taxa de infiltração horária
Iluminação e equipamentos elétricos	Potência
	Padrão de uso
Pessoas	Quantidade
	Taxa metabólica
	Rotina de ocupação

* Parâmetros variados no presente estudo.

Fonte: Westphal, 2007, p. 42.

Westphal (2007) utilizou técnicas de análise de sensibilidade para selecionar as variáveis mais significativas no desempenho termo-energético de edificações, sendo que as variáveis relativas à carga térmica são: fator solar dos vidros (FS), área de janela nas fachadas (WWR), temperatura interna, densidade de potência instalada em equipamentos elétricos, densidade de potência do sistema de iluminação artificial e ocupação. Delimitando-se o foco da pesquisa na análise de desempenho das fachadas por meio do consumo energético da edificação, definiu-se para o presente trabalho os parâmetros variáveis dos modelos de simulação computacional.

Dessa forma, analisa-se os elementos relativos às fachadas, como aberturas, tipos de vidro e fechamentos opacos, tipo de configuração de fachada (tradicional ou pele de vidro), aplicação de isolante térmico nas paredes externas, orientação das fachadas e localização do modelo. Tem-se como características padrão para todos os modelos de estudo o padrão de uso e ocupação, cargas internas, sistema de condicionamento de ar, materiais que compõem o edifício que não sejam parte das fachadas (como cobertura, lajes entre pavimentos, paredes internas).

3.2.1 Características do modelo base

O modelo base de simulação da pesquisa consiste em um edifício retangular, com 20 pavimentos tipo. Cada pavimento é composto por cinco zonas térmicas, sendo as zonas periféricas áreas de escritórios condicionadas artificialmente, e a zona central área de serviços sem condicionamento artificial de ar.

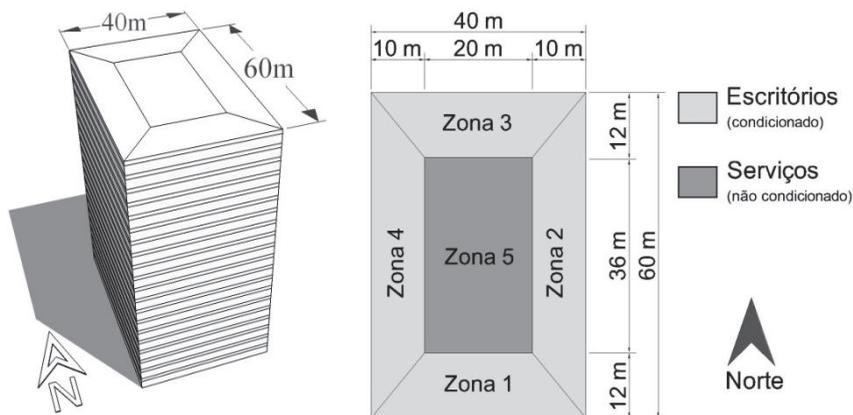


Figura 14 - Vista em perspectiva e zoneamento térmico do modelo de simulação

Fonte: Adaptado de Besen e Westphal (2012)

A configuração do modelo tem como base o padrão de construção de edifícios de escritórios atualmente, principalmente edifícios de alto padrão, buscando-se o aproveitamento máximo do

terreno, planta livre para locação dos espaços e manutenção da temperatura interna constante, sem controle de abertura de janelas pelos usuários. As dimensões do edifício e o zoneamento dos pavimentos tipo são apresentados na Figura 14.

A Tabela 3 apresenta dimensões, sistema de condicionamento de ar, temperaturas internas e sombreamento adotados nos modelos.

Tabela 3 - Características do modelo de simulação

Parâmetro	Descrição
Dimensões	Comprimento x Largura: 60,0 m x 40,0 m Zona de serviços: 36,0 m x 20,0 m Altura de laje a laje: 4,0 m Pé-direito de 2,8 m Plenum de 1,2 m (retorno do ar condicionado) Total de 20 Pavimentos
Área total construída	48.000 m ²
Área total de fachada	16.000 m ²
Área total de fechamento opaco nas fachadas	Quando WWR 30% = 11.200 m ² Quando WWR 40% = 9.600 m ² Quando WWR 50% = 8.000 m ² Quando WWR 60% = 6.400 m ²
Área condicionada	33.600 m ² (70% do total)
Sistema de condicionamento de ar	Ar condicionado central: Água gelada com centrífugas de COP 6,10 $W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$; circuito primário de vazão constante e secundário variável; temperatura de água gelada fornecida a 6,7 °C com retorno a 13 °C; água de condensação fornecida a 29,5 °C com retorno a 35 °C; <i>reset</i> no <i>setpoint</i> da água de condensação em função da TBU externa até 21°C; torres abertas, com ventiladores de duas velocidades. Aquecimento por resistências elétricas nos <i>fan-coils</i> . A capacidade do sistema de condicionamento de ar é definida no programa de simulação na condição “autosize”, de acordo com a temperatura de pico e carga térmica de cada cidade.
Termostato	Aquecimento: 20 °C Resfriamento: 24 °C
Ar exterior de	27 m ³ /h/pessoa

renovação	
Sombreamento	Persianas internas de acionamento automático, quando a radiação solar incidente nas aberturas é maior que 200 W/m ²

Fonte: WESTPHAL (2010)

As cargas internas adotadas para simulação dos modelos são compostas por pessoas, sistema de iluminação artificial e equipamentos, conforme Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Cargas internas adotadas nas simulações

Cargas Internas	Valor
	Densidade de ocupação no edifício: 8 m ² /pessoa. Fonte: NBR 16401 (2008)
Ocupação - Pessoas	Sendo a taxa metabólica dos usuários correspondente a 117 W/pessoa – atividade de escritório. Fonte: ASHRAE Fundamentals (2009)
Sistema de iluminação	Densidade de potência nos escritórios: 12 W/m ² Fonte: Potência máxima permitida para edifícios de escritórios segundo a ASHRAE Standard 90.1 (2007)
Demais equipamentos internos	Densidade de potência nos escritórios: 16 W/m ² Fonte: NBR 16401 (2008)
Cargas condominiais	Elevadores, bombas de recalque de água, exaustão de garagem, pressurização de escadas. Total: 213 kW de demanda (Aproximadamente 15% de participação no consumo total)

Fonte: Besen e Westphal (2012)

Os padrões de uso do sistema de iluminação (Figura 15), do sistema de condicionamento de ar (Figura 16) e de ocupação do edifício (Figura 17) utilizados nos modelos de simulação ocorrem de maneiras distintas em dias úteis (segunda a sexta-feira) e sábados, sendo que não há utilização em domingos e feriados. Os padrões de uso e ocupação adotados são os utilizados por Besen e

Westphal (2012), representando o uso típico de edifícios de escritórios.

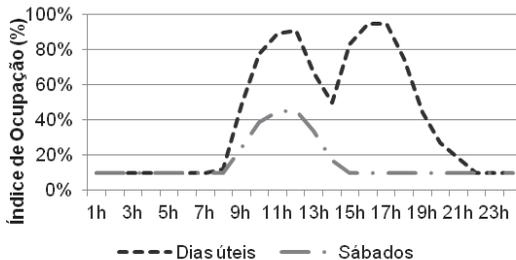


Figura 15 - Padrão de uso: Sistema de Iluminação Artificial

Fonte: Besen e Westphal (2012), adaptado pelo autor.

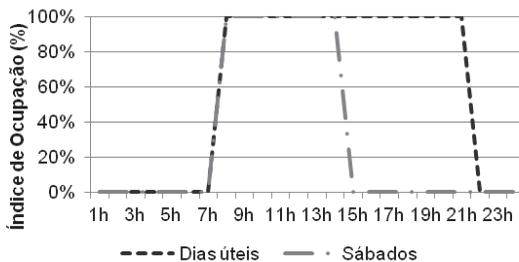


Figura 16 - Padrão de uso: Sistema de Condicionamento de Ar

Fonte: Besen e Westphal (2012), adaptado pelo autor.

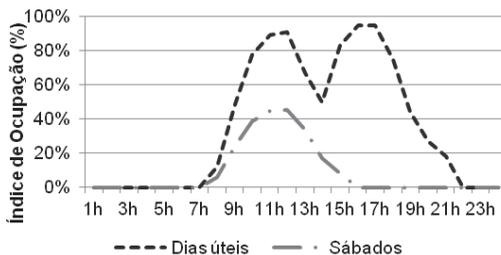


Figura 17- Padrão de uso: Pessoas

Fonte: Besen e Westphal (2012), adaptado pelo autor.

O modelo de simulação assume como elementos construtivos invariáveis da edificação aqueles que não dizem respeito às fachadas, sendo eles: paredes internas, cobertura, lajes entre pavimentos e forro. As configurações destes elementos são apresentadas na Tabela 5, segundo padrões utilizados atualmente em edifícios de escritórios de alto padrão.

Tabela 5 - Composição dos elementos construtivos

Componente construtivo	Descrição	Materiais	Espessura (cm)	Espessura total (cm)
Parede Interna	Gesso Acartonado (<i>Drywall</i>)	Placa de gesso	1,5	8,0
		Câmara de ar	5,0	
		Placa de gesso	1,5	
Laje entre pavimentos	Laje de concreto	Reboco	2,5	25,0
		Concreto	20,0	
		Reboco	2,5	
Laje de cobertura	Laje de concreto	Isolante (Lã de rocha)	5,0	27,5
		Concreto	20,0	
		Reboco	2,5	
Forro	Placa de gesso	Placa de gesso	1,5	1,5

As propriedades dos elementos construtivos adotadas nos modelos de simulação (exceto elementos envidraçados) são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades dos componentes construtivos inseridas no modelo de simulação

Propriedade/Material	Reboco	Laje de concreto	Gesso	Bloco de concreto
Rugosidade	Rugoso	Rugoso	Média	Rugoso
Condutividade (W/m.K)	1,15	1,75	0,35	1,75
Densidade (kg/m ³)	2000	2200	875	2400
Calor específico (J/kg.K)	1000	1000	840	1000
Absortância térmica	0,90	0,90	0,90	0,90
Absortância solar	0,50	0,50	0,50	0,50

Os isolantes térmicos não necessitam da caracterização da densidade e calor específico, pois a capacidade térmica resultante para esse tipo de material é desprezível. Portanto, para modelar um isolante no EnergyPlus, basta informar rugosidade, resistência térmica e absorvância, propriedades apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades do isolante térmico inseridas no modelo de simulação

Propriedade/Material	Lã de rocha
Rugosidade	Rugoso
Resistência térmica (m ² .K/W)	1,11
Absorvância térmica	0,90
Absorvância solar	0,50
Absorvância visível	0,50

3.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS VARIÁVEIS PARA SIMULAÇÃO

O ganho de calor através das aberturas é influenciado principalmente por: orientação, tamanho da abertura, tipo de vidro e proteções solares (internas ou externas). Baseando-se nos principais fatores relativos às fachadas que impactam o desempenho energético de edificações, determinaram-se os parâmetros variáveis de estudo, conforme a Tabela 8, totalizando 1792 casos simulados.

Tabela 8 - Síntese dos parâmetros arquitetônicos variáveis

Parâmetro	Variações/Valores
Percentual de área de abertura nas fachadas (WWR)	30%
	40%
	50%
	60%
Tipos de vidro	Incolor (6mm)
	Verde (6mm)
	Laminado de Controle Solar (12mm)
	Duplo de Controle Solar (6+12+6mm)
Localização	Curitiba (PR) – ZB1

	São Paulo (SP) – ZB3
	Porto Alegre (RS) – ZB3
	Brasília (DF) – ZB4
	Rio de Janeiro (RJ) – ZB8
	Salvador (BA) – ZB8
	Recife (PE) – ZB8
Paredes externas	Alvenaria Gesso Acartonado (<i>Drywall</i>)
Orientação	0° (maiores fachadas no sentido Leste-Oeste) 90° (maiores fachadas no sentido Norte-Sul)
Configuração das fachadas	Tradicional Com pele de vidro
Isolante (em fachadas com pele de vidro)	Com isolante (lã de rocha 50mm) Sem isolante

3.3.1 Percentual de área de abertura nas fachadas (WWR)

A variação do WWR nos modelos de simulação será feita de acordo com os valores utilizados por Besen e Westphal (2012), sendo os percentuais de área de abertura na fachada 30%, 40%, 50% e 60%. As quatro fachadas do modelo possuem o mesmo WWR, tendo aberturas de uma extremidade à outra, conforme Figura 18.

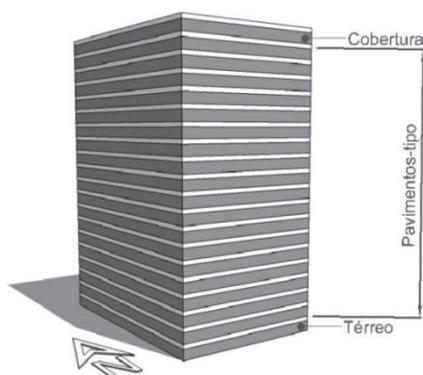


Figura 18 - Modelo base de simulação - percentual de área de abertura nas fachadas

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme descrito na Tabela 3, a altura de piso a piso do modelo é de 4m, sendo assim, as dimensões das aberturas para os diferentes percentuais de área de abertura analisados são apresentadas na Figura 19.

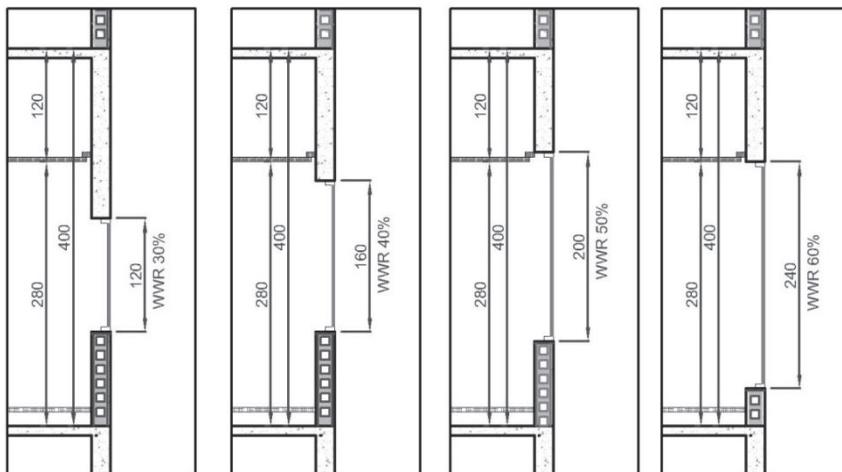


Figura 19 – Corte esquemático ilustrando os quatro modelos de WWR considerados no estudo (WWR 30%, 40%, 50% e 60%)

Fonte: Elaborado pela autora

3.3.2 Tipos de vidro nas aberturas

O trabalho considera a variação entre quatro tipos de vidros nas aberturas, sendo eles: incolor, verde, laminado de controle solar e duplo com câmara de ar, também de controle solar. O vidro do revestimento externo adotado é o laminado incolor com PVB branco, o qual não é alterado nos modelos. Dessa forma, avalia-se exclusivamente a influência do revestimento da fachada no desempenho energético da edificação. As propriedades térmicas e ópticas dos vidros da envoltória são apresentadas na Tabela 9, que contém as propriedades dos vidros considerados pelo *software* EnergyPlus para fins de cálculo, exceto as três últimas linhas da tabela, que são indicadores de desempenho.

Transmitância Térmica (W/m ² .K)	5,60	5,80	5,60	5,60	1,88		
Fator Solar (%)	77	62	38	30	35	84	28
Índice de seletividade	1,05	1,21	0,90	0,40	1,26	1,05	1,45

Os tipos de vidros analisados no presente trabalho são apresentados de maneira simplificada na Figura 20.

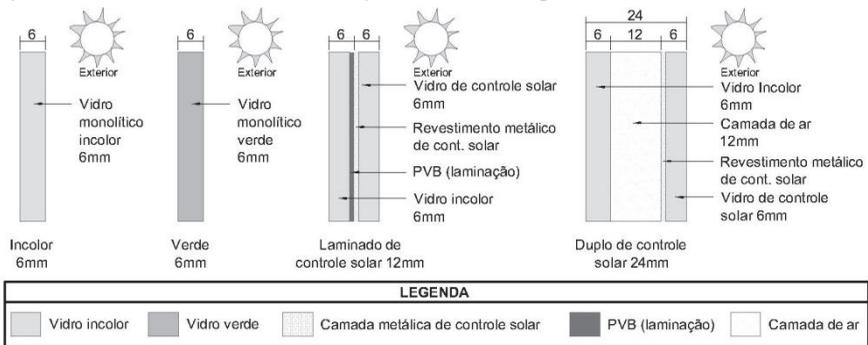


Figura 20 - Configuração dos vidros analisados

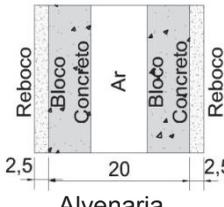
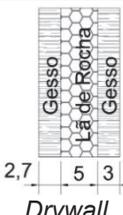
Fonte: Elaborado pela autora

3.3.3 Tipos de parede externa

Edificações de escritórios no Brasil utilizam mais comumente como fechamento opaco a alvenaria, devido à facilidade de construção e pouca necessidade de capacitação dos profissionais. Paredes em gesso acartonado (*drywall*) também têm conquistado espaço no mercado, tendo montagem bastante ágil, gerando pouco resíduo, exigindo mão-de-obra especializada.

As configurações e propriedades térmicas das paredes adotadas neste estudo estão especificadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Propriedades das paredes opacas das fachadas

Configuração	Materiais	Calor Específico (J/kgK)	Espessura (cm)	Transmitância térmica do conjunto (W/m ² K)
 <p>Alvenaria</p>	Reboco	1.000	2,5	U = 2,66
	Bloco Concreto	1.000	20,0	
	Reboco	1.000	2,5	
 <p>Drywall</p>	Gesso	840	2,7	U = 0,70
	Lã de Rocha	640	5,0	
	Gesso	840	3,0	

3.3.4 Orientação da edificação

A orientação geográfica é determinante para o desempenho energético do edifício, visto que a incidência da radiação solar influencia significativamente a carga térmica interna.

Considerando-se o modelo retangular adotado na presente pesquisa, a insolação incidente nas fachadas da edificação ocorre de maneira diversa para cada orientação. Desta forma, assumem-se duas condições de orientação dos modelos: 0°, configuração na qual as maiores fachadas estão orientadas no sentido Leste-Oeste (Figura 21); e 90°, posicionamento das maiores fachadas no sentido Norte-Sul (Figura 22).

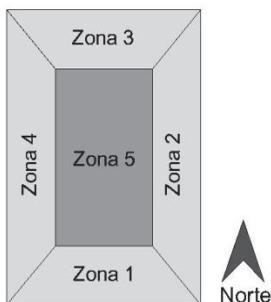


Figura 21 - 0° - Orientação das maiores fachadas no sentido Leste-Oeste

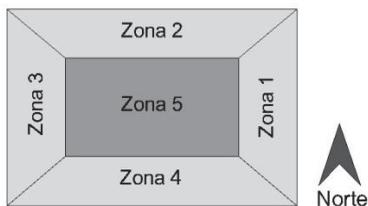


Figura 22 - 90° - Orientação das maiores fachadas no sentido Norte-Sul

3.3.5 Configurações de fachadas

Os modelos simulados neste trabalho compreendem dois tipos de fachadas: aquelas com pele de vidro (completamente revestidas por vidro, inclusive em frente às vigas e peitoril); e fachadas tradicionais, nas quais o fechamento envidraçado é aplicado somente nos vãos das aberturas. Em edificações com a mesma área de aberturas nas fachadas, mas que tenham configurações diversas de revestimento, o consumo energético pode variar bastante devido ao seu comportamento térmico.

No caso da fachada tradicional (Figura 23), o vidro só é utilizado no fechamento dos vãos das aberturas, que variam de acordo com o percentual de área de abertura nas fachadas (WWR) do modelo.

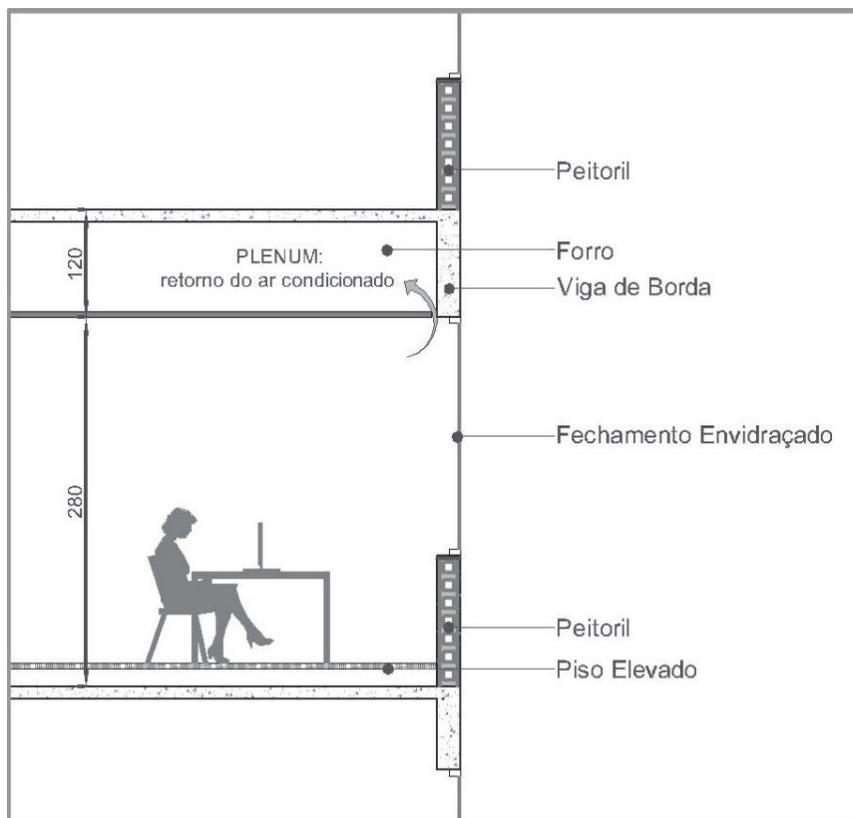


Figura 23 - Corte esquemático de fachada tradicional

No caso da fachada com pele de vidro (Figura 24), além do fechamento envidraçado dos vãos (cujas propriedades variam de acordo com o parâmetro “Tipo de Vidro”), as fachadas são completamente revestidas por vidro (Revest. Externo), cujas características e propriedades encontram-se na Tabela 9, sendo utilizado exclusivamente um tipo de vidro de revestimento de fachada em todos os modelos.

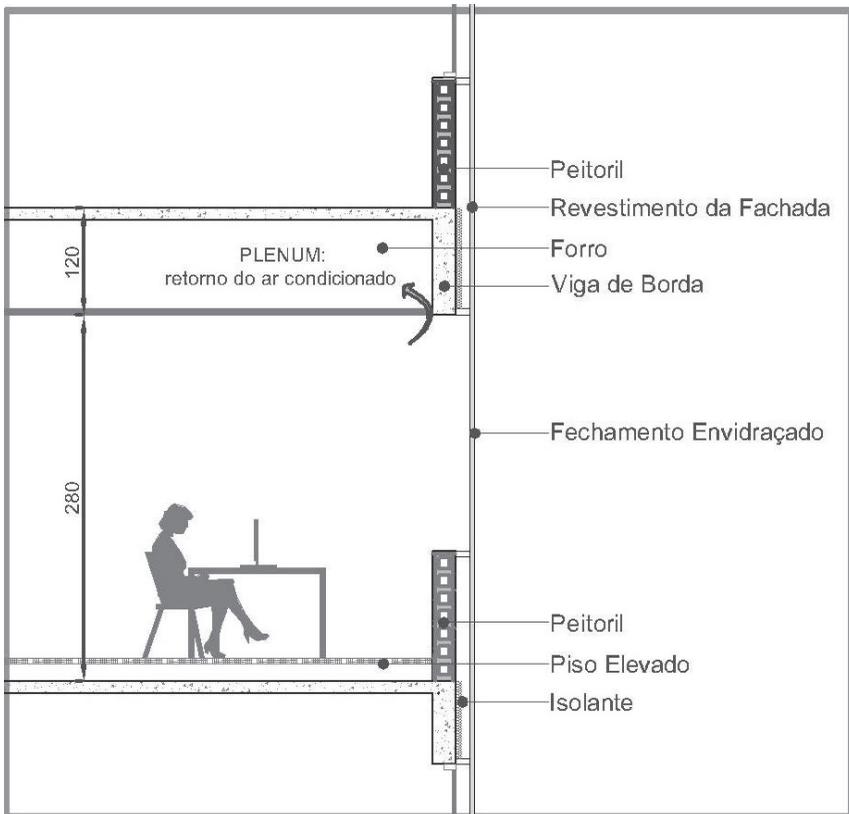


Figura 24 - Corte esquemático de fachada com pele de vidro

3.3.6 Aplicação de isolante térmico em fachadas com pele de vidro

A utilização de isolante nas fachadas reduz o aquecimento da parede pela radiação solar incidente e a transmissão de calor por condução para o interior da edificação. No caso da fachada com pele de vidro (Figura 24), o estudo considera duas variações: peitoril e viga de borda expostos diretamente à câmara de ar entre a parede e o revestimento envidraçado externo; e a aplicação de isolante térmico (lã de rocha com cinco centímetros de espessura) na face externa da viga de borda, em contato com a camada de ar, conforme Figura 25. O consumo energético do modelo sem isolante

térmico foi comparado ao modelo com aplicação de isolante térmico, determinando o impacto deste elemento no consumo energético do sistema de condicionamento de ar.



Figura 25 - Corte esquemático da fachada com pele de vidro com isolante



Figura 26 - Corte esquemático da fachada com pele de vidro sem isolante

No caso da fachada tradicional (Figura 23) não foi considerada a aplicação de isolante térmico na face externa das paredes, devido à dificuldade de aplicação e manutenção deste elemento exposto ao meio externo.

3.3.7 Cidades selecionadas e condições bioclimáticas

O território brasileiro possui larga extensão e variações determinantes das condições bioclimáticas. Por este motivo, esta pesquisa será conduzida em diferentes climas brasileiros, caracterizados segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da NBR 15220 (2005). As cidades selecionadas estão posicionadas no mapa da Figura 27.

Os dados de latitude, longitude e altitude, temperatura média anual (T_m /anual), graus-hora de resfriamento com temperatura base de 24 °C (GHR_{24}) e graus-hora de aquecimento com temperatura base de 20 °C (GHA_{20}) de cada cidade analisada, são apresentados na Tabela 11.

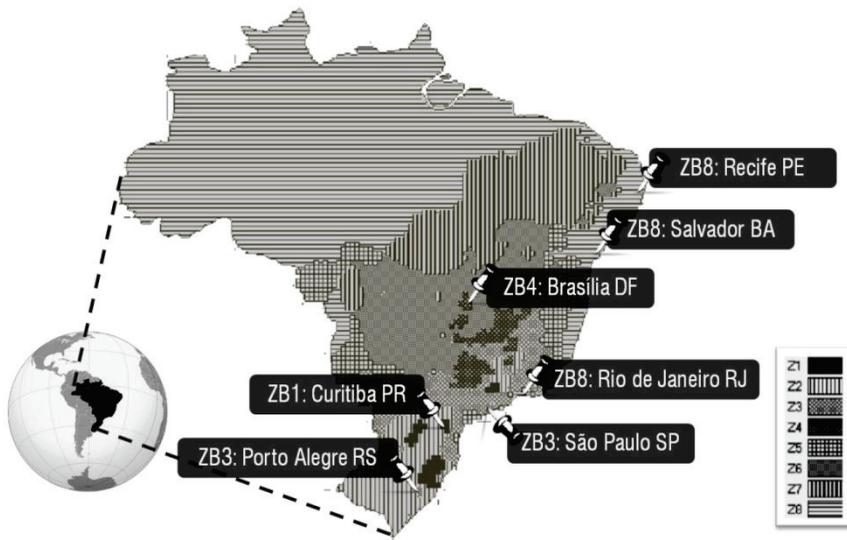


Figura 27 - Localização geográfica das cidades analisadas.

Tabela 11 – Dados geográficos e climáticos das cidades de estudo

Cidade	Latitude	Longitude	Altitude [m]	T_m anual [°C]	GHR ₂₄ [°C.h]	GHA ₂₀ [°C.h]
Curitiba	25,52° S	49,18° W	910,00	16,30	2.096	32.853
Porto Alegre	30,03° S	51,23° W	47,00	20,80	6.923	19.725
São Paulo	23,62° S	46,65° W	802,00	18,00	4.059	18.142
Brasília	15,78° S	47,93° W	11,60	21,50	7.105	10.537
Rio de Janeiro	22,83° S	43,25° W	5,00	23,70	10.529	1.312
Salvador	12,97° S	38,51° W	51,00	26,00	18.415	6
Recife	8,05° S	34,88° W	10,00	26,50	28.566	2

Para fins de análise de resultados, as cidades de estudo foram divididas em três classificações quando ao clima, de acordo com a quantidade de GHR₂₄ e GHA₂₀:

- Clima frio: GHR₂₄ de 0 a 3.000 °C.h e GHA₂₀ acima de 20.000 °C.h – Curitiba (PR);
- Clima ameno: GHR₂₄ de 3.000 a 8.000 °C.h e GHA₂₀ de 5.000

- a 20.000 °C.h – Porto Alegre (RS), São Paulo (SP) e Brasília (DF);
- c) Clima quente: GHR₂₄ acima de 8.000 °C.h e GHA₂₀ de 0 a 5.000 °C.h – Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA) e Recife (PE).

É importante salientar que cidades localizadas mais próximas à Linha do Equador, cuja Latitude é menor, (Recife e Salvador) recebem maior radiação solar e, conseqüentemente, temperaturas mais elevadas. Para caracterização de temperaturas das cidades analisadas, foram elaborados gráficos de temperaturas mensais do ar externo: média das mínimas, médias e médias das máximas a partir do arquivo climático EPW (*Energyplus Weather Data*), apresentados da Figura 28 à Figura 32. Os dados tabelados são mostrados no APÊNDICE A, na Tabela A. 1. As condições bioclimáticas de cada cidade variam desde regiões do Brasil com temperaturas mais baixas, como Curitiba (Zona Bioclimática 1), até regiões com temperaturas altas em grande parte do ano, como Salvador, Recife e Rio de Janeiro (Zona Bioclimática 8). Conforme a Tabela 3, o modelo de simulação considera a manutenção da temperatura do ar interno da edificação estável, sendo 24°C para verão e 20°C para inverno.

