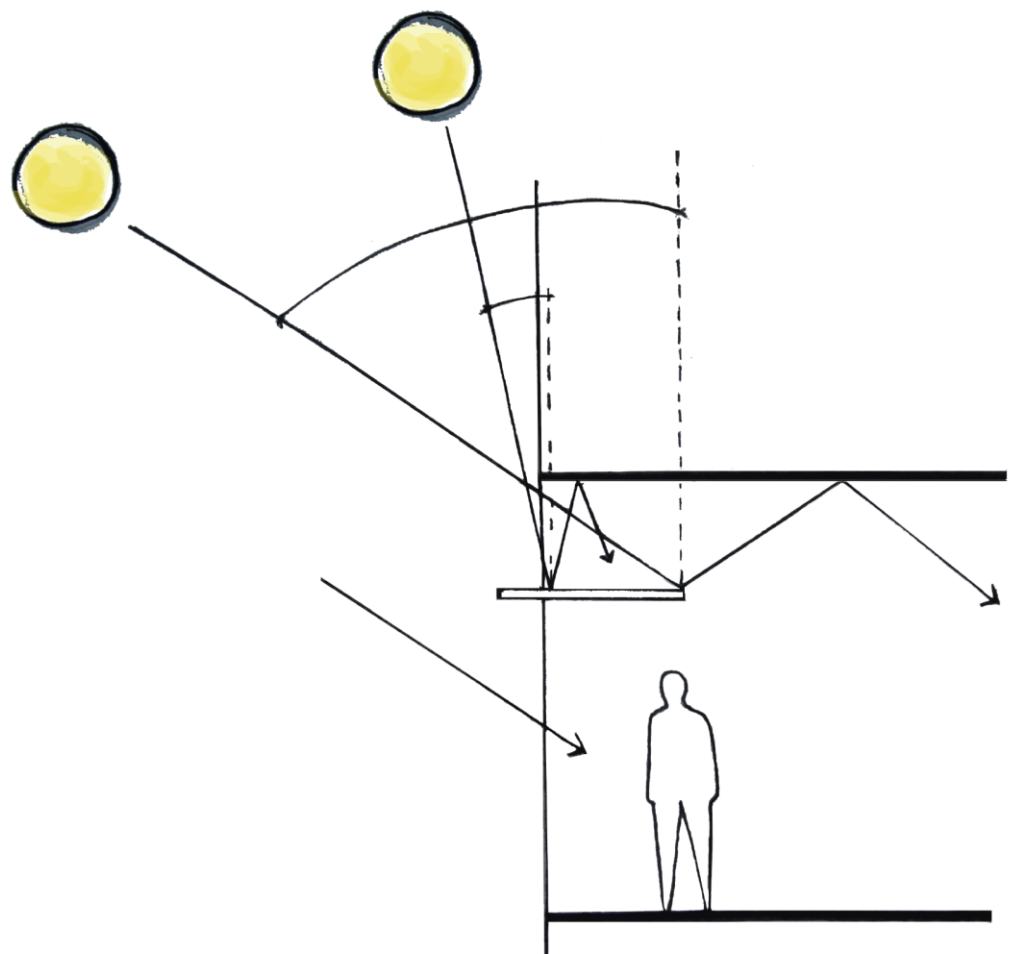


# SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR E AÇÕES DE RETROFITTING

CLAUDIO ANDRE NUSS



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Faculdade de Arquitetura  
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em  
Arquitetura**

**CLAUDIO ANDRE NUSS**

**SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR E AÇÕES DE RETROFITTING**

**PORTO ALEGRE  
2018**

**CLAUDIO ANDRE NUSS**

**SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR E AÇÕES DE RETROFITTING**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Orientador:  
Heitor da Costa Silva, Arq.Ph.D.

PORTO ALEGRE  
2018

“It is a mission of modern architecture to concern itself with the sun...”

Le Corbusier

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram para a concretização deste trabalho e ao PROPAR, pelo ensino de qualidade, e à CAPES, pelo aporte financeiro a pesquisa.

Ao meu orientador, Heitor, pela paciência e auxílio em todos os momentos.

Em especial à minha família e minha companheira pelo incentivo e compreensão para seguir em frente.

## RESUMO

Os sistemas de controle solar auxiliam no controle da radiação solar incidente no envoltório, e, de acordo com a NBR 15220-3, é recomendável seu uso para a zona bioclimática 3, na cidade de Porto Alegre. Assim, com a ação de retrofitting, é possível utilizar os sistemas de controle solar como modo de adaptar o envoltório das edificações ao clima local e aos padrões de consumo atuais. Dessa forma, o retrofitting do envoltório pode contribuir com a redução do consumo energético e a dependência de sistemas de refrigeração e aquecimento mecânico. Logo, o objetivo da dissertação é qualificar e quantificar energeticamente os sistemas de controle solar com vistas à redução do consumo energético nos ambientes construídos. Um estudo de caso foi realizado na cidade de Porto Alegre, onde um edifício foi selecionado perante um conjunto de edificações existentes. Com o auxílio de um método expedito de cálculo energético, foi realizada a avaliação energética do envoltório da edificação atual e do seu *retrofitting* proposto. A edificação passou de nível energético E para nível A, comprovando o êxito do estudo de *retrofitting* aplicado. A pesquisa concluiu que, alinhado com o encontrado na revisão da literatura, as edificações com grandes aberturas orientadas para oeste são um equívoco de projeto no clima de Porto Alegre e que as ações de *retrofitting* são uma alternativa de adaptação ao clima local, tornando os edifícios eficientes energeticamente.

**Palavras-chaves:** Controle solar; *retrofitting*; eficiência energética.

## ABSTRACT

Shading systems help to control the incident solar radiation on the envelope, and, according to NBR 15220-3, its use is recommended for the bioclimatic zone 3, in the city of Porto Alegre. Hence, with retrofitting, it is possible to use shading systems as a way of adapting the building envelope to the local climate and current consumption patterns. Thus, the retrofitting of the envelope can contribute to the reduction of the energy consumption and of the dependence on systems of refrigeration and mechanical heating. Therefore, the objective of this dissertation is to qualify and quantify the energy of shading systems in order to reduce energy consumption in built environments. Thus, a case study was conducted in the city of Porto Alegre, where a building was selected from a set of existing buildings. We performed an energetic evaluation of current envelope of buildings and its proposed retrofitting by using a facilitated method for energy calculation. The buildings moved from energy level E to level A, proving the success of the study on the applied retrofitting. We conclude that, as also shown in literature review; buildings with large openings oriented to the west in Porto Alegre are a design misconception due to the city's climate. Thus, retrofitting actions are alternative ways to adapt to the local climate so that buildings are energy efficient.

**Keywords:** Shading device, retrofitting, energy efficiency.

## GLOSSÁRIO

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASHRAE: AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AIR CONDITIONING ENGINEERS.

ENCE: ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.

INMETRO: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL.

LABEEE: LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

NBR: NORMA BRASILEIRA.

RTQ-C: REQUISITO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS.

PROCEL: PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

ALT: ÂNGULO DA ALTURA SOLAR

AZI: ÂNGULO SOLAR DE AZIMUTE



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REGIÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO.	20
FIGURA 2 – ALTURA SOLAR NO VERÃO E NO INVERNO PARA A LATITUDE DE PORTO ALEGRE ÀS 12H, HORÁRIO SOLAR.	24
FIGURA 3 – FLUXO DE ENERGIA NUMA DETERMINADA ABERTURA.	27
FIGURA 4 – ÂNGULOS DE INSOLAÇÃO NA TERRA.	29
FIGURA 5 – VARIAÇÃO ANUAL DO CAMINHO DO SOL.	29
FIGURA 6 – LEI DOS COSSENOS.	30
FIGURA 7 – ÂNGULO DE ALTURA SOLAR E AZIMUTE.	31
FIGURA 8 – SELO PROCEL / ENCE PARCIAL.	33
FIGURA 9 – PLANILHA DO ICENV CONFORME ÁREA E ZONA BIOCLIMÁTICA.	34
FIGURA 10 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO E ALTURA SOLAR.	38
FIGURA 11 – ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO E DISPOSITIVOS DE CONTROLE SOLAR	39
FIGURA 12 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO E ALTURA SOLAR	39
FIGURA 13 – ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO.	40
FIGURA 14 – RESTAURAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO.	45
FIGURA 15 – ALTERAÇÃO DE CARÁTER EM PORTO ALEGRE.	46
FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE O EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912 E O EDIFÍCIO MANHATTAN.	47
FIGURA 17 – SISTEMA SOLAR INTEGRADO EM FACHADAS (IC).	48
FIGURA 18 – LOJA EM PORTO ALEGRE.	52
FIGURA 19 – DISPOSITIVOS VERTICAIS FIXADOS NO PALÁCIO DA JUSTIÇA DE PORTO ALEGRE.	56
FIGURA 20 – DISPOSITIVOS VERTICAIS EM VISTA DE ELEVAÇÃO.	58
FIGURA 21 – DISPOSITIVOS HORIZONTAIS.	59
FIGURA 22 – DISPOSITIVOS MISTOS.	59
FIGURA 23 – PERSIANAS DO EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 888.	60
FIGURA 24 – VENEZIANAS DO EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 928.	60
FIGURA 25 – TOLDOS DA EDIFICAÇÃO DE NÚMERO PREDIAL 896	61
FIGURA 26 – SACADA DA EDIFICAÇÃO DE NÚMERO PREDIAL 956	61
FIGURA 27 – MARQUISE DA EDIFICAÇÃO DE NÚMERO PREDIAL 888.	62
FIGURA 28 – PLANTA DE SITUAÇÃO COM LOTES DO ESTUDO DE CASO.	68
FIGURA 29 – FOTO PANORÂMICA DOS EDIFÍCIOS EM ANÁLISE.	68
FIGURA 30 – ELEVAÇÃO OESTE DOS EDIFÍCIOS CONSTRUÍDOS NO PLANO GLADOSCH.	69
FIGURA 31 – ELEVAÇÃO OESTE DOS EDIFÍCIOS CONSTRUÍDOS NO PLANO DIRETOR DE 1961.	70

FIGURA 32 – ELEVÇÃO EDIFÍCIO CONSTRUÍDOS CONFORME O PLANO DIRETOR DE 1961.	71
FIGURA 33 – PERSPECTIVA DA AVENIDA GETÚLIO VARGAS ENTRE A BARÃO DO TRIUNFO E A VISCONDE DO HERVAL.	72
FIGURA 34 – ELEVÇÃO OESTE – PERFIL COM A ALTURA DAS EDIFICAÇÕES.	73
FIGURA 35 – ELEVÇÃO OESTE – ÁREA COM ABERTURA E FECHAMENTO DOS EDIFÍCIOS ABERTURAS X PAREDES EXTERNAS	74
FIGURA 36 – AR CONDICIONADOS NA FACHADA DO EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912.	76
FIGURA 37 – A RELAÇÃO DAS ALTURAS ENTRE OS EDIFÍCIOS VIZINHOS.	77
FIGURA 38 – SIMULAÇÃO: DIA 15/01 – HORÁRIO 15H.	78
FIGURA 39 – SIMULAÇÃO: DIA 15/01 – HORÁRIO 16H.	78
FIGURA 40 – SIMULAÇÃO: DIA 15/01 – HORÁRIO 17H.	79
FIGURA 41 – SIMULAÇÃO: DIA 15/06 – HORÁRIO 15H.	79
FIGURA 42 – SIMULAÇÃO: DIA 15/06 – HORÁRIO 16H.	80
FIGURA 43 – SIMULAÇÃO: DIA 15/06 – HORÁRIO 17H.	80
FIGURA 44 – PLANTA DE SITUAÇÃO PARA AFERIÇÃO DOS ÂNGULOS DE SOMBREAMENTO. ACIMA ESTÁ O EDIFÍCIO CENTRO EMPRESARIAL GETÚLIO VARGAS E ABAIXO O EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912.	81
FIGURA 45 – CORTE ENTRE OS EDIFÍCIOS PARA AFERIÇÃO DO ÂNGULO DE SOMBREAMENTO. À ESQUERDA, O EDIFÍCIO CENTRO EMPRESARIAL GETÚLIO VARGAS E, À DIREITA, O EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912.	81
FIGURA 46 – CARTA SOLAR COM MANCHA DE SOMBREAMENTO DO EDIFÍCIO CENTRO EMPRESARIAL.	82
FIGURA 47 – CORTE ESQUEMÁTICO DE UM PAVIMENTO TIPO.	83
FIGURA 48 – PLANTA BAIXA DE PAVIMENTO TIPO.	83
FIGURA 49 – CARTA SOLAR COM MANCHA DE SOMBREAMENTO E ACRÉSCIMO DE DISPOSITIVO DE SOMBREAMENTO.	84
FIGURA 50 – DIMENSÕES DO EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912.	85
FIGURA 51 – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO COM AS DIMENSÕES DOS BRISES SOLEIL VERTICAIS (AHS)	91
FIGURA 52 – EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912 COM RETROFITTING	93