As condições de umidade relativa não são detalhadas e analisadas no presente trabalho visto que o objetivo principal é avaliar a influência de parâmetros da envoltória na carga térmica sensível.

A cidade de Curitiba classifica-se no zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220 (2005) como ZB1, apresentando temperaturas médias mensais prioritariamente abaixo de 20°C, conforme a Figura 28, e temperatura média anual de 16,3 °C. O clima apresenta períodos de frio intenso, enquanto que os períodos de calor não são muito rigorosos, com temperaturas máximas abaixo dos 30 °C em grande parte do ano e amplitude térmica anual em torno de 10°C.

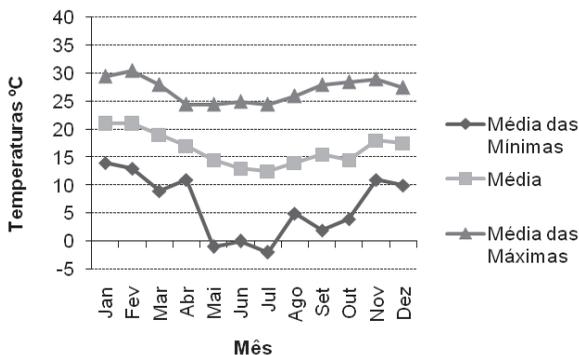


Figura 28 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Curitiba

Porto Alegre está classificada no zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220 (2005) como ZB3, apresentando clima com temperaturas medianas, com médias mensais prioritariamente abaixo dos 25 °C, conforme Figura 29. A temperatura média anual é de 20,8 °C, verificando-se temperaturas próximas a 0 °C no inverno e temperaturas acima dos 35 °C no verão. A amplitude térmica anual é de aproximadamente 9°C.

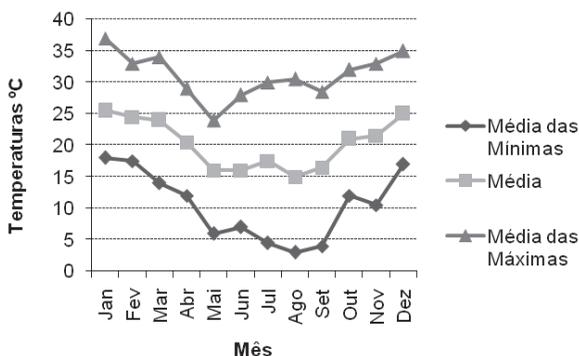


Figura 29 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Porto Alegre

A cidade de São Paulo também se encontra na Zona Bioclimática 3, apresentando temperaturas médias mensais abaixo dos 23 °C, como verifica-se na Figura 30. A temperatura média anual é de 18 °C, apresentando temperaturas máximas acima dos

30 °C e mínimas próximas a 10 °C, configurando um clima ameno com amplitude térmica anual de aproximadamente 9°C.

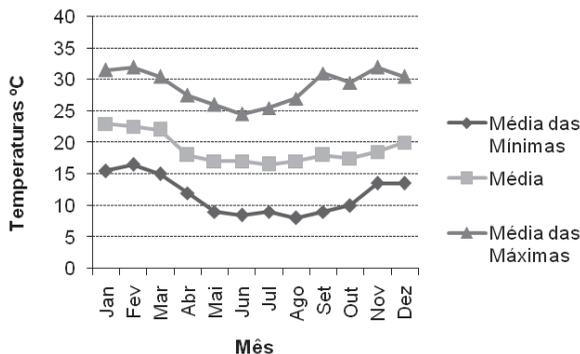


Figura 30 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para São Paulo

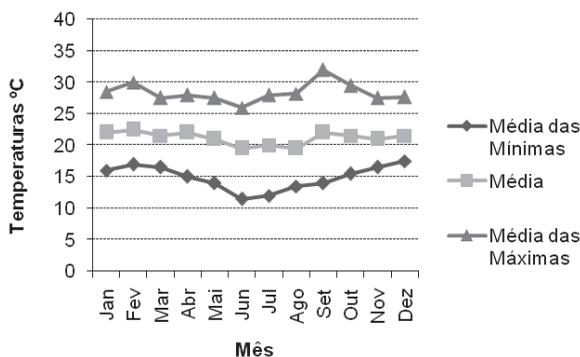


Figura 31 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Brasília

Brasília classifica-se como Zona Bioclimática 4, apresentando temperaturas médias mensais mais elevadas, com pequena variação ao longo do ano, entre 19,5 e 22,5°C, conforme a Figura 31. O clima de Brasília, portanto, é bastante homogêneo, com amplitude térmica anual em torno de 9°C.

As cidades Rio de Janeiro, Salvador e Recife classificam-se no zoneamento bioclimático brasileiro como Zona Bioclimática 8, apresentando temperaturas mais altas ao longo do ano.

As temperaturas médias mensais para a cidade do Rio de Janeiro ficam entre 21 e 27°C, conforme Figura 32, com amplitude térmica em torno de 6°C. A temperatura média anual é de 23,5 °C, configurando um clima quente, mas com menor intensidade do que Recife e Salvador, porém com maior variação de temperaturas médias mensais mínimas e máximas, ficando entre 13 e 31 °C.

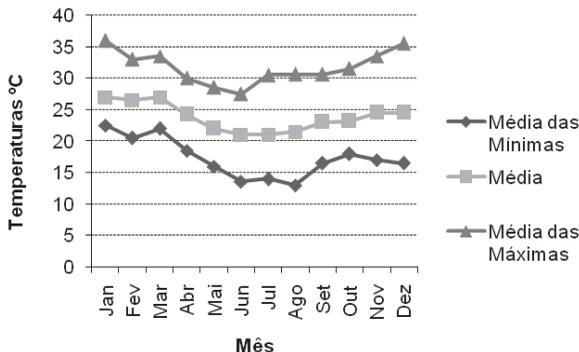


Figura 32 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Rio de Janeiro

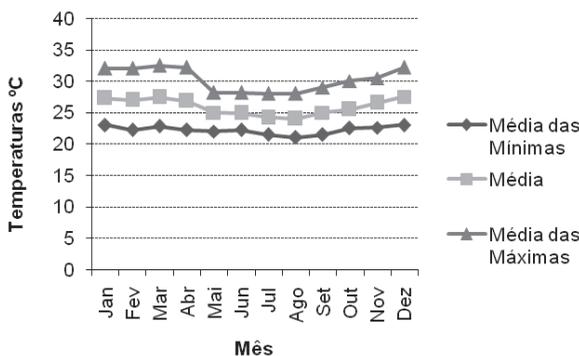


Figura 33 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Salvador

No caso de Salvador as temperaturas médias mensais encontram-se entre 24 e 27,5 °C, como se pode observar na Figura 33, apresentando amplitude térmica anual de aproximadamente 5°C. É um clima quente e bastante homogêneo ao longo do ano, com temperatura média anual de 26 °C.

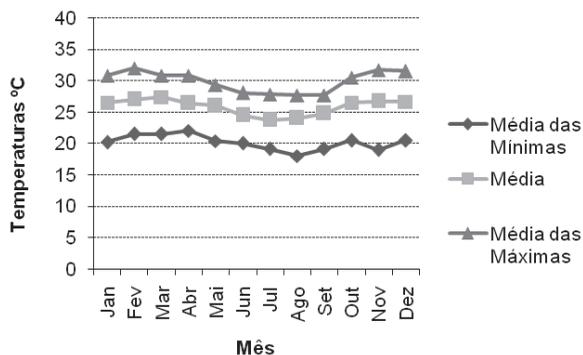


Figura 34 - Temperaturas máximas, médias e mínimas mensais do ar externo para Recife

Recife apresenta temperaturas médias mensais entre 23,7 e 27,4 °C (Figura 34) e temperatura média anual de 26,5 °C. Assim como Salvador, Recife não apresenta grande variação de temperaturas ao longo do ano, com amplitude térmica anual próxima a 6°C.

Verifica-se uma boa variação de condições bioclimáticas entre as cidades analisadas, partindo-se de regiões frias com amplitude térmica anual mais elevada para regiões quentes com temperaturas mais estáveis ao longo do ano.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO OBTIDOS

Para cada caso simulado foi solicitado um relatório contendo o consumo de energia anual do sistema de condicionamento de ar (kWh e/ou MWh), incluindo-se neste consumo total tanto a carga para resfriamento e aquecimento do ar, quanto os equipamentos auxiliares como bombas e ventiladores, visto que, segundo Romero et al. (1999), um dos melhores indicadores para analisar o comportamento termo-energético de um edifício é o consumo desagregado por usos finais. Os resultados de consumo para condicionamento de ar serviram de base para a análise de influência da variação de cada parâmetro no comportamento energético do modelo.

Os dados obtidos foram tabelados em planilhas do Excel, a partir das quais se desenvolveram análises tanto de consumo total anual do sistema de condicionamento de ar, quanto da diferença (kWh, MWh e %) decorrente da variação dos parâmetros no modelo base de simulação. A partir da análise dos dados, determinou-se o impacto gerado por cada parâmetro no desempenho energético do modelo em cada cidade de estudo e, com base nisso, verificou-se os parâmetros que têm maior influência no consumo energético do sistema de condicionamento de ar do modelo base de simulação dentro da amostra de parâmetros e cidades analisadas.

Devido ao enfoque da pesquisa ser fachadas envidraçadas, três dos parâmetros de simulação determinados no item 3.2 são variados em todos os itens de análise de resultados, sendo eles: percentual de área de abertura nas fachadas (WWR), tipo de vidro e localização.

A análise dos resultados se divide em quatro grupos dentro dos quais são avaliados os dados de consumo, sendo eles: WWR e tipo de vidro, tipo de parede, orientação e aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro. Os resultados de cada grupo são divididos em subitens relativos ao tipo de configuração de fachada que está sendo avaliada, verificando e comparando-se os dados de consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar dos modelos.

O modelo base assume padrões dentre os parâmetros de análise, sendo parametrizados apenas nos itens específicos em que propõem a sua variação. São eles: parede em alvenaria, orientação 0° (maiores fachadas no sentido Leste-Oeste) e fachada tradicional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados deste trabalho, relativos ao desempenho energético de um edifício de escritórios com fachadas envidraçadas em condições bioclimáticas brasileiras. Os resultados obtidos são relativos à influência de diferentes parâmetros no consumo energético do modelo computacional: localização do modelo, área de abertura nas fachadas, tipo de vidro nas aberturas, tipo de parede, orientação das fachadas e configuração das fachadas (tradicional ou com pele de vidro). No caso de fachadas com pele de vidro, o vidro de revestimento não é alterado em nenhum modelo, mantendo as mesmas características apresentadas na Tabela 9 do Capítulo de Metodologia.

4.1 SIMULAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados do presente estudo foram obtidos por meio de simulação computacional dos modelos desenvolvidos no programa EnergyPlus. A análise dos resultados para consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar é feita em MWh prioritariamente, assumindo como unidade secundária a porcentagem. Para cada cidade existe uma carga de resfriamento e aquecimento variável de acordo com o clima, o que acarreta grandes variações de consumo total. A análise em MWh das variações de consumo quando alterados determinados parâmetros permite comparar o desempenho entre as cidades de estudo, mesmo que o consumo total de cada uma delas apresente grandes disparidades. No caso de análise dos dados em porcentagem do consumo total, cidades com climas muito quentes ao longo do ano, como Recife, cujo consumo energético total é muito mais elevado do que cidades de climas amenos como São Paulo, teriam os impactos da variação dos parâmetros no consumo energético mascarados ou diluídos em um consumo energético final elevado.

O consumo energético do sistema de condicionamento de ar inclui o consumo para aquecimento, resfriamento e equipamentos relativos ao próprio sistema, visto que em todos os casos simulados a participação do consumo para aquecimento não atinge 1% da carga de resfriamento em climas frios e amenos, e em climas quentes é igual a 0%. Isso ocorre devido à elevada carga térmica

interna da edificação, que reduz drasticamente a necessidade de aquecimento do ambiente interno.

4.2 DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DE TIPO DE VIDRO E WWR NAS FACHADAS

Neste item serão analisados os dados de consumo do sistema de condicionamento de ar de modelos com fachadas tradicionais (aquelas sem pele de vidro) e fachadas com pele de vidro (completamente revestidas por vidro, inclusive sobre peitoril e viga de borda), variando-se os parâmetros de tipo de vidro, percentual de área envidraçada nas fachadas (WWR) para cada configuração de fachada e cidade de estudo. Os demais parâmetros de análise serão mantidos fixos, utilizando-se o modelo de simulação padrão como base para comparação de desempenho, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Características fixas e variáveis do modelo – variação de WWR e tipo de vidro

Características fixas do modelo		Características variáveis do modelo	
Tipo de parede	Alvenaria	Tipos de vidro	Incolor, Verde, Laminado de Controle Solar e Duplo de Controle Solar
Orientação	0° (maiores fachadas sentido Leste-Oeste)	WWR	30%, 40%, 50% e 60%
		Localização	Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Salvador, Recife e Rio de Janeiro

4.2.1 Fachadas tradicionais

O consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar do modelo de análise, para cada cidade de estudo, é apresentado nos gráficos da Figura 35 à Figura 41, cujos dados podem ser consultados na Tabela B. 1 e Tabela B. 2 do APÊNDICE B.

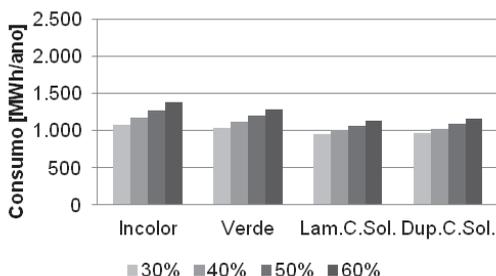


Figura 35 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Curitiba

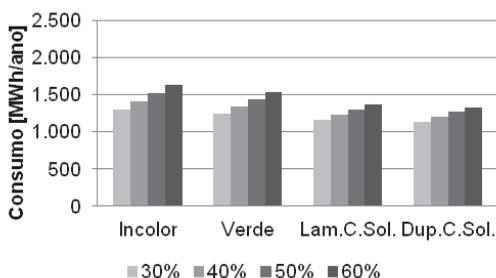


Figura 36 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Porto Alegre

Na cidade de Curitiba, Figura 35, o vidro laminado de controle solar garante menor consumo energético em relação aos demais tipos de vidro analisados, controlando o ganho de calor solar e, comparado ao vidro duplo, permite a dissipação do calor interno (proveniente da carga interna elevada em edifícios de escritórios) para o ambiente externo através das áreas aberturas com mais facilidade. O consumo relativo ao vidro laminado de controle solar com WWR 40% é 23,26 MWh (2,2%) menor do que o consumo decorrente da utilização de vidro verde com menor área envidraçada (WWR 30%).

Porto Alegre (Figura 36) apresenta melhor desempenho quando empregado o vidro duplo de controle solar, o qual promove melhor isolamento da abertura, dificultando o ganho e a perda de calor entre os ambientes interno e externo. Como Porto Alegre apresenta clima bem mais quente do que Curitiba (6.923 °C.h

GHR₂₄ para Porto Alegre contra 2.096°C.h de GHR₂₄ de Curitiba), o isolamento térmico do vidro pode ser benéfico. O desempenho decorrente da aplicação de vidro duplo e WWR 50% foi semelhante ao desempenho de vidro verde e WWR 30%, tendo este consumido 20,9 MWh (1,7%) a mais que o primeiro.

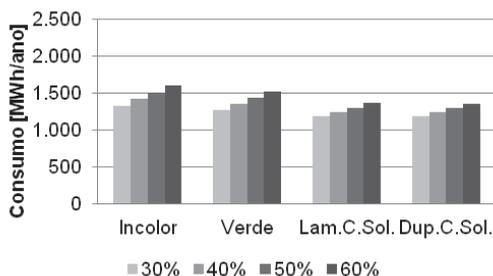


Figura 37 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR na cidade de São Paulo

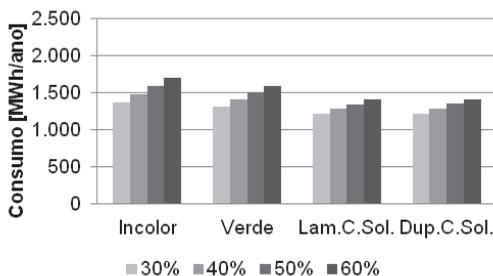


Figura 38 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Brasília

Na cidade de São Paulo, Figura 37, a utilização do vidro duplo oferece melhor desempenho energético, ainda que seja semelhante ao vidro laminado de controle solar. O aumento do consumo do vidro laminado em relação ao duplo varia de 3,10 MWh (0,26%) quando WWR 30% até 17,36 MWh (1,27%) quando WWR 60%. O consumo energético do modelo com vidro duplo e WWR 60% tem desempenho semelhante ao modelo com vidro verde e WWR 40%, que consome 9,62 MWh (0,7%) a mais.

A cidade de Brasília (Figura 38) apresenta menor consumo do modelo quando utilizado vidro laminado de controle solar, o qual possui desempenho muito semelhante ao vidro duplo, variando o consumo entre 4,22 e 7,71 MWh. Quando o modelo utiliza vidro verde e WWR 40%, o consumo é semelhante ao vidro laminado de controle solar e WWR 60%, cujo consumo é 2,41 MWh (0,17%) maior.

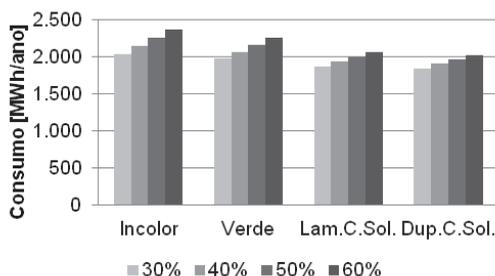


Figura 39 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR na cidade do Rio de Janeiro

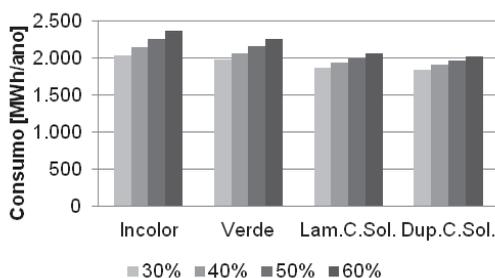


Figura 40 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Salvador

Rio de Janeiro, Salvador e Recife são cidades com clima quente, nas quais o uso de vidro duplo de controle solar promove menor consumo energético dos modelos devido ao maior isolamento das aberturas, reduzindo o ganho de calor através das mesmas também por condução.

No Rio de Janeiro (Figura 39) a redução do consumo com modelos com vidros duplos em relação aos modelos com vidros

laminados ficou entre 29,96 MWh (1,6%) quando WWR 30% e 46,72 MWh (2,3%) quando WWR 60%. O consumo relativo à fachada com vidro duplo e WWR 50% é semelhante à fachada com vidro verde e WWR 30%, sendo que a primeira apresenta consumo 13,15 MWh (0,67%) menor.

Em Salvador (Figura 40), o menor consumo energético também é decorrente da utilização de vidros duplos, denotando maior redução de consumo em relação ao vidro laminado, entre 48,9 MWh (2,45%) para WWR 30% e 94,2 MWh (4,27%) para WWR 60%. Comparando-se o desempenho do modelo com vidro duplo e WWR 60% com o modelo com vidro verde WWR 30%, verifica-se que o consumo é semelhante, sendo 14,5 MWh (0,69%) maior no caso de vidro duplo.

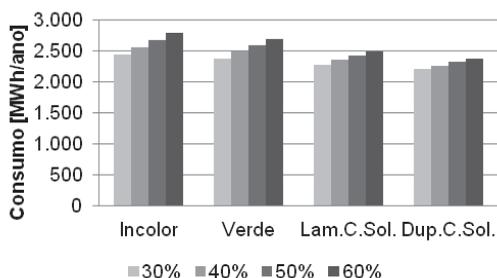


Figura 41 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em Recife

Em Recife (Figura 41) a diferença de consumo entre os modelos com vidro duplo e vidro laminado é ainda maior, sendo que o duplo promove economia entre 68,0 MWh (2,99%) e 125,4 MWh (5,03%) em relação ao laminado. O consumo do modelo com vidro verde e WWR 30% é 12,10 MWh (0,51%) maior do que o consumo do modelo com vidro duplo e WWR 60%.

Com base nos dados analisados, verifica-se a importância da especificação adequada do tipo de vidro, compatível com a área de abertura utilizada para obter o menor consumo para condicionamento artificial de ar.

A partir da análise da variação do consumo em relação ao aumento do WWR, verifica-se que em todos os modelos analisados

o aumento da área de abertura (WWR) acarreta a elevação do consumo energético para condicionamento de ar da edificação. Contudo, esse aumento não é proporcional ao aumento do WWR, verificando-se que quanto menor o fator solar (FS) do vidro utilizado, menor o aumento do consumo. Isso ocorre porque com vidros de fator solar reduzido o ganho de calor através das aberturas é menor do que com vidros simples. Baseado nos dados de consumo obtidos por meio das simulações e que foram apresentados nos gráficos da Figura 42 à Figura 47, foram elaborados gráficos da porcentagem de variação do consumo energético do sistema de condicionamento de ar em relação à variação do WWR, segundo a Tabela B. 2 do APÊNDICE B.

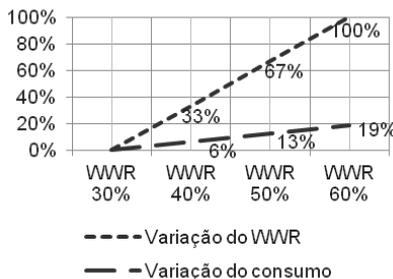


Figura 42 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro laminado de controle solar em Curitiba

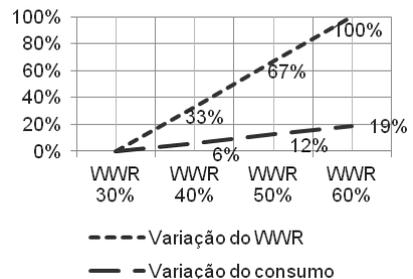


Figura 43 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro laminado de controle solar em Porto Alegre

Em Curitiba, por exemplo, enquanto o WWR dobra (100% de aumento), o consumo aumenta 19% quando empregado o vidro laminado de controle solar, conforme Figura 42. Em Porto Alegre (Figura 43), o desempenho energético decorrente do aumento do WWR é bastante semelhante ao de Curitiba utilizando-se o mesmo vidro.

Para a cidade de São Paulo apresenta-se a variação do consumo para dois tipos de vidro: verde (Figura 44) e duplo de controle solar (Figura 45), ratificando que quanto melhor o desempenho do vidro, menor o aumento do consumo quando aumentada a área de abertura.

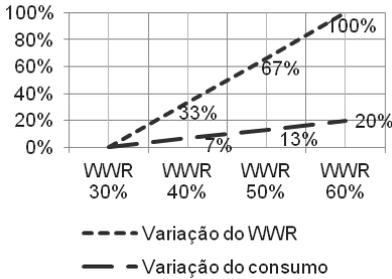


Figura 44 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro verde na cidade de São Paulo

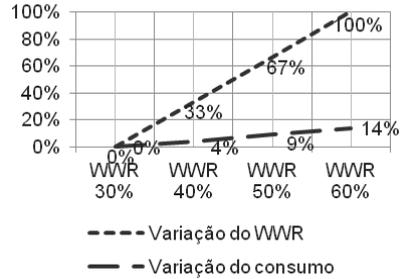


Figura 45 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro duplo de controle solar na cidade de São Paulo

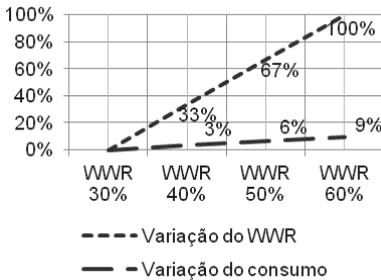


Figura 46 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro duplo de controle solar na cidade do Rio de Janeiro

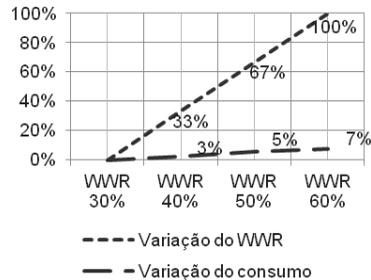


Figura 47 - Aumento do consumo em relação ao aumento do WWR - Vidro duplo de controle solar em Recife

Em climas quentes como Rio de Janeiro e Recife, o aumento do WWR tem menor influência no aumento do consumo, sendo este elevado respectivamente em 9% (Figura 46) e em 7% (Figura 47) quando o WWR passa de 30 para 60%. O menor impacto percentual no consumo ocorre devido à grande participação do ganho de calor por condução através das paredes e da carga térmica proveniente do ar exterior de renovação.

Embora o aumento da área de abertura da fachada evidentemente acarrete o aumento do consumo para condicionamento de ar, os resultados das simulações mostram que

o acréscimo não é linear, visto que o fechamento transparente é apenas uma das fontes de ganho de calor da edificação. A ampliação da área envidraçada, por outro lado, facilita as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, dessa forma, quando o interior está mais aquecido o fluxo de calor ocorre de dentro para fora, reduzindo a demanda energética para resfriamento da edificação.

Analisando-se os resultados relativos à área de abertura e tipo de vidro nas fachadas, percebeu-se que em Curitiba, cujo clima é frio, o vidro laminado de controle solar proporcionou melhor desempenho energético. Isso ocorre porque na maioria do tempo a temperatura externa permanece abaixo dos 24 °C, enquanto que o ambiente interno da edificação está mais aquecido devido às cargas internas de equipamentos, pessoas e iluminação. Dessa maneira, o vidro laminado permite com maior facilidade a perda de calor interno para o ambiente externo, diminuindo a carga interna de resfriamento, economizando de 14,12 MWh (1,48%) a 27,14 MWh (2,4%).

Porto Alegre, cujo clima é ameno em grande parte do ano, apresenta menor consumo quando utilizado o vidro duplo de controle solar. Em relação ao laminado de controle solar, o vidro duplo gera economia entre 19,16 MWh (1,65%) e 42,51 MWh (3,18%). Considerando-se a amplitude térmica anual da cidade de Porto Alegre, conforme Figura 29, o emprego de vidro duplo com câmara de ar promove melhor isolamento da abertura, dificultando a perda de calor para o ambiente externo em períodos frios, mas reduzindo consideravelmente o ganho de calor externo para o ambiente interno em períodos de calor.

Em São Paulo e Brasília, também caracterizados por climas amenos, o vidro laminado de controle solar promove desempenho muito semelhante ao duplo de controle solar. No caso de São Paulo, o vidro duplo promove economia entre 3,10 MWh (0,26%) e 17,36 MWh (1,27%), enquanto que em Brasília o vidro laminado de controle solar promove economia entre 4,21 MWh (9,35%) e 4,72 MWh (0,34%). A pequena diferença entre os desempenhos relativos aos vidros duplos e vidros laminados de controle solar se deve às características do clima, cujas temperaturas médias anuais não possuem grandes variações e permanecem próximas à temperatura

de conforto. Dessa forma, o maior isolamento do edifício para evitar trocas térmicas entre os ambientes internos e externos dificulta o ganho de calor interno em dias quentes, mas também dificulta a perda de calor interno em dias com temperaturas mais baixas, elevando a carga de resfriamento. O vidro laminado, por sua vez, permite o ganho de calor externo pelas aberturas com mais facilidade, assim como a perda de calor interno em dias amenos. O comportamento térmico dos dois fechamentos em climas amenos, portanto, acarreta desempenho energético da edificação semelhante.

No caso dos climas muito quentes ao longo do ano, como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, a utilização de vidros duplos promove menor consumo energético da edificação, economizando entre 29,96 MWh (1,60%) e 46,72 MWh (2,27%) no Rio de Janeiro; entre 48,92 MWh (2,45%) e 94,23 MWh (4,27%) em Salvador; e entre 68,00 MWh (2,99%) e 125,44 MWh (5,03%) em Recife. Verifica-se, portanto, que quanto mais quente a cidade de estudo, mais evidente a redução do consumo utilizando-se vidro duplo em relação ao vidro laminado. Isso ocorre porque em climas cujas temperaturas são constantemente mais elevadas o vidro duplo com câmara de ar atua no sentido de isolar com maior eficácia o edifício em relação ao meio externo.

Em todas as cidades analisadas, quanto maior a área de abertura nas fachadas, maior a diferença de consumo entre os vidros laminado de controle solar e duplo de controle solar. Isso ocorre porque quanto maior o WWR na fachada, maior a influência do tipo de vidro no desempenho energético, visto que os vidros são elementos sensíveis às variações climáticas e, portanto, quanto maior a área de abertura, maior a influência das propriedades térmicas dos vidros no consumo energético da edificação.

4.2.2 Fachadas com pele de vidro

Neste item são analisados os dados de consumo do sistema de condicionamento de ar de modelos com fachadas com pele de vidro, ou seja, edifícios com “pele de vidro”, variando-se os demais parâmetros de acordo com a Tabela 12. Os dados de consumo obtidos por meio de simulação estão contidos APÊNDICE C na Tabela C. 1.

O consumo energético do sistema e condicionamento de ar dos modelos com fachadas com pele de vidro é apresentado para cada cidade de estudo nos gráficos da Figura 48 à Figura 51, de acordo com o WWR. As figuras foram elaboradas com base nos dados de consumo contidos na Tabela C. 1 do APÊNDICE C.

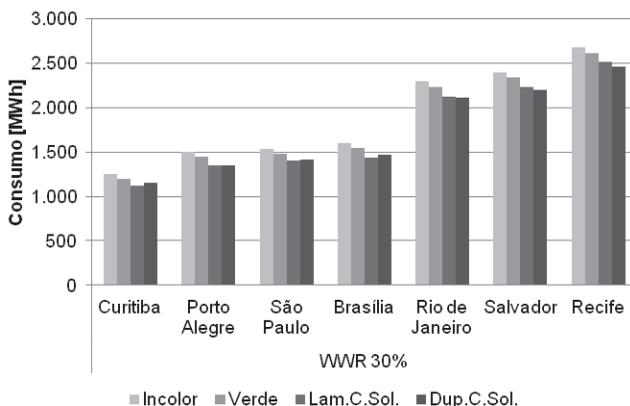


Figura 48 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 30%)

Quando WWR 30% (Figura 48) verifica-se que Curitiba, São Paulo e Brasília acarretam menor consumo quando empregado o vidro laminado de controle solar, sendo que a economia deste vidro em relação ao duplo foi de 18,40 MWh (1,31%) para São Paulo até 34,58 MWh (3,10%) para Curitiba. Em Porto Alegre, Rio de Janeiro, Salvador e Recife o vidro duplo obteve menor consumo, economizando entre 0,39 MWh (0,03%) em Porto Alegre até 54,59 MWh (2,17%) em Recife em relação ao laminado.

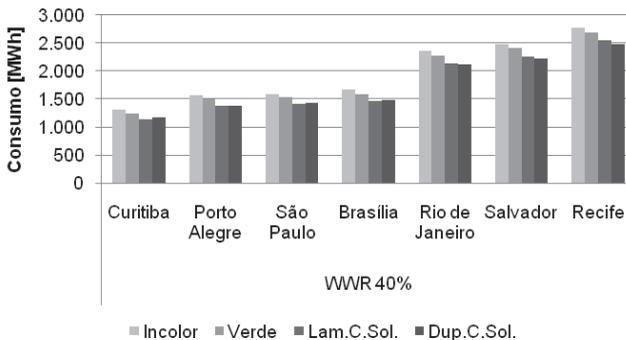


Figura 49 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 40%)

Com WWR 40% (Figura 49) observa-se economia do vidro laminado em relação ao vidro duplo entre 18,46 MWh (1,3%) em São Paulo e 36,85 MWh (3,21%) em Curitiba. A economia gerada pelo vidro duplo comparado ao laminado, por sua vez, ficou entre 5,91 MWh (0,42%) em Porto Alegre e 77,82 MWh (3,04%) em Recife.

O vidro laminado em relação ao vidro duplo para WWR 50% (Figura 50) economizou entre 18,85 MWh (1,30%) em São Paulo e 35,17 MWh (2,97%) em Curitiba. Já a economia do vidro duplo em relação ao laminado ficou entre 16,79 MWh (1,16%) em Porto Alegre e 77,87 MWh (3,01%) em Recife.

Pra WWR 60% (Figura 51), o vidro laminado apresentou economia em relação ao vidro duplo entre 2,60 MWh (0,17%) para São Paulo até 34,04 MWh (2,79%) para Curitiba. A economia do vidro duplo comparado ao laminado variou entre 20,72 MWh (0,94%) para o Rio de Janeiro e 108,51 MWh (4,11%) para Recife.

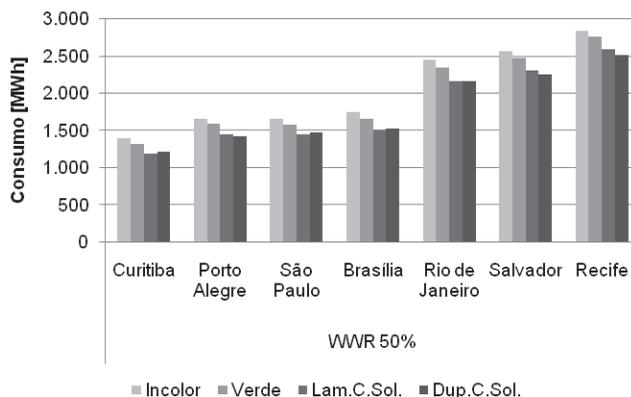


Figura 50 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 50%)

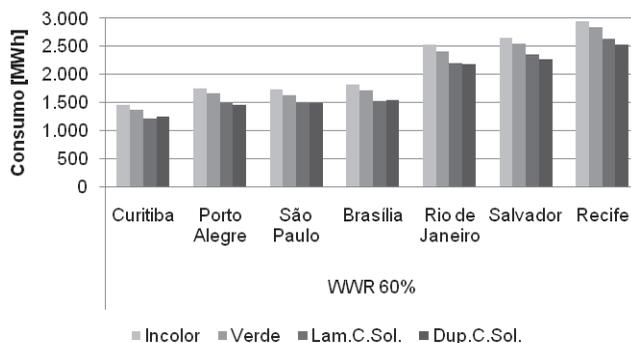


Figura 51 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de vidro e WWR em fachadas com pele de vidro (WWR 60%)

O aumento do consumo anual do sistema de condicionamento de ar em edifícios com fachadas com pele de vidro quando o WWR passa de 30 para 60% é apresentado na Figura 52.

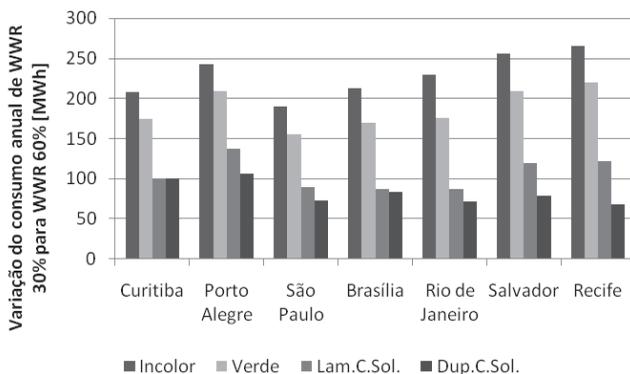


Figura 52 - Aumento do consumo anual quando o WWR para de 30% para 60% em cada cidade de estudo [MWh]

Baseando-se nos dados apresentados, percebe-se que as maiores variações de consumo quando o WWR aumenta 100% ocorrem para os vidros de pior desempenho térmico e energético, ou seja, incolor e verde. Por outro lado, a variação do consumo quando utilizados vidros de controle solar (duplo com câmara de ar ou laminado monolítico), o aumento do consumo é consideravelmente reduzido. A maior variação foi de 265,80 MWh (9,93%) para vidro incolor na cidade de Recife, enquanto que a menor variação é 67,56 MWh (2,74%) decorrente do modelo com vidro duplo de controle solar, também na cidade de Recife.

Com base no consumo energético decorrente dos diferentes tipos de vidro verifica-se que para Curitiba, São Paulo e Brasília o tipo de vidro que apresenta menor consumo é o laminado de controle solar. Em Porto Alegre os vidros laminado e duplo de controle solar acarretam desempenho semelhante, enquanto que em cidades com climas quentes como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, o vidro duplo de controle solar promove menor consumo em comparação aos demais tipos de vidro. Quanto maior o WWR, maior a variação de consumo entre os tipos de vidro analisados.

Os vidros incolor e verde apresentaram os maiores consumos em todos os casos analisados, como já verificado nos resultados de consumo fachadas tradicionais. O maior consumo se deve ao vidro incolor e WWR 60% em Recife, 2.941,74 MWh, e o menor consumo

em Curitiba com vidro laminado de controle solar e WWR 30%, consumindo 1.117,12 MWh. Os vidros verde e incolor também são responsáveis pelos maiores aumentos no consumo quando o WWR é ampliado, enquanto que o vidro duplo apresenta a menor variação de consumo conforme se aumenta a área de abertura, visto que garante melhor isolamento, reduzindo o ganho de calor, ao passo que vidros de pior desempenho são mais sensíveis às condições climáticas externas e, quanto maior a área de abertura, maior a interferência da temperatura externa no interior do edifício.

4.2.3 Variação do consumo entre Fachadas tradicionais e Fachadas com pele de vidro

Com base nos resultados obtidos a partir das simulações computacionais relativos às configurações de fachadas, cujos dados foram apresentados nos itens 4.2.1 e 4.2.2, foram elaborados gráficos de variação de consumo entre fachadas tradicionais e fachadas com pele de vidro em diferentes condições bioclimáticas brasileiras. O APÊNDICE D, Tabela D. 1 e Tabela D. 2, apresenta os resultados de consumo anual do sistema de condicionamento de ar para ambas as configurações de fachadas. A partir da análise do consumo energético dos modelos decorrente da variação do tipo de fechamento envidraçado nas fachadas e a área de abertura (WWR) para duas configurações de fachada (com pele de vidro e tradicional), verificam-se os melhores tipos de vidro para cada cidade de estudo e as maiores variações de consumo para cada condição. A economia energética decorrente da configuração de fachada tradicional em relação à fachada com pele de vidro é apresentada nos gráficos da Figura 53 e Figura 54, para cada tipo de vidro, e cidade analisada com WWR 30% e 60%.

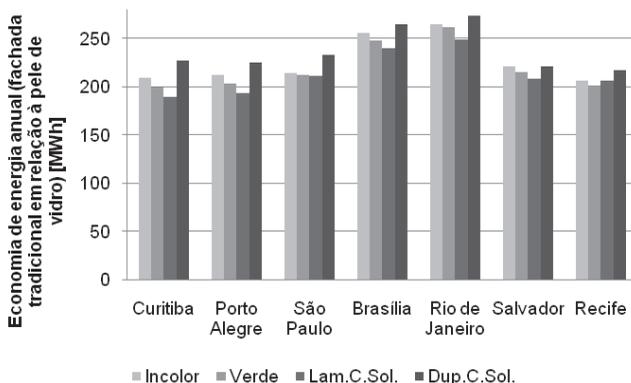


Figura 53 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 30%)

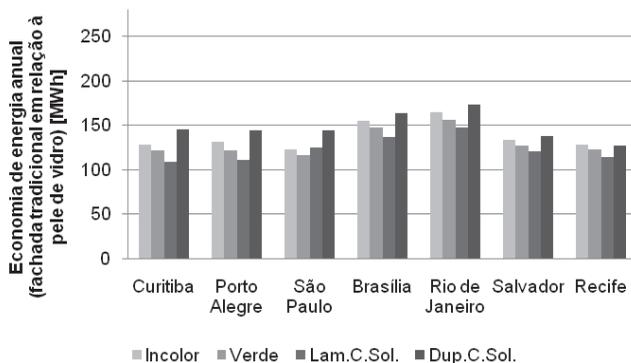


Figura 54 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 60%)

De acordo com os dados apresentados observa-se que, quanto menor o WWR, maior a economia energética decorrente do uso de fachadas tradicionais em comparação a fachadas com pele de vidro. O tipo de vidro que promove maior variação do consumo é o vidro duplo, já que quando utilizado em fachadas tradicionais, diminui o ganho de calor externo devido ao maior isolamento das aberturas e,

no caso de fachadas com pele de vidro, o maior isolamento dificulta a dissipação do calor absorvido pela envoltória para o meio externo.

Analisando-se climas frios e amenos, observa-se que a variação do consumo em Curitiba fica entre 108,90 MWh (9,82%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% e 226,82 MWh (24,52%) para vidro duplo e WWR 30%. Em Porto Alegre o consumo varia entre 110,50 MWh (8,00%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% e 225,14 MWh (19,95%) para vidro duplo e WWR 30%. Em São Paulo a variação vai de 115,65 MWh (7,59%) para vidro verde e WWR 60% até 233,27 MWh (19,66%) para vidro duplo e WWR 30%; em Brasília varia entre 136,22 MWh (9,78%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% e 265,22 MWh (22,10%) para vidro duplo e WWR 30%

Para as cidades com clima quente, como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, verifica-se o mesmo padrão das demais cidades, em que a menor variação de consumo se deve ao vidro laminado de controle solar e WWR 60% e a maior para vidro duplo e WWR 30%. No Rio de Janeiro a variação fica entre 147,49 MWh (7,17%) e 273,98 MWh (14,89%); em Salvador, entre 120,31 MWh (5,39%) e 221,72 MWh (10,19%); e em Recife, entre 114,35 MWh (4,53%) e 216,85 MWh (9,65%).

De acordo com os dados apresentados, em todas as cidades estudadas a configuração de fachada que promove melhor desempenho energético é a fachada tradicional, para todos os tipos de vidro e WWR analisados.

A variação do consumo para todas as cidades, quando considerado o mesmo WWR é bastante semelhante, sendo que o maior aumento do consumo em fachadas com pele de vidro ocorre quando se utiliza vidro duplo de controle solar, e a menor variação ocorre quando se utiliza vidro laminado de controle solar.

4.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DE TIPO DE PAREDE EXTERNA

Os resultados apresentados neste item referem-se ao consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar dos modelos de simulação analisados quando se varia o tipo de parede das

fachadas para cada cidade de estudo (alvenaria e *drywall*). As características e propriedades térmicas foram apresentadas na Tabela 10, sendo que a parede em alvenaria oferece menor isolamento térmico (transmitância térmica de 2,66 W/m²K) em relação à *drywall* (transmitância térmica de 0,70 W/m²K). Além do tipo de parede, também foram variados o tipo de vidro e o percentual de área de abertura nas fachadas (WWR), com o objetivo de analisar o desempenho energético do modelo com paredes de diferentes intensidades de ganho de calor (transmitância térmica) em fachadas com diferentes tipos de vidro e WWR.

Tabela 13 - Características fixas e variáveis do modelo – variação do tipo de parede

Características fixas do modelo		Características variáveis do modelo	
Orientação	0° (maiores fachadas sentido Leste-Oeste)	Tipo de parede	Alvenaria e <i>Drywall</i>
		Tipos de vidro	Incolor, Verde, Laminado de Controle Solar e Duplo de Controle Solar
		WWR	30%, 40%, 50% e 60%
		Localização	Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Salvador, Recife e Rio de Janeiro

Os parâmetros fixos e variáveis dos modelos cujos resultados são apresentados no presente item são determinados na Tabela 13.

4.3.1 Fachadas tradicionais

Inicialmente verifica-se o consumo dos modelos relativo a condição de fachada tradicional nas cidades de estudo. Os dados obtidos são apresentados nos gráficos da Figura 55 à Figura 61, extraídos da Tabela B. 3 do APÊNDICE B.

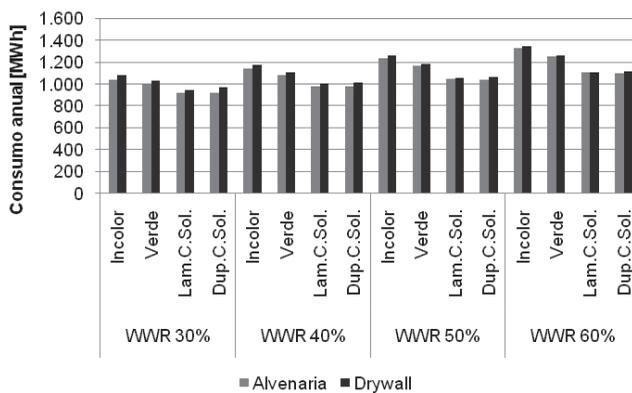


Figura 55 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Curitiba

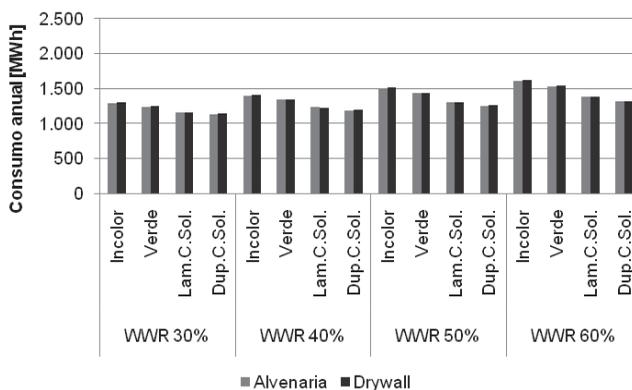


Figura 56 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Porto Alegre

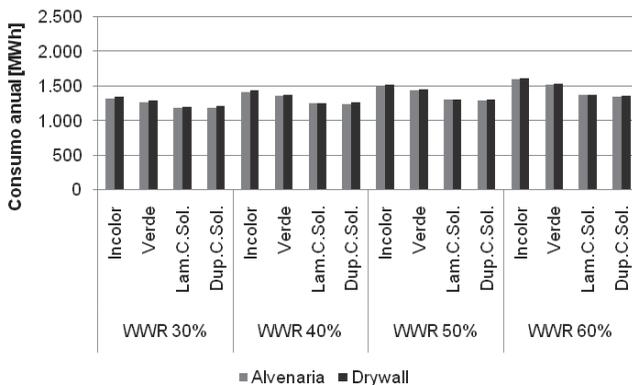


Figura 57 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede na cidade de São Paulo

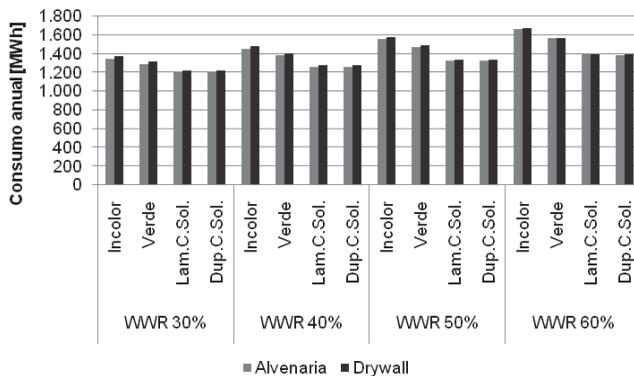


Figura 58 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Brasília

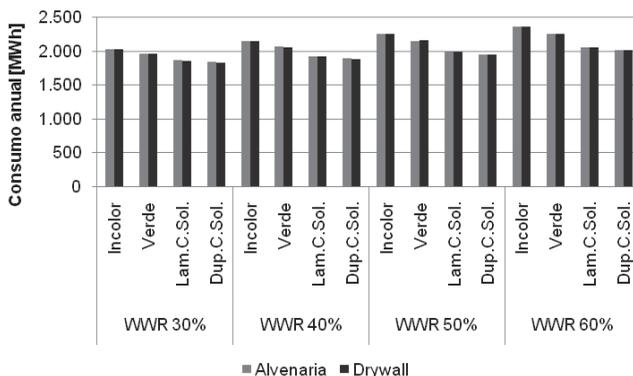


Figura 59 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede na cidade do Rio de Janeiro

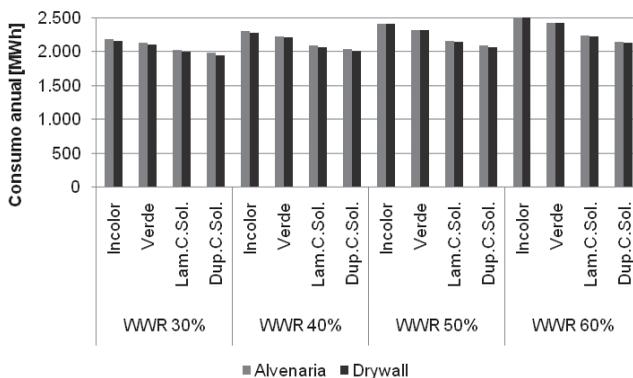


Figura 60 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Salvador

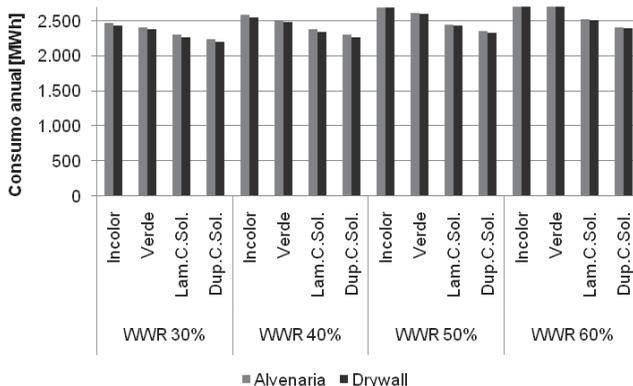


Figura 61 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo à variação do tipo de parede em Recife

Com relação à variação do consumo energético decorrente do tipo de parede utilizado nos modelos apresentam-se os gráficos da Figura 62 à Figura 65 contendo a diferença de consumo entre *drywall* e alvenaria para cada WWR simulado de acordo com a cidade e tipo de vidro. Os valores positivos no eixo vertical indicam melhor desempenho da alvenaria, enquanto que os negativos indicam a economia quando se utiliza *drywall*.

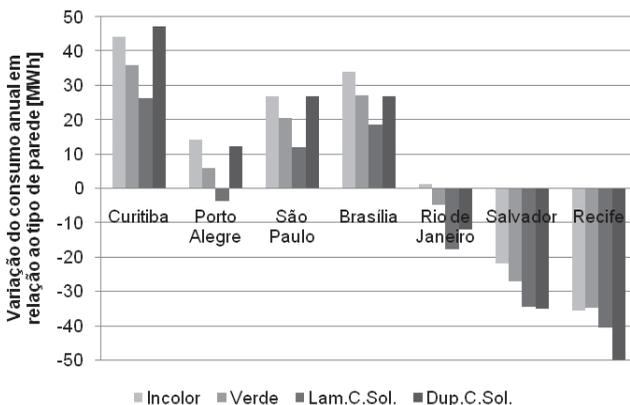


Figura 62 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 30%)

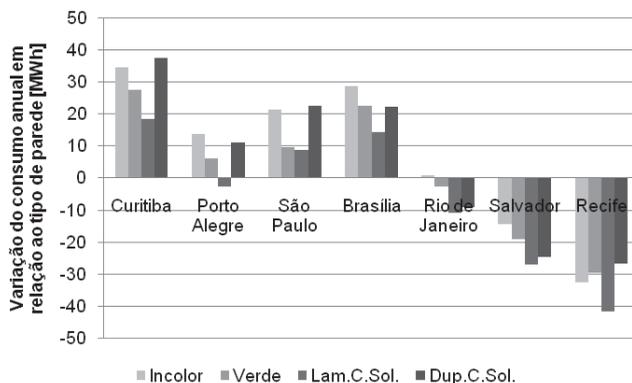


Figura 63 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 40%)

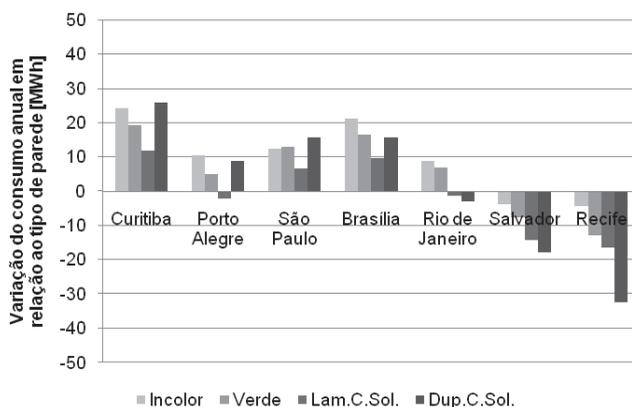


Figura 64 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 50%)

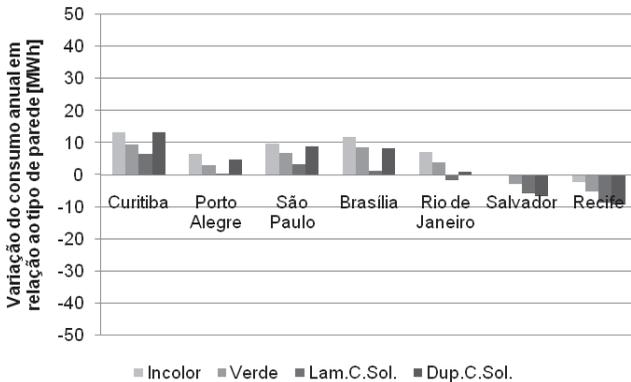


Figura 65 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza Drywall comparado à Alvenaria (WWR 60%)

Verifica-se com base nas figuras que, quanto maior o WWR, menor a variação do consumo entre a parede em alvenaria e *drywall* para todos os tipos de vidro, visto que com o aumento da área de abertura a área de parede é reduzida na mesma proporção, diminuindo sua influência no desempenho energético do edifício.

Na cidade de Curitiba (Figura 55) a parede em alvenaria proporcionou menor consumo energético em relação à *drywall*. Como se esperava, as maiores variações ocorrem quando WWR é 30%, ou seja, com maior área de parede, ficando entre 26,34 MWh (2,84%) com vidro laminado de controle solar e 47,22 MWh (5,11%) com vidro duplo. As menores variações ocorrem quando WWR é 60%, ficando entre 6,63 MWh (0,60%) com vidro laminado de controle solar e 13,21 MWh (0,99%) com vidro incolor.

Porto Alegre (Figura 56) obteve menor consumo na maioria dos casos utilizando alvenaria como parede externa, sendo que quanto maior o WWR, menor a variação de consumo entre alvenaria e *drywall*, que ficou entre 0,42 MWh (0,03%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% e entre 14,33 MWh (1,11%) para vidro incolor e WWR 30%. Para os modelos com vidro laminado de controle solar e WWR 30, 40 e 50%, a parede em *drywall* obteve menor consumo energético.

A cidade de São Paulo (Figura 57) também apresenta melhor desempenho quando utilizada a parede em alvenaria, entre 3,16 MWh (0,23%) quando WWR 60% e vidro laminado de controle solar e 26,78 MWh (2,26%) quando WWR 30% e vidro duplo.

Em Brasília (Figura 58) a parede externa de melhor desempenho energético para os modelos de estudo é a parede de alvenaria, sendo que a economia com relação à *drywall* vai de 8,36 MWh (0,55%) utilizando-se vidro duplo e WWR 60% a 33,89 MWh (2,52%) com uso de vidro incolor e WWR 30%.

Para Rio de Janeiro, Salvador e Recife, o menor consumo energético se deve aos modelos que utilizam parede em *drywall*, que promove maior isolamento da envoltória e reduz o ganho de calor por condução através das paredes em climas com temperaturas elevadas.

No caso do Rio de Janeiro (Figura 59), a parede em *drywall* promove melhor desempenho quando WWR 30 e 40% para todos os tipos de vidro, enquanto que para WWR 50% e 60% os vidros incolor e verde obtêm melhor desempenho utilizando-se alvenaria. Isso ocorre visto que os vidros incolor e verde promovem elevado ganho de calor para o interior da edificação e, portanto, o fechamento opaco que facilite a perda de calor para o exterior (alvenaria com maior transmitância térmica) auxilia na redução da carga interna de resfriamento. Por outro lado, com vidros com fator solar (FS) reduzido (laminado de controle solar e duplo de controle solar) as paredes em *drywall* obtêm menor consumo, visto que o fechamento opaco passa a ter papel importante na carga térmica do edifício. A economia da *drywall* em relação à alvenaria fica entre 1,38 MWh para WWR 50% e vidro laminado de controle solar e 17,76 MWh para WWR 30% e vidro laminado de controle solar.

Em Salvador (Figura 60), *drywall* apresenta menor consumo energético em todos os casos analisados, economizando entre 2,92 MWh (0,12%) para WWR 60% e vidro verde e 34,90 MWh (1,77%) para WWR 30% e vidro duplo.

Assim como em Salvador, Recife (Figura 61) obteve menor consumo energético nos modelos cujas paredes são em *drywall*, apresentando economia entre 2,33 MWh (0,08%) para WWR 60% e vidro incolor e 50,09 MWh (2,23%) para WWR 30% e vidro duplo.

Conclui-se, portanto, que em cidades com climas frios e amenos como Curitiba, Porto Alegre, São Paulo e Brasília, o menor

consumo energético deve-se prioritariamente aos modelos com paredes em alvenaria. Isso ocorre porque na maioria do ano as temperaturas externas permanecem abaixo dos 24°C, enquanto que a temperatura interna é mantida nesse valor, sendo necessária a retirada de calor interno por resfriamento artificial e/ou perdendo calor através da envoltória. Assim, o emprego de paredes externas com maior transmitância térmica (alvenaria), permite que a carga térmica interna seja parcialmente dissipada através das fachadas, reduzindo a carga de resfriamento.

Ainda no que tange aos climas frios e amenos, o modelo em que se identifica maior economia de energia proporcionada pelo uso da alvenaria em relação à *drywall* é aquele com vidro incolor, seguido da alternância com vidro duplo. O modelo que acarreta menor variação do consumo entre os dois tipos de parede é o que utiliza vidro laminado de controle solar. Quando se utiliza vidro incolor e paredes em alvenaria, a transmitância térmica dos dois elementos é mais elevada, passando mais calor para dentro do edifício, assim como também há dissipação de calor com mais facilidade para o exterior. Quando se utiliza vidro incolor e paredes em *drywall*, a abertura ainda permite a passagem de grande parte da radiação solar, aquecendo o ambiente interno, e com WWR reduzido, esse calor tem mais dificuldade de ser dissipado para o exterior, aumentando a carga térmica interna de resfriamento do sistema de condicionamento de ar. O mesmo ocorre com o vidro duplo, que oferece maior isolamento à abertura e dificulta a dissipação do calor para o exterior, somado ao maior isolamento da parede *drywall*, o consumo energético do modelo é maior quando comparado ao modelo com parede em alvenaria. O vidro laminado acarreta desempenho menos variável quando combinado à alvenaria ou à *drywall*, visto que protege a edificação da entrada excessiva de calor pela radiação solar direta, bem como permite a dissipação do calor interno pela abertura, já que a transmitância térmica é mais elevada que vidros duplos, por exemplo.

Em cidades com climas quentes, como Recife, Rio de Janeiro e Salvador, a utilização de *drywall* promoveu melhor desempenho. Nesses casos, o maior isolamento térmico decorrente da parede em *drywall* dificulta o ganho de calor para o ambiente interno em boa parte do ano, diminuindo o consumo energético para resfriamento

do ar interno. O mesmo comportamento já foi verificado no item de análise da variação do tipo de vidro, no qual o vidro duplo, cuja transmitância térmica é menor, obteve melhor desempenho que os demais tipos de vidro nessas cidades.