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DIRETRIZES CONSTRUTIVAS E ESTRATÉGIAS PROJETUAIS PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3.	22
TABELA 2 – OBJETIVO DO SOMBREAMENTO NAS FACHADAS.	28
TABELA 3 - ESQUEMAS DE RETROFITTING PARA O ENVOLTÓRIO.	43
TABELA 4 - ESQUEMAS DE <i>RETROFITTING</i> PARA O ENVOLTÓRIO.	49
TABELA 5 – VALORES DE FATOR SOLAR (FS) PARA ABERTURAS COM DIFERENTES SUPERFÍCIES SEPARADORAS.	65
TABELA 6 – CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS EDIFÍCIOS.	67
TABELA 7 – COMPARAÇÃO ENTRE O EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912 E O " <i>RETROFITTING</i> " DO EDIFÍCIO DE NÚMERO PREDIAL 912.	86
TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE CONTROLE SOLAR DO RETROFITTING.	92

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1 CONTROLE SOLAR</b>	<b>18</b>
1.1 Clima de Porto Alegre	22
1.2 Estratégias de projeto	25
1.3 Geometria solar	28
1.4 Consumo energético	31
1.5 Avaliação expedita	34
<b>2 RETROFITTING</b>	<b>42</b>
2.1 Ações de retrofitting	46
2.2 Consumo energético	51
2.3 Controle solar	56
<b>3 ESTUDO DE CASO</b>	<b>64</b>
3.1 Método de análise	85
3.2 Resultados	87
3.3 Discussão	88
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>99</b>

## INTRODUÇÃO

O objetivo da dissertação é qualificar os elementos e sistemas que produzem efeitos quantificáveis – o fator solar<sup>1</sup> – a fim de definir alternativas em ações de *retrofitting* com vistas à redução de energia elétrica, para o condicionamento e o conforto dos usuários nos ambientes construídos.

Como resultado do objetivo, estão presentes os seguintes marcos teóricos: a) arquitetura bioclimática e dispositivos de controle solar – para as ações de *retrofitting*; b) arquitetura contemporânea, em particular no Brasil – para exemplos e estudos de caso; e c) geometria solar – estudos referentes à carta solar e a ângulos de sombreamento. Como embasamento para a dissertação, a revisão da literatura contempla artigos científicos atuais e alguns livros lançados há décadas, considerados obras essenciais que originaram as teorias que compõem a estrutura do presente trabalho.

A pesquisa investiga os sistemas<sup>2</sup> de controle solar – verticais e horizontais – com a intenção de controlar a radiação solar. A qualificação do envoltório ocorre devido à alteração da eficiência energética, conforto térmico e expressão arquitetônica da edificação. Assim, a dissertação contribui como pesquisa sobre a abordagem e forma de adaptação do envoltório ao clima local, utilizando sistemas de controle solar através do procedimento de *retrofitting*. A pesquisa procura contribuir com a economia no consumo energético e, conseqüentemente, ser uma alternativa a redução do consumo de energia elétrica e ao impacto da construção civil no meio ambiente.

---

<sup>1</sup> O fator solar é dado pela razão entre o ganho de calor de uma abertura no ambiente e a radiação solar incidente nesta mesma abertura.

<sup>2</sup> Sistema é um conjunto de elementos inter-relacionados com um objetivo em comum. VON BERTALANFFY, Ludwig. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes, 1975.

O envoltório é o somatório das superfícies externas que intermediam o fluxo energético entre o interior e o exterior das edificações. Sendo assim, o envoltório necessita estar em equilíbrio com o clima – caso contrário, serão requisitadas outras formas para proporcionar o conforto térmico, em geral através do uso da refrigeração ou do aquecimento mecânico, aumentando a demanda energética.

Entretanto, as diretrizes dos Planos Diretores não auxiliam no projeto orientado às exigências climáticas locais. O plano visa somente à orientação de construções em relação à altura, índices construtivos, recuos laterais, recuo de jardim e área de ocupação. Logo, estimula a especulação imobiliária através da compra de índice construtivo.

As orientações relativas ao envoltório aparecem somente no Código de Obras da cidade de Porto Alegre. As diretrizes do código não estipulam a área máxima de aberturas na fachada, mas apenas a área mínima para imóveis residenciais, que é de aproximadamente 0,40 m<sup>2</sup> por compartimento. Assim, é obrigatória a instalação de dispositivos de controle solar nos dormitórios; entre eles estão: persianas, venezianas, *brises soleil*, toldos ou similares.

O Código de Obras de Porto Alegre não apresenta orientações sobre o envoltório dos edifícios comerciais. Caso o projeto não seja concebido de acordo com o clima local, o usuário é obrigado a fixar cortinas e persianas internas nos ambientes – no entanto, a eficiência desses dispositivos é baixa. O Fator Solar dos dispositivos internos é semelhante ao vidro; a inserção, em muitos casos, contribui para a redução da iluminação natural e a necessidade do auxílio da luz elétrica para iluminar os ambientes, aumentando o consumo elétrico.

A preocupação do governo brasileiro com o consumo energético nas edificações persiste há décadas e foi agravada com o apagão de 2001<sup>3</sup>; dessa forma, o governo instituiu normas de desempenho térmico e o programa PROCEL, de etiquetagem energética, na tentativa de economizar energia. A NBR 15220-3<sup>4</sup> classifica o Brasil em Zonas Bioclimáticas e estipula estratégias de projeto para adaptação das edificações a essas zonas. O programa PROCEL estimula a

---

<sup>3</sup> O apagão de 2001 foi uma crise energética nacional que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica no Brasil. Ocorreu entre os anos de 2001 e 2002.

<sup>4</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

racionalização do consumo energético nas edificações através da emissão de selos que quantificam o consumo energético para os sistemas do envoltório, iluminação e condicionamento de ar.

A norma de desempenho térmico e o programa PROCEL levam em consideração o clima local. Para o Zoneamento Bioclimático de Porto Alegre, a NBR 15220-3 recomenda o uso de sistemas de controle solar no envoltório, pois a cidade apresenta distintas estações climáticas, com períodos de calor e frio – entretanto, em ambas ocorre a necessidade de controlar a incidência dos raios solares. Nos dias quentes, o envoltório deve ser protegido dos raios solares, e, nos dias frios, permitir a incidência dos raios solares no interior da edificação para o aquecimento. O cálculo dos ângulos de incidência solar pode ser realizado por meio da geometria solar. Com seu auxílio é possível obter o sistema de controle solar adequado a cada orientação solar da fachada. Dessa forma, a adequação do envoltório ao clima permite regular o aquecimento e o resfriamento, alterando o conforto térmico no interior do edifício.

A edificação pode ser concebida levando em consideração os aspectos climáticos; entretanto, caso esteja em desacordo com o clima, as ações de *retrofitting* podem readaptar o envoltório. A ação de *retrofitting* é destinada ao aumento da eficiência energética do edifício, não se limitando a edificações antigas, mas a qualquer edifício. Como consequência, pode contribuir com a valorização imobiliária, a otimização da vida útil e a redução do consumo de energia em grandes cidades, contribuindo com o equilíbrio ambiental.

O consumo energético deve ser avaliado através da quantificação energética do envoltório e do estudo de alternativas para a racionalização da energia. No caso da dissertação, a ação de *retrofitting* utiliza os sistemas de controle solar como modo de adaptação do envoltório ao clima local e aos padrões de consumo atuais. Portanto, entende-se que é função da arquitetura assegurar as condições de conforto térmico e preservação dos bens finitos, cooperando com o equilíbrio ambiental. Assim sendo, as edificações precisam ser avaliadas sob esse aspecto.

A necessidade de racionalizar o consumo e tornar as edificações eficientes justifica o trabalho. O consumo das edificações aumenta a demanda energética atual, afetando o equilíbrio do planeta e sendo um dos agentes que contribuem com

as mudanças climáticas. Estima-se que a construção civil seja responsável pelo dispêndio de 40% da energia produzida no mundo, destinada à construção e ao funcionamento das edificações<sup>5</sup>. No Brasil, os valores são semelhantes: a indústria da construção civil consome 47% de toda a energia elétrica produzida<sup>6</sup>.

Uma edificação vigora em funcionamento, em geral, por mais de 50 anos, consumindo energia, em especial, para o condicionamento térmico dos ambientes. Sendo assim, as soluções técnicas e arquitetônicas empregadas no projeto persistem nas cidades e no planeta, necessitando de atualizações técnicas e conceituais. A metodologia da dissertação tem caráter de pesquisa qualitativa e quantitativa e é delineada a partir de um estudo de caso. A investigação procurou quantificar a eficiência energética do envoltório com uso do método expedito WEBPRESCRITIVO do LABEEE, aplicado a um edifício de um trecho de zona urbana.

No estudo de caso, foi analisado um segmento de quadra situado no bairro Menino Deus, na cidade de Porto Alegre. O segmento de quadra foi selecionada devido a presença de edificações com diferentes planos diretores, tipologias construtivas e a fachada frontal com orientação solar oeste. Apresenta oito edificações construídas, onde seleciona-se o edifício de número predial 912 devido a sua tipologia a ausência de dispositivos de controle solar e presença de grandes áreas envidraçadas com orientação solar oeste.

A avaliação do envoltório para o *retrofitting* respeitou duas normas vigentes no Brasil – a NBR 15575-1<sup>7</sup>, quanto ao modelo de *retrofitting*, e a NBR 15220-3, em relação ao zoneamento bioclimático. O modo de intervenção no envoltório seguiu os preceitos da conferência OECD/IEA (2004)<sup>8</sup>, que relaciona conceitos e ações de *retrofitting* no envoltório. A intervenção foi realizada introduzindo sistemas de

---

<sup>5</sup> US DEPARTMENT OF ENERGY. Buildings Energy Data Book. 2013.

<sup>6</sup> MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, 2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2018\\_VF+guilherme.pdf/7b6a3b80-0003-4c9f-a6a7-f55dfc55d39e](http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2018_VF+guilherme.pdf/7b6a3b80-0003-4c9f-a6a7-f55dfc55d39e)>. Acesso em 15 fev. 2018.

<sup>7</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

<sup>8</sup> OECD/IEA. Joint Workshop on Sustainable Buildings: Towards Sustainable Use of Building Stock. (2004).



controle solar na fachada de acordo com as características originais dos edifícios. O procedimento metodológico empregado na avaliação energética do edifício de número predial 912 foi:

- Definição do levantamento e dados referentes ao estudo de caso (ano de construção, número predial, plano diretor, recuo de jardim, uso, materiais da abertura, sistema de controle solar, altura, e as características das aberturas conforme a planilha de cálculo do envoltório), segundo o método expedito WEBPRESCRITIVO do LABEEE.
- Avaliação dos índices de consumo energético através do método expedito WEBPRESCRITIVO para a Zona Bioclimática 3. Para a avaliação, optou-se pelos pré-requisitos indicados para níveis A e B, nos quais é possível avaliar a contribuição da alteração das características das aberturas no nível de eficiência energética.
- Elaboração de maquete eletrônica e carta solar para verificar o sombreamento na fachada oeste e os ângulos de sombreamento vertical e horizontal, (AVS); (AHS). Foram usadas estratégias de intervenção no envoltório, onde foi eleita a adição de dispositivos de controle solar como adequada para o estudo de caso, seguindo referências arquitetônicas brasileiras e as estratégias utilizadas na conferência OECD/IEA.
- Realização do estudo de *retrofitting* com adição de dispositivos de controle solar na fachada oeste, alterando na planilha o campo da característica das aberturas.
- Com os novos parâmetros gerados pelo estudo de *retrofitting*, foi reavaliado o índice de consumo energético do envoltório através do método expedito WEBPRESCRITIVO do LABEEE.
- Discussão dos índices de consumo energético obtidos.

A estrutura da dissertação discute, nos capítulos 1 e 2, o marco teórico da dissertação. No capítulo 3, avalia-se o objeto do estudo de caso no ponto de vista de consumo energético de acordo com método expedito WEBPRESCRITIVO do envoltório. Ao final, são discorridas considerações com a discussão dos resultados obtidos na dissertação.