4.3.2 Fachadas com pele de vidro

Neste tópico é analisada a variação do consumo energético dos modelos decorrente do tipo de parede externa em fachadas com pele de vidro. O APÊNDICE C, Tabela C. 2, contém os resultados referentes ao consumo anual dos modelos de simulação com fachadas com pele de vidro relativos à variação do tipo de parede externa. Os valores relativos à economia gerada quando utilizada parede externa em *drywall* com relação ao consumo decorrente dos modelos com paredes em alvenaria em modelos com fachadas com pele de vidro de acordo com o WWR, são apresentados nos gráficos da Figura 66 à Figura 71. Os valores no eixo vertical positivos indicam menor consumo decorrente de paredes em alvenaria, enquanto que os valores negativos indicam menor consumo da parede em *drywall*.

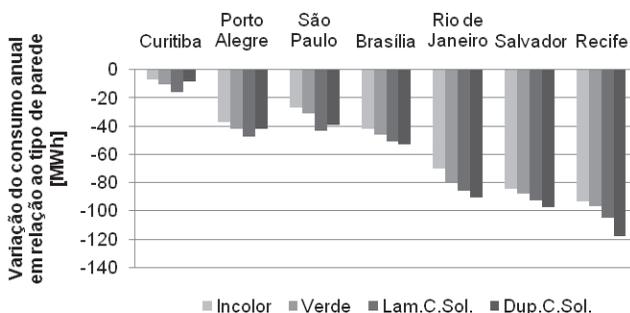


Figura 66 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se *drywall* em fachadas com pele de vidro (WWR 30%)

Para WWR 30% (Figura 66) a economia da parede *drywall* em relação à alvenaria utilizando-se vidro incolor ficou entre 6,90 MWh (0,55%), enquanto que em Recife com vidro duplo a diferença foi de 117,93 MWh (4,79%).

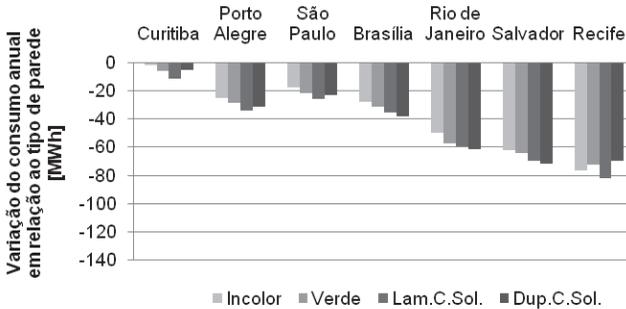


Figura 67 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 40%)

Para WWR 40% (Figura 67) a maior economia foi do vidro laminado de controle solar para a cidade de Recife, de 82,47 MWh (3,23%).

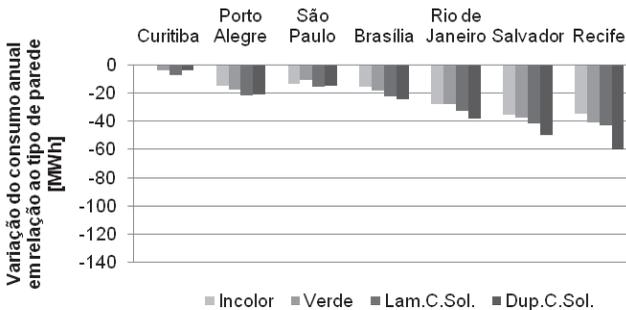


Figura 68 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se drywall em fachadas com pele de vidro (WWR 50%)

Para WWR 50% (Figura 68) a maior variação de consumo foi 60,35 MWh (2,40%) utilizando vidro duplo em Recife.

As menores variações no consumo ocorrem quando WWR 60% (Figura 69), ficando entre 0,99 MWh (0,07%) de economia utilizado alvenaria em Curitiba e 24,09 MWh (0,95%) utilizando *drywall* e vidro duplo em Recife.

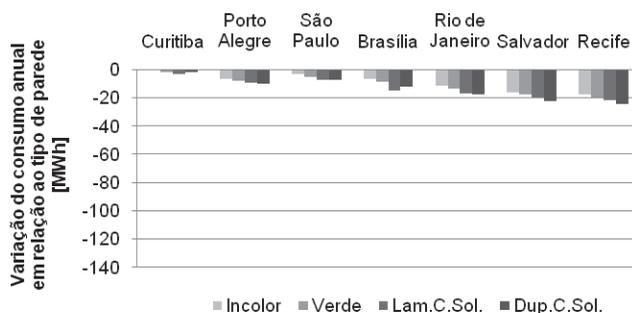


Figura 69 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando utiliza-se *drywall* em fachadas com pele de vidro (WWR 60%)

Em fachadas com pele de vidro, portanto, verifica-se que o melhor desempenho energético é decorrente da utilização da parede externa em *drywall*. Além disso, observa-se que quanto maior o WWR, menor a influência do tipo de parede utilizado (já que a área de parede é mais significativa quando WWR é menor). A maior economia ocorre quando empregados vidros de melhor desempenho térmico (fator solar baixo e menor transmitância térmica), o que reduz o ganho de calor no ambiente interno e também promove maior isolamento da envoltória em relação aos vidros incolor e verde, por exemplo. Em modelos com fachadas com pele de vidro, a menor transmitância térmica dos elementos da envoltória reduz o ganho de calor, mesmo com o efeito estufa na fachada. Por esse motivo, quanto mais quente o clima em que o edifício se insere e menor o WWR, maior a influência que a parede exerce no consumo final para condicionamento de ar. As maiores economias ocorrem quando WWR 30%, ficando entre 6,90 MWh (0,55%) utilizando-se vidro incolor na cidade de Curitiba e 117,93 MWh (4,79%) com vidro duplo em Recife.

4.3.3 Variação do consumo entre Fachadas tradicionais e Fachadas com pele de vidro

Neste tópico é analisado o consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar dos modelos decorrente da variação do tipo de parede externa para as duas configurações de

fachadas estudadas. Com base nessa análise, verificam-se as maiores variações de consumo para cada condição de acordo com o tipo de parede para os 4 tipos de vidro analisados e o menor e maior WWR de estudo. A variação do consumo é apresentada nos gráficos da Figura 70 à Figura 71, cujos resultados estão presentes na Tabela D. 3 do APÊNDICE D.

Com relação à cidade de Curitiba, tem-se que a economia decorrente do uso de fachadas tradicionais em relação às com pele de vidro fica entre 99,51 MWh (8,92%) para vidro laminado de controle solar, parede em *drywall* e WWR 60% e 226,82 MWh (24,52%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30%.

Dentre as cidades de climas amenos, verifica-se que Porto Alegre apresenta economia entre 101,05 MWh (7,31%) para vidro laminado de controle solar, parede em *drywall* e WWR 60% e 225,14 MWh (19,95%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30%. Em São Paulo a economia varia de 103,98 MWh (6,80%) para vidro verde, parede em *drywall* e WWR 60% e 233,27 MWh (19,66%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30%.

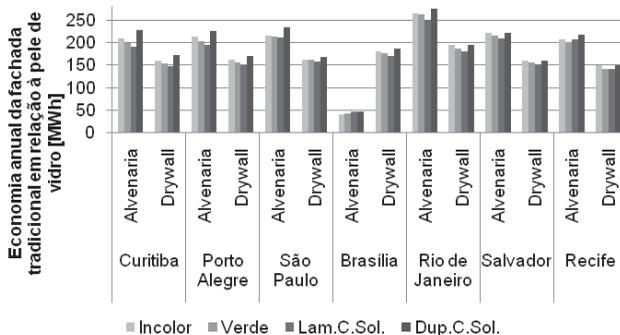


Figura 70 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 30%)

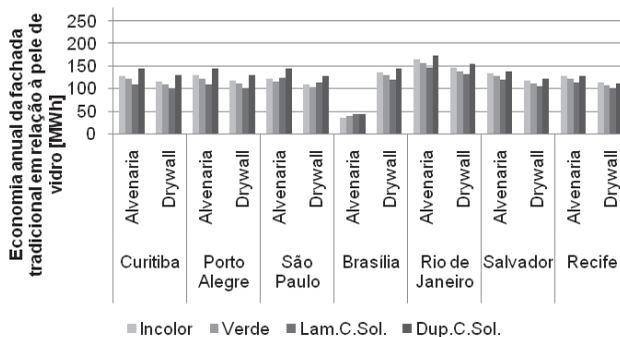


Figura 71 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando se utiliza fachada tradicional comparado à fachada com pele de vidro (WWR 60%)

Na cidade de Brasília observa-se a menor economia da fachada tradicional comparada à com pele de vidro quando se utiliza parede externa em alvenaria, ficando entre 36,41 MWh (2,05%) para vidro incolor e WWR 60% e 45,77 MWh (3,28%) para vidros de controle solar laminado e duplo, equivalente a 3,28% e 3,22% respectivamente. No caso de parede em *drywall* a variação entre fachadas com pele de vidro e tradicionais em Brasília foi de 120,57 MWh (8,65%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% até 185,42 MWh (15,11%) para vidro duplo e WWR 30%.

Na cidade do Rio de Janeiro, Salvador e Recife, a alvenaria acarreta maior variação na comparação entre as configurações de fachadas. No Rio de Janeiro o consumo varia entre 132,08 MWh (6,42%) para vidro laminado de controle solar, parede em *drywall* e WWR 60% e 273,98 MWh (14,89%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30%. Em Salvador varia entre 106,34 MWh (4,78%) para vidro laminado de controle solar, parede em *drywall* e WWR 60% e 221,77 MWh (10,19%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30%, e em Recife, a variação foi de 101,44 MWh (4,03%) para vidro laminado de controle solar, parede em *drywall* e WWR 60% a 216,85 MWh (9,65%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 60%.

Em todos os casos analisados, o desempenho de fachadas tradicionais é melhor do que o desempenho de fachadas com pele

de vidro. A economia energética decorrente da configuração de fachada tradicional em relação à com pele de vidro varia entre 36,41 MWh (2,05%) para vidro incolor, parede em alvenaria e WWR 60% em Brasília, e 273,98 MWh (14,89%) para vidro duplo, parede em alvenaria e WWR 30% no Rio de Janeiro.

Quanto maior o WWR, menor a variação do consumo, sendo que com WWR elevados a economia decorrente de fachadas tradicionais em relação às com pele de vidro apresenta valores semelhantes para os dois tipos de parede. Isso ocorre porque, quanto maior a área de abertura na fachada (WWR), menor a área de parede, reduzindo a influência das suas propriedades térmicas no consumo energético da edificação, acarretando variação semelhante do consumo.

A parede externa em *drywall* promove menor variação do consumo entre fachadas tradicionais e com pele de vidro na maioria dos casos da amostra. O maior isolamento da envoltória decorrente da menor transmitância térmica da *drywall* quando comparada à da parede em alvenaria faz com que o ambiente interno seja menos influenciado pelas variações do clima externo, bem como dificulta a passagem de calor da radiação solar incidente na fachada através da parede, reduzindo a variação do consumo.

4.4 DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DA ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O modelo base de simulação possui geometria retangular, com dimensões de 60 m de largura por 40 m de comprimento. Desta maneira, a incidência da radiação solar em cada fachada ocorre de maneira diversa, de acordo com a orientação geográfica da edificação. A Tabela 14 define os parâmetros de simulação que permanecem fixos e os que são variáveis na análise de resultados tratada neste item, apresentando-se exclusivamente os dados relativos às fachadas tradicionais para análise do comportamento dos modelos em diferentes orientações.

O consumo energético do sistema de condicionamento de ar do modelo quando variados o tipo de vidro, o WWR e a orientação para cada cidade de estudo é apresentado na Tabela B. 4 do APÊNDICE B.

Tabela 14 - Características fixas e variáveis do modelo – variação da orientação geográfica

Características fixas do modelo		Características variáveis do modelo	
Tipo de parede	Alvenaria	Orientação	0° (maiores fachadas sentido Leste-Oeste) e 90° (maiores fachadas no sentido Norte-Sul)
		Tipos de vidro	Incolor, Verde, Laminado de Controle Solar e Duplo de Controle Solar
Configuração de fachada	Tradicional	WWR	30%, 40%, 50% e 60%
		Localização	Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Salvador, Recife e Rio de Janeiro

O consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar do modelo na cidade de Curitiba, assim como nas demais cidades analisadas no presente estudo, foi menor quando o modelo está orientado a 90° (maiores fachadas no sentido Norte-Sul). Quanto maior o WWR, maior a diferença entre o consumo decorrente da orientação 0° e 90°, sendo que vidros de pior desempenho como vidro incolor e verde promovem maior variação do consumo também. Isso ocorre porque quanto maior a área de abertura e pior o vidro, maior a admissão de radiação solar através do vidro, elevando a carga de resfriamento interna e, conseqüentemente, o consumo energético do sistema de condicionamento de ar. Os vidros de controle solar (laminado e duplo) resultam em menores variações de consumo entre as orientações. A diferença ficou entre 32,43 MWh (3,51%) para vidro duplo e WWR 30% e 84,15 MWh (6,30%) para vidro incolor e WWR 60%.

A economia da orientação 90° em relação a 0° para a cidade de Porto Alegre ficou entre 37,56 MWh (3,33%) para vidro duplo e WWR 30% e 86,66 (4,14%) MWh para vidro incolor e WWR 60%.

Em São Paulo a economia foi de 26,04 MWh (2,19%) para vidro laminado de controle solar e WWR 30% até 66,34 MWh (4,14%) para vidro incolor e WWR 60%.

Na cidade de Brasília observou-se diferença de consumo entre 32,00 MWh (2,67%) para vidro duplo e WWR 30% e 76,09 MWh (4,58%) para vidro incolor e WWR 60%.

No Rio de Janeiro, a economia da orientação 90° em relação à 0° foi de 26,27 MWh (1,43%) para vidro duplo e WWR 30% a 56,29 MWh (2,39%) para vidro incolor e WWR 60%.

Em Salvador, a variação ficou entre 36,32 MWh (1,84%) para vidro duplo e WWR 30% e 81,06 MWh (3,22%) para vidro incolor e WWR 60%.

Em Recife, por fim, verificou-se economia entre 32,81 MWh (1,42%) para vidro laminado de controle solar e WWR 30% e 69,88 MWh (2,48%) para vidro incolor WWR 60%.

A variação do consumo entre as duas orientações analisadas no trabalho. Os valores de consumo relativos à orientação 90° (maiores fachadas no sentido Norte-Sul) subtraindo-se os valores relativos à orientação 0° (maiores fachadas no sentido Leste-Oeste) são apresentados dos gráficos da Figura 72 à Figura 73. Resultados positivos no eixo vertical indicam melhor desempenho da orientação 0°, enquanto que os resultados negativos indicam melhor desempenho da orientação 90°.

Em todas as condições analisadas no presente estudo, a orientação 90° (maiores fachadas orientadas no sentido Norte-Sul) acarreta menor consumo energético quando comparada à orientação 0° (maiores fachadas orientadas no sentido Leste-Oeste). Verifica-se também que, quanto maior o WWR e pior o tipo de vidro, maior a influência da orientação no desempenho energético da edificação, sendo assim, os vidros incolor e verde nas aberturas acarretam maior variação do consumo enquanto que os vidros laminado e duplo de controle solar minimizam a variação do consumo. Além disso, a variação do consumo é semelhante para as diferentes cidades analisadas. As menores variações ocorreram para WWR reduzidos (WWR 30%), entre 26,04 MWh (2,19%) em São Paulo e 37,56 MWh (3,33%) em Porto Alegre; as maiores

variações ocorrem quanto utilizados vidros de pior desempenho e WWR elevados, ficando entre 56,29 MWh (2,39%) no Rio de Janeiro e 86,66 MWh (5,26%) em Porto Alegre.

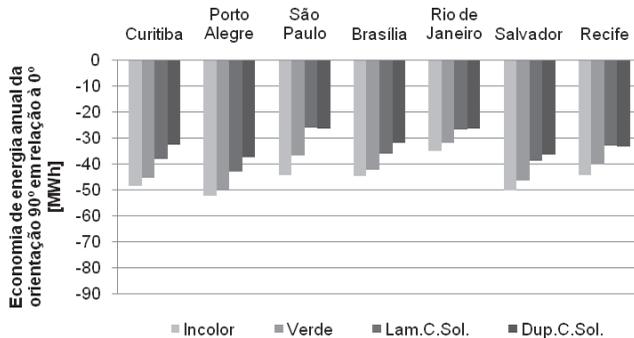


Figura 72 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando adota-se orientação 90° comparado 0° (WWR 30%)

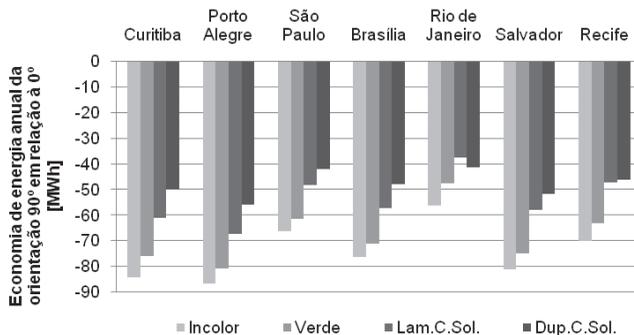


Figura 73 – Variação do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando adota-se orientação 90° comparado 0° (WWR 60%)

Conforme análise anterior, as aberturas são os elementos da fachada mais sensíveis às variações das condições bioclimáticas, justificando o aumento do consumo quando a área de janela é ampliada, já que as aberturas permitem a passagem da radiação solar (em menor ou maior proporção, dependendo das propriedades dos vidros apresentadas na Tabela 9). É mais evidente o aumento

do consumo quando utilizados vidros de pior desempenho térmico, como é o caso dos vidros incolor e verde, que permitem que grande parte da radiação solar seja transmitida diretamente através do fechamento envidraçado, aquecendo o ambiente interno.

Quando se utilizam vidros com fator solar (FS) reduzido, como os vidros de controle solar laminado e duplo, verifica-se uma menor variação do consumo entre as orientações. Isso ocorre devido às propriedades do vidro laminado de controle solar de baixo fator solar (FS) em relação aos vidros incolor e verde, o que significa que uma parcela menor da energia solar incidente no plano da abertura é transmitida para o interior da edificação (tanto a energia transmitida diretamente, quanto a absorvida pelo vidro e transmitida por convecção para o interior), reduzindo o impacto da área de abertura na fachada no aumento da carga de resfriamento interna.

4.5 DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DA APLICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO EM FACHADAS COM PELE DE VIDRO

Em fachadas com pele de vidro a aplicação de isolante térmico na viga de borda reduz a absorção de calor no fechamento opaco, podendo acarretar redução do consumo energético do sistema de condicionamento de ar. O APÊNDICE C, Tabela C. 4, contém os dados de consumo referentes às configurações com e sem a aplicação de isolante térmico nas paredes externas de fachadas com pele de vidro. Com base nos dados obtidos foram elaboradas as análises dos resultados. As características fixas e variáveis dos modelos cujos resultados são apresentados neste item estão determinadas na Tabela 15.

O consumo energético decorrente de fachadas com pele de vidro de acordo com cada tipo de vidro e WWR sem isolante foram apresentados nos gráficos da Figura 48 à Figura 51. Neste item, portanto, são apresentados os dados de economia do consumo energético de fachadas com pele de vidro com aplicação de isolante nas vigas de borda em relação àquelas fachadas com pele de vidro sem isolante, apresentados nos gráficos da Figura 74 e Figura 75.

Tabela 15 - Características fixas e variáveis do modelo – fachadas com pele de vidro com e sem a aplicação de isolamento térmico na viga de borda

Características fixas do modelo		Características variáveis do modelo	
Configuração de fachadas	Com pele de vidro (completamente revestida por vidro)	Isolante térmico (5cm)	Com e Sem isolante
		Tipos de vidro	Incolor, Verde, Laminado de Controle Solar e Duplo de Controle Solar
Orientação	0° (maiores fachadas sentido Leste-Oeste)	WWR	30%, 40%, 50% e 60%
Tipo de parede	Alvenaria	Localização	Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Salvador, Recife e Rio de Janeiro

Para a cidade de Curitiba verificou-se a menor variação do consumo quando comparados os modelos com e sem isolante, sendo que a menor economia utilizando isolante foi de 11,57 MWh (1,01%) para vidro duplo e WWR 30% e a maior foi de 24,36 MWh (2,04%) com vidro laminado de controle solar e WWR 60%.

Com relação aos climas amenos, têm-se que em Porto Alegre a economia varia entre 39,46 MWh (2,32%) para vidro incolor e WWR 60% e 47,88 MWh (3,44%) para vidro laminado de controle solar e WWR 50%. São Paulo obteve economia de 19,03 MWh (1,21%) para vidro incolor e WWR 40% a 36,25 MWh (2,51%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60%. Em Brasília a economia ficou entre 36,41 MWh (2,05%) com vidro incolor e WWR 60% e 45,78 MWh (3,28%) para vidro laminado de controle solar e WWR 30%.

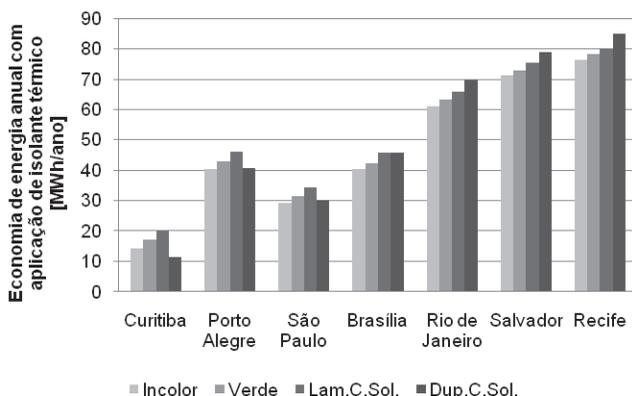


Figura 74 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando é aplicado isolante térmico em fachadas com pele de vidro (WWR 30%)

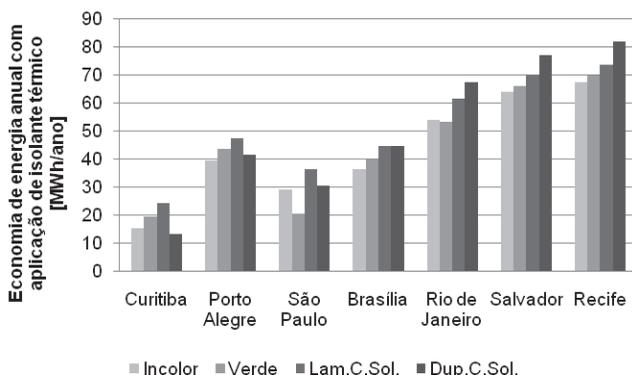


Figura 75 – Redução do consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar quando é aplicado isolante térmico em fachadas com pele de vidro (WWR 60%)

Nos climas quentes a economia é mais evidente, sendo que no Rio de Janeiro a variou entre 53,44 MWh (2,27%) para vidro verde e WWR 60% e 69,54 MWh (3,40%) para vidro duplo e WWR 30%. Em Salvador a economia fica entre 63,90 MWh (2,47%) para vidro incolor e WWR 60% e 78,79 MWh (3,72%) para vidro duplo e WWR 30%. Por fim, em Recife, a economia varia de 67,61 MWh

(2,35%) para vidro incolor e WWR 60% a 85,05 MWh (3,58%) para vidro duplo e WWR 30%.

A variação do consumo comparando-se modelos com e sem aplicação de isolante térmico nas vigas de borda de fachadas com pele de vidro indica a redução do consumo quando aplicado isolante em todos os casos analisados. A economia em relação ao modelo sem isolante com o mesmo tipo de vidro é bastante semelhante para os diferentes WWR, ou seja, aumentando-se a área de abertura na fachada e mantendo-se o mesmo tipo de vidro, a economia sofre pouca variação, sendo que em climas frios e amenos a economia até aumenta quando WWR é maior, enquanto que em climas quentes há pequena redução da economia de WWR menores para maiores. A variação pouco significativa da economia promovida pelo isolamento em diferentes WWR nas fachadas se deve ao fato de que o isolante térmico foi aplicado exclusivamente nas vigas de borda da fachada (conforme Figura 25 do capítulo de metodologia), ou seja, a área de fechamento opaco com isolante não é alterada quando se altera a área de abertura, mantendo economia relativamente constante para o mesmo tipo de vidro em diferentes WWR.

As maiores variações de consumo ocorrem em cidades de clima quente com WWR reduzidos, visto que o isolante térmico reduz o ganho de calor por condução através do fechamento opaco, conforme Figura 76, reduzindo o ganho de calor interno por convecção. Da mesma maneira, WWR menores também provocam redução do ganho de calor para o interior do ambiente, reduzindo a carga térmica interna para resfriamento. Em climas frios como Curitiba é onde ocorre a menor economia a partir do uso de isolante térmico, visto que o ganho de calor através da envoltória é menos significativo devido às temperaturas amenas ao longo do ano. São Paulo, Porto Alegre e Brasília obtêm reduções de consumo intermediárias, já que compreendem períodos de calor intenso em alguns períodos do ano.

Os tipos de vidro das aberturas com os quais a variação do consumo com e sem isolante foi maior foram os vidros de controle solar (laminado e duplo). Isso ocorre devido ao menor fator solar de vidros de controle solar, admitindo menor passagem de radiação solar através do vidro e, conseqüentemente, o isolamento térmico

tem menor influência no controle do fluxo de calor para o ambiente interno.

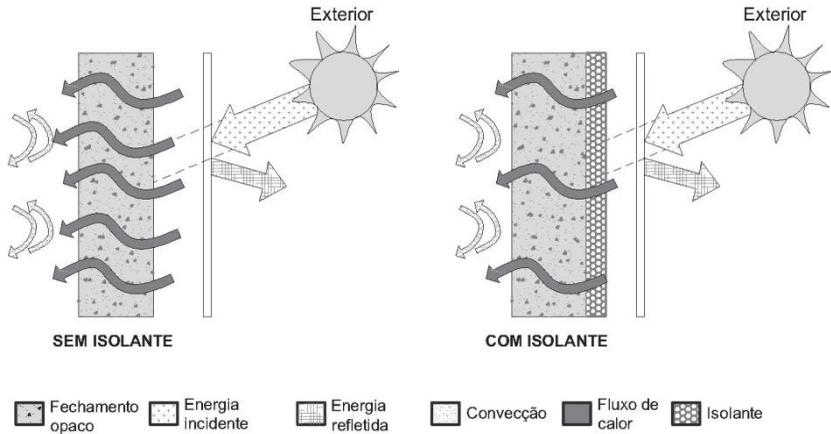


Figura 76 – Fluxo de calor através de fechamentos opacos com aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro

4.6 ANÁLISE SÍNTESE DE DESEMPENHO POR CIDADE

A presente sessão tem como objetivo reunir os principais resultados relativos ao consumo energético do sistema de condicionamento de ar dos modelos segundo cada cidade de estudo, identificando os parâmetros que geram maior variação do consumo energético para cada condição bioclimática e as configurações que promovem o melhor desempenho energético da edificação. Serão abordadas as seguintes variações dos parâmetros de estudo:

- tipos de vidros,
- percentuais de área de abertura na fachada (WWR),
- tipos de parede externa,
- orientação do modelo,
- configuração de fachadas e
- aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro

Com a finalidade de reunir os dados relativos aos melhores desempenhos de edifícios com fachadas envidraçadas, assumiram-se determinados padrões de tipos de vidro e WWR para verificação

e análise neste tópic. Os vidros escolhidos foram o laminado de controle solar e duplo também de controle solar, visto que foram os vidros que obtiveram menor consumo energético de acordo com a variação dos demais parâmetros de análise dos itens anteriores, enquanto que os vidros incolor e verde apresentaram consumo mais elevado em todos os casos analisados, mesmo em condições de WWR reduzido. Com relação ao WWR, adotaram-se os valores mínimo (WWR 30%) e máximo (WWR 60%) de área de abertura na fachada, possibilitando a verificação da variação de consumo nos dois extremos.

Para comparação dos dados obtidos alguns parâmetros básicos referenciais são mantidos fixos conforme a segunda coluna da Tabela 16 (exceto nos casos específicos em que sua variação é verificada). Da mesma maneira, quando se analisa um parâmetro isoladamente, suas características são variadas de acordo com a terceira coluna da Tabela 16, para cada cidade.

Tabela 16 - Características fixas do modelo para análise de impacto dos parâmetros

Parâmetro	Referência	Varição
Tipos de vidro	-	Laminado de Controle Solar e Duplo de Controle Solar
WWR	-	30% e 60%
Tipo de parede	Alvenaria	<i>Drywall</i>
Orientação	0° (maiores fachadas sentido Leste-Oeste)	90° (maiores fachadas sentido Norte-Sul)
Configuração de fachadas	Tradicionais	Com pele de vidro (sem isolante)
Isolante térmico em fachadas com pele de vidro	Sem isolante	Com isolante
Localização	-	Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Salvador, Recife e Rio de Janeiro

Os dados de consumo utilizados como base para a análise dos resultados desenvolvida neste item estão apresentados na Tabela E. 1 do APÊNDICE E. O consumo energético do edifício de acordo com a variação dos parâmetros em cada cidade de estudo é

apresentado nos gráficos das figuras à esquerda. Na coluna da direita, por sua vez, apresentam-se os gráficos relativos ao aumento do consumo quando elevado o WWR de 30% para 60% utilizando-se vidro laminado de controle solar e duplo de controle solar. A variação de consumo (%) é apresentada para fachadas tradicionais e orientação 0° (com paredes em alvenaria e *drywall*) e fachadas com pele de vidro, paredes em alvenaria e orientação 0° (com e sem isolante na viga de borda).

4.6.1 Curitiba

No caso da cidade de Curitiba, Figura 77, a alvenaria foi o tipo de parede que apresentou menor consumo, sendo que a diferença entre *drywall* e alvenaria ficou entre 6,64 MWh (0,60%) e 47,22 MWh (5,11%). A orientação 90° denotou menor consumo, apresentando diferença de consumo de 32,43 MWh (3,51%) a 60,94 MWh (5,49%).

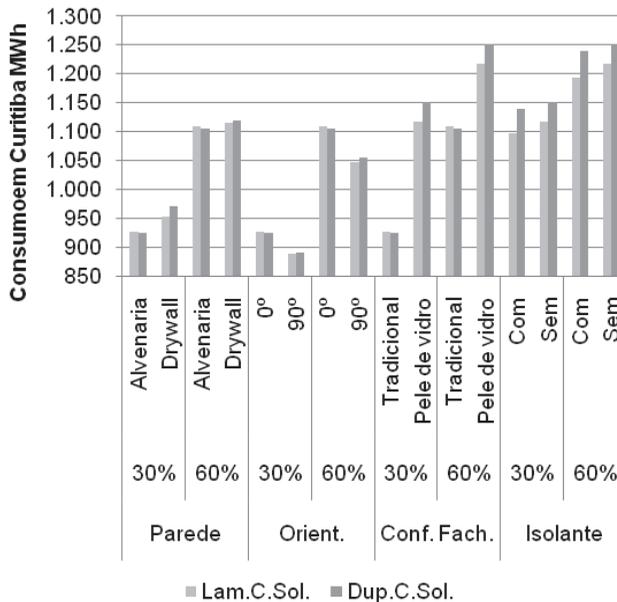


Figura 77 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Curitiba

A aplicação de isolante em fachada com pele de vidro promoveu economia de 11,57 MWh (1,01%) a 24,36 MWh (2,04%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, sendo que a fachada tradicional promove economia entre 108,90 MWh (9,82%) e 226,82 MWh (24,52%).

No que diz respeito ao vidro de melhor desempenho para cada configuração de fachada, verifica-se que o vidro laminado de controle solar obtém menor consumo quando aplicado em fachadas tradicionais, paredes externas em *drywall* e orientação 0°. Vidros duplos, por sua vez, geram menor consumo em fachadas com pele de vidro, nas quais promove a maior economia em relação ao vidro laminado, variando entre 34,04 MWh (2,79%) e 45,27 MWh (3,79%), paredes externas em alvenaria e orientação 0°.

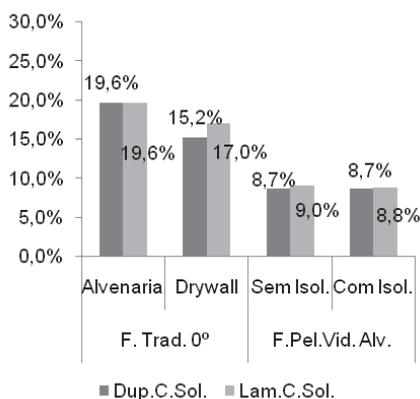


Figura 78 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Curitiba

Com relação à variação da área de abertura nas fachadas de 30 para 60% (Figura 78) há elevação do consumo do modelo em todos os casos, mas quando se dobra o WWR, o aumento do consumo chega ao máximo de 19,6% para fachada tradicional em alvenaria e orientação 0°, dentre os casos considerados nesta amostra para a cidade de Curitiba. A variação de consumo dos modelos com vidro duplo e vidro laminado de controle solar foi semelhante para todos os casos. A pequena diferença de desempenho entre os dois tipos de vidro ocorre em função do clima

da Cidade de Curitiba, onde o aumento do isolamento da envoltória em edifícios de escritórios não acarreta melhoria do desempenho energético considerável, já que dificulta a perda de calor para o ambiente externo e o ganho de calor através da envoltória não é muito elevado em climas frios.

4.6.2 Porto Alegre

Em Porto Alegre (Figura 79), o tipo de parede mais eficiente foi a alvenaria, apresentando desempenho semelhante à *drywall*. A economia utilizando-se alvenaria comparada à *drywall* varia entre 0,43 MWh (0,03%) para vidro laminado de controle solar e WWR 60% e 12,33 MWh (1,09%) para vidro duplo e WWR 30%. *Drywall* obteve consumo 3,65 MWh (0,31%) menor quando se utilizou vidro laminado de controle solar e WWR 30%. A orientação 90° denotou menor consumo, com diferença de consumo de 37,56 MWh (3,33%) a 67,13 MWh (4,86%). A aplicação de isolante nas paredes externas da fachada com pele de vidro promoveu economia de 40,66 MWh (3,10%) a 47,55 MWh (3,29%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, sendo que a fachada tradicional promove economia entre 110,50 MWh (8,00%) e 225,14 MWh (19,95%).

Com relação ao vidro que promove menor consumo em cada configuração do modelo, verifica-se que o vidro laminado de controle solar apresenta melhor desempenho apenas em fachadas com pele de vidro, com WWR 30% com isolante térmico. Nos demais casos analisados neste item, o vidro duplo de controle solar oferece o melhor desempenho energético, economizando entre 0,39 MWh (0,03%) e 65,01 MWh (4,71%) por ano quando comparado ao vidro laminado.

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) para vidro duplo e vidro laminado de controle solar na cidade de Porto Alegre é apresentado no gráfico da Figura 80. Enquanto a área envidraçada aumenta 100%, o aumento do consumo de acordo com cada parâmetro atinge até 19,4% para vidro laminado de controle solar e parede *drywall* em fachadas tradicionais. Também se pode observar que em todos os casos da amostra o vidro laminado de controle solar é o vidro mais sensível à variação do WWR, enquanto que o

vidro duplo, cuja transmitância térmica é menor, acarreta menor variação de consumo quando elevado o WWR.

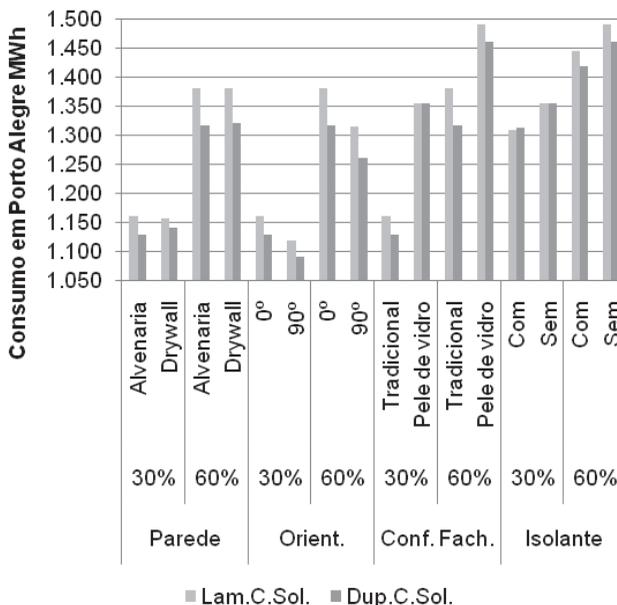


Figura 79 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Porto Alegre

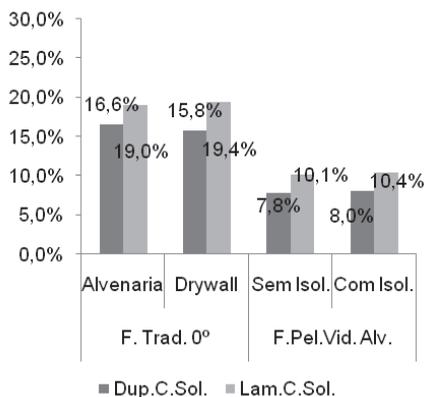


Figura 80 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Porto Alegre

4.6.3 São Paulo

Na cidade de São Paulo (Figura 81), verificou-se que a parede externa mais eficiente foi a alvenaria, com diferença em relação à *drywall* entre 3,16 MWh (0,23%) e 26,78 MWh (2,26%). A orientação 90° denotou menor consumo, com diferença de consumo de 26,04 MWh (2,19%) a 48,16 MWh (3,52%). A aplicação de isolante nas paredes externas da fachada com pele de vidro promoveu economia de 30,19 MWh (2,17%) a 36,25 MWh (2,49%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, sendo que a fachada tradicional promove economia entre 124,21 MWh (9,09%) e 233,27 MWh (19,66%).

O tipo de vidro que acarreta melhor desempenho energético do modelo na cidade de São Paulo depende de cada configuração de fachada analisada. O vidro laminado de controle solar denota menor consumo nos casos em que se emprega parede externa em *drywall* em fachadas com pele de vidro (com e sem isolante), apresentando economia entre 2,60 MWh (0,17%) e 22,63 MWh (1,66%). Nas demais configurações analisadas (orientação, parede externa em alvenaria e fachadas tradicionais) o vidro duplo de controle solar resultou em melhor desempenho térmico, variando a economia para mesmo WWR entre 3,10 MWh (0,26%) e 17,36 MWh (1,27%). Paredes em *drywall* possuem maior isolamento térmico, reduzindo o ganho de calor através das paredes por condução, que é mais elevado em edificações com fachadas com pele de vidro, devido ao efeito estufa criado na câmara de ar entre a parede e o revestimento externo de vidro. No caso de paredes tradicionais, a alvenaria, com maior transmitância térmica, permite com mais facilidade a dissipação de calor para o meio externo, reduzindo a carga de resfriamento interna e, conseqüentemente, o consumo energético.

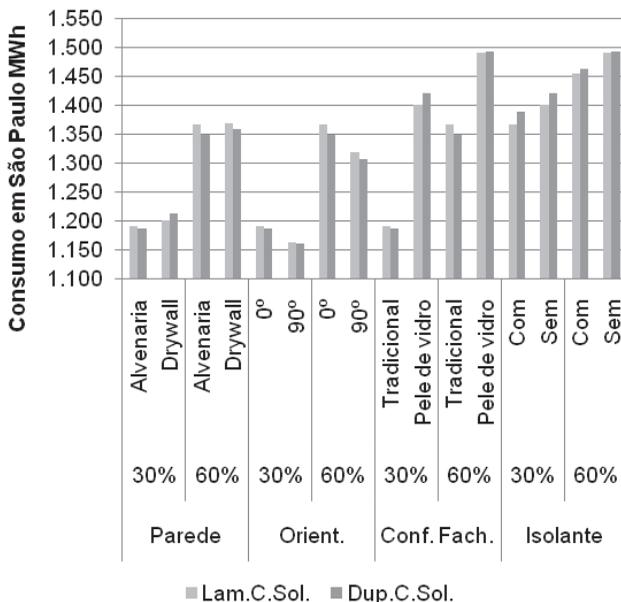


Figura 81 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros na cidade de São Paulo

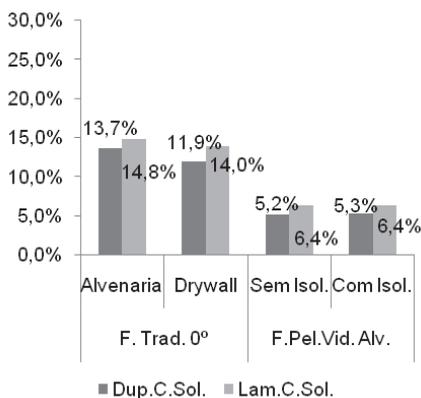


Figura 82 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% na cidade de São Paulo

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) para vidro duplo e vidro laminado de controle solar em São Paulo é apresentado no gráfico da Figura 82. Observa-se que a variação do consumo quando a área de abertura na fachada é dobrada atinge no máximo 14,8% de aumento. Verifica-se, também, que o vidro mais sensível à variação do WWR é o laminado de controle solar, apesar de acarretar desempenho bastante semelhante ao vidro duplo, visto que São Paulo possui clima ameno e já verificou-se que o desempenho relativo a vidro laminado de controle solar e duplo de controle solar é semelhante.

4.6.4 Brasília

Em Brasília (Figura 83), o desempenho de paredes em alvenaria e *drywall* é semelhante, sendo que alvenaria promove economia de 1,16 MWh (0,08%) a 26,86 MWh (2,24%). A orientação 90° denotou menor consumo, com economia entre 32,00 MWh (2,67%) e 57,27 MWh (4,11%). A aplicação de isolante nas paredes externas da fachada com pele de vidro promoveu economia de 44,52 MWh (3,00%) a 45,77 MWh (3,28%). Em Brasília a maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, obtendo economia entre 136,22 MWh (9,78%) e 265,22 MWh (22,10%) quando utilizada fachada tradicional (sem pele de vidro).

O vidro que acarreta menor consumo quando se utiliza parede externa em alvenaria, em modelos orientados a 0° e fachadas tradicionais é o vidro duplo de controle solar, já que este fechamento possui transmitância térmica menor, favorecendo o isolamento da envoltória e, conseqüentemente, reduzindo o ganho de calor através das aberturas.

Em fachadas tradicionais o vidro duplo de controle solar gera economia em relação ao laminado de até 7,72 MWh (0,55%), enquanto que em fachadas com pele de vidro o laminado acarreta melhor desempenho energético, com consumo 23,41 MWh (1,68%) menor que o modelo com vidro duplo.

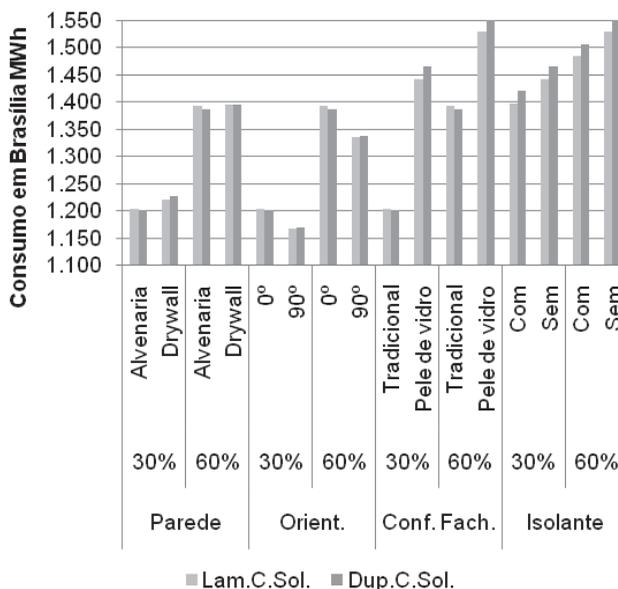


Figura 83 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Brasília

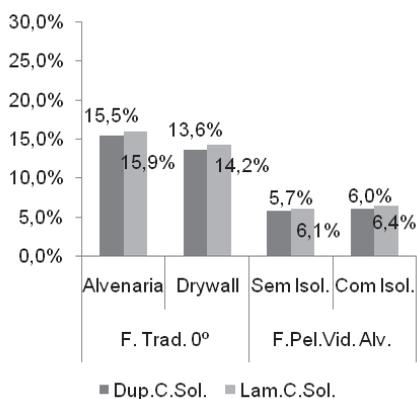


Figura 84 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Brasília

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) para vidro duplo

e vidro laminado de controle solar é apresentado no gráfico da Figura 84. Verifica-se que as maiores variações de consumo quando elevado o WWR ocorrem para fachada tradicional, tanto com paredes em alvenaria quanto em *drywall*, atingindo até 15,9% de aumento do consumo. Em fachadas com pele de vidro, por outro lado, a variação do consumo é menor, atingindo até 6,4% no modelo do edifício com isolante.

4.6.5 Rio de Janeiro

No Rio de Janeiro, Figura 85, o desempenho da alvenaria e *drywall* é semelhante, sendo que *drywall* promove economia de 1,61 MWh (0,08%) a 17,76 MWh (0,95%). A orientação 90° denotou menor consumo, com diferença de consumo de 26,27 MWh (1,43%) a 41,25 MWh (2,05%). A aplicação de isolante nas paredes externas de fachadas com pele de vidro acarretou economia de 61,53 MWh (2,87%) a 69,54 MWh (3,40%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, sendo que a fachada tradicional promove economia entre 147,49 MWh (7,17%) e 273,98 MWh (14,89%).

Verifica-se, conforme analisado anteriormente, que o vidro de melhor desempenho em climas quentes é o vidro duplo, visto que promove melhor isolamento da abertura, reduz o ganho de calor para o ambiente interno e a carga térmica de resfriamento. A economia do vidro duplo em relação ao laminado utilizando-se o mesmo WWR variou entre 2,25 MWh (0,25%) e 46,72 MWh (2,27%).

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) para vidro duplo e vidro laminado de controle solar é apresentado no gráfico da Figura 86. Por se tratar de um clima quente, da mesma maneira que ocorre em Salvador e Recife, o aumento do consumo em relação à duplicação da área de janela é menos evidente, devido à elevada carga de resfriamento do modelo localizado na cidade do Rio de Janeiro. Verifica-se, apesar disso, que o aumento do consumo é significativamente menor do que o aumento do WWR, ficando entre 3,4% e 11,0%. As maiores variações ocorrem quando empregado o vidro laminado de controle solar nas aberturas, com maior

transmitância térmica, facilitando o ganho de calor e elevando a carga interna de resfriamento.

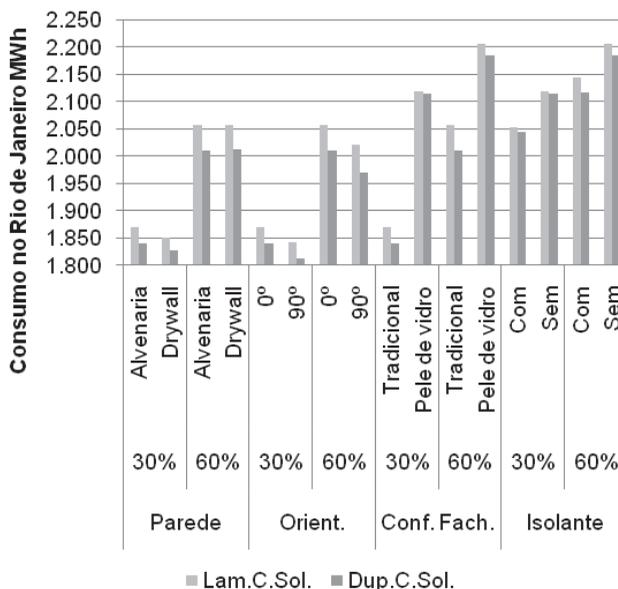


Figura 85 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros na cidade do Rio de Janeiro

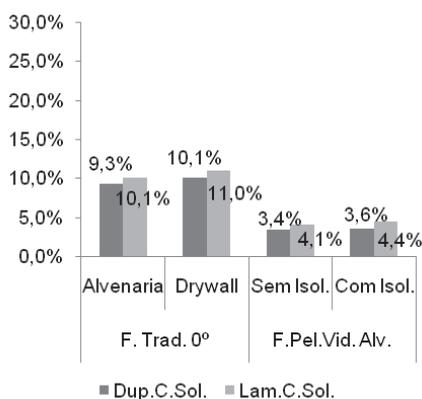


Figura 86 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% na cidade do Rio de Janeiro

4.6.6 Salvador

Em Salvador (Figura 87) *drywall* gera menor consumo, promovendo economia de 5,88 MWh (0,26%) a 34,90 MWh (1,77%). A orientação 90° denotou menor consumo, com economia de 36,32 MWh (1,84%) a 57,93 MWh (2,60%). A aplicação de isolante nas paredes externas da fachada com pele de vidro promoveu economia entre 70,08 MWh (3,07%) e 78,79 MWh (3,72%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachada, sendo que a fachada tradicional gera economia entre 120,31 MWh (5,39%) e 221,72 MWh (11,23%).

Assim como no Rio de Janeiro, o vidro de melhor desempenho é o duplo de controle solar, gerando economia em relação ao laminado com base no mesmo WWR entre 35,10 MWh (1,57%) e 94,48 MWh (4,25%).

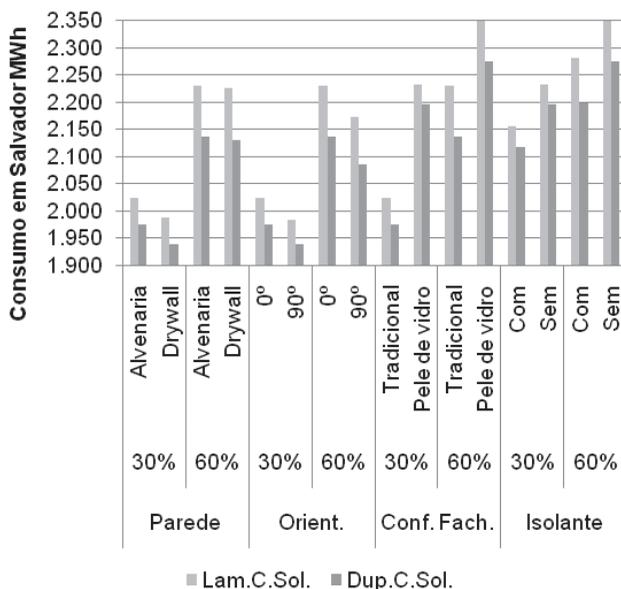


Figura 87 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Salvador

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) para vidro duplo e vidro laminado de controle solar é apresentado na Figura 88. Da mesma maneira que no Rio de Janeiro, Salvador apresenta a proporção do aumento do consumo em relação à duplicação do WWR menor, de 3,6% a 11,9%, variando mais quando o modelo utiliza vidro laminado de controle solar. Isto ocorre visto que o vidro de melhor desempenho em Salvador é o duplo, garantindo maior isolamento das aberturas e reduzindo o ganho de calor para o interior do edifício.

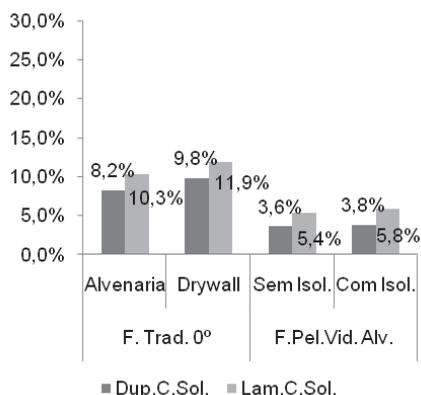


Figura 88 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Salvador

4.6.7 Recife

Segundo os dados de consumo energético dos modelos em Recife (Figura 89), o melhor desempenho de fechamento opaco se deve à *drywall*, promovendo economia de 8,62 MWh (0,34%) a 50,09 MWh (2,23%). A orientação 90° gera menor consumo, com economia de 32,82 MWh (1,42%) a 47,39 MWh (1,88%). A aplicação de isolante nas paredes externas da fachada com pele de vidro promoveu economia de 73,85 MWh (2,88%) a 85,05 MWh (3,58%). A maior variação do consumo foi relativa à configuração de fachadas, sendo que a fachada tradicional promove economia entre 114,35 MWh (4,53%) e 216,85 MWh (9,65%).

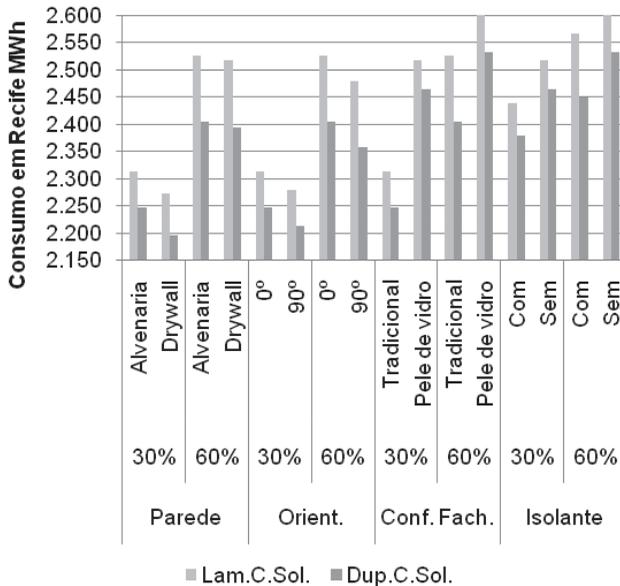


Figura 89 - Consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar relativo a diversos parâmetros em Recife

O vidro de melhor desempenho em Recife foi o duplo de controle solar, apresentando economia em relação ao laminado, mantendo-se WWR fixo, entre 65,25 MWh (2,82%) e 122,35 MWh (4,86%). A variação do consumo em Recife é maior do que no Rio de Janeiro e em Salvador, devido às temperaturas mais elevadas ao longo do ano quando comparadas às demais cidades, sendo mais evidente a importância do isolamento térmico da envoltória na redução do ganho de calor da edificação.

O aumento do consumo do modelo em porcentagem quando o WWR aumenta 100% (WWR 30% para WWR 60%) são apresentados na Figura 90, elevando o consumo de 2,7% a 10,8% em Recife. Verifica-se que as maiores variações ocorrem quando o modelo utiliza vidro laminado de controle solar, enquanto que o vidro duplo de controle solar garante melhor isolamento das aberturas e reduz o ganho de calor para o ambiente interno.

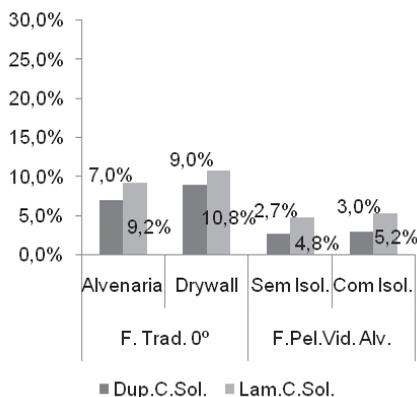


Figura 90 – Aumento percentual do consumo quando WWR passa de 30 para 60% em Recife

4.6.8 Considerações sobre a variação do consumo para os diferentes parâmetros

O tipo de configuração de fachada gerou a maior variação do consumo entre os modelos, com valores semelhantes de aumento do consumo de fachadas com pele de vidro em relação às fachadas tradicionais (sem pele de vidro) para todas as cidades de estudo. Isso ocorre porque o tipo de vidro do revestimento externo da fachada não é alterado nos modelos de simulação, assim, o comportamento térmico deste revestimento em relação à radiação é semelhante, criando um efeito estufa na câmara de ar entre a parede e o vidro que, por sua vez, aquece o fechamento opaco da fachada, conduzindo calor para o interior do edifício e elevando a carga térmica para resfriamento.

Com relação à alteração do tipo de parede externa, orientação e aplicação de isolante na viga de borda de fachadas com pele de vidro promovem variação semelhante do consumo energético do sistema de condicionamento de ar do modelo em climas frios e medianos (Curitiba, Porto Alegre, São Paulo e Brasília), nos quais a temperatura exterior mais baixa do que a interior faz com que o fluxo de calor ocorra do interior para o exterior do edifício. Assim, paredes com menor isolamento térmico perdem calor com mais facilidade, reduzindo o consumo para resfriamento.

Em climas quentes (Rio de Janeiro, Salvador e Recife), o parâmetro que gera maior variação de consumo energético (depois do tipo de configuração de fachada) é a aplicação de isolante térmico em fachadas com pele de vidro, seguido pela orientação e, por último, o tipo de parede, que acarreta a menor variação. Isso ocorre porque em climas muito quentes a fachada com pele de vidro aumenta o ganho de calor através da envoltória, assim como as maiores fachadas orientadas a Leste Oeste aumentam a incidência de radiação solar direta nas fachadas, elevando a carga térmica interna. É nestes climas, também, que a aplicação de isolante térmico em fachadas com pele de vidro acarreta maior economia, já que, conforme afirmado anteriormente, edifícios em locais com temperaturas muito elevadas são favorecidos pelo maior isolamento da envoltória, reduzindo o ganho de calor através da mesma.

Em todas as cidades analisadas as menores variações percentuais ocorrem para modelos com configuração de fachada com pele de vidro, visto que o consumo total do sistema de condicionamento de ar desses modelos é mais elevado do que em modelos com fachadas tradicionais (devido ao efeito estufa da câmara de ar) e, dessa forma, a diferença de consumo em porcentagem acaba sendo diluída no consumo total.

O aumento do consumo dobrando-se a área de abertura na fachada é mais evidente em climas frios e amenos (Curitiba, Porto Alegre, São Paulo e Brasília), enquanto que em climas quentes (Rio de Janeiro, Salvador e Recife), a variação do consumo em porcentagem é menor, tanto em fachadas tradicionais quanto com pele de vidro, sendo diluída no maior consumo energético do sistema de condicionamento de ar decorrente da elevada carga de resfriamento em climas com temperaturas elevadas ao longo do ano. Além disso, em climas quentes o vidro duplo de controle solar acarreta menor elevação do consumo, já que garante melhor isolamento da abertura.

Em climas amenos, modelos orientados a 90° (com as maiores fachadas para Norte e Sul) são favorecidos por vidros com maior transmitância térmica, que permitem a dissipação do calor interno para o ambiente externo com maior facilidade se comparado ao vidro duplo, reduzindo a carga de resfriamento.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo contém as conclusões do trabalho relativas ao desempenho térmico de fachadas envidraçadas de um edifício de escritórios condicionado artificialmente em sete cidades brasileiras. A avaliação de desempenho é pautada no consumo energético anual do sistema de condicionamento de ar decorrente da variação de diversos parâmetros relativos aos materiais de revestimento e configurações de fachadas no modelo de simulação, aplicando-se exclusivamente ao edifício de estudo e suas especificações.

De acordo com os resultados obtidos, apresentam-se as conclusões do presente estudo, de acordo com os parâmetros de análise definidos na metodologia para cada configuração de fachada: tipo de vidro e WWR nas fachadas, tipo de parede externa, orientação e aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro.

Verificam-se as conclusões gerais do trabalho, com base nos resultados analisados, destacando-se que o modelo com fachada com pele de vidro consome mais energia para condicionamento de ar do que o modelo com fachadas tradicionais (sem pele de vidro de revestimento), especialmente quando a área envidraçada é menor, sendo este o parâmetro que acarretou maior variação de consumo em todos os casos analisados. Além disso, como era esperado, os vidros que promoveram melhor desempenho foram os vidros de controle solar (fator solar reduzido), visto que reduzem o ganho de calor por radiação solar direta através da abertura. O vidro laminado de controle solar obteve melhor desempenho em climas com temperaturas amenas, enquanto que em climas com temperaturas elevadas ao longo do ano os vidros duplos de controle solar acarretaram redução do consumo, devido à menor transmitância térmica que diminui o ganho de calor por condução através da abertura. No que diz respeito à área envidraçada na fachada (WWR), verificou-se que na maioria dos casos analisados a utilização de um vidro de controle solar permite que se assumam WWR mais elevados (50% ou 60%) garantindo consumo semelhante ao decorrente de modelos com vidro de pior desempenho térmico (fator solar mais elevado, como incolor e verde) e área envidraçada reduzida (30 ou 40%), evidenciando a importância da especificação correta do tipo de vidro empregado nas aberturas.