Os tópicos a seguir demonstra, a divisão do trabalho:

**Capítulo 1:** O capítulo contextualiza os conceitos da geometria solar, os aspectos relevantes ao clima e as estratégias de conforto térmico para a cidade de Porto Alegre. O conceito de geometria solar auxilia no cálculo dos ângulos de sombreamento, no entendimento da intensidade da radiação solar, na compreensão dos solstícios, equinócios, altura solar e clima. Além disso, apresenta os dados relevantes ao consumo energético, especialmente os relacionados ao envoltório. Por fim, analisa o método expedito WEBPRESCRITIVO do envoltório e seus parâmetros de avaliação.

**Capítulo 2:** O capítulo delimita o conceito de *retrofitting* aplicado na dissertação. Verifica estratégias de intervenção no envoltório, como o uso de dispositivos de controle solar na intervenção do edifício. Os dispositivos estão associados às edificações e constituem exemplos e estratégias de intervenção no envoltório.

**Capítulo 3:** O capítulo estabelece a análise e seleção de uma edificação do estudo de caso para avaliação energética do envoltório. Com os resultados da avaliação, discute-se o *retrofitting* do seu envoltório, através da adição de sistemas de controle solar. É realizada uma nova avaliação do envoltório por meio da etiquetagem PROCEL, cujos resultados são discutidos.

As considerações finais consistem na discussão dos resultados do estudo de caso, nos quais são analisados, de maneira conclusiva, os aspectos ligados à adaptação do envoltório ao clima local, especialmente ao referirem-se as fachadas com orientação solar oeste. Por fim, indica os desdobramentos para futuros trabalhos.

## 1 CONTROLE SOLAR

O capítulo apresenta a literatura e os conceitos pertinentes ao clima na escala local, as estratégias de projeto conforme o clima local, a geometria solar, o consumo energético das edificações e a avaliação expedita de acordo com a ferramenta WEBPRESCRITIVO<sup>9</sup>. A investigação auxilia na compreensão das teorias relacionadas aos sistemas de controle solar e ações de *retrofitting*.

A arquitetura passiva é um conceito relacionado ao consumo energético das edificações. É a capacidade dos edifícios de alcançarem o conforto térmico com o menor consumo de energia. A linguagem arquitetônica apropriada inclui a forma do edifício, a orientação, a materialidade e o envoltório<sup>10</sup>.

O envoltório é constituído pelas faces externas da edificação que estão em contato com o exterior. É representado por paredes, aberturas e coberturas das edificações, e possuem um papel preponderante no conforto térmico, pois definem o fator de acesso dos raios solares ao interior da edificação.

A materialidade do envoltório pode ter fechamentos transparentes ou opacos e cada tipo de fechamento possui um determinado comportamento perante a radiação solar. As superfícies opacas possuem inércia térmica, o que dificulta o aquecimento térmico no interior – já os fechamentos transparentes (aberturas) permitem o acesso direto da radiação solar. O conforto térmico no interior da edificação depende do envoltório.

---

<sup>9</sup> A planilha de quantificação energética do envoltório está disponível no site do LABEEE, denominada de WEBPRESCRITIVO. A planilha possui quatro campos: Localização, Pré-Requisitos, Dados Dimensionais da Edificação e Características das Aberturas.

<sup>10</sup> EVANS, John Martin. **The comfort triangles**: a new tool for bioclimatic design. 2007. 315 f. Thesis (Doctor of Philosophy)–Universidade Técnica de Delft, Delft, 2007.

O conforto térmico pode ser definido através da ausência de irritação com o calor ou frio, ou pelo estado de prazer. As condições de conforto térmico são experimentadas pela zona de conforto<sup>11</sup>, embora esta seja definida por uma avaliação subjetiva das condições ambientais. O limite da zona de conforto tem base fisiológica e alcança condições abaixo dos mecanismos termorreguladores do corpo em estado de atividade mínima<sup>12</sup>.

A norma nacional (NBR) 15220-3 define as unidades e símbolos relacionados ao desempenho térmico das edificações e apresenta diretrizes construtivas e estratégias projetuais relacionadas ao aspecto construtivo para as aberturas, vedações externas, condicionamento térmico passivo e o conforto térmico dos edifícios.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220-3) classifica o clima brasileiro em oito zonas bioclimáticas. A cidade de Porto Alegre é classificada como pertencente à zona bioclimática 3. As diretrizes construtivas da zona bioclimática 3 definem as estratégias de projeto arquitetônico para Porto Alegre.

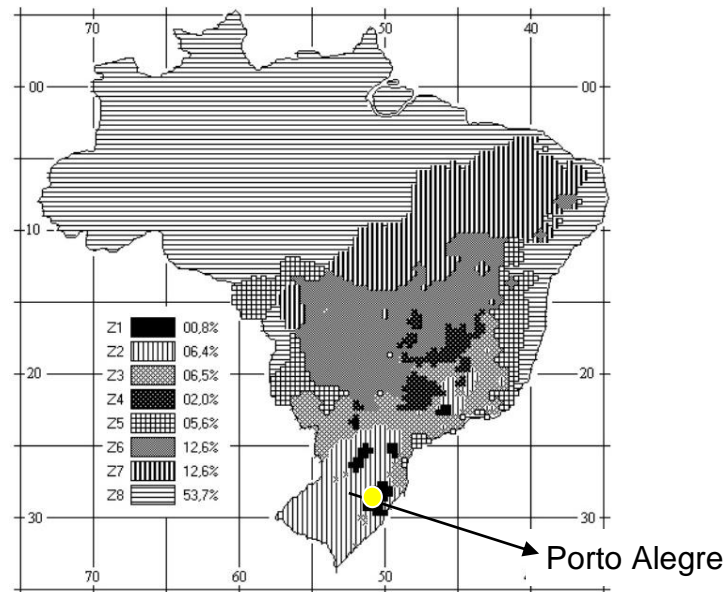
O sombreamento do envoltório está entre as diretrizes construtivas para ativar o conforto térmico na edificação; na zona bioclimática 3. Deste modo, é necessário o controle da radiação solar. O Zoneamento Bioclimático é subdividido conforme a figura 1, que mostra em destaque a região climática de Porto Alegre.

---

<sup>11</sup> A zona de conforto é a faixa de temperaturas que oferece uma sensação térmica neutra. EVANS, John Martin. **The comfort triangles**: a new tool for bioclimatic design. 2007. 315 f. Thesis (Doctor of Philosophy)–Universidade Técnica de Delft, Delft, 2007.

<sup>12</sup> GIVONI, Baruch. **Man, Climate and Architecture**. 2. ed. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

Figura 1 – Região Climática de Porto Alegre  
Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ABNT, 2005.

O sistema de controle solar é composto por dispositivos classificados em horizontais, verticais ou mistos. O controle solar tem a função de sombrear, de reduzir a incidência dos raios solares no interior da edificação, controlando o acesso, evitando o sobreaquecimento, o ofuscamento e a deterioração do envoltório e objetos expostos ao Sol<sup>13</sup>.

A geometria solar<sup>14</sup> é importante para o controle solar no envoltório. A trajetória do Sol e a radiação solar influenciam no consumo energético. A carta solar é a projeção gráfica do caminho do Sol na calota celeste de acordo com a latitude do local e possibilita a leitura, ao longo do ano, dos ângulos da altura solar e azimute<sup>15</sup>.

O consumo energético das edificações varia conforme o desenho especificado do envoltório. A construção civil contribui de maneira significativa para o consumo de energia e emissões de CO<sup>2</sup>. O consumo energético ocorre,

<sup>13</sup> FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. 1. ed. São Paulo: Editora Geros, 2004.

<sup>14</sup> A geometria solar determina, graficamente, os ângulos de incidência do sol em função da latitude, hora e época do ano. FROTA, Anesia Barros. **Manual de conforto térmico**. 8.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

<sup>15</sup> SZOKOLAY, Steven V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Routledge, 2014.

principalmente, na etapa de uso da edificação, e a redução preserva o ambiente natural.

Desta forma, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL/ Edifica) foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL. O programa atua em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, centros de pesquisas e setores da construção civil. O objetivo é tornar obrigatório para todas as construções. A etiquetagem PROCEL auxilia na avaliação do consumo energético no Brasil, determinando os níveis de eficiência energética das edificações.

Os conceitos da etiquetagem PROCEL são analisados com rigor nos seguintes manuais de aplicação: Regulamentos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O presente estudo leva em consideração os aspectos referentes ao envoltório<sup>16</sup>.

A avaliação energética do programa PROCEL é denominada Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e pode ser Geral ou Parcial. O ENCE Geral engloba a avaliação dos sistemas de ar-condicionado, iluminação ou envoltório da edificação. O ENCE Parcial avalia um ou, no máximo, dois dos sistemas.

A dissertação quantifica energeticamente o envoltório por meio do Fator Solar (FS), no qual são destacadas conforme a planilha WEBPRESCRITIVO as variáveis: Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT), Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAFo), Fator Solar (FS).

---

<sup>16</sup> PROCEL. **Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** Rio de Janeiro: Procel/Eletrobras, 2009.

## 1.1 Clima de Porto Alegre

O clima de Porto Alegre apresenta alguns condicionantes climáticos que interferem no nível de conforto ou desconforto: o sol, a temperatura, a umidade, a precipitação e o vento. O Sol é responsável pelos ganhos térmicos das edificações no verão e pelo aquecimento passivo no inverno. A temperatura é incômoda devido à variação anual e à alta umidade, que dificulta a evaporação e aumenta a sensação de desconforto térmico. As precipitações são distribuídas ao longo do ano e amenizam a temperatura em dias quentes. A ventilação pode suavizar a sensação térmica de calor ou provocar o desconforto térmico nos dias frios<sup>17</sup>. A tabela 1 apresenta as estratégias de projeto arquitetônico recomendadas pela NBR 15220-3 para a zona bioclimática 3.

Tabela 1 – Diretrizes Construtivas e Estratégias Projetuais para a Zona Bioclimática 3.

<b>ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO E SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS</b>	
ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO	→ MÉDIAS
SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS	→ PERMITIR O SOL DURANTE O PERÍODO FRIO
<b>TIPOS DE VEDAÇÕES EXTERNAS</b>	
PAREDE	→ LEVE REFLETORA
COBERTURA	→ LEVE ISOLADA
<b>ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO</b>	
AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO	
VEDAÇÕES INTERNAS PESADAS (INÉRCIA TÉRMICA)	
VENTILAÇÃO CRUZADA	

Fonte: ABNT, 2003.

<sup>17</sup> HERTZ, John B. **Ecotécnicas em arquitetura**: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

As diretrizes construtivas e estratégias projetuais para a zona bioclimática 3 são necessárias para estabelecer o projeto arquitetônico de acordo com o clima. O entendimento das diretrizes possibilita a manipulação do envoltório, atendendo as condições de conforto térmico sem sacrificar o aspecto estético ou funcional das edificações.

O clima da cidade de Porto Alegre apresenta estações do ano bem definidas. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é subtropical úmido (CFa), com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e com média de temperatura superior aos 22° C (escala de grau Celsius) nos meses mais quentes do ano<sup>18</sup>.

Os condicionantes climáticos propiciam, na maior parte do ano, um clima moderado. Entretanto, em alguns meses, principalmente nas estações de verão e inverno, ocorrem elevadas amplitudes térmicas, oferecendo condições contrastantes, e nesses períodos pode ocorrer o estresse higrotérmico<sup>19</sup> individual<sup>20</sup>.

É possível plotar na carta psicrométrica o equivalente a 8.600 horas do ano térmico. Destas, 22,5% do ano equivale ao período de conforto térmico. O desconforto é equivalente a 77,5% das horas e pode ser causado pelo frio em 51,5% ou calor em 25,9%. O frio representa as condições ambientais desconfortáveis, com horas de temperatura abaixo dos limites de conforto. O calor representa as horas em que a temperatura está acima do aceitável para o conforto térmico. As estratégias para o frio são o aquecimento artificial em 6,2% do número de horas de temperatura baixa, o aquecimento solar passivo em 11,7% e as massas térmicas da edificação permitindo a inércia térmica em 33,7% das horas. Para o desconforto perante o calor, a ventilação é indicada em 20% das horas de temperatura alta, o ar-condicionado em 1,4% e as massas térmicas em 4,5% das horas<sup>21</sup>.

---

<sup>18</sup> MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria Luiza; CARRARO, Clovis Carlo; FERNANDES, Luís Alberto Dávila. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2006.

<sup>19</sup> O estresse higrotérmico é resultado do trabalho excessivo do aparelho termorregulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis, no tocante a temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor e a umidade do ar. FROTA, Anesia Barros. **Manual de conforto térmico**. 8.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

<sup>20</sup> AROZTEGUI, José Miguel. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Núcleo Orientado para Industrialização da Edificação, Departamento de Engenharia Civil, Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 1977.

<sup>21</sup> LABORATÓRIO, DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). "Programa Analysis BIO. Software que auxilia no processo de adequação de edificações ao clima local. Utiliza tanto arquivos climáticos anuais e horários como arquivos resumidos na forma de normais climatológicas. Apresenta uma ampla relação de cidades brasileiras. Florianópolis: LabEEE (2003).

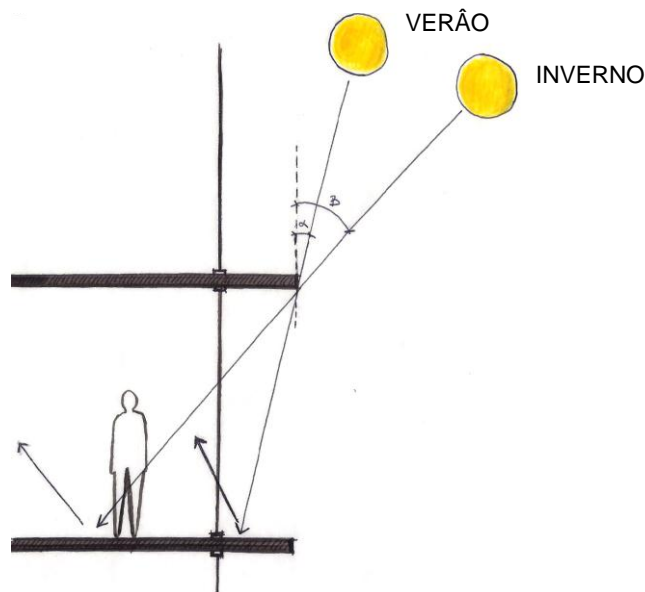


O envoltório é um filtro das trocas térmicas das edificações e as especificações do projeto arquitetônico controlam os raios solares incidentes, permitindo o condicionamento térmico da edificação de maneira passiva.

O sombreamento controla os ganhos térmicos no envoltório e é fundamental para controlá-los nos períodos quentes, quando o Sol tem maior ângulo de altura. Nos períodos frios, quando o Sol tem menor ângulo de altura, o aquecimento pode ser benéfico.

Para propiciar a entrada do sol no inverno e a proteção do mesmo no verão, a orientação de fachada ao norte torna-se ideal, quando acrescida de um dispositivo de controle solar, pois o Sol tem ângulos de altura solar maior no verão que no inverno. A figura 2 ilustra uma edificação situada na cidade de Porto Alegre com orientação solar norte, em que ocorre o controle dos raios solares no verão e o acesso nos meses de inverno.

Figura 2 - Altura solar no verão e no inverno para a latitude de Porto Alegre às 12h, horário solar.



Fonte: Autoria própria.

A estratégia de projeto ilustrada na figura 2 é um exemplo pertinente para ser replicado na cidade de Porto Alegre.

## 1.2 Estratégias de projeto

São recursos para estabelecer o conforto térmico e habitabilidade. O conceito de habitabilidade refere-se às construções que despendem de baixo custo financeiro e ambiental para proporcionar níveis saudáveis de conforto térmico e de desenvolvimento das atividades diárias<sup>22</sup>.

As estratégias de projeto possibilitam o conforto térmico, a ventilação e iluminação natural, preservando o meio ambiente e adequando-se ao local, garantindo conforto e satisfazendo as necessidades dos habitantes. Na zona bioclimática 3, as estratégias de projeto devem controlar a radiação solar para minimizar os ganhos térmicos através do controle do acesso dos raios solares pelas aberturas.

A radiação solar, ao ingressar pelas aberturas, é absorvida pelos materiais do ambiente interno transformando-se em radiação térmica, causando o aquecimento. Essa energia térmica eleva a temperatura das superfícies, aumentando a temperatura do ar e do ambiente, podendo causar o desconforto térmico<sup>23</sup>.

Além disso, os materiais construtivos possuem diferentes propriedades que, ao compor o envoltório, garantem desempenhos térmicos diversos no edifício. A sua escolha para compor a fachada influencia diretamente no conforto térmico da edificação.

Esses fechamentos podem ser filtros opacos ou transparentes. Os opacos armazenam energia, os transparentes permitem a passagem dos raios solares. O calor retido no momento da transferência para o outro lado chama-se inércia térmica. A inércia térmica do material varia conforme a sua capacidade e densidade, retendo o calor sem transferi-lo, reduzindo a amplitude térmica entre os lados. Por exemplo, a transmissão de calor pelo fechamento opaco ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre a o exterior e interior. Assim, o fluxo de calor segue o

---

<sup>22</sup> OLGAY, Victor. **Design With Climate**: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press, 1963. p. 16.

<sup>23</sup> BAKER, Nick V; FANCHIOTTI, Aldo; STEEMERS, Koen. **Daylighting in architecture**: a European reference book. Londres: Routledge, 2013.

sentido do quente para o frio. O fluxo de calor representa a quantidade de energia térmica (expressa em Watt). No verão, geralmente, as superfícies externas são mais quentes e induzem a troca de calor entre superfícies exterior e o interior<sup>24</sup>.

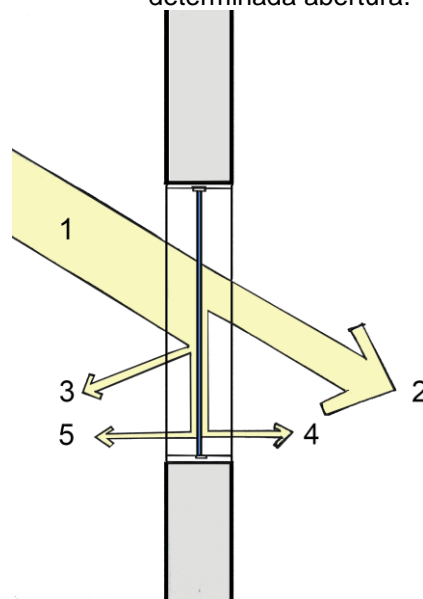
A inércia térmica pode amortecer o aquecimento ou resfriamento da edificação. Nos dias frios, o aquecimento ocorre devido ao acúmulo de calor nas paredes no decorrer do dia e da noite: quando as temperaturas baixam, o calor é devolvido para o interior da edificação. Em dias quentes, a inércia térmica é capaz de resfriar a edificação, retirando o calor acumulado ao longo do dia, reduzindo as temperaturas internas.

Os fechamentos transparentes possuem inércia térmica de valor desprezível para o cálculo e representam um ponto frágil no envoltório. A figura 3, mostra os fluxos de energia solar que incidem em determinada abertura. O número 1 representa a radiação solar incidente no envoltório. O número 2 são os raios solares transmitidos para o interior do ambiente. O número 3 são os raios solares refletidos pelo vidro para o exterior. O número 4 é a radiação solar absorvida pelo vidro e reemitida em forma de calor para o interior da edificação. O número 5 é a radiação solar absorvida pelo vidro e reemitida em forma de calor para o exterior da edificação.

---

<sup>24</sup> LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

Figura 3 – Fluxo de energia numa determinada abertura.



Fonte: Autoria própria.

Onde:

- 1 – Radiação Solar Incidente
- 2 – Radiação Solar Transmitida para o Interior
- 3 – Radiação refletida para o Exterior
- 4 – Calor Re-irradiado para o Interior
- 5 – Calor Re-irradiado para o Exterior

As grandes áreas com superfícies transparentes, sem o controle solar, tornam o envoltório vulnerável. As superfícies transparentes permitem o acesso e absorção dos raios solares em maior quantidade, ocasionando o aquecimento dos ambientes internos de uma edificação.

O sombreamento do envoltório com sistemas de controle solar é benéfico ao conforto higrotérmico e visual das habitações. A tabela 2 mostra os objetivos do sombreamento do envoltório.

Tabela 2 – Objetivo do sombreamento nas fachadas.

---

CONTROLAR A ENTRADA DOS RAIOS SOLARES E REDUZIR A TEMPERATURA MÉDIA NO AMBIENTE.

CONTROLAR A LUZ DO DIA DE INCIDIR DIRETAMENTE SOBRE OS OCUPANTES, O QUE PODE RESULTAR NUM EFETIVO ACRÉSCIMO DE TEMPERATURA.

CONTROLAR O TOTAL DE ILUMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES, O QUE PODE CAUSAR O OFUSCAMENTO AOS OCUPANTES.

CONTROLAR A EXIBIÇÃO DE SUPERFÍCIES MUITO ILUMINADAS NO LADO EXTERNO OU O PRÓPRIO SOL.

---

Fonte: Autoria própria.

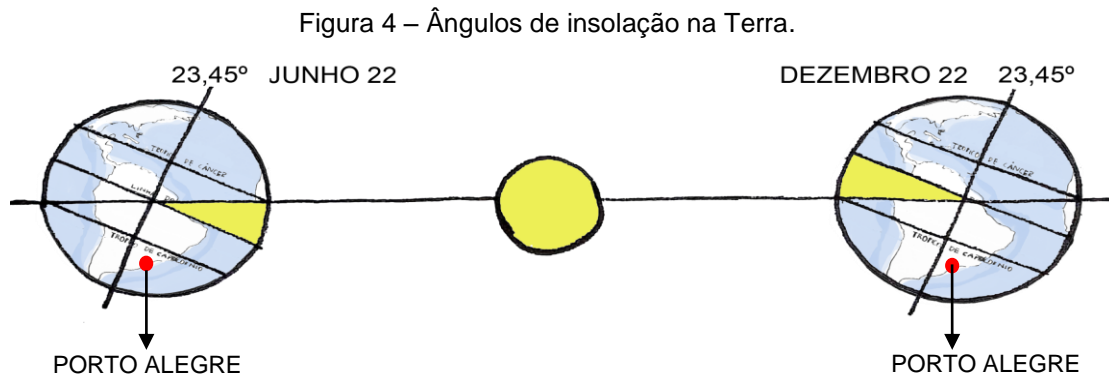
Os dispositivos de controle solar são sistemas que controlam a radiação solar no envoltório da edificação. A fixação de dispositivos é uma estratégia de adaptação da edificação ao clima, reduzindo o excesso de ganhos térmicos nos fechamentos transparentes e prevenindo o ofuscamento. O uso desses dispositivos de controle solar está condicionado ao estudo da geometria solar. A leitura da carta solar permite a avaliação da trajetória solar na abóbada celeste, a verificação dos ângulos de altura do Sol e o azimute.

### 1.3 Geometria solar

O Sol representa o principal agente de ganhos térmicos, viabilizando a vida e os recursos naturais em nosso planeta. Nesse trabalho a posição solar, azimute e altura são fundamentais para a definição do controle das radiações solares incidentes.

O eixo de rotação da Terra está inclinado em  $23^{\circ}45'$  da normal do plano elíptico. A inclinação coincide com a latitude de  $23^{\circ}45'$  do Trópico de Câncer, Hemisfério Norte, onde o Sol incide com declividade de  $0^{\circ}$  no solstício de inverno. A latitude de  $23^{\circ}45'$  no Hemisfério Sul coincide com o Trópico de Capricórnio, onde o

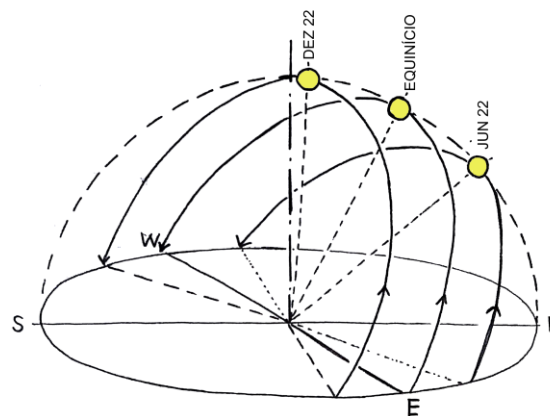
Sol incide com declividade de  $0^\circ$  no solstício de verão. Na latitude  $0^\circ$ , temos a linha do Equador, onde o Sol incide com declividade de  $0^\circ$  nos equinócios. A figura 4 mostra as datas de solstícios e equinócios nas respectivas linhas geográficas, que delimitam a zona equatorial na Terra, e as estações climáticas no clima de Porto Alegre<sup>25</sup>.



Fonte: Autoria própria.