Com relação ao tipo de fechamento opaco na fachada, verificou-se que, assim como no caso dos vidros, climas amenos apresentam melhor desempenho energético com paredes menos isoladas (alvenaria), permitindo que o calor interno se dissipe através da mesma para o ambiente externo quando a temperatura externa for menor que a interna. Em climas quentes, por outro lado, paredes com maior isolamento térmico (*drywall*) promovem menor consumo, reduzindo o ganho de calor por condução do exterior mais aquecido para o interior menos aquecido.

Verificou-se, também, o melhor desempenho energético de modelos cujas maiores fachadas são orientadas no sentido Norte e Sul, reduzindo a radiação solar incidente nestas fachadas. A economia em relação à orientação Leste e Oeste é mais evidente quando a área envidraçada (WWR) é maior, devido à parcela da radiação solar transmitida diretamente através do vidro, que eleva a carga térmica interna.

No caso de fachadas com pele de vidro, analisou-se a aplicação de isolante térmico na viga de borda que, dentre as variáveis relativas à esta configuração de fachada, foi o parâmetro mais influente no consumo energético da edificação, apresentando economias maiores em climas quentes, reduzindo o ganho de calor por condução para o interior da edificação.

Como elemento final do capítulo, apresenta-se as considerações finais do trabalho, identificando suas delimitações (recortes da pesquisa), limitações e apresentando sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES QUANTO AO TIPO DE VIDRO E WWR NAS FACHADAS

Neste item do capítulo de conclusões são apresentadas as conclusões relativas à análise dos resultados de consumo energético dos modelos com fachadas tradicionais e fachadas com pele de vidro de acordo com a variação do tipo de vidro e WWR.

5.1.1 Fachadas tradicionais

Quanto ao tipo de vidro nas fachadas, verifica-se, como era esperado, que os modelos que acarretam menor consumo energético utilizam vidros de controle solar (laminado ou duplo com câmara de ar). Em clima frio, como Curitiba, e ameno, como Porto Alegre, São Paulo e Brasília, o vidro laminado de controle solar obtém melhor desempenho em comparação ao vidro duplo e, em determinadas configurações, apresenta desempenho muito semelhante ao vidro duplo. Sendo assim, para climas amenos, o vidro laminado de controle solar é mais adequado de acordo com a amostra analisada, não sendo justificada a utilização de vidros duplos quando objetiva-se redução significativa do consumo. O melhor desempenho do vidro laminado de controle solar em climas amenos se deve principalmente ao menor isolamento conferido às aberturas, facilitando a dissipação de parte da carga térmica interna através da fachada quando a temperatura externa é menor do que a temperatura interna (24°C) e, conseqüentemente, reduz o consumo energético do sistema de condicionamento de ar.

No caso de climas quentes, como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, o vidro duplo de controle solar configura o fechamento envidraçado de melhor desempenho nas aberturas, visto que, em climas com temperaturas elevadas ao longo do ano, o maior isolamento da abertura reduz o ganho de calor do exterior para o interior do edifício.

Com relação ao percentual de área de abertura nas fachadas (WWR), quanto maior o WWR, maior o consumo energético. Contudo, o aumento do consumo não é proporcional em relação ao aumento do WWR, sendo que o aumento do consumo para vidros de controle solar quando WWR aumenta 100% atinge no máximo 19,6% de acréscimo no consumo energético. Verifica-se também que, quando utilizado um vidro de melhor desempenho termoenergético, o consumo de WWR maiores (50 a 60%) se equivale ao consumo de edifícios com WWR menores (30 a 40%) que utilizam vidros de pior desempenho (FS elevado), como vidro verde.

5.1.2 Fachadas com pele de vidro

Identificou-se neste trabalho que a aplicação de revestimento envidraçado ou pele de vidro nas fachadas de edifícios eleva o consumo energético do sistema de condicionamento de ar para todas as condições analisadas na amostra, atingindo até 24,5% de aumento do consumo em relação às fachadas tradicionais. O aumento do consumo em relação à configuração de fachada tradicional ocorre principalmente devido ao efeito estufa criado na câmara de ar criada entre a parede externa da fachada (viga de borda e peitoril) e o revestimento envidraçado externo. A radiação solar passa através do vidro, incide na parede externa, aquecendo-o, e parte da radiação é refletida, aquecendo a câmara de ar. Isso faz com que parte do calor seja conduzido através da parede externa, aquecendo o ambiente interno por convecção e aumentando a carga térmica de resfriamento; por outro lado, a câmara de ar entre a parede e o revestimento envidraçado também acarreta um maior isolamento térmico da envoltória, dificultando a dissipação do calor interno através dela, e por isso, a carga interna de resfriamento é maior, elevando o consumo do sistema de condicionamento de ar.

Em fachadas com pele de vidro verificou-se que, assim como em fachadas tradicionais, os vidros que promovem menor consumo são os de controle solar laminado e duplo. O vidro laminado é mais eficiente em climas amenos e no clima frio de Curitiba, enquanto que o vidro duplo denota menor consumo quando aplicado em cidades de climas quentes, garantindo maior isolamento da abertura e reduzindo o ganho de calor do ambiente externo para o interno.

Quando se eleva o WWR, o consumo energético também se eleva. Contudo, para os vidros laminado e duplo de controle solar o aumento do consumo é menor do que quando se utiliza vidro incolor ou verde. Em Curitiba, aumentando-se o WWR de 30 para 60% verificou-se o maior aumento percentual do consumo, entre 8,7% com uso de vidro duplo de controle solar e 16,6% com uso de vidro incolor. Recife, devido às temperaturas bastante elevadas ao longo do ano, apresenta consumo do sistema de condicionamento de ar maior e, desta forma, o aumento percentual do consumo quando dobrada a área de abertura na fachada é menor, entre 2,7% com

aplicação de vidro duplo de controle solar e 9,9% com aplicação de vidro incolor.

Para todos os casos analisados na amostra relativa ao presente trabalho, o desempenho energético de edifícios com fachadas tradicionais foi melhor do que edifícios com fachadas com pele de vidro. A diferença de consumo entre fachadas tradicionais e com pele de vidro reduz quando a área de abertura na fachada aumenta, visto que o consumo decorrente de fachadas com WWR elevado é naturalmente maior, sofrendo menor variação quando a fachada recebe revestimento externo de vidro.

A maior diferença ocorre no Rio de Janeiro utilizando-se vidro duplo de controle solar, quando a fachada com pele de vidro consome 14,89% a mais que a tradicional; a menor diferença ocorre em Curitiba com uso de vidro laminado de controle solar, elevando o consumo de energia em 9,82% em relação à fachada tradicional.

5.2 CONCLUSÕES QUANTO AO TIPO DE PAREDE EXTERNA

Neste item são apresentadas as conclusões relativas à análise dos resultados de consumo energético dos modelos com fachadas tradicionais e fachadas com pele de vidro de acordo com a variação do tipo de parede externa.

5.2.1 Fachadas tradicionais

De acordo com a análise dos resultados da amostra de dados da pesquisa, verifica-se que em climas frios e amenos a parede em alvenaria promove menor consumo energético, enquanto que em climas quentes a parede em *drywall* obtém o melhor desempenho. Isso ocorre devido às características de cada tipo de parede combinadas ao clima em que o edifício se insere, visto que, em climas quentes, paredes externas com menor transmitância térmica (neste caso, *drywall*) oferecem maior isolamento da envoltória e, da mesma forma que o vidro duplo com câmara de ar analisado anteriormente, dificulta o ganho de calor do ambiente externo para o interno através da envoltória, reduzindo a carga térmica interna para resfriamento. Comparando-se a parede *drywall* à alvenaria, obteve-

se a maior economia em Recife com WWR 30%, equivalente a 50,1 MWh (2,23%).

Em climas frios e amenos, por outro lado, a parede em alvenaria acarreta o menor consumo energético, visto que em edifícios de escritórios a carga térmica interna de pessoas, equipamentos e iluminação é alta, e a temperatura externa permanece amena em grande parte do ano. Assim, a parede com maior transmitância térmica (alvenaria) facilita a perda de calor através da envoltória, reduzindo a carga térmica interna de resfriamento. A maior economia relativa à utilização de parede em alvenaria ocorreu para a cidade de Curitiba e WWR 30%, 47,2 MWh (5,11%).

Percebe-se que, quanto maior a área de abertura na fachada, menor a influência do tipo de parede externa, visto que a área de fechamento opaco é reduzida à medida que se aumenta a área de janelas.

5.2.2 Fachadas com pele de vidro

Com relação às paredes externas em fachadas com pele de vidro, verificou-se que para os diferentes climas, vidros e WWR analisados, a parede que promove melhor desempenho energético é a *drywall*. Fachadas com pele de vidro criam uma câmara de ar entre a parede e o revestimento externo, onde acontece o efeito estufa decorrente da radiação solar incidente no plano da parede. O aquecimento da parede e também da câmara de ar é transmitido em menor ou maior proporção ao interior da edificação, aumentando a carga térmica interna. No caso da parede em *drywall*, cuja transmitância térmica é menor do que a alvenaria, o fluxo de calor encontra maior dificuldade de passar para o interior, fazendo com que o consumo decorrente do uso de *drywall* seja menor.

A economia é maior quando WWR é menor, visto que a área de parede é inversamente proporcional à área de janela na fachada. Verifica-se, também, que quanto mais quente o clima em que o edifício se insere, melhores os resultados da economia decorrente da *drywall* como parede externa. Desta maneira, a maior economia da parede em *drywall* em relação à alvenaria de acordo com a

amostra ocorre em Recife, com área de abertura 30%, atingindo 117,9 MWh (4,79%) de redução do consumo.

Fachadas com pele de vidro consomem mais do que fachadas tradicionais tanto quando utilizadas paredes em alvenaria, quanto paredes em *drywall*. Quanto maior o WWR e menor a área de parede na fachada, menor a variação do consumo entre fachadas com pele de vidro e tradicionais.

5.3 CONCLUSÕES QUANTO À ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Neste item são apresentadas as conclusões relativas à análise dos resultados de consumo energético dos modelos com fachadas tradicionais de acordo com a variação da orientação da edificação. A orientação que acarreta menor consumo energético dos modelos em todas as condições bioclimáticas analisadas é a 90°, cujas maiores fachadas estão orientadas a Norte e Sul, sendo que, quanto maior o WWR, maior a variação do consumo de uma orientação para a outra. Isso ocorre porque as janelas configuram o elemento das fachadas mais sensível às condições externas, visto que possui uma parcela da radiação transmitida diretamente através do vidro, o que não ocorre com fechamentos opacos. Assim, quando as maiores fachadas estão orientadas no sentido Leste-Oeste, a incidência da radiação solar nas maiores fachadas no período da manhã na fachada Leste aquece o ambiente, necessitando de resfriamento em uma grande área da edificação; enquanto isso, as demais fachadas não recebem insolação, dissipando calor interno para o meio externo; o mesmo ocorre à tarde, quando a fachada orientada a Oeste recebe insolação, aumentando a carga térmica interna de resfriamento, enquanto que as outras fachadas perdem calor para o exterior. A maior variação de consumo ocorreu na cidade de Porto Alegre, utilizando-se vidro incolor e WWR 60%, com consumo 86,7 MWh (5,37%) maior quando as maiores fachadas estão orientadas no sentido Leste-Oeste (0°).

Quando o edifício tem suas maiores fachadas orientadas a Norte e Sul, verifica-se redução do consumo energético, devido à menor área de fachada recebendo radiação de manhã e à tarde e,

consequentemente, reduzindo a carga de resfriamento. Adicionalmente, modelos com as maiores fachadas orientadas a Norte e Sul reduzem consideravelmente à incidência de radiação solar nas fachadas, principalmente na fachada Sul, reduzindo a carga térmica do edifício.

5.4 CONCLUSÕES QUANTO À APLICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO EM FACHADAS COM PELE DE VIDRO

Com base na análise dos dados, verifica-se que a aplicação de isolante em fachadas com pele de vidro gera economia no consumo energético do edifício, sendo que quanto menor o WWR, maior a economia obtida. Além disso, a maior redução do consumo de modelos com isolante térmico comparados aos modelos sem isolante é observada em cidades de climas quentes, devido às elevadas temperaturas externas ao longo do ano. A cidade de Recife apresentou a maior economia utilizando-se isolamento térmico na viga de borda, atingindo 85,0 MWh (3,58%) em fachadas com WWR 30%. Isso ocorre porque, assim como no caso de vidros e paredes já analisados, o isolamento térmico promovido por elementos com transmitâncias térmicas menores reduz o ganho de calor do meio externo para o interior do edifício, reduzindo o consumo energético do sistema de condicionamento de ar. Em climas frios e amenos, em que o ganho de calor do ambiente externo não é tão importante, a aplicação de isolante térmico acaba não reduzindo tanto o ganho de calor e o consumo energético para condicionamento de ar.

5.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho apresenta algumas delimitações, de acordo com o recorte de pesquisa definido previamente, sabendo-se que a variação destes parâmetros pode impactar significativamente no consumo energético do modelo de simulação quando considerados valores diferentes dos assumidos no presente trabalho. As principais delimitações do recorte de pesquisa são:

- a) utilização de fachadas aguais (mesmo tipo de vidro, WWR e parede) sem sombreamento externo;

- b) utilização de iluminação artificial sem integração com a iluminação natural;
- c) o isolamento apenas da viga de borda na fachada do edifício;
- d) adoção de temperatura interna padrão igual para diferentes climas;
- e) adoção de absorvância da parede externa invariável (0,5);
- f) simulação do edifício como um todo para análise do consumo total anual, sem verificação do consumo por zonas térmicas internas;

5.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho apresenta algumas limitações, conforme segue:

- a) optou-se por avaliar um edifício condicionado artificialmente, não sendo considerada a utilização de ventilação natural do edifício combinada ao sistema de condicionamento artificial;
- b) analisou-se exclusivamente um tipo de sistema de condicionamento de ar;
- c) foram assumidas cargas internas padrão, que dependendo do uso de escritórios podem ser maiores ou menores e acarretar mudanças significativas nos resultados;
- d) a configuração do modelo com fachadas com pele de vidro utiliza apenas um tipo de vidro de revestimento externo;
- e) analisou-se apenas sete cidades brasileiras, não contemplando todas as zonas bioclimáticas classificadas na NBR 15220.

5.7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de complementar e aprofundar este trabalho, sugerem-se alguns estudos para trabalhos a serem realizados:

- a) analisar diferentes padrões de uso e ocupação de edifícios, visto que a carga interna de resfriamento interfere no desempenho energético do edifício e nas melhores configurações de envoltória;

- b) analisar outras cidades brasileiras, especialmente as zonas bioclimáticas brasileiras que não foram contempladas neste estudo;
- c) analisar outros tipos de vidro nas aberturas;
- d) analisar variações intermediárias de orientação, identificando a influência da incidência da radiação solar nas fachadas orientadas a noroeste, nordeste, sudoeste e sudeste;
- e) analisar o desempenho térmico de edifícios utilizando outros sistemas de condicionamento de ar, visto que o consumo varia de acordo com cada sistema específico;
- f) analisar a influência da integração do sistema de iluminação artificial com o aproveitamento da iluminação natural proveniente de fachadas com grandes áreas envidraçadas;
- g) verificar o desempenho de outros tipos de revestimento envidraçado nas fachadas;
- h) repetir o estudo para outras tipologias, variando-se geometria, dimensões, número de pavimentos e configuração do pavimento-tipo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVIDRO (2010). **Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro**. Disponível em: <www.abividro.org.br>. Acesso em: 12 abr. 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 90.1**: Energy Standards for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. SI Edition ed. Atlanta, Georgia: ASHRAE, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Handbook of Fundamentals**. USA: ASHRAE, 2009.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 8 dez. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16023**: Vidros revestidos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Uso de vidro duplo e vidro laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. ENTAC. **Anais...Juiz de Fora**, MG, 2012

BOUDEN, C. Influence of glass curtain walls on the building thermal energy consumption under Tunisian climatic conditions: The case of administrative buildings. **Renewable Energy**, v. 32, n. 1, p. 141–156, jan. 2007.

BURATTI, C. et al. Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. **Building and Environment**, v. 59, p. 482–491, jan. 2012.

CARAM, R. M. A. **Estudo e caracterização de fachadas transparentes para uso na arquitetura: ênfase na eficiência energética**. Tese (Livre docência). Escola de engenharia de São Carlos, 2002.

CARDOSO, A. B. **Esquadrias de Alumínio no Brasil**. ProEditores, 2004.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 11, p. 2002–2008, jan. 2008.

CARVALHO, M. M. Q.; LA ROVERE, E. L.; GONÇALVES, A. C. M. Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 3199–3205, dez. 2010.

CHVATAL, K. M. S.; CORVACHO, M. H.; MALDONADO, E. A. B. Analysis of envelope thermal behaviour through parametric studies. **Building Simulation**, n. Eighth International IBPSA Conference, p. 195–202, 2003.

CHVATAL, K. M. S.; MALDONADO, E. A. B.; CORVACHO, M. H. P. The impact of envelope insulation and ventilation on summer performance. **Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment**, n. May, p. 823–828, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional - BEN**. Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: 8 jun. 2013.

FANAVID. **Vidro Laminado de Controle Solar**. Disponível em: <<http://www.fanavid.com/images/pdfs/fanavid-vidros-controle-solar.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

FENG, Y. Research of environment-friendly low emissivity glass. **Journal of Wuhan University of Technology-Mater**, v. 22, n. 2, p. 385–387, jun. 2007.

GRATIA, E.; DE HERDE, A. Greenhouse effect in double-skin facade. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 2, p. 199–211, fev. 2007.

GUARDIAN. **Manual Técnico: Build with light**. Disponível em: <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamerica/documents/web_assets/gi_002781.pdf>.

IEA. **International Energy Agency**. Disponível em: <www.iea.org>. Acesso em: 12 mar. 2013.

LABEEE. **Arquivo Climático (formato EPW)**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 5 jul. 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura. Ilustrações de Luciano Dutra**. São Paulo, SP: Ed. PW Editores, 2004.

MARCONDES, M.; ALUCCI, M.; GONÇALVES, J. Façades and office buildings in São Paulo (Brazil): aiming for thermal comfort and natural ventilation. 7^a Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world. **Anais...**Londres, Reino Unido: 2012. Disponível em: <<http://nceub.org.uk>>

MARCONDES, M. P. **Double-Skin façades in high-rise office buildings in São Paulo. A possible environmental efficient solution**. Dissertação (Mestrado). Environment And Energy Studies Programme, Graduate School MA Environment & Energy Studies. London, 2004.

MARCONDES, M. P. **Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo**. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Área de

concentração: Tecnologia da Arquitetura. Universidade de São Paulo, 2010.

MARQUES DA SILVA, F.; GLÓRIA GOMES, M. Gap inner pressures in multi-storey double skin facades. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 8, p. 1553–1559, jan. 2008.

MCQUISTON, F. C.; SPITLER, J. D. Cooling and Heating Load Calculation Manual. In: **American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. 2. ed. 1992.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Envelope insulation and heat balance in commercial buildings. **Building Simulation**, p. 2243–2250, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório de Atividades do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEEMME**. Brasília. MME, 2011. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 5 maio. 2013

MOTTA, S. R. F. Análise da influência do vidro das janelas sobre o consumo energético das edificações. ENCAC. **Anais...Ouro Preto, MG**, 2007

NEVEEN, H. Double versus single skin facades in hot arid areas. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 240–248, jan. 2008.

NOH-PAT, F. et al. Thermal analysis for a double glazing unit with and without a solar control film (SnS–CuxS) for using in hot climates. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2-3, p. 704–712, fev. 2011.

OLGAY, V. **Arquitectura y Clima, manual de diseño bioclimatico para arquitectos e urbanistas**. 4. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2006. p. p. 216

PALMER, C. M.; GENTRY, T. A Better Distinction for Standard Specifications of Low-E Coatings for Diverse Climate Conditions. PLEA. **Anais...North Carolina at Charlotte USA**, 2012

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early**. Tese (Doutorado). Department of Architecture, The University of Queensland, 2003.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritórios em clima quente. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 39–54, 2005.

ROMERO, A.; GONÇALVES, J. C.; DILONARDO, L. F. P. A evolução da arquitetura e dos aspectos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo. ENCAC. **Anais...**Fortaleza, CE, 1999.

SALDANHA, A. M. **Desempenho térmico e eficiência energética em edifício de escritório: análise do uso de fachadas de vidro diretamente expostas à radiação solar na cidade de Cuiabá-MT.** Dissertação (mestrado), Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência do percentual de área de janela na fachada e da absorvância de paredes externas no cidade de Florianópolis-SC. ENCAC. **Anais...**Ouro Preto, MG, 2007

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis. ENCAC. **Anais...**Natal, RN, 2009

SHAMERI, M. A. et al. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1468–1475, abr. 2011.

SILVA, VANESSA GOMES; GOMES, MARISTELA S.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. v. 3, n. n. 3, p. 9–18, 2003.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE, B. E. **United States Department of Energy (DOE).** Disponível em: <<http://energy.gov/>>. Acesso em: 6 dez. 2012.

WESTPHAL, F. S. **Análise de Incertezas e de Sensibilidade Aplicadas à Simulação de Desempenho Energético de Edificações Comerciais**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

WESTPHAL, F. S. Referencial técnico: vidro e eficiência energética em edificações. **ABIVIDRO**, 2010.

YIN, R.; XU, P.; SHEN, P. Case study: Energy savings from solar window film in two commercial buildings in Shanghai. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 132–140, fev. 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Temperaturas médias, médias das máximas e médias das mínimas das cidades de estudo

Tabela A. 1 – Temperaturas médias, média das máximas e média das mínimas das cidades de estudo

	Curitiba			Porto Alegre			São Paulo		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
Janeiro	14,0	21,0	29,5	18,0	25,5	37,0	15,5	23,0	31,5
Fevereiro	13,0	21,0	30,5	17,5	24,5	33,0	16,5	22,5	32,0
Março	9,0	19,0	28,0	14,0	24,0	34,0	15,0	22,0	30,5
Abril	11,0	17,0	24,5	12,0	20,5	29,0	12,0	18,0	27,5
Mai	-1,0	14,5	24,5	6,0	16,0	24,0	9,0	17,0	26,0
Junho	0,0	13,0	25,0	7,0	16,0	28,0	8,5	17,0	24,5
Julho	-2,0	12,5	24,5	4,5	17,5	30,0	9,0	16,5	25,5
Agosto	5,0	14,0	26,0	3,0	15,0	30,5	8,0	17,0	27,0
Setembro	2,0	15,5	28,0	4,0	16,5	28,5	9,0	18,0	31,0
Outubro	4,0	14,5	28,5	12,0	21,0	32,0	10,0	17,5	29,5
Novembro	11,0	18,0	29,0	10,5	21,5	33,0	13,5	18,5	32,0
Dezembro	10,0	17,5	27,5	17,0	25,0	35,0	13,5	20,0	30,5
	Brasília			Salvador			Recife		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
Janeiro	16,0	22,0	28,5	23,0	27,3	32,0	20,2	26,5	30,8
Fevereiro	17,0	22,5	30,0	22,2	27,0	32,0	21,5	27,0	32,0
Março	16,5	21,5	27,5	22,8	27,4	32,5	21,5	27,4	30,8
Abril	15,0	22,0	28,0	22,2	26,8	32,2	22,0	26,4	30,8
Mai	14,0	21,0	27,5	22,0	25,0	28,2	20,4	26,0	29,3
Junho	11,5	19,5	26,0	22,2	24,9	28,2	20,0	24,5	28,0
Julho	12,0	20,0	28,0	21,5	24,2	28,0	19,1	23,7	27,8
Agosto	13,5	19,5	28,2	21,0	24,0	28,0	18,0	24,0	27,7
Setembro	14,0	22,0	32,0	21,5	25,0	29,0	19,1	24,8	27,7
Outubro	15,5	21,5	29,5	22,5	25,5	30,0	20,5	26,5	30,5
Novembro	16,5	21,0	27,5	22,6	26,5	30,5	19,0	26,7	31,7
Dezembro	17,5	21,5	27,7	23,0	27,5	32,2	20,5	26,6	31,5
	Rio de Janeiro								
	Mínima	Média	Máxima						
Janeiro	22,5	27,0	36,0						
Fevereiro	20,5	26,5	33,0						
Março	22,0	27,0	33,5						
Abril	18,5	24,2	30,0						
Mai	16,0	22,0	28,5						
Junho	13,6	21,0	27,5						
Julho	14,0	21,0	30,5						
Agosto	13,0	21,5	30,6						
Setembro	16,5	23,0	30,6						
Outubro	18,0	23,2	31,5						
Novembro	17,0	24,5	33,5						
Dezembro	16,5	24,5	35,5						

Fonte: Arquivo Climático Formato EPW (2012)

APÊNDICE B - Consumo energético decorrente da variação dos parâmetros em fachadas tradicionais

Tabela B. 1 - Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação de WWR e tipo de vidro em fachadas tradicionais [kWh]

Cumbica				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	1.082.489	1.034.158	951.764	965.880
40%	1.181.500	1.118.661	1.010.894	1.029.602
50%	1.279.524	1.203.961	1.072.677	1.093.990
60%	1.379.670	1.289.966	1.131.927	1.159.070
São Paulo				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
40%	1.417.695	1.368.537	1.246.712	1.236.565
50%	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
60%	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
Rio de Janeiro				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
40%	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
50%	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
60%	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
Recife				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	2.440.002	2.381.549	2.275.025	2.207.030
40%	2.563.253	2.486.360	2.353.833	2.263.358
50%	2.672.681	2.586.802	2.418.037	2.324.570
60%	2.797.390	2.691.029	2.494.861	2.369.424
Porto Alegre				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	1.297.564	1.248.760	1.158.067	1.138.903
40%	1.409.846	1.346.830	1.229.351	1.203.843
50%	1.520.784	1.445.138	1.302.670	1.269.634
60%	1.632.253	1.543.829	1.378.627	1.336.116
Brasília				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	1.368.458	1.311.220	1.213.484	1.217.707
40%	1.477.317	1.403.239	1.276.307	1.281.529
50%	1.584.848	1.495.829	1.340.984	1.345.666
60%	1.690.895	1.587.370	1.405.651	1.410.361
Salvador				
WWR	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
30%	2.157.934	2.100.511	1.996.017	1.947.101
40%	2.279.931	2.203.378	2.066.656	2.003.341
50%	2.395.657	2.305.275	2.135.734	2.059.722
60%	2.513.371	2.407.726	2.209.246	2.115.020

Tabela B. 2 – Aumento do consumo anual do sistema de condicionamento de ar em relação ao aumento do WWR em fachadas tradicionais [%]

Curitiba					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	9,1%	8,2%	6,2%	6,6%
50%	66,7%	18,2%	16,4%	12,7%	13,3%
60%	100,0%	27,5%	24,7%	18,9%	20,0%
São Paulo					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	7,3%	6,9%	4,8%	4,2%
50%	66,7%	14,4%	13,0%	9,4%	8,9%
60%	100,0%	21,4%	19,9%	14,8%	13,7%
Rio de Janeiro					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	5,6%	4,8%	3,1%	3,2%
50%	66,7%	10,9%	9,4%	6,4%	6,3%
60%	100,0%	16,3%	14,3%	10,1%	9,3%
Recife					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	5,1%	4,4%	3,5%	2,6%
50%	66,7%	9,5%	8,6%	6,3%	5,3%
60%	100,0%	14,6%	13,0%	9,7%	7,4%
Porto Alegre					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	8,7%	7,9%	6,2%	5,7%
50%	66,7%	17,2%	15,7%	12,5%	11,5%
60%	100,0%	25,8%	23,6%	19,0%	17,3%
Brasília					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	9,1%	8,2%	6,2%	6,6%
50%	66,7%	18,2%	16,4%	12,7%	13,3%
60%	100,0%	27,5%	24,7%	18,9%	20,0%
Salvador					
WWR	WWR [%]	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
		Cons.	Cons.	Cons.	Cons.
30%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40%	33,3%	5,7%	4,9%	3,5%	2,9%
50%	66,7%	11,0%	9,7%	7,0%	5,8%
60%	100,0%	16,5%	14,6%	10,7%	8,6%

Tabela B. 3 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação do tipo de parede em fachadas tradicionais [kWh]

WWR		WWR 30%			
Cidade		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.045.820	1.003.025	927.552	924.877
	Drywall	1.090.027	1.038.891	953.893	972.101
	Economia	44.207	35.866	26.340	47.224
Porto Alegre	Alvenaria	1.287.480	1.244.194	1.160.623	1.128.796
	Drywall	1.301.808	1.250.242	1.156.971	1.141.123
	Economia	14.327	6.048	-3.652	12.326
São Paulo	Alvenaria	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	Drywall	1.348.119	1.291.096	1.201.614	1.213.324
	Economia	26.769	20.449	11.969	26.785
Brasília	Alvenaria	1.346.643	1.293.991	1.202.403	1.200.253
	Drywall	1.380.532	1.321.213	1.221.018	1.227.112
	Economia	33.889	27.222	18.615	26.859
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
	Drywall	2.030.863	1.964.117	1.851.927	1.827.740
	Economia	1.182	-4.656	-17.759	-11.984
Salvador	Alvenaria	2.177.188	2.122.809	2.023.036	1.974.853
	Drywall	2.155.446	2.095.701	1.988.446	1.939.949
	Economia	-21.742	-27.108	-34.591	-34.904
Recife	Alvenaria	2.469.551	2.413.869	2.311.944	2.246.693
	Drywall	2.433.947	2.378.991	2.271.479	2.196.604
	Economia	-35.604	-34.878	-40.465	-50.089
WWR		WWR 40%			
Cidade		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.142.583	1.086.471	987.242	984.153
	Drywall	1.177.055	1.113.922	1.005.566	1.021.432
	Economia	34.473	27.451	18.324	37.279
Porto Alegre	Alvenaria	1.396.940	1.340.650	1.231.848	1.190.454
	Drywall	1.410.441	1.346.806	1.229.205	1.201.580
	Economia	13.502	6.155	-2.643	11.126
São Paulo	Alvenaria	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	Drywall	1.438.960	1.368.022	1.255.351	1.258.991
	Economia	21.265	9.484	8.639	22.426
Brasília	Alvenaria	1.452.784	1.384.445	1.264.893	1.261.423
	Drywall	1.481.295	1.406.886	1.279.027	1.283.637
	Economia	28.510	22.441	14.134	22.215
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
	Drywall	2.144.548	2.060.839	1.917.208	1.889.011
	Economia	736	-2.689	-11.028	-9.095
Salvador	Alvenaria	2.294.769	2.222.730	2.092.241	2.029.349
	Drywall	2.280.131	2.203.397	2.064.991	2.004.663
	Economia	-14.638	-19.333	-27.250	-24.686
Recife	Alvenaria	2.588.462	2.514.802	2.388.354	2.299.324
	Drywall	2.555.825	2.485.145	2.346.507	2.272.487
	Economia	-32.637	-29.657	-41.847	-26.837