A figura 5 mostra a variação anual do caminho no Sol na latitude de  $30^\circ$  no Hemisfério Sul, localização da cidade de Porto Alegre. O Solstício de Verão ocorre em dezembro, no dia 22; o Equinócio nos dias 21 de março e 23 de setembro; e o Solstício de Inverno, no dia 22 de junho.

Figura 5 – Variação Anual do Caminho do Sol.



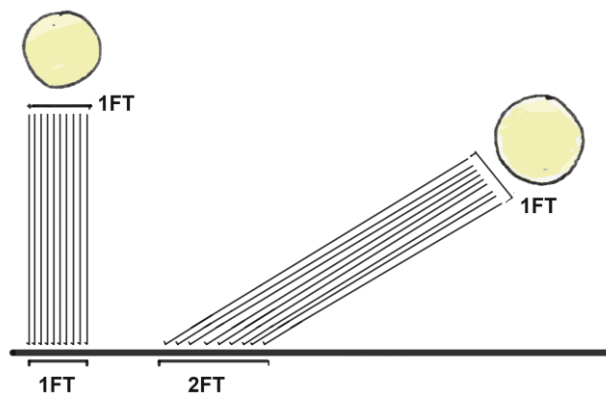
Fonte: Autoria própria.

<sup>25</sup> SZOKOLAY, Steven V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Routledge, 2014.

O ângulo de incidência dos raios solares determina a intensidade da radiação solar incidente na terra. As variações de incidência dos raios solares na superfície da Terra modificam a quantidade de energia recebida, as estações do ano, as diferenças de pressão e o deslocamento atmosférico das massas de ar<sup>26</sup>.

A intensidade de radiação é expressa pela Lei dos Cossenos. Quanto maior a declividade de incidência dos raios solares na terra, menor será o número de raios solares que atingem a superfície da Terra<sup>27</sup>. A figura 6 mostra a relação entre o ângulo de incidência e a quantidade de raios solares que atingem a Terra.

Figura 6 – Lei dos Cossenos.



Fonte: Autoria própria.

A incidência solar na edificação pode ser observada de acordo com a carta solar. As cartas solares são instrumentos de identificação da posição do Sol na calota celeste. É possível ler os ângulos de azimute e a altura do Sol<sup>28</sup>.

O azimute é convencionado ao Norte e equivale aos valores de 0° até 360° no sentido anti-horário. A altura solar é resultado entre o ângulo formado por um plano horizontal sobre a superfície da Terra com o Sol. A figura 7 mostra a posição dos ângulos de altura solar e azimute<sup>29</sup>.

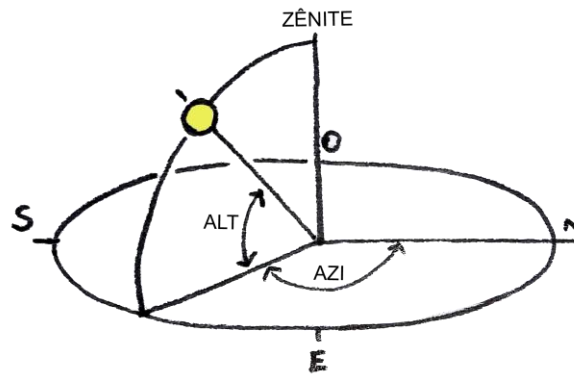
<sup>26</sup> FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. 1. ed. São Paulo: Editora Geros, 2004.

<sup>27</sup> MAZRIA, Edward. **The Passive Solar Energy Book: A Complete Guide to Solar Home, Greenhouse, and Building Design**. Emmaus: Rodale Press, 1979.

<sup>28</sup> SZOKOLAY, Steven V. **Solar Geometry**. Brisbane: PLEA, 1996.

<sup>29</sup> BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004.

Figura 7 – Ângulo de Altura Solar e Azimute.



Fonte: Autoria própria.

#### 1.4 Consumo energético

O aumento do consumo energético e a crise do petróleo em 1973 elevaram o valor dos produtos e serviços derivados da energia elétrica. A necessidade de utilizar a energia e os recursos naturais de maneira consciente repercutiu na preocupação com o desempenho energético das edificações.

Desta maneira, o controle da radiação solar influencia no consumo energético das edificações, principalmente na etapa de uso. As diretrizes construtivas e estratégias de projeto podem estabelecer condições de conforto térmico passivo adaptando o envoltório das edificações ao clima local. No caso da cidade de Porto Alegre, as superfícies opacas e o controle da radiação solar auxiliam na eficiência energética e podem reduzir o consumo de energia elétrica.

O desempenho energético das edificações está vinculado ao consumo energético. O uso consciente da energia elétrica nas edificações é essencial à “eficiência energética”, que trata de reduzir o consumo de energia em construções novas e existentes, implantando a tecnologia pertinente à iluminação, ao



condicionamento de ar e ao isolamento térmico, sem corroborar com quedas nos níveis de conforto dos usuários<sup>30</sup>.

O governo brasileiro, para promover a eficiência energética nas edificações, criou o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL/EDIFICA) que determina os parâmetros de qualidade e níveis de eficiência energética nas edificações. O uso eficiente da energia elétrica significa um abatimento no consumo, uma redução no impacto ambiental e a melhora na qualidade do ambiente construído.

A avaliação considera o cálculo de três parcelas quantificadoras para qualificação do consumo energético: (A) Envolvimento, (B) Iluminação e (C) Condicionamento de ar.

A classificação do envoltório ocorre com a determinação do conjunto de características da edificação. Entre as características estão o volume do edifício, área de piso, área do envoltório, Fator Solar (FS), Percentual de Abertura da Fachada Total (PAFT), Percentual de Abertura da Fachada Oeste (PAFO), Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e Fator Solar (FS).

A classificação da iluminação ocorre através da potência da iluminação instalada, conforme as atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. Com menor potência e consumo elétrico, maior é a eficiência energética da iluminação.

A classificação dos sistemas de ar condicionado pode ser dividida em duas classes. A primeira classe refere a sistemas individuais, em que a eficiência é classificada para cada aparelho pelo INMETRO. A segunda classe remete ao condicionamento de ar central e avalia a eficiência dos sistemas de acordo com requisitos do regulamento.

A estimativa de consumo é realizada de maneira parcial ou geral. A avaliação parcial se refere para A e B, B e C ou A e C – isto é, no máximo a duas das três parcelas. É denominada de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) parcial.

---

<sup>30</sup> LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. LABEEE. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>. Acesso em: 6 out. 2016.



## 1.5 Avaliação expedita

A avaliação expedita considera o método de cálculo WEBPRESCRITIVO, disponível no site do LABEEE<sup>31</sup>. O quadro de avaliação é dividido em três quadros. O quadro 1 é preenchido com a localização, o quadro 2, com os pré-requisitos, e o quadro 3, com os dados dimensionais da edificação e as características das aberturas. A figura 9 mostra a planilha de cálculo do envoltório com os campos a serem preenchidos.

Figura 9 – Planilha do ICenv conforme área e zona bioclimática.

Envoltória

QUADRO 1

Localização

Zona Bioclimática ZB 1  Cidade Agua Branca AL

QUADRO 2

Pré-requisitos

$U_{COB-AC}$   W/(m<sup>2</sup>K)   $q_{COB}$   0 %

$U_{COB-ANC}$   W/(m<sup>2</sup>K)   $CT_{PAR}$   0 kJ/(m<sup>2</sup>K)

$U_{PAR}$   W/(m<sup>2</sup>K)   $q_{PAR}$   0 %

PAZ  %  FS

QUADRO 3

Dados Dimensionais da Edificação

$A_{TOT}$   m<sup>2</sup>

$A_{PCOB}$   m<sup>2</sup>

$A_{PE}$   m<sup>2</sup>

$V_{TOT}$   m<sup>3</sup>

$A_{ENV}$   m<sup>2</sup>

Características das Aberturas

FS


$PAF_T$   %

$PAF_O$   %

AVS  °

AHS  °

Calcular Eficiência Limpar



Fonte: LABEEE. Acesso em: 15 jun. 2017.

Na planilha, o quadro 1 tem dois campos;

<sup>31</sup> LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Método Expedito. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

**Zona Bioclimática e Cidade:** Seu objetivo é identificar as estratégias quanto aos elementos climáticos que interferem no conforto térmico do ambiente construído.

Na planilha, o quadro 2 é destinado aos pré-requisitos e possui oito campos;

**Transmitância Térmica da Cobertura ( $U_{cov} - AC$ )  $W/(m^2K)$ :** É a transmissão de calor em unidade de tempo. O valor adotado no cálculo da avaliação expedita do estudo de caso foi utilizado seguindo os padrões disponíveis no Manual de Aplicação do RTQ-C para áreas condicionadas artificialmente. Neste caso, o valor atende aos pré-requisitos específicos de transmitância térmica para os níveis de avaliação da eficiência energética A e B. É a variável para áreas condicionadas atendidas por sistemas de condicionadores de ar em ambientes fechados.

As seguintes unidades  $W/m^2K$  são expressas como:

Watts (W) é a unidade de força.

Metro ( $m^2$ ) é a unidade de área.

Kelvin (K) é a unidade de temperatura.

**Transmitância Térmica da Cobertura ( $U_{cov} - ANC$ ) ( $W/(m^2K)$ ):** É a variável para áreas não condicionadas por sistemas de condicionadores de ar. O valor adotado no cálculo da avaliação expedita do estudo de caso foi utilizado seguindo os padrões disponíveis no Manual de Aplicação do RTQ-C para áreas não condicionadas artificialmente. O valor atende aos pré-requisitos específicos de transmitância térmica para os níveis de avaliação da eficiência energética A e B.

**Transmitância Térmica das Paredes ( $U_{PAR}$ )  $W/(m^2K)$ :** O valor adotado no cálculo da avaliação expedita do estudo de caso foi utilizado seguindo os padrões disponíveis no Manual de Aplicação do RTQ-C. O valor atende aos pré-requisitos específicos de transmitância térmica para os níveis de avaliação da eficiência energética A e B.

**Percentual de Abertura Zenital (PAZ) (%):** O edifício do estudo de caso não possui abertura zenital; assim, o valor escolhido é zero.

**Absortância Solar da Cobertura ( $\alpha_{COB}$ ) (%):** O valor utilizado na avaliação expedita do estudo de caso é conforme os valores de absortância definidos para os materiais pela NBR 15220.

**Capacidade Térmica das Paredes (CTPAR) (KJ/(m<sup>2</sup>K)):** O valor utilizado na avaliação expedita do estudo de caso foi preenchido automaticamente em função do zoneamento bioclimático da cidade de Porto Alegre. O valor é zero.

**Absortância Solar das Paredes ( $\alpha_{PAR}$ ) (%):** O valor utilizado na avaliação expedita do estudo de caso é conforme os valores de absortância definidos para os materiais pela NBR 15220 .

**Fator solar (FS):** O valor utilizado na avaliação expedita do estudo de caso foi preenchido automaticamente em função do zoneamento bioclimático da cidade de Porto Alegre. O valor é zero.

Na planilha, o quadro 3 é destinado aos dados dimensionais da edificação e às características das aberturas. Os dados são obtidos diretamente do edifício;

**Área Total Construída (A<sub>TOT</sub>) (m<sup>2</sup>):** É a soma das áreas de piso dos ambientes fechados da construção, medidas externas.

**Área de projeção da cobertura (A<sub>PCOB</sub>) (m<sup>2</sup>):** Área da projeção da cobertura incluindo terraços cobertos ou descobertos e excluindo beirais, medida em m<sup>2</sup> (unidade de medida: metro quadrado). É utilizada no cálculo do Fator Altura para edifícios com formato regular.

**Área de projeção do edifício (A<sub>PE</sub>) (m<sup>2</sup>):** Área da projeção horizontal média dos pavimentos, excluindo o subsolo. Deve-se optar por esse formato quando os edifícios têm um formato irregular, medido em m<sup>2</sup>.

**Volume Total da Edificação (V<sub>TOT</sub>):** O volume é delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos.

**Área do Envoltório (A<sub>ENV</sub>) (m<sup>2</sup>):** É a soma das áreas da fachada, empenas e cobertura, incluindo as aberturas.

**Fator Solar (FS):** O fator solar é dado pela razão entre o ganho de calor de uma abertura no ambiente e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é irradiada ou transmitida ao ambiente por condução ou convecção.

O Fator Solar (FS) é utilizado para o cálculo da densidade do fluxo de calor que é transmitido diretamente para o interior do recinto, em função da transmissividade do elemento transparente. Materiais com baixos valores de fator solar podem reduzir o calor no ambiente<sup>32</sup>. O valor do Fator Solar (FS) varia de acordo com o ângulo de incidência e as propriedades térmicas de cada tipo de abertura.