WWR		WWR 50%			
Cidade		Incolor	Verde	Lam. C. Sol.	Dup. C. Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.238.352	1.170.553	1.049.260	1.044.646
	Drywall	1.262.455	1.189.816	1.061.138	1.070.532
	Economia	24.103	19.263	11.878	25.886
Porto Alegre	Alvenaria	1.505.447	1.438.201	1.305.958	1.252.651
	Drywall	1.515.938	1.443.059	1.303.626	1.261.405
	Economia	10.491	4.858	-2.331	8.754
São Paulo	Alvenaria	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	Drywall	1.524.013	1.449.213	1.308.615	1.308.342
	Economia	12.314	12.834	6.596	15.781
Brasília	Alvenaria	1.557.541	1.475.134	1.329.099	1.323.540
	Drywall	1.578.781	1.491.527	1.338.860	1.339.276
	Economia	21.240	16.393	9.761	15.736
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
	Drywall	2.259.048	2.160.647	1.988.232	1.952.565
	Economia	8.820	6.905	-1.378	-3.063
Salvador	Alvenaria	2.406.858	2.319.822	2.159.766	2.084.174
	Drywall	2.402.917	2.312.027	2.145.523	2.066.414
	Economia	-3.941	-7.795	-14.243	-17.760
Recife	Alvenaria	2.693.533	2.611.774	2.450.471	2.360.242
	Drywall	2.689.051	2.598.800	2.434.082	2.327.885
	Economia	-4.482	-12.973	-16.389	-32.358
WWR		WWR 60%			
Cidade		Incolor	Verde	Lam. C. Sol.	Dup. C. Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.335.892	1.255.843	1.109.188	1.106.464
	Drywall	1.349.098	1.265.369	1.115.823	1.119.655
	Economia	13.206	9.526	6.635	13.191
Porto Alegre	Alvenaria	1.612.739	1.535.597	1.381.070	1.316.059
	Drywall	1.619.234	1.538.433	1.381.495	1.320.897
	Economia	6.495	2.836	425	4.838
São Paulo	Alvenaria	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	Drywall	1.613.348	1.530.047	1.369.440	1.357.760
	Economia	9.787	6.771	3.163	8.840
Brasília	Alvenaria	1.660.631	1.564.966	1.393.497	1.385.781
	Drywall	1.672.367	1.573.574	1.394.659	1.394.143
	Economia	11.736	8.609	1.162	8.362
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
	Drywall	2.366.740	2.254.088	2.056.525	2.012.329
	Economia	7.113	3.801	-1.614	911
Salvador	Alvenaria	2.520.707	2.420.766	2.231.234	2.137.489
	Drywall	2.520.637	2.417.848	2.225.354	2.130.876
	Economia	-70	-2.918	-5.880	-6.613
Recife	Alvenaria	2.813.517	2.712.735	2.525.261	2.403.701
	Drywall	2.811.184	2.707.601	2.516.638	2.394.286
	Economia	-2.333	-5.134	-8.623	-9.414

Tabela B. 4 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação da orientação geográfica em fachadas tradicionais [kWh]

Cidade	WWR	30%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0°	1.045.820	1.003.025	927.552	924.877
	90°	997.509	957.574	889.344	892.445
	Economia	-48.311	-45.451	-38.208	-32.432
Porto Alegre	0°	1.287.480	1.244.194	1.160.623	1.128.796
	90°	1.235.108	1.194.226	1.117.777	1.091.241
	Economia	-52.372	-49.967	-42.846	-37.556
São Paulo	0°	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	90°	1.277.110	1.234.088	1.163.601	1.160.310
	Economia	-44.240	-36.559	-26.043	-26.229
Brasília	0°	1.346.643	1.293.991	1.202.403	1.200.253
	90°	1.301.917	1.251.595	1.166.378	1.168.252
	Economia	-44.726	-42.396	-36.025	-32.000
Rio de Janeiro	0°	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
	90°	1.994.694	1.937.078	1.842.991	1.813.458
	Economia	-34.987	-31.695	-26.694	-26.266
Salvador	0°	2.177.188	2.122.809	2.023.036	1.974.853
	90°	2.127.024	2.076.518	1.984.290	1.938.530
	Economia	-50.164	-46.291	-38.746	-36.324
Recife	0°	2.469.551	2.413.869	2.311.944	2.246.693
	90°	2.425.143	2.373.560	2.279.129	2.213.520
	Economia	-44.408	-40.310	-32.815	-33.173
Cidade	WWR	40%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0°	1.142.583	1.086.471	987.242	984.153
	90°	1.082.493	1.030.115	941.046	946.000
	Economia	-60.090	-56.356	-46.196	-38.152
Porto Alegre	0°	1.396.940	1.340.650	1.231.848	1.190.454
	90°	1.332.628	1.279.819	1.180.891	1.146.929
	Economia	-64.312	-60.831	-50.957	-43.525
São Paulo	0°	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	90°	1.369.365	1.308.207	1.210.424	1.206.856
	Economia	-48.330	-50.330	-36.288	-29.709
Brasília	0°	1.452.784	1.384.445	1.264.893	1.261.423
	90°	1.398.131	1.333.036	1.222.168	1.224.800
	Economia	-54.653	-51.410	-42.725	-36.623
Rio de Janeiro	0°	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
	90°	2.101.068	2.026.383	1.899.514	1.865.885
	Economia	-42.745	-37.146	-28.723	-32.221
Salvador	0°	2.294.769	2.222.730	2.092.241	2.029.349
	90°	2.234.221	2.167.951	2.047.226	1.987.804
	Economia	-60.548	-54.779	-45.016	-41.545
Recife	0°	2.588.462	2.514.802	2.388.354	2.299.324
	90°	2.535.276	2.468.149	2.349.846	2.264.110
	Economia	-53.186	-46.652	-38.508	-35.214

Cidade	WWR	50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0°	1.238.352	1.170.553	1.049.260	1.044.646
	90°	1.167.026	1.104.695	995.177	1.000.747
	Economia	-71.326	-65.858	-54.083	-43.899
Porto Alegre	0°	1.505.447	1.438.201	1.305.958	1.252.651
	90°	1.429.451	1.367.480	1.246.902	1.203.034
	Economia	-75.996	-70.721	-59.056	-49.617
São Paulo	0°	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	90°	1.454.838	1.384.424	1.261.506	1.258.607
	Economia	-56.861	-51.955	-40.514	-33.955
Brasília	0°	1.557.541	1.475.134	1.329.099	1.323.540
	90°	1.492.233	1.414.089	1.278.919	1.281.190
	Economia	-65.308	-61.045	-50.180	-42.350
Rio de Janeiro	0°	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
	90°	2.200.582	2.112.089	1.958.282	1.918.095
	Economia	-49.646	-41.653	-31.329	-37.533
Salvador	0°	2.406.858	2.319.822	2.159.766	2.084.174
	90°	2.336.203	2.256.473	2.108.693	2.037.618
	Economia	-70.654	-63.349	-51.072	-46.556
Recife	0°	2.693.533	2.611.774	2.450.471	2.360.242
	90°	2.634.036	2.557.422	2.411.317	2.317.147
	Economia	-59.496	-54.352	-39.155	-43.095
Cidade	WWR	60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0°	1.335.892	1.255.843	1.109.188	1.106.464
	90°	1.251.743	1.179.972	1.048.249	1.056.308
	Economia	-84.149	-75.871	-60.939	-50.156
Porto Alegre	0°	1.612.739	1.535.597	1.381.070	1.316.059
	90°	1.526.076	1.454.814	1.313.938	1.260.261
	Economia	-86.663	-80.782	-67.132	-55.798
São Paulo	0°	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	90°	1.537.219	1.461.842	1.318.115	1.306.843
	Economia	-66.343	-61.434	-48.161	-42.077
Brasília	0°	1.660.631	1.564.966	1.393.497	1.385.781
	90°	1.584.540	1.494.022	1.336.232	1.337.746
	Economia	-76.091	-70.943	-57.265	-48.035
Rio de Janeiro	0°	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
	90°	2.303.338	2.202.560	2.020.412	1.970.168
	Economia	-56.289	-47.727	-37.727	-41.250
Salvador	0°	2.520.707	2.420.766	2.231.234	2.137.489
	90°	2.439.646	2.345.925	2.173.305	2.085.933
	Economia	-81.061	-74.841	-57.930	-51.556
Recife	0°	2.813.517	2.712.735	2.525.261	2.403.701
	90°	2.743.639	2.649.516	2.477.874	2.357.382
	Economia	-69.878	-63.219	-47.387	-46.319

APÊNDICE C - Consumo energético decorrente da variação dos parâmetros em fachadas com pele de vidro

Tabela C. 1 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação de WWR e tipo de vidro em fachadas com pele de vidro [kWh]

Cidade	WWR 30%			
	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
Porto Alegre	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
São Paulo	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
Brasília	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
Rio de Janeiro	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
Salvador	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
Recife	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	WWR 40%			
Curitiba	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
Porto Alegre	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
São Paulo	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
Brasília	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
Rio de Janeiro	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
Salvador	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
Recife	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	WWR 50%			
Curitiba	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
Porto Alegre	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
São Paulo	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
Brasília	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
Rio de Janeiro	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
Salvador	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
Recife	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	WWR 60%			
Curitiba	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
Porto Alegre	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
São Paulo	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
Brasília	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
Rio de Janeiro	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
Salvador	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
Recife	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098

Tabela C. 2 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação do tipo de parede externa em fachadas com pele de vidro [kWh]

Cidade	WWR	30%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	Drywall	1.248.664	1.192.553	1.101.164	1.143.500
	Economia	-6.902	-10.109	-15.957	-8.197
Porto Alegre	Alvenaria	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	Drywall	1.462.974	1.406.425	1.306.735	1.311.926
	Economia	-37.316	-41.627	-47.599	-42.014
São Paulo	Alvenaria	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	Drywall	1.508.806	1.452.382	1.358.168	1.380.927
	Economia	-26.822	-30.711	-43.247	-38.886
Brasília	Alvenaria	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	Drywall	1.560.858	1.496.440	1.391.116	1.412.536
	Economia	-42.194	-45.744	-50.956	-52.941
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	Drywall	2.224.478	2.151.302	2.033.124	2.022.965
	Economia	-70.338	-79.505	-85.834	-90.744
Salvador	Alvenaria	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	Drywall	2.314.322	2.250.548	2.138.789	2.098.954
	Economia	-84.641	-87.759	-92.881	-97.621
Recife	Alvenaria	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	Drywall	2.582.872	2.519.161	2.412.801	2.345.615
	Economia	-93.076	-96.455	-105.328	-117.925
Cidade	WWR	40%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	Drywall	1.322.275	1.251.541	1.135.803	1.178.449
	Economia	-2.399	-6.328	-11.622	-5.820
Porto Alegre	Alvenaria	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
	Drywall	1.556.366	1.486.599	1.361.131	1.358.073
	Economia	-25.313	-28.920	-34.170	-31.320
São Paulo	Alvenaria	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	Drywall	1.576.319	1.515.361	1.396.466	1.417.646
	Economia	-18.004	-22.028	-25.853	-23.128
Brasília	Alvenaria	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	Drywall	1.646.423	1.565.826	1.431.732	1.454.700
	Economia	-27.862	-31.603	-35.986	-38.393
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	Drywall	2.323.068	2.226.919	2.080.827	2.071.446
	Economia	-50.128	-57.322	-59.811	-62.074
Salvador	Alvenaria	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	Drywall	2.424.459	2.344.118	2.200.828	2.151.897
	Economia	-62.131	-64.845	-69.917	-72.043
Recife	Alvenaria	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	Drywall	2.692.682	2.617.692	2.474.021	2.408.509
	Economia	-76.771	-72.890	-82.474	-70.168

Cidade	WWR	50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
	Drywall	1.394.138	1.312.755	1.175.623	1.214.166
	Economia	125	-4.295	-7.137	-3.764
Porto Alegre	Alvenaria	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
	Drywall	1.647.737	1.567.764	1.419.396	1.403.847
	Economia	-14.846	-17.642	-22.056	-20.818
São Paulo	Alvenaria	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
	Drywall	1.646.942	1.566.762	1.435.087	1.454.232
	Economia	-13.892	-11.186	-15.430	-15.136
Brasília	Alvenaria	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
	Drywall	1.729.342	1.635.579	1.474.366	1.496.477
	Economia	-15.713	-18.383	-22.821	-24.721
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
	Drywall	2.420.326	2.313.499	2.136.230	2.121.565
	Economia	-28.229	-27.985	-32.977	-38.342
Salvador	Alvenaria	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
	Drywall	2.534.196	2.438.996	2.266.784	2.200.957
	Economia	-35.179	-37.726	-41.839	-49.566
Recife	Alvenaria	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	Drywall	2.813.715	2.719.041	2.548.015	2.452.886
	Economia	-34.806	-41.266	-43.092	-60.347
Cidade	WWR	60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
	Drywall	1.465.022	1.376.030	1.215.334	1.250.389
	Economia	996	-1.384	-2.754	-1.738
Porto Alegre	Alvenaria	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
	Drywall	1.737.089	1.649.144	1.482.549	1.450.180
	Economia	-6.328	-8.141	-9.018	-10.026
São Paulo	Alvenaria	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
	Drywall	1.722.839	1.634.032	1.483.141	1.486.217
	Economia	-3.221	-4.895	-7.350	-6.873
Brasília	Alvenaria	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
	Drywall	1.808.779	1.703.621	1.515.229	1.537.806
	Economia	-6.596	-8.367	-14.485	-11.814
Rio de Janeiro	Alvenaria	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
	Drywall	2.513.152	2.393.261	2.188.607	2.167.215
	Economia	-11.382	-13.374	-17.021	-17.689
Salvador	Alvenaria	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
	Drywall	2.638.512	2.530.391	2.331.694	2.253.149
	Economia	-16.065	-17.623	-19.850	-22.303
Recife	Alvenaria	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098
	Drywall	2.924.193	2.815.634	2.618.074	2.507.008
	Economia	-17.550	-19.308	-21.536	-24.090

Tabela C. 3– Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação da orientação do modelo em fachadas com pele de vidro [kWh]

Cidade	WWR		30%		
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0° (Maiores fach. L-O)	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.203.678	1.154.365	1.076.018	1.117.437
	Economia	-51.888	-48.296	-41.103	-34.260
Porto Alegre	0° (Maiores Fach. L-O)	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.440.876	1.391.750	1.305.872	1.310.130
	Economia	-59.414	-56.302	-48.462	-43.810
São Paulo	0° (Maiores Fach. L-O)	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.492.957	1.442.770	1.364.800	1.388.436
	Economia	-42.671	-40.322	-36.615	-31.378
Brasília	0° (Maiores Fach. L-O)	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.549.571	1.492.221	1.398.819	1.424.506
	Economia	-53.481	-49.963	-43.252	-40.971
Rio de Janeiro	0° (Maiores Fach. L-O)	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.254.242	2.188.317	2.082.717	2.075.633
	Economia	-40.575	-42.490	-36.241	-38.075
Salvador	0° (Maiores Fach. L-O)	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.338.229	2.281.572	2.182.712	2.148.627
	Economia	-60.734	-56.735	-48.959	-47.948
Recife	0° (Maiores Fach. L-O)	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.621.253	2.564.585	2.472.265	2.416.233
	Economia	-54.695	-51.031	-45.865	-47.307
Cidade	WWR		40%		
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	0° (Maiores fach. L-O)	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.261.275	1.199.242	1.098.384	1.144.841
	Economia	-63.399	-58.627	-49.041	-39.428
Porto Alegre	0° (Maiores Fach. L-O)	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.511.890	1.449.220	1.338.754	1.340.484
	Economia	-69.788	-66.299	-56.546	-48.910
São Paulo	0° (Maiores Fach. L-O)	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.544.313	1.488.627	1.382.305	1.407.587
	Economia	-50.010	-48.761	-40.015	-33.188
Brasília	0° (Maiores Fach. L-O)	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	90° (Maiores Fach. N-S)	1.612.117	1.539.165	1.419.410	1.448.174
	Economia	-62.168	-58.264	-48.308	-44.920
Rio de Janeiro	0° (Maiores Fach. L-O)	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.320.270	2.242.012	2.105.534	2.094.082
	Economia	-52.927	-42.229	-35.104	-39.439
Salvador	0° (Maiores Fach. L-O)	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.418.504	2.346.270	2.217.818	2.172.076
	Economia	-68.085	-62.693	-52.927	-51.864
Recife	0° (Maiores Fach. L-O)	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	90° (Maiores Fach. N-S)	2.707.124	2.634.047	2.508.559	2.434.164
	Economia	-62.329	-56.534	-47.936	-44.514

Cidade	WWR		50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam. C.Sol.	Dup. C.Sol.	
Curitiba	0º (Maiores Fach. L-O)	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.319.389	1.247.052	1.126.106	1.172.905	
	Economia	-74.623	-69.998	-56.655	-45.025	
Porto Alegre	0º (Maiores Fach. L-O)	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.581.713	1.510.212	1.378.294	1.370.439	
	Economia	-80.870	-75.194	-63.157	-54.225	
São Paulo	0º (Maiores Fach. L-O)	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.602.538	1.524.101	1.405.982	1.432.486	
	Economia	-58.295	-53.847	-44.535	-36.882	
Brasília	0º (Maiores Fach. L-O)	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.673.508	1.587.537	1.442.997	1.472.445	
	Economia	-71.547	-66.426	-54.190	-48.754	
Rio de Janeiro	0º (Maiores Fach. L-O)	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.390.466	2.292.388	2.131.304	2.116.598	
	Economia	-58.089	-49.096	-37.903	-43.308	
Salvador	0º (Maiores Fach. L-O)	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.493.693	2.407.393	2.252.052	2.195.730	
	Economia	-75.682	-69.329	-56.572	-54.794	
Recife	0º (Maiores Fach. L-O)	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.781.758	2.698.891	2.541.825	2.462.510	
	Economia	-66.763	-61.416	-49.283	-50.723	
Cidade	WWR		60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam. C.Sol.	Dup. C.Sol.	
Curitiba	0º (Maiores fach. L-O)	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.379.398	1.297.446	1.154.887	1.201.181	
	Economia	-84.628	-79.968	-63.201	-50.946	
Porto Alegre	0º (Maiores Fach. L-O)	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.652.866	1.572.304	1.420.413	1.400.889	
	Economia	-90.551	-84.981	-71.154	-59.316	
São Paulo	0º (Maiores Fach. L-O)	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.658.001	1.575.722	1.438.577	1.453.093	
	Economia	-68.058	-63.205	-51.914	-39.997	
Brasília	0º (Maiores Fach. L-O)	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620	
	90º (Maiores Fach. N-S)	1.734.672	1.635.964	1.468.779	1.496.517	
	Economia	-80.704	-76.024	-60.935	-53.103	
Rio de Janeiro	0º (Maiores Fach. L-O)	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.464.439	2.352.628	2.164.277	2.139.111	
	Economia	-60.095	-54.006	-41.351	-45.793	
Salvador	0º (Maiores Fach. L-O)	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.568.973	2.470.016	2.289.996	2.217.398	
	Economia	-85.603	-77.998	-61.547	-58.054	
Recife	0º (Maiores Fach. L-O)	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098	
	90º (Maiores Fach. N-S)	2.865.940	2.766.353	2.586.692	2.478.936	
	Economia	-75.803	-68.589	-52.918	-52.163	

Tabela C. 4 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar em fachadas com pele de vidro com e sem isolante nas paredes externas [kWh]

Cidade	WWR	30%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Com isolante	1.241.385	1.185.603	1.096.982	1.140.128
	Sem isolante	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	Economia	14.180	17.058	20.139	11.569
Porto Alegre	Com isolante	1.459.947	1.405.203	1.308.158	1.313.276
	Sem isolante	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	Economia	40.343	42.849	46.176	40.664
São Paulo	Com isolante	1.506.324	1.451.510	1.366.995	1.389.620
	Sem isolante	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	Economia	29.304	31.583	34.420	30.194
Brasília	Com isolante	1.562.523	1.500.045	1.396.297	1.419.710
	Sem isolante	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	Economia	40.529	42.139	45.775	45.767
Rio de Janeiro	Com isolante	2.233.793	2.187.539	2.053.041	2.044.172
	Sem isolante	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	Economia	61.024	63.268	65.917	69.536
Salvador	Com isolante	2.327.637	2.285.623	2.156.194	2.117.782
	Sem isolante	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	Economia	71.326	72.684	75.476	78.793
Recife	Com isolante	2.599.503	2.537.516	2.438.169	2.378.493
	Sem isolante	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	Economia	76.445	78.100	79.961	85.048
Cidade	WWR	40%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Com isolante	1.309.990	1.241.299	1.125.538	1.172.299
	Sem isolante	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	Economia	14.684	16.570	21.887	11.971
Porto Alegre	Com isolante	1.541.825	1.472.395	1.347.972	1.348.444
	Sem isolante	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
	Economia	39.853	43.124	47.328	40.960
São Paulo	Com isolante	1.575.288	1.505.974	1.387.369	1.410.843
	Sem isolante	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	Economia	19.035	31.415	34.960	29.931
Brasília	Com isolante	1.635.319	1.556.025	1.422.302	1.447.489
	Sem isolante	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	Economia	38.966	41.404	45.415	45.605
Rio de Janeiro	Com isolante	2.318.216	2.226.762	2.076.783	2.064.764
	Sem isolante	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	Economia	54.981	57.479	63.855	68.757
Salvador	Com isolante	2.418.371	2.338.755	2.196.706	2.145.230
	Sem isolante	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	Economia	68.219	70.208	74.039	78.710
Recife	Com isolante	2.696.122	2.615.235	2.478.596	2.395.217
	Sem isolante	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	Economia	73.330	75.347	77.898	83.461

Cidade	WWR	50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam. C. Sol.	Dup. C. Sol.
Curitiba	Com isolante	1.379.118	1.298.211	1.159.501	1.205.267
	Sem isolante	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
	Economia	14.895	18.839	23.259	12.663
Porto Alegre	Com isolante	1.623.117	1.542.164	1.393.567	1.383.122
	Sem isolante	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
	Economia	39.466	43.242	47.884	41.543
São Paulo	Com isolante	1.631.617	1.556.843	1.415.026	1.439.196
	Sem isolante	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
	Economia	29.216	21.105	35.491	30.172
Brasília	Com isolante	1.707.391	1.613.395	1.451.830	1.475.778
	Sem isolante	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
	Economia	37.664	40.568	45.357	45.420
Rio de Janeiro	Com isolante	2.394.938	2.286.505	2.106.138	2.091.414
	Sem isolante	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
	Economia	53.617	54.980	63.069	68.493
Salvador	Com isolante	2.503.723	2.408.786	2.236.169	2.172.691
	Sem isolante	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
	Economia	65.652	67.936	72.455	77.833
Recife	Com isolante	2.778.247	2.688.264	2.515.256	2.430.691
	Sem isolante	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	Economia	70.274	72.043	75.851	82.543
Cidade	WWR	60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam. C. Sol.	Dup. C. Sol.
Curitiba	Com isolante	1.448.817	1.358.065	1.193.731	1.239.009
	Sem isolante	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
	Economia	15.209	19.360	24.367	13.119
Porto Alegre	Com isolante	1.703.958	1.613.670	1.444.015	1.418.527
	Sem isolante	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
	Economia	39.459	43.615	47.552	41.678
São Paulo	Com isolante	1.696.978	1.618.540	1.454.243	1.462.712
	Sem isolante	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
	Economia	29.081	20.367	36.248	30.378
Brasília	Com isolante	1.778.962	1.672.218	1.485.193	1.504.941
	Sem isolante	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
	Economia	36.413	39.771	44.522	44.680
Rio de Janeiro	Com isolante	2.470.517	2.353.187	2.144.094	2.117.245
	Sem isolante	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
	Economia	54.017	53.448	61.535	67.658
Salvador	Com isolante	2.590.670	2.481.886	2.281.463	2.198.271
	Sem isolante	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
	Economia	63.907	66.127	70.080	77.181
Recife	Com isolante	2.874.132	2.765.018	2.565.763	2.448.996
	Sem isolante	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098
	Economia	67.612	69.924	73.847	82.103

APÊNDICE D – Consumo energético decorrente da variação da configuração de fachada: tradicional *versus* com pele de vidro

Tabela D. 1 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação de WWR e tipo de vidro em fachadas tradicionais e com pele de vidro [kWh]

Cidade	WWR		WWR 30%		
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional	1.045.820	1.003.025	927.552	924.877
	Pele de Vidro	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	Economia	209.746	199.636	189.569	226.821
Porto Alegre	Tradicional	1.287.480	1.244.194	1.160.623	1.128.796
	Pele de Vidro	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	Economia	212.810	203.859	193.711	225.145
São Paulo	Tradicional	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	Pele de Vidro	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	Economia	214.278	212.446	211.771	233.274
Brasília	Tradicional	1.346.643	1.293.991	1.202.403	1.200.253
	Pele de Vidro	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	Economia	256.409	248.194	239.668	265.224
Rio de Janeiro	Tradicional	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
	Pele de Vidro	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	Economia	265.135	262.033	249.273	273.985
Salvador	Tradicional	2.177.188	2.122.809	2.023.036	1.974.853
	Pele de Vidro	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	Economia	221.775	215.499	208.634	221.721
Recife	Tradicional	2.469.551	2.413.869	2.311.944	2.246.693
	Pele de Vidro	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	Economia	206.397	201.747	206.185	216.848
Cidade	WWR	WWR 40%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional	1.142.583	1.086.471	987.242	984.153
	Pele de Vidro	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	Economia	182.091	171.398	160.183	200.117
Porto Alegre	Tradicional	1.396.940	1.340.650	1.231.848	1.190.454
	Pele de Vidro	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
	Economia	184.739	174.869	163.452	198.939
São Paulo	Tradicional	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	Pele de Vidro	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	Economia	176.628	178.852	175.607	204.209
Brasília	Tradicional	1.452.784	1.384.445	1.264.893	1.261.423
	Pele de Vidro	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	Economia	221.501	212.984	202.824	231.671
Rio de Janeiro	Tradicional	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
	Pele de Vidro	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	Economia	229.384	220.712	212.402	235.415
Salvador	Tradicional	2.294.769	2.222.730	2.092.241	2.029.349
	Pele de Vidro	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	Economia	191.820	186.233	178.504	194.591
Recife	Tradicional	2.588.462	2.514.802	2.388.354	2.299.324
	Pele de Vidro	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	Economia	180.991	175.780	168.141	179.354

Cidade	WWR	WWR 50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional	1.238.352	1.170.553	1.049.260	1.044.646
	Pele de Vidro	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
	Economia	155.660	146.497	133.500	173.284
Porto Alegre	Tradicional	1.505.447	1.438.201	1.305.958	1.252.651
	Pele de Vidro	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
	Economia	157.136	147.205	135.494	172.014
São Paulo	Tradicional	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	Pele de Vidro	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
	Economia	149.135	141.569	148.498	176.807
Brasília	Tradicional	1.557.541	1.475.134	1.329.099	1.323.540
	Pele de Vidro	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
	Economia	187.514	178.828	168.088	197.659
Rio de Janeiro	Tradicional	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
	Pele de Vidro	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
	Economia	198.327	187.742	179.597	204.279
Salvador	Tradicional	2.406.858	2.319.822	2.159.766	2.084.174
	Pele de Vidro	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
	Economia	162.518	156.900	148.858	166.350
Recife	Tradicional	2.693.533	2.611.774	2.450.471	2.360.242
	Pele de Vidro	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	Economia	154.988	148.533	140.636	152.991
Cidade	WWR	WWR 60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional	1.335.892	1.255.843	1.109.188	1.106.464
	Pele de Vidro	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
	Economia	128.135	121.571	108.900	145.663
Porto Alegre	Tradicional	1.612.739	1.535.597	1.381.070	1.316.059
	Pele de Vidro	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
	Economia	130.678	121.689	110.497	144.146
São Paulo	Tradicional	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	Pele de Vidro	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
	Economia	122.498	115.650	124.215	144.170
Brasília	Tradicional	1.660.631	1.564.966	1.393.497	1.385.781
	Pele de Vidro	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
	Economia	154.744	147.023	136.218	163.840
Rio de Janeiro	Tradicional	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
	Pele de Vidro	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
	Economia	164.907	156.348	147.489	173.485
Salvador	Tradicional	2.520.707	2.420.766	2.231.234	2.137.489
	Pele de Vidro	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
	Economia	133.870	127.247	120.309	137.963
Recife	Tradicional	2.813.517	2.712.735	2.525.261	2.403.701
	Pele de Vidro	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098
	Economia	128.226	122.207	114.349	127.398

Tabela D. 2 – Aumento do consumo anual do sistema de condicionamento de ar de fachadas com pele de vidro em relação a fachadas tradicionais, variando-se WWR e tipo de vidro [kWh e %]

Aumento do consumo anual [kWh]					Aumento do consumo anual [%]			
WWR	WWR 30%				WWR 30%			
Cidades	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	209.746	199.636	189.569	226.821	20,1%	19,9%	20,4%	24,5%
Porto Alegre	212.810	203.859	193.711	225.145	16,5%	16,4%	16,7%	19,9%
São Paulo	214.278	212.446	211.771	233.274	16,2%	16,7%	17,8%	19,7%
Brasília	256.409	248.194	239.668	265.224	19,0%	19,2%	19,9%	22,1%
Rio de Janeiro	265.135	262.033	249.273	273.985	13,1%	13,3%	13,3%	14,9%
Salvador	221.775	215.499	208.634	221.721	10,2%	10,2%	10,3%	11,2%
Recife	206.397	201.747	206.185	216.848	8,4%	8,4%	8,9%	9,7%
WWR	WWR 40%				WWR 40%			
Cidades	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	182.091	171.398	160.183	200.117	15,9%	15,8%	16,2%	20,3%
Porto Alegre	184.739	174.869	163.452	198.939	13,2%	13,0%	13,3%	16,7%
São Paulo	176.628	178.852	175.607	204.209	12,5%	13,2%	14,1%	16,5%
Brasília	221.501	212.984	202.824	231.671	15,2%	15,4%	16,0%	18,4%
Rio de Janeiro	229.384	220.712	212.402	235.415	10,7%	10,7%	11,0%	12,4%
Salvador	191.820	186.233	178.504	194.591	8,4%	8,4%	8,5%	9,6%
Recife	180.991	175.780	168.141	179.354	7,0%	7,0%	7,0%	7,8%
WWR	WWR 50%				WWR 50%			
Cidades	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	155.660	146.497	133.500	173.284	12,6%	12,5%	12,7%	16,6%
Porto Alegre	157.136	147.205	135.494	172.014	10,4%	10,2%	10,4%	13,7%
São Paulo	149.135	141.569	148.498	176.807	9,9%	9,9%	11,4%	13,7%
Brasília	187.514	178.828	168.088	197.659	12,0%	12,1%	12,6%	14,9%
Rio de Janeiro	198.327	187.742	179.597	204.279	8,8%	8,7%	9,0%	10,4%
Salvador	162.518	156.900	148.858	166.350	6,8%	6,8%	6,9%	8,0%
Recife	154.988	148.533	140.636	152.991	5,8%	5,7%	5,7%	6,5%
WWR	WWR 60%				WWR 60%			
Cidades	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	128.135	121.571	108.900	145.663	9,6%	9,7%	9,8%	13,2%
Porto Alegre	130.678	121.689	110.497	144.146	8,1%	7,9%	8,0%	11,0%
São Paulo	122.498	115.650	124.215	144.170	7,6%	7,6%	9,1%	10,7%
Brasília	154.744	147.023	136.218	163.840	9,3%	9,4%	9,8%	11,8%
Rio de Janeiro	164.907	156.348	147.489	173.485	7,0%	6,9%	7,2%	8,6%
Salvador	133.870	127.247	120.309	137.963	5,3%	5,3%	5,4%	6,5%
Recife	128.226	122.207	114.349	127.398	4,6%	4,5%	4,5%	5,3%

Tabela D. 3 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação do tipo de parede em fachadas tradicionais e com pele de vidro [kWh]

		WWR 30%			
		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria Pele de Vidro	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	Alvenaria Tradicional	1.045.820	1.003.025	927.552	924.877
	Drywall Pele de Vidro	1.248.664	1.192.553	1.101.164	1.143.500
	Drywall Tradicional	1.090.027	1.038.891	953.893	972.101
Porto Alegre	Alvenaria Pele de Vidro	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	Alvenaria Tradicional	1.287.480	1.244.194	1.160.623	1.128.796
	Drywall Pele de Vidro	1.462.974	1.406.425	1.306.735	1.311.926
	Drywall Tradicional	1.301.808	1.250.242	1.156.971	1.141.123
São Paulo	Alvenaria Pele de Vidro	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	Alvenaria Tradicional	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	Drywall Pele de Vidro	1.508.806	1.452.382	1.358.168	1.380.927
	Drywall Tradicional	1.348.119	1.291.096	1.201.614	1.213.324
Brasília	Alvenaria Pele de Vidro	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	Alvenaria Tradicional	1.562.523	1.500.045	1.396.297	1.419.710
	Drywall Pele de Vidro	1.560.858	1.496.440	1.391.116	1.412.536
	Drywall Tradicional	1.380.532	1.321.213	1.221.018	1.227.112
Rio de Janeiro	Alvenaria Pele de Vidro	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	Alvenaria Tradicional	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
	Drywall Pele de Vidro	2.224.478	2.151.302	2.033.124	2.022.965
	Drywall Tradicional	2.030.863	1.964.117	1.851.927	1.827.740
Salvador	Alvenaria Pele de Vidro	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	Alvenaria Tradicional	2.177.188	2.122.809	2.023.036	1.974.853
	Drywall Pele de Vidro	2.314.322	2.250.548	2.138.789	2.098.954
	Drywall Tradicional	2.155.446	2.095.701	1.988.446	1.939.949
Recife	Alvenaria Pele de Vidro	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	Alvenaria Tradicional	2.469.551	2.413.869	2.311.944	2.246.693
	Drywall Pele de Vidro	2.582.872	2.519.161	2.412.801	2.345.615
	Drywall Tradicional	2.433.947	2.378.991	2.271.479	2.196.604
		WWR 40%			
		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria Pele de Vidro	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	Alvenaria Tradicional	1.142.583	1.086.471	987.242	984.153
	Drywall Pele de Vidro	1.322.275	1.251.541	1.135.803	1.178.449
	Drywall Tradicional	1.177.055	1.113.922	1.005.566	1.021.432
Porto Alegre	Alvenaria Pele de Vidro	1.581.679	1.515.519	1.395.500	1.389.394
	Alvenaria Tradicional	1.396.940	1.340.650	1.231.848	1.190.454
	Drywall Pele de Vidro	1.556.366	1.486.599	1.361.131	1.358.073
	Drywall Tradicional	1.410.441	1.346.806	1.229.205	1.201.580
São Paulo	Alvenaria Pele de Vidro	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	Alvenaria Tradicional	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	Drywall Pele de Vidro	1.576.319	1.515.361	1.396.466	1.417.646
	Drywall Tradicional	1.438.960	1.368.022	1.255.351	1.258.991
Brasília	Alvenaria Pele de Vidro	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	Alvenaria Tradicional	1.635.319	1.556.025	1.422.302	1.447.489
	Drywall Pele de Vidro	1.646.423	1.565.826	1.431.732	1.454.700
	Drywall Tradicional	1.481.295	1.406.886	1.279.027	1.283.637
Rio de Janeiro	Alvenaria Pele de Vidro	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	Alvenaria Tradicional	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
	Drywall Pele de Vidro	2.323.068	2.226.919	2.080.827	2.071.446
	Drywall Tradicional	2.144.548	2.060.839	1.917.208	1.889.011
Salvador	Alvenaria Pele de Vidro	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	Alvenaria Tradicional	2.294.769	2.222.730	2.092.241	2.029.349
	Drywall Pele de Vidro	2.424.459	2.344.118	2.200.828	2.151.897
	Drywall Tradicional	2.280.131	2.203.397	2.064.991	2.004.663
Recife	Alvenaria Pele de Vidro	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	Alvenaria Tradicional	2.588.462	2.514.802	2.388.354	2.299.324
	Drywall Pele de Vidro	2.692.682	2.617.692	2.474.021	2.408.509
	Drywall Tradicional	2.555.825	2.485.145	2.346.507	2.272.487

		WWR 50%			
		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria Pele de Vidro	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
	Alvenaria Tradicional	1.238.352	1.170.553	1.049.260	1.044.646
	Drywall Pele de Vidro	1.394.138	1.312.755	1.175.623	1.214.166
	Drywall Tradicional	1.262.455	1.189.816	1.061.138	1.070.532
Porto Alegre	Alvenaria Pele de Vidro	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
	Alvenaria Tradicional	1.505.447	1.438.201	1.305.958	1.252.651
	Drywall Pele de Vidro	1.647.737	1.567.764	1.419.396	1.403.847
	Drywall Tradicional	1.515.938	1.443.059	1.303.626	1.261.405
São Paulo	Alvenaria Pele de Vidro	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
	Alvenaria Tradicional	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	Drywall Pele de Vidro	1.646.942	1.566.762	1.435.087	1.454.232
	Drywall Tradicional	1.524.013	1.449.213	1.308.615	1.308.342
Brasília	Alvenaria Pele de Vidro	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
	Alvenaria Tradicional	1.707.391	1.613.395	1.451.830	1.475.778
	Drywall Pele de Vidro	1.729.342	1.635.579	1.474.366	1.496.477
	Drywall Tradicional	1.578.781	1.491.527	1.338.860	1.339.276
Rio de Janeiro	Alvenaria Pele de Vidro	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
	Alvenaria Tradicional	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
	Drywall Pele de Vidro	2.420.326	2.313.499	2.136.230	2.121.565
	Drywall Tradicional	2.259.048	2.160.647	1.988.232	1.952.565
Salvador	Alvenaria Pele de Vidro	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
	Alvenaria Tradicional	2.406.858	2.319.822	2.159.766	2.084.174
	Drywall Pele de Vidro	2.534.196	2.438.996	2.266.784	2.200.957
	Drywall Tradicional	2.402.917	2.312.027	2.145.523	2.066.414
Recife	Alvenaria Pele de Vidro	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	Alvenaria Tradicional	2.693.533	2.611.774	2.450.471	2.360.242
	Drywall Pele de Vidro	2.813.715	2.719.041	2.548.015	2.452.886
	Drywall Tradicional	2.689.051	2.598.800	2.434.082	2.327.885

		WWR 60%			
		Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Alvenaria Pele de Vidro	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
	Alvenaria Tradicional	1.335.892	1.255.843	1.109.188	1.106.464
	Drywall Pele de Vidro	1.465.022	1.376.030	1.215.334	1.250.389
	Drywall Tradicional	1.349.098	1.265.369	1.115.823	1.119.655
Porto Alegre	Alvenaria Pele de Vidro	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
	Alvenaria Tradicional	1.612.739	1.535.597	1.381.070	1.316.059
	Drywall Pele de Vidro	1.737.089	1.649.144	1.482.549	1.450.180
	Drywall Tradicional	1.619.234	1.538.433	1.381.495	1.320.897
São Paulo	Alvenaria Pele de Vidro	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
	Alvenaria Tradicional	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	Drywall Pele de Vidro	1.722.839	1.634.032	1.483.141	1.486.217
	Drywall Tradicional	1.613.348	1.530.047	1.369.440	1.357.760
Brasília	Alvenaria Pele de Vidro	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
	Alvenaria Tradicional	1.778.962	1.672.218	1.485.193	1.504.941
	Drywall Pele de Vidro	1.808.779	1.703.621	1.515.229	1.537.806
	Drywall Tradicional	1.672.367	1.573.574	1.394.659	1.394.143
Rio de Janeiro	Alvenaria Pele de Vidro	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
	Alvenaria Tradicional	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
	Drywall Pele de Vidro	2.513.152	2.393.261	2.188.607	2.167.215
	Drywall Tradicional	2.366.740	2.254.088	2.056.525	2.012.329
Salvador	Alvenaria Pele de Vidro	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
	Alvenaria Tradicional	2.520.707	2.420.766	2.231.234	2.137.489
	Drywall Pele de Vidro	2.638.512	2.530.391	2.331.694	2.253.149
	Drywall Tradicional	2.520.637	2.417.848	2.225.354	2.130.876
Recife	Alvenaria Pele de Vidro	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098
	Alvenaria Tradicional	2.813.517	2.712.735	2.525.261	2.403.701
	Drywall Pele de Vidro	2.924.193	2.815.634	2.618.074	2.507.008
	Drywall Tradicional	2.811.184	2.707.601	2.516.638	2.394.286

Tabela D. 4 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação a orientação em fachadas tradicionais e com pele de vidro [kWh]

Cidade	WWR	30%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional 0°	1.045.820	1.003.025	927.552	924.877
	Pele de Vidro C	1.255.566	1.202.661	1.117.121	1.151.697
	Economia	209.746	199.636	189.569	226.821
	Tradicional 90°	997.509	957.574	889.344	892.445
	Pele de Vidro S	1.203.678	1.154.365	1.076.018	1.117.437
	Economia	206.169	196.791	186.674	224.992
Porto Alegre	Tradicional 0°	1.287.480	1.244.194	1.160.623	1.128.796
	Pele de Vidro C	1.500.290	1.448.052	1.354.335	1.353.941
	Economia	212.810	203.859	193.711	225.145
	Tradicional 90°	1.235.108	1.194.226	1.117.777	1.091.241
	Pele de Vidro S	1.440.876	1.391.750	1.305.872	1.310.130
	Economia	205.768	197.523	188.095	218.890
São Paulo	Tradicional 0°	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	Pele de Vidro C	1.535.628	1.483.093	1.401.415	1.419.814
	Economia	214.278	212.446	211.771	233.274
	Tradicional 90°	1.321.350	1.270.647	1.189.644	1.186.540
	Pele de Vidro S	1.492.957	1.442.770	1.364.800	1.388.436
	Economia	171.607	172.124	175.156	201.896
Brasília	Tradicional 0°	1.346.643	1.293.991	1.202.403	1.200.253
	Pele de Vidro C	1.603.052	1.542.184	1.442.071	1.465.477
	Economia	256.409	248.194	239.668	265.224
	Tradicional 90°	1.301.917	1.251.595	1.166.378	1.168.252
	Pele de Vidro S	1.549.571	1.492.221	1.398.819	1.424.506
	Economia	247.655	240.626	232.441	256.253
Rio de Janeiro	Tradicional 0°	2.029.681	1.968.773	1.869.686	1.839.724
	Pele de Vidro C	2.294.817	2.230.806	2.118.958	2.113.709
	Economia	265.135	262.033	249.273	273.985
	Tradicional 90°	1.994.694	1.937.078	1.842.991	1.813.458
	Pele de Vidro S	2.254.242	2.188.317	2.082.717	2.075.633
	Economia	259.548	251.238	239.726	262.175
Salvador	Tradicional 0°	2.177.188	2.122.809	2.023.036	1.974.853
	Pele de Vidro C	2.398.963	2.338.308	2.231.670	2.196.575
	Economia	221.775	215.499	208.634	221.721
	Tradicional 90°	2.127.024	2.076.518	1.984.290	1.938.530
	Pele de Vidro S	2.338.229	2.281.572	2.182.712	2.148.627
	Economia	211.205	205.054	198.421	210.097
Recife	Tradicional 0°	2.469.551	2.413.869	2.311.944	2.246.693
	Pele de Vidro C	2.675.948	2.615.616	2.518.130	2.463.541
	Economia	206.397	201.747	206.185	216.848
	Tradicional 90°	2.425.143	2.373.560	2.279.129	2.213.520
	Pele de Vidro S	2.621.253	2.564.585	2.472.265	2.416.233
	Economia	196.110	191.025	193.135	202.713

Cidade	WWR	40%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional 0°	1.142.583	1.086.471	987.242	984.153
	Pele de Vidro 0°	1.324.674	1.257.869	1.147.425	1.184.269
	Economia	182.091	171.398	160.183	200.117
	Tradicional 90°	1.082.493	1.030.115	941.046	946.000
	Pele de Vidro 90°	1.261.275	1.199.242	1.098.384	1.144.841
	Economia	178.781	169.127	157.338	198.841
Porto Alegre	Tradicional 0°	1.396.940	1.340.650	1.231.848	1.190.454
	Pele de Vidro 0°	1.581.679	1.515.519	1.395.300	1.389.394
	Economia	184.739	174.869	163.452	198.939
	Tradicional 90°	1.332.628	1.279.819	1.180.891	1.146.929
	Pele de Vidro 90°	1.511.890	1.449.220	1.338.754	1.340.484
	Economia	179.262	169.400	157.862	193.555
São Paulo	Tradicional 0°	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	Pele de Vidro 0°	1.594.323	1.537.389	1.422.319	1.440.775
	Economia	176.628	178.852	175.607	204.209
	Tradicional 90°	1.417.695	1.358.537	1.246.712	1.236.565
	Pele de Vidro 90°	1.544.313	1.488.627	1.382.305	1.407.587
	Economia	126.618	130.090	135.593	171.022
Brasília	Tradicional 0°	1.452.784	1.384.445	1.264.893	1.261.423
	Pele de Vidro 0°	1.674.285	1.597.429	1.467.717	1.493.094
	Economia	221.501	212.984	202.824	231.671
	Tradicional 90°	1.398.131	1.333.036	1.222.168	1.224.800
	Pele de Vidro 90°	1.612.117	1.539.165	1.419.410	1.448.174
	Economia	213.986	206.129	197.241	223.374
Rio de Janeiro	Tradicional 0°	2.143.813	2.063.529	1.928.237	1.898.106
	Pele de Vidro 0°	2.373.197	2.284.241	2.140.638	2.133.521
	Economia	229.384	220.712	212.402	235.415
	Tradicional 90°	2.101.068	2.026.383	1.899.514	1.865.885
	Pele de Vidro 90°	2.320.270	2.242.012	2.105.534	2.094.082
	Economia	219.202	215.629	206.020	228.197
Salvador	Tradicional 0°	2.294.769	2.222.730	2.092.241	2.029.349
	Pele de Vidro 0°	2.486.589	2.408.963	2.270.745	2.223.940
	Economia	191.820	186.233	178.504	194.591
	Tradicional 90°	2.234.221	2.167.951	2.047.226	1.987.804
	Pele de Vidro 90°	2.418.504	2.346.270	2.217.818	2.172.076
	Economia	184.283	178.319	170.592	184.272
Recife	Tradicional 0°	2.588.462	2.514.802	2.388.354	2.299.324
	Pele de Vidro 0°	2.769.453	2.690.582	2.556.495	2.478.678
	Economia	180.991	175.780	168.141	179.354
	Tradicional 90°	2.535.276	2.468.149	2.349.846	2.264.110
	Pele de Vidro 90°	2.707.124	2.634.047	2.508.559	2.434.164
	Economia	171.848	165.898	158.713	170.054

Cidade	WWR	50%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional 0°	1.238.352	1.170.553	1.049.260	1.044.646
	Pele de Vidro C	1.394.013	1.317.050	1.182.760	1.217.930
	Economia	155.660	146.497	133.500	173.284
	Tradicional 90°	1.167.026	1.104.695	995.177	1.000.747
	Pele de Vidro §	1.319.389	1.247.052	1.126.106	1.172.905
	Economia	152.363	142.357	130.928	172.158
Porto Alegre	Tradicional 0°	1.505.447	1.438.201	1.305.958	1.252.651
	Pele de Vidro C	1.662.583	1.585.406	1.441.452	1.424.665
	Economia	157.136	147.205	135.494	172.014
	Tradicional 90°	1.429.451	1.367.480	1.246.902	1.203.034
	Pele de Vidro §	1.581.713	1.510.212	1.378.294	1.370.439
	Economia	152.263	142.732	131.392	167.405
São Paulo	Tradicional 0°	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	Pele de Vidro C	1.660.833	1.577.948	1.450.517	1.469.368
	Economia	149.135	141.569	148.498	176.807
	Tradicional 90°	1.511.699	1.436.379	1.302.019	1.292.561
	Pele de Vidro §	1.602.538	1.524.101	1.405.982	1.432.486
	Economia	90.839	87.722	103.963	139.925
Brasília	Tradicional 0°	1.557.541	1.475.134	1.329.099	1.323.540
	Pele de Vidro C	1.745.055	1.653.963	1.497.187	1.521.198
	Economia	187.514	178.828	168.088	197.659
	Tradicional 90°	1.492.233	1.414.089	1.278.919	1.281.190
	Pele de Vidro §	1.673.508	1.587.537	1.442.997	1.472.445
	Economia	181.275	173.448	164.078	191.255
Rio de Janeiro	Tradicional 0°	2.250.228	2.153.742	1.989.610	1.955.627
	Pele de Vidro C	2.448.555	2.341.485	2.169.207	2.159.907
	Economia	198.327	187.742	179.597	204.279
	Tradicional 90°	2.200.582	2.112.089	1.958.282	1.918.095
	Pele de Vidro §	2.390.466	2.292.388	2.131.304	2.116.598
	Economia	189.885	180.299	173.022	198.504
Salvador	Tradicional 0°	2.406.858	2.319.822	2.159.766	2.084.174
	Pele de Vidro C	2.569.375	2.476.722	2.308.624	2.250.524
	Economia	162.518	156.900	148.858	166.350
	Tradicional 90°	2.336.203	2.256.473	2.108.693	2.037.618
	Pele de Vidro §	2.493.693	2.407.393	2.252.052	2.195.730
	Economia	157.490	150.920	143.358	158.112
Recife	Tradicional 0°	2.693.533	2.611.774	2.450.471	2.360.242
	Pele de Vidro C	2.848.521	2.760.307	2.591.108	2.513.233
	Economia	154.988	148.533	140.636	152.991
	Tradicional 90°	2.634.036	2.557.422	2.411.317	2.317.147
	Pele de Vidro §	2.781.758	2.698.891	2.541.825	2.462.510
	Economia	147.721	141.469	130.508	145.363

Cidade	WWR	60%			
	Vidro	Incolor	Verde	Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Curitiba	Tradicional 0°	1.335.892	1.255.843	1.109.188	1.106.464
	Pele de Vidro 0°	1.464.026	1.377.414	1.218.088	1.252.127
	Economia	128.135	121.571	108.900	145.663
	Tradicional 90°	1.251.743	1.179.972	1.048.249	1.056.308
	Pele de Vidro 90°	1.379.398	1.297.446	1.154.887	1.201.181
	Economia	127.655	117.474	106.638	144.873
Porto Alegre	Tradicional 0°	1.612.739	1.535.597	1.381.070	1.316.059
	Pele de Vidro 0°	1.743.417	1.657.285	1.491.567	1.460.205
	Economia	130.678	121.689	110.497	144.146
	Tradicional 90°	1.526.076	1.454.814	1.313.938	1.260.261
	Pele de Vidro 90°	1.652.866	1.572.304	1.420.413	1.400.889
	Economia	126.789	117.490	106.475	140.628
São Paulo	Tradicional 0°	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	Pele de Vidro 0°	1.726.059	1.638.927	1.490.491	1.493.090
	Economia	122.498	115.650	124.215	144.170
	Tradicional 90°	1.603.562	1.523.276	1.366.276	1.348.920
	Pele de Vidro 90°	1.658.001	1.575.722	1.438.577	1.453.093
	Economia	54.439	52.446	72.301	104.173
Brasília	Tradicional 0°	1.660.631	1.564.966	1.393.497	1.385.781
	Pele de Vidro 0°	1.815.375	1.711.988	1.529.715	1.549.620
	Economia	154.744	147.023	136.218	163.840
	Tradicional 90°	1.584.540	1.494.022	1.336.232	1.337.746
	Pele de Vidro 90°	1.734.672	1.635.964	1.468.779	1.496.517
	Economia	150.131	141.942	132.548	158.772
Rio de Janeiro	Tradicional 0°	2.359.627	2.250.287	2.058.139	2.011.419
	Pele de Vidro 0°	2.524.534	2.406.635	2.205.628	2.184.904
	Economia	164.907	156.348	147.489	173.485
	Tradicional 90°	2.303.338	2.202.560	2.020.412	1.970.168
	Pele de Vidro 90°	2.464.439	2.352.628	2.164.277	2.139.111
	Economia	161.101	150.069	143.866	168.943
Salvador	Tradicional 0°	2.520.707	2.420.766	2.231.234	2.137.489
	Pele de Vidro 0°	2.654.577	2.548.014	2.351.544	2.275.452
	Economia	133.870	127.247	120.309	137.963
	Tradicional 90°	2.439.646	2.345.925	2.173.305	2.085.933
	Pele de Vidro 90°	2.568.973	2.470.016	2.289.996	2.217.398
	Economia	129.327	124.091	116.692	131.465
Recife	Tradicional 0°	2.813.517	2.712.735	2.525.261	2.403.701
	Pele de Vidro 0°	2.941.743	2.834.942	2.639.610	2.531.098
	Economia	128.226	122.207	114.349	127.398
	Tradicional 90°	2.743.639	2.649.516	2.477.874	2.357.382
	Pele de Vidro 90°	2.865.940	2.766.353	2.586.692	2.478.936
	Economia	122.301	116.838	108.818	121.554

APÊNDICE E – Consumo energético decorrente da variação de diversos parâmetros

Tabela E. 1 – Consumo anual do sistema de condicionamento de ar a partir da variação de diversos parâmetros [kWh]

Curitiba			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Fechamento Opaco	WWR 30%	Alvenaria	927.552	924.877
		Drywall	953.893	972.101
	WWR 60%	Alvenaria	1.109.188	1.106.464
		Drywall	1.115.823	1.119.655
Orientação	WWR 30%	0°	927.552	924.877
		90°	889.344	892.445
	WWR 60%	0°	1.109.188	1.106.464
		90°	1.048.249	1.056.308
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	927.552	924.877
		Pele de vidro	1.117.121	1.151.697
	WWR 60%	Tradicional	1.109.188	1.106.464
		Pele de vidro	1.218.088	1.252.127
Isolante	WWR 30%	Com	1.096.982	1.140.128
		Sem	1.117.121	1.151.697
	WWR 60%	Com	1.193.731	1.239.009
		Sem	1.218.088	1.252.127
Porto Alegre			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	1.160.623	1.128.796
		Drywall	1.156.971	1.141.123
	WWR 60%	Alvenaria	1.381.070	1.316.059
		Drywall	1.381.495	1.320.897
Orientação	WWR 30%	0°	1.160.623	1.128.796
		90°	1.117.777	1.091.241
	WWR 60%	0°	1.381.070	1.316.059
		90°	1.313.938	1.260.261
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	1.160.623	1.128.796
		Pele de vidro	1.354.335	1.353.941
	WWR 60%	Tradicional	1.381.070	1.316.059
		Pele de vidro	1.491.567	1.460.205
Isolante	WWR 30%	Com	1.308.158	1.313.276
		Sem	1.354.335	1.353.941
	WWR 60%	Com	1.444.015	1.418.527
		Sem	1.491.567	1.460.205

São Paulo			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	1.189.644	1.186.540
		Drywall	1.201.614	1.213.324
	WWR 60%	Alvenaria	1.366.276	1.348.920
		Drywall	1.369.440	1.357.760
Orientação	WWR 30%	0°	1.189.644	1.186.540
		90°	1.163.601	1.160.310
	WWR 60%	0°	1.366.276	1.348.920
		90°	1.318.115	1.306.843
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	1.189.644	1.186.540
		Pele de vidro	1.401.415	1.419.814
	WWR 60%	Tradicional	1.366.276	1.348.920
		Pele de vidro	1.490.491	1.493.090
Isolante	WWR 30%	Com	1.366.995	1.389.620
		Sem	1.401.415	1.419.814
	WWR 60%	Com	1.454.243	1.462.712
		Sem	1.490.491	1.493.090

Brasília			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	1.202.403	1.200.253
		Drywall	1.221.018	1.227.112
	WWR 60%	Alvenaria	1.393.497	1.385.781
		Drywall	1.394.659	1.394.143
Orientação	WWR 30%	0°	1.202.403	1.200.253
		90°	1.166.378	1.168.252
	WWR 60%	0°	1.393.497	1.385.781
		90°	1.336.232	1.337.746
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	1.202.403	1.200.253
		Pele de vidro	1.442.071	1.465.477
	WWR 60%	Tradicional	1.393.497	1.385.781
		Pele de vidro	1.529.715	1.549.620
Isolante	WWR 30%	Com	1.396.297	1.419.710
		Sem	1.442.071	1.465.477
	WWR 60%	Com	1.485.193	1.504.941
		Sem	1.529.715	1.549.620

Rio de Janeiro			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	1.869.686	1.839.724
		Drywall	1.851.927	1.827.740
	WWR 60%	Alvenaria	2.058.139	2.011.419
		Drywall	2.056.525	2.012.329
Orientação	WWR 30%	0°	1.869.686	1.839.724
		90°	1.842.991	1.813.458
	WWR 60%	0°	2.058.139	2.011.419
		90°	2.020.412	1.970.168
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	1.869.686	1.839.724
		Pele de vidro	2.118.958	2.113.709
	WWR 60%	Tradicional	2.058.139	2.011.419
		Pele de vidro	2.205.628	2.184.904
Isolante	WWR 30%	Com	2.053.041	2.044.172
		Sem	2.118.958	2.113.709
	WWR 60%	Com	2.144.094	2.117.245
		Sem	2.205.628	2.184.904

Salvador			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	2.023.036	1.974.853
		Drywall	1.988.446	1.939.949
	WWR 60%	Alvenaria	2.231.234	2.137.489
		Drywall	2.225.354	2.130.876
Orientação	WWR 30%	0°	2.023.036	1.974.853
		90°	1.984.290	1.938.530
	WWR 60%	0°	2.231.234	2.137.489
		90°	2.173.305	2.085.933
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	2.023.036	1.974.853
		Pele de vidro	2.231.670	2.196.575
	WWR 60%	Tradicional	2.231.234	2.137.489
		Pele de vidro	2.351.544	2.275.452
Isolante	WWR 30%	Com	2.156.194	2.117.782
		Sem	2.231.670	2.196.575
	WWR 60%	Com	2.281.463	2.198.271
		Sem	2.351.544	2.275.452

Recife			Lam.C.Sol.	Dup.C.Sol.
Tipo de Parede	WWR 30%	Alvenaria	2.311.944	2.246.693
		Drywall	2.271.479	2.196.604
	WWR 60%	Alvenaria	2.525.261	2.403.701
		Drywall	2.516.638	2.394.286
Orientação	WWR 30%	0°	2.311.944	2.246.693
		90°	2.279.129	2.213.520
	WWR 60%	0°	2.525.261	2.403.701
		90°	2.477.874	2.357.382
Config. Fachada	WWR 30%	Tradicional	2.311.944	2.246.693
		Pele de vidro	2.518.130	2.463.541
	WWR 60%	Tradicional	2.525.261	2.403.701
		Pele de vidro	2.639.610	2.531.098
Isolante	WWR 30%	Com	2.438.169	2.378.493
		Sem	2.518.130	2.463.541
	WWR 60%	Com	2.565.763	2.448.996
		Sem	2.639.610	2.531.098

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

Orientador: Fernando Simon Westphal, Dr.

Florianópolis, 2014