No estudo de caso, o edifício selecionado possui um vidro verde com o Fator Solar (FS) de 0,72. O valor utilizado está disponível em Lamberts (2014). O valor significa que 72% da radiação solar incidente no vidro penetra diretamente no interior. Grande parte da radiação solar é transmitida diretamente ao interior, uma parcela é refletida, e o restante é absorvido através de ondas eletromagnéticas que se propagam para o interior e exterior do edifício.

O cálculo é realizado através do U (Transmitância Térmica dos materiais), FSo (Fator solar de elementos opacos),  $\alpha$  (Absortância á radiação solar) e Rse (Resistência Superficial Externa).

**Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF<sub>T</sub>) (%):** É calculado pela razão da soma das áreas de abertura (fechamentos transparentes) de cada fachada pela área total de fachada da edificação. Refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou *sheds*, mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura. Exclui a área externa de caixa d'água no cômputo da área de fachada, mas inclui a área da caixa de escada até o ponto mais alto da cobertura (cumeeira).

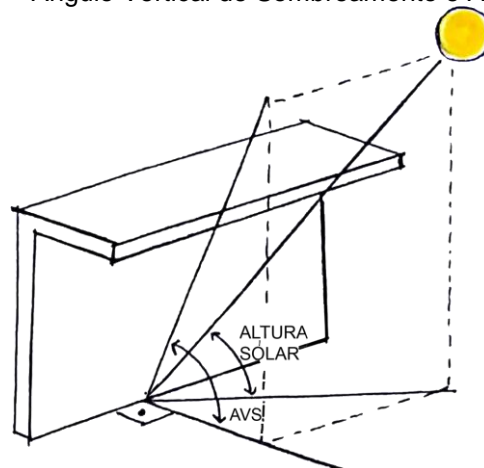
---

<sup>32</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

**Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAFo) (%):** É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, da fachada oeste e a área da fachada oeste. Caso o PAFo seja superior ao PAF<sub>T</sub> em 20% ou mais, deve-se adotar o PAFo onde houver PAF<sub>T</sub> nas equações da envoltória.

**Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS):** É dimensionado no plano vertical da edificação, quando o Sol possui altura solar acima do horizonte; assim, o ângulo de altura é projetado paralelo a face do edifício no plano perpendicular<sup>33</sup>. A figura 10 mostra o ângulo vertical de sombreamento e o ângulo de altura solar.

Figura 10 – Ângulo Vertical de Sombreamento e Altura Solar.

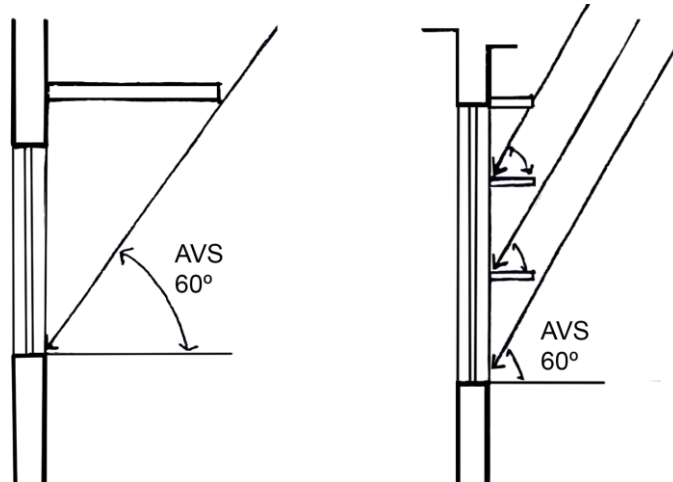


Fonte: Autoria própria.

O ângulo está entre dois planos ao longo da linha horizontal da fachada do edifício e pode ser interceptado por dispositivos de controle solar horizontais, visualizados em corte. A figura 11 mostra o Ângulo Vertical de Sombreamento e os dispositivos de controle solar horizontais.

<sup>33</sup> SZOKOLAY, Steven V. **Solar Geometry**. Brisbane: PLEA, 1996.

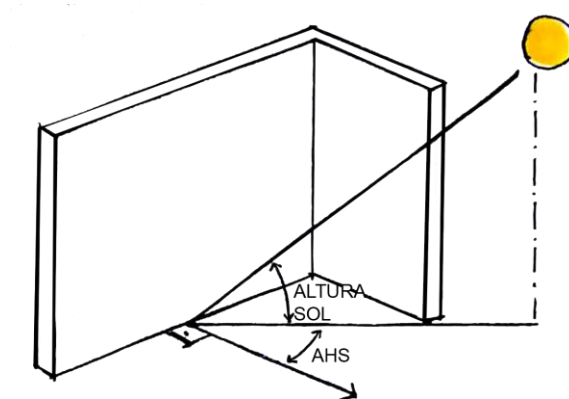
Figura 11 – Ângulo Vertical de Sombreamento e dispositivos de controle solar.



Fonte: Autoria própria.

**Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS):** É a diferença no azimute entre a posição do Sol e a orientação da fachada do edifício quando a sombra alcança um determinado ponto. A figura 12 mostra o Ângulo Horizontal de Sombreamento e a Altura Solar.

Figura 12 – Ângulo Horizontal de Sombreamento e Altura Solar.



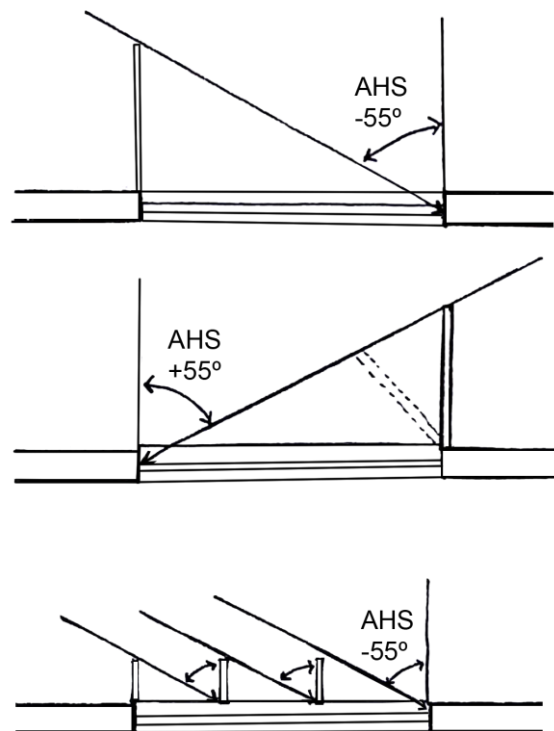
Fonte: Autoria própria.

O ângulo é positivo quando o Sol está no sentido horário da orientação, e negativo quando o Sol está no sentido anti-horário. O ângulo horizontal pode ser interceptado por dispositivos de controle solar vertical, visualizados na planta



baixa<sup>34</sup>. A figura 13 mostra o AHS e os Ângulos de Sombreamento gerados por um dispositivo vertical de controle solar.

Figura 13 – Ângulo Horizontal de Sombreamento.



Fonte: Autoria própria.

O envoltório possui dados relevantes para o cálculo da avaliação energética do método expedito. Entre os fatores estão o Fator Solar (FS), o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e o Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT).

O Fator Solar (FS) apresenta os índices de transmissão dos raios solares nos ambientes em superfícies transparentes. O fluxo de calor transmitido diretamente para o interior do recinto varia conforme o material e os dispositivos de controle solar adicionados ao envoltório.

Os Ângulos Verticais e Horizontais de Sombreamento (AVS; AHS) estão associados à geometria solar e às estratégias de condicionamento térmico passivo

<sup>34</sup> SZOKOLAY, Steven V. **Solar Geometry**. Brisbane: PLEA, 1996.

das edificações. Os pórticos e chapas perfuradas paralelas ao envoltório, como venezianas e persianas, são consideradas fachadas e não são computados no cálculo como AVS ou AHS.

O Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT) caracteriza a materialidade do envoltório. Conforme o percentual, é possível identificar a porcentagem de superfícies transparentes que transmitem diretamente a radiação solar para o interior da edificação, modificando o equilíbrio térmico no ambiente.

As edificações com envoltório ineficiente energeticamente demandam atualizações. As ações de *retrofitting* no envoltório podem proporcionar o conforto térmico, alterando o consumo energético e reduzindo os custos de manutenção e funcionamento da edificação.

## 2 RETROFITTING

A ação de *retrofitting* envolve o consumo energético de edificações, associado aos dispositivos de controle solar, com base em exemplos qualificáveis. Essa investigação auxilia na compreensão da relação entre os sistemas de controle solar e as ações de *retrofitting*.

A palavra *retrofit* é originária da língua inglesa (Cambridge, 2008), significando incorporar ou substituir partes existentes por algo novo<sup>35</sup>. Em um dicionário de português (Aurélio, 2000)<sup>36</sup>, a palavra é um neologismo e significa reciclar, reabilitar e readaptar, e é em particular associada aos edifícios existentes, com vista ao conforto dos usuários nos ambientes construídos.

A dissertação compreende a ação de *retrofitting* como a oportunidade de estabelecer a eficiência energética nas edificações, através da intervenção no envoltório. O *retrofitting* é descrito pela NBR 15575-1 como a remodelação ou atualização do edifício ou sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos<sup>37</sup>.

A NBR 15575-1 estabelece exigências quanto à segurança, habitabilidade e sustentabilidade das construções. Dentre as exigências de habitabilidade estão o desempenho térmico do envoltório, paredes e aberturas. Desta forma, estabelece níveis mínimos de desempenho para os materiais de acordo com a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes externas.

---

<sup>35</sup> CAMBRIDGE. **Cambridge idioms dictionary**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. xv, 505 p.

<sup>36</sup> FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010. I, 2222 9. 1 CD-ROM.

<sup>37</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

O envoltório impacta nos custos energéticos das edificações. Estudos demonstram a ligação entre os custos financeiros de manutenção do envoltório e a eficiência energética do edifício, em especial devido à presença de superfícies transparentes (aberturas).

O *retrofitting* do envoltório está entre as formas de adaptação da edificação aos níveis de conforto térmico de acordo com o clima local. O conceito pode ser ampliado na conferência *OECD/IEA Joint Workshop on Sustainable Buildings: Towards Sustainable Use of Building Stock*, realizada no Japão, ano de 2004. A conferência foi organizada pela Organização Econômica Cooperação e Desenvolvimento (OECD) e pela Agencia Internacional de Energia (IEA).

O *retrofitting* foi um dos temas centrais da conferência, e Arias<sup>38</sup> (2013) interpreta cinco esquemas de intervenção do envoltório, baseados na característica original dos edifícios. A dissertação destaca dois esquemas entre os cinco relacionados pela autora, e ambos apresentam relações com o clima local, pois propiciam o controle solar do envoltório e a redução das superfícies transparentes.

A tabela 3 mostra os dois esquemas relacionados pela autora.

Tabela 3 - Esquemas de *retrofitting* para o envoltório.

TIPO	DESCRIÇÃO	INTERVENÇÃO FACHADA	NA
<b>PROTEÇÃO SOLAR</b>	A FACHADA É MANTIDA, MAS EXTERNAMENTE ELEMENTOS SÃO INCORPORADOS COM O OBJETIVO DE CONTROLAR O GANHO TÉRMICO.	BRISES PERSIANAS EXTERNAS COMBINAÇÃO	
<b>SOBREPOSIÇÃO DE REVESTIMENTO</b>	DE REVESTIMENTOS ADICIONADOS A FACHADA	FACE INTERNA E EXTERNA ADIÇÃO COMPONENTES FACHADA	DE A

Fonte: ARIAS, 2013.

<sup>38</sup> ARIAS, Andrea Soledad Martinez. **Facade retrofit**: enhancing energy performance in existing buildings. 174 f. 2013. Thesis (Master of,Bulding Science)–School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles, 2013.

No esquema de Arias (2013), ocorre uma ação de *retrofitting* com alteração do envoltório – sendo assim, são adicionados dispositivos de sombreamento (AVS; AHS) e revestimentos ao envoltório. A readaptação do envoltório pode alterar a eficiência energética das edificações (ENCE parcial) ao controlar o acesso de radiação solar.

A ação é viável em prédios residenciais, comerciais, industriais e galpões de armazenamento e varejo. O investimento, geralmente, está vinculado à manutenção da localização do edifício, à eficiência energética, às novas demandas de uso e aos materiais e tecnologias disponíveis no mercado.

Dessa maneira, a ação de *retrofitting* necessita passar pela análise inicial entre os custos de implantação, a economia propiciada e o capital para a operação. A ação deve ser clara, provendo os proprietários e inquilinos de informações suficientes.

Entre os benefícios estão a agilidade e a redução nos custos de licenças e taxas. Diferente do projeto para uma nova edificação, o *retrofitting* se apropria de um projeto existente e realiza alterações no mesmo, necessitando de licenças para execução e demolição de obra.

Em consequência, o *retrofitting* evita a demolição de edificações, mantendo as características do lugar. A preservação de edificações históricas contribui para a manutenção do *genius loci*, que é o espírito do lugar. Assim, protege a identidade do bairro e do entorno da edificação, auxiliando na manutenção cultural e preservando o patrimônio arquitetônico, paisagístico e arqueológico<sup>39</sup>.

A restauração do patrimônio arquitetônico de Porto Alegre pode ser visualizada no *retrofitting* do edifício Guaspari, projeto de Fernando Corona, 1936. O *retrofitting* possibilitou a manutenção de um importante patrimônio histórico cultural da cidade, com troca de uso, preservação das características originais da fachada, nova infraestrutura e criação de cafeteria e 3 andares de loja. A figura 14 compara o antes e o depois da restauração da edificação.

---

<sup>39</sup> NESBITT, Kate. **Uma nova agenda para a arquitetura**. São Paulo: Editora Cosac Naify, 2006.

Figura 14 – Restauração do Patrimônio Arquitetônico.



Fonte: <https://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2017/3/612789/Simbolo-do-centro-de-Porto-Alegre,-Edificio-Guaspari-sera-revitalizado>  
<http://www.consumidorrs.com.br/2013/inicial.php?case=2&idnot=48725>. Acesso em: 17 mai. 2018.

A reabilitação das edificações evita a degradação do ambiente urbano de uma cidade, mantendo a diversidade urbana. Os edifícios geram a melhora na qualidade urbana e incentivam a renovação das edificações vizinhas, assim como da estrutura geral do bairro<sup>40</sup>.

As políticas mundiais de incentivo ao *retrofitting* são diversas e estão presentes em países de destaque econômico. O PROCEL incentiva a prática no Brasil através da inclusão do *retrofitting* na instrução normativa SLTI nº2/2014<sup>41</sup> para edifícios públicos.

A instrução normativa SLTI nº2/2014 apresenta as regras sobre o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos de edificações públicas federais novas ou que recebam o *retrofitting*. De acordo com a norma, o *retrofitting* destina-se à alteração dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltório das edificações.

<sup>40</sup> BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações**: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)–Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

<sup>41</sup> MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução Normativa no 02, de 04 de junho de 2014. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=102&totalArquivos=164>>. Acesso em: 10 nov 2016.

Os projetos públicos para novas edificações devem obter o ENCE Geral de classificação de eficiência energética A. Para projetos de edificações existentes, o ENCE Parcial também necessita obter a classificação do nível energético A. A classificação é obrigatória para edificação com metragem acima de 500 m<sup>2</sup> (metros quadrados).

## 2.1 Ações de *retrofitting*

O *retrofitting* é a readaptação ou reforma de uma edificação ineficiente, tornando o edifício eficiente energeticamente. Entretanto, algumas reformas são atualizações no envoltório provendo um caráter contemporâneo à fachada.

O edifício Manhattan, situado na esquina entre a rua Voluntários da Pátria e a praça Quinze de Novembro, na cidade de Porto Alegre, possui orientação solar norte e oeste. O edifício teve seu caráter alterado com a remoção do peitoril das janelas, revestindo a nova fachada com vidro, cujo objetivo foi agregar valor imobiliário. A figura 15 compara o antes e depois do edifício.

Figura 15 – Alteração de caráter em Porto Alegre.



Fonte: <https://portoimagem.wordpress.com/2012/01/30/empacotar-predios-vira-moda-no-centro>. Acesso em: 21 mai. 2015.

A modificação no envoltório aumentou o Percentual de Aberturas na Fachada Total (PAFT). As diretrizes construtivas da zona bioclimática 3 não foram atendidas pela reforma do envoltório, pois houve o aumento de áreas de abertura e a ausência de sombreamento. A alteração pode comprometer o conforto térmico nos meses quentes, necessitando de condicionamento térmico artificial para garantir a ocupação.

O edifício Manhattan tornou-se semelhante ao edifício de número predial 912, analisado no estudo de caso. Ambos possuem um envoltório envidraçado sem controle da radiação solar, com fachadas orientadas para o norte e oeste, comprometendo a eficiência energética do edifício. A figura 16 mostra as duas edificações com o envoltório revestido com vidro.

Figura 16 – Comparação entre o Edifício de número predial 912 e o Edifício Manhattan.



Fonte:

<https://portoimagem.wordpress.com/2012/01/30/empacotar-predios-vira-moda-no-centro>. Acesso em: 21 mai. 2015.

Dentre as estratégias de estabelecer a eficiência energética nos edifícios, optou-se pela alteração do envoltório. Definiu-se uma entre as cinco ações descritas



por Arias (2013)<sup>42</sup>: o acréscimo de dispositivos de controle solar para evitar que os raios solares incidam diretamente no interior da edificação no verão

Outra alternativa de controle da radiação do sol são os dispositivos de controle solar formados por placas solares. Os painéis solares podem ser fixados na fachada como dispositivos de controle solar, seguindo os ângulos de inclinação necessários para o controle da radiação e realizando a produção de energia elétrica através da conversão da luz solar em energia elétrica. Esse sistema apresenta um valor elevado em relação aos painéis solares utilizados de modo convencional, assim como aos dispositivos utilizados no estudo de caso.

Outro sistema possível de utilizar em fachadas é o sistema solar integrado (IC). O sistema constitui-se em módulos que concentram de modo preciso os raios solares incidentes numa câmara de ar, refletindo o calor e transmitindo a luz natural para o interior da edificação através de lentes facetadas. A integração com a envoltório pode beneficiar o usuário através do controle dos raios solares, redução do calor proveniente da radiação solar e melhora na iluminação natural. A figura 17 mostra o sistema solar integrado (IC), desenvolvido no centro de excelência da Universidade de Syracuse, em Nova York, Estados Unidos.

Figura 17 – Sistema solar Integrado em Fachadas (IC).



Fonte: <http://www.pv-magazine.com/>. Acesso em: 10 nov. 2017.

<sup>42</sup> ARIAS, Andrea Soledad Martinez. **Facade retrofit**: enhancing energy performance in existing buildings. 174 f. 2013. Thesis (Master of,Bulding Science)–School of Architecture, University of Southern California, 2013.

Embora estejam disponíveis no mercado sistemas com tecnologia avançada (mencionados acima), a escolha do uso dos dispositivos de controle solar para aplicar no estudo de caso - mencionados na NBR 15220 como mais adequados para a zona bioclimática 3 – foi amplamente difundida na arquitetura moderna brasileira, havendo diversos exemplos de sucesso até mesmo em Porto Alegre, como é o caso do edifício do Palácio da Justiça, que possui brises na fachada oeste. A tabela 4 apresenta maiores detalhes sobre as intervenções.

Tabela 4 - Esquemas de *retrofitting* para o envoltório.

TIPO	DESCRIÇÃO	INTERVENÇÃO NA FACHADA
<b>PROTEÇÃO SOLAR</b>	A FACHADA É MANTIDA, MAS EXTERNAMENTE ELEMENTOS SÃO INCORPORADOS COM O OBJETIVO DE CONTROLAR O GANHO TÉRMICO.	BRISES PERSIANAS EXTERNAS COMBINAÇÃO

Fonte: ARIAS, 2013.

A intervenção de *retrofitting* denominada “proteção solar” adiciona dispositivos de controle solar ao envoltório. Nesse caso, a fachada é mantida e os dispositivos verticais, horizontais ou mistos são sobrepostos, controlando a radiação solar e propiciando o sombreamento.

A ação de *retrofitting* deve investigar os materiais das aberturas e os sistemas de controle solar da edificação. A partir da análise da materialidade do envoltório e da avaliação energética realizada pelo método WEBPRESCRITIVO, é possível averiguar a necessidade do *retrofitting* no envoltório.

A ação de *retrofitting* necessita avaliar o envoltório de acordo com o clima e a geometria solar. As edificações eficientes energeticamente possuem um consumo energético reduzido, sem implicar quedas nos níveis de conforto dos usuários<sup>43</sup>.

A tecnologia atual permite a adaptação dos edifícios existentes às novas necessidades, sejam sociais ou econômicas. A renovação das edificações deve ser

<sup>43</sup> Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LABEEE. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>> Acesso em: 6 ago. 2016.

realizada mediante a viabilidade estrutural, a vida útil dos materiais e a eficiência energética do envoltório<sup>44</sup>.

Outro aspecto importante a salientar é relevante à manutenção das edificações. Estudos demonstram que a manutenção de edifícios energeticamente custa de 5% a 10% menos em relação aos demais. Desta maneira, ocorre a valorização a edificação, aumentando o valor imobiliário e retendo inquilinos<sup>45</sup>.

Os benefícios do *retrofitting* se estendem à melhora psíquica e à produtividade dos trabalhadores. Um estudo realizado numa empresa após o *retrofitting* e implementação da certificação para construções sustentáveis LEED, categoria “*green*”, mostrou uma melhora de 87% na produtividade e 75% nas condições de saúde dos trabalhadores. Dentre as alterações, o envoltório tem papel relevante<sup>46</sup>.

Além disso, é possível realizar as ações de *retrofitting* num determinado conjunto de edificações pertencentes à cidade. Em Seul, no ano de 2007, foram instituídos os denominados prédios “amigos do verde”. O objetivo foi reduzir o consumo energético em 15%, diminuir as emissões de gás carbônico em 25%, e aumentar o uso de energia renovável em 10% até o ano de 2020. Entre as ações para se tornar uma cidade modelo de desenvolvimento urbano e ambiental, existe um programa de *retrofitting* que visa tornar 87 edifícios eficientes energeticamente (45 edifícios públicos e 42 privados)<sup>47</sup>.

O *retrofitting* é a oportunidade de reverter o consumo energético dos edifícios. Nos Estados Unidos (EUA), aproximadamente 70% do total de edifícios comerciais foram construídos na metade do século 20. Após meio século, a tecnologia empregada está depreciada em relação ao envoltório devido à falta de isolamento

---

<sup>44</sup> SANGUINETTI, Paola. **Integrated Performance Framework to Guide Facade Retrofit**. 135 f. 2012. Dissertation (Doctor of Philosophy)–College of Architecture, Georgia Institute of Technology, 2012.

<sup>45</sup> BENDEWALD, Michael et al. **How to Calculate and Present Deep Retrofit Value: A Guide for Owner-Occupants**. Boulder: Rocky Mountain Institute, 2014.

<sup>46</sup> DELOITTE DEVELOPMENT LLC. **The Dollars and Sense of Green Retrofits**. 2008. Disponível em: <<http://www.greenbiz.com>>. Acesso em: 24 out. 2016.

<sup>47</sup> GLOBAL ENERGY NETWORK INSTITUTE. 2012. Disponível em: <<http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/generation/climate-change/negawattconsult.com/vying-for-worlds-greenest-city-seoul-korea/index.shtml>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

térmico, ausência de controle solar, degradação de materiais e falta de adaptação ao clima<sup>48</sup>.

As ações de *retrofitting* são inúmeras e significam a adequação de edificações ao clima local e a demanda energética. Desta maneira, o *retrofitting* do envoltório possibilita a alteração do consumo de energia da edificação e, em grande escala, a menor necessidade de geração de energia para o abastecimento das edificações na etapa de uso.

## 2.2 Consumo energético

As ações de *retrofitting* que visem oportunizar a eficiência energética das edificações podem colaborar com a redução do consumo energético e das emissões de gás carbônico. O *retrofitting* de edificações com alto consumo energético é um meio de aproximação a um ambiente construído de menor impacto ambiental<sup>49</sup>.

O impacto das edificações no consumo energético crescerá até o ano de 2030. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), o consumo total de energia deve ultrapassar o setor da indústria (30%), alcançando o índice de 31%<sup>50</sup>.

Os proprietários da loja localizada na Rua dos Andradas em Porto Alegre, número predial 1620, realizaram um *retrofitting* no ano de 2009 para reduzir o consumo energético. A edificação está situada no miolo de quadra, possuindo somente uma fachada com orientação solar sul, de frente para a rua. A edificação mostra aberturas no nível do térreo, acesso e vitrines da loja, e uma fita de janelas que fazem o coroamento do edifício.

O envoltório da edificação apresenta um percentual baixo de aberturas na fachada sul, que, devido a sua orientação solar, não compromete o desempenho energético do edifício. O estudo de *retrofitting* atendeu ao envoltório com o tratamento da cobertura, instalando 590 m<sup>2</sup> de telhado verde, melhorando as

---

<sup>48</sup> US DEPARTMENT OF ENERGY. Buildings Energy Data Book. 2013.

<sup>49</sup> MA, Zhenjun et al. Existing building retrofits: Methodology and state of the art. **Energy and Buildings** n. 55. p. 889-902, 2012.

<sup>50</sup> SMARTENERGY PARANÁ. Disponível em: <<https://smartenergy.org.br/porta/eficiencia-energetica-e-trunfo-de-cidades-inteligentes/>> Acesso em: 10 jan. 2018.

condições de conforto no edifício com isolamento térmico e redução nos custos operacionais do sistema de ar condicionado. A figura 18 mostra a loja em questão.

Figura 18 – Loja em Porto Alegre.



Fonte: <https://ecotelhado.com/lojas-ecologicas-os-cases-da-ca-e-da-farm-na-zero-hora/>. Acesso em: 10 mai 2017

As demais soluções implantadas pelo projeto de *retrofitting* são: redução de 15% da iluminação elétrica instalada, redução de 20% na carga térmica da edificação com sistema de recuperação de energia, pintura nas paredes com cores claras, uso de painéis solares para aquecimento da água, gerenciamento remoto do uso de ar condicionado, troca dos motores e sensor de presença nas escadas rolantes, substituição dos equipamentos eletrônicos por modelos de baixo consumo energético, chuveiros e torneiras de baixa vazão, telhado verde com irrigação eficiente, uso de tintas com quantidade mínima de substâncias nocivas à saúde. A loja tem uma área construída de 6.062m<sup>2</sup>, obtendo como resultado do *retrofitting* uma economia anual de 35% de energia elétrica e 47% do consumo de água. Somente em relação à energia elétrica, estima-se uma economia anual próxima de R\$ 300.000,00. A edificação recebeu a certificação LEED CI (interiores comerciais), sendo a primeira loja “ECO” do Brasil<sup>51</sup>.

<sup>51</sup> PETINELLI. Disponível em: <<http://www.petinelli.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

As iniciativas de racionalização da energia em edifícios construídos estão em discussão em diversos países. A União Europeia adotou a diretiva 2012/31, que almeja até 2020 uma política para garantir o consumo praticamente nulo de energia. Nas edificações públicas, a data é antecipada para 2018. Em edifícios construídos, o objetivo é a renovação do envoltório, reduzindo o consumo energético. As atualizações das edificações serão realizadas a cada cinco anos, conforme a manutenção da construção e dados da eficiência energética<sup>52</sup>.

O governo da Alemanha se destaca na redução do consumo, priorizando a eficiência energética dos edifícios. O objetivo é economizar 80% de toda a energia utilizada atualmente com edifícios. Assim, todas as edificações deverão sofrer um profundo *retrofitting* para atingir as metas até o ano de 2050. Devido à falta de informação dos usuários e às barreiras econômicas, o governo alemão está criando ferramentas para encorajar a ação<sup>53</sup>.

Da mesma forma, o governo dos Estados Unidos dedica recursos financeiros às pesquisas e ao desenvolvimento de tecnologias visando à eficiência energética das edificações. No ano de 2011, o país comprometeu-se a economizar 20% de energia nos edifícios comerciais até 2020. Em relação aos edifícios federais, o objetivo é alcançar a autossuficiência, e quanto às residências, reduzir de 30% a 50% o consumo, com base no ano de 2009<sup>54</sup>.

No Brasil, a etiquetagem PROCEL segue o caminho de outros países. Estes propõem a renovação de prédios existentes com a finalidade de reduzir o consumo energético da construção civil. A inclusão da categoria *retrofitting* na etiquetagem PROCEL compreende um estímulo à melhoria do desempenho energético e à conservação de energia.

---

<sup>52</sup> Nogueira, José Paulo Machado. **Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional**-ciclo de vida, independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono. 235 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014.

<sup>53</sup> NEUHOFF K., et al. **Meeting Energy Concept Targets for Residential Retrofits in Germany Economic Viability, Financial Support, and Energy Savings**. Berlim: Climate Policy Initiative, 2011.

<sup>54</sup> CLIMATE POLICY INITIATIVE. Disponível em: <<http://climatepolicyinitiative.org/>>. Acesso em 20 nov. 2016.

O governo brasileiro espera uma economia de 50% em novas construções e de 30% no *retrofitting* de edifícios existentes. A obtenção da etiquetagem nível A tornou-se obrigatória para edifícios da administração pública, novos ou que recebam *retrofitting*, de acordo com a instrução normativa SLTI nº2/2014 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG)<sup>55</sup>.

As políticas de incentivo ao *retrofitting* colaboram para que ocorra um número extensivo de renovações nas edificações até o ano de 2050. Dentre as renovações, o envoltório desempenha um papel fundamental na redução de até 50% do consumo energético das edificações<sup>56</sup>.

O consumo energético da construção civil é representado pela soma geral do consumo de cada edificação ao longo de seu ciclo de vida. Somente a etapa de vida útil – fase onde o edifício é utilizado – é responsável pelo consumo de aproximadamente 80% a 90% de toda a energia empregada, sendo destinada para aquecer, resfriar, ventilar e iluminar<sup>57</sup>.

O condicionamento térmico está entre as principais demandas energéticas dos edifícios, proposto para o conforto das pessoas e para a satisfação com o ambiente térmico. Quando o envoltório não atende às estratégias de projeto, o condicionamento artificial é utilizado para garantir o conforto térmico.

Desse modo, o envoltório é responsável pelo conforto térmico dos edifícios e contribui de maneira significativa à eficiência energética e ao consumo de energia. Logo, as superfícies opacas e transparentes que compõem o envoltório controlam o ganho e perda de calor no ambiente, de acordo com a materialidade que delimita o envoltório<sup>58</sup>.

Nos edifícios comerciais as aberturas – superfícies transparentes – são responsáveis pelo dispêndio de 34% do consumo energético total. A energia é

---

<sup>55</sup> INMETRO. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel\\_2/lamberts\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel_2/lamberts_2012.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2017.

<sup>56</sup> THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS AND ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. Deep Energy Retrofits: An emerging opportunity. 2013. Disponível em: <<http://www.rmi.org>>. Acesso em: 5 set. 2015.

<sup>57</sup> SBCI, UNEP. **Common carbon metric: protocol for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations**. United Nations Environment Programme Sustainable Buildings & Climate Initiative. 2010.

<sup>58</sup> KNNACK, Ulrich et al. **Façades: principles of construction**. Basel: Birkhäuser, 2014.

consumida para o condicionamento térmico artificial de ar, ou seja, para executar funções como o resfriamento e aquecimento dos ambientes de trabalho<sup>59</sup>.

Nos Estados Unidos, o impacto das aberturas no consumo energético é relevante. O país tem uma população estimada no percentual de 4% da população mundial; no entanto, o país emite anualmente 25% do CO<sub>2</sub> global, sendo que mais de 40% da sua energia consumida é utilizada em sistemas de condicionamento de ar<sup>60</sup>.

Dessa forma, o conforto térmico está diretamente ligado ao consumo de energia e ao equilíbrio ambiental. As edificações dependem do envoltório para responder às exigências climáticas, ou então, do condicionamento térmico artificial.

Além disso, o envoltório impacta na manutenção e no comportamento térmico das edificações. Estudos consideram que o envoltório corresponde ao percentual de 40% dos custos financeiros para serviços de sua manutenção e do consumo energético<sup>61</sup>.

A alteração do envoltório representa a renovação das edificações dirigida à eficiência energética. Essa qualificação é necessária conforme ocorre a deterioração do material, perda de desempenho ou falta de eficiência do envoltório para satisfazer as condições de conforto térmico.

Edifícios que não utilizam o desenho do envoltório apropriado ao clima local desperdiçam energia para o condicionamento térmico dos ambientes. O controle da radiação é uma estratégia que possibilita corrigir o desempenho energético — então, recomenda-se o uso de dispositivos de controle solar no envoltório das edificações<sup>62</sup>.

---

<sup>59</sup> APTE, Joshua; ARASTEH, Dariush. **Window-Related Energy Consumption in the US Residential and Commercial building stock**. LBNL-60146. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory: 2006.

<sup>60</sup> ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS-REES, Stephanie. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

<sup>61</sup> WIGGING, Michael; HARRIS, Jude. **Intelligent Skins**. Oxford: Architectural Press, 2002.

<sup>62</sup> LOVEL, Jenny. **Building envelopes: an integrated approach**. Princeton: Princeton Architectural Press, 2013.



### 2.3 Controle solar

O projeto arquitetônico do envoltório deve responder às diretrizes climáticas. Os dispositivos podem ser fixados na superfície do envoltório, de modo a criar um obstáculo à radiação solar, promovendo tanto a iluminação natural quanto o controle solar.

A iluminação natural é filtrada através dos dispositivos de controle solar. Os dispositivos através da reflexão dos raios solares aumentam a iluminação natural em locais pouco iluminados, reduzindo o ofuscamento nos ambientes próximos ao envoltório.

O controle dos raios solares impede a transmissão da radiação solar para o interior das edificações. O funcionamento é como um anteparo, controlando as trocas térmicas da edificação e possibilitando o sombreamento das superfícies transparentes – as aberturas.

O edifício do Palácio da Justiça de Porto Alegre, projeto dos arquitetos Luís Fernando Corona e Carlos Maximiliano Fayet no ano de 1953, é um exemplo de controle da radiação solar. A execução da obra apresentou recursos escassos na época da construção, assim, alguns aspectos projetados não foram realizados, entre eles, os *brises soleil* de orientação vertical que deveriam ser fixas na fachada oeste. Após cinquenta anos, no ano de 2005, os *brises soleil* foram finalmente executados, minimizando o calor advindo da radiação solar. A figura 19 mostra o Palácio da Justiça sem os dispositivos verticais no ano de 2002, e com os dispositivos verticais no ano de 2005.

Figura 19 – Dispositivos Verticais fixados no Palácio da Justiça de Porto Alegre.



Fonte: ALVAREZ, Cícero. Palácio da Justiça de Porto Alegre: construção e recuperação da arquitetura moderna em Porto Alegre 1952-2005. (2008).

O uso de dispositivos de sombreamento permite a adaptação da construção ao clima local (zona bioclimática 3) e reduz a utilização do condicionamento térmico artificial para conforto térmico ao longo do período de uso da edificação. Os dispositivos são fixados tanto no lado interno quanto externo do envoltório.

Os dispositivos, quando fixados do lado externo da edificação, são mais eficientes, pois controlam o ingresso da radiação solar no interior da edificação. A materialidade dos dispositivos de controle solar auxilia no controle da radiação solar; é recomendada a utilização de cores brancas e materiais com baixa emissividade térmica.

Os dispositivos de controle solar podem ser móveis ou fixos. Os móveis possuem ângulo variável e atendem a uma superfície maior, permitindo que o usuário ajuste o sombreamento conforme a temperatura do dia, necessidade de iluminação ou de visibilidade para o exterior. Atualmente, existem sensores móveis com acionamento automático em relação à posição do sol, entretanto, a manutenção apresenta um custo maior que os dispositivos fixos. Os dispositivos fixos requerem menor manutenção e proporcionam o sombreamento conforme o ângulo de incidência do sol. São sistemas de fácil manutenção e instalação, porém necessitam de um ajuste prévio para o funcionamento, conforme o projeto e objetivo do sombreamento<sup>63</sup>.

Desta forma, o projeto dos dispositivos de sombreamento deve contemplar o período de tempo ao longo do ano em que o sombreamento é bem-vindo. Assim, o projeto necessita averiguar a altura do Sol, o azimute e a presença de elementos externos que façam sombra no envoltório. A carta solar é o instrumento que auxilia na delimitação do dispositivo a ser utilizado<sup>64</sup>.

As características gerais do prédio também são importantes para a definição do dispositivo de controle solar. A escolha deve considerar o sistema de fixação e a estrutura da edificação, assim como a visibilidade ao exterior, luminosidade, custo, privacidade e plasticidade.

---

<sup>63</sup> DANZ, Ernst. **La Arquitectura y el Sol**: Protección de los Edificios. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1989.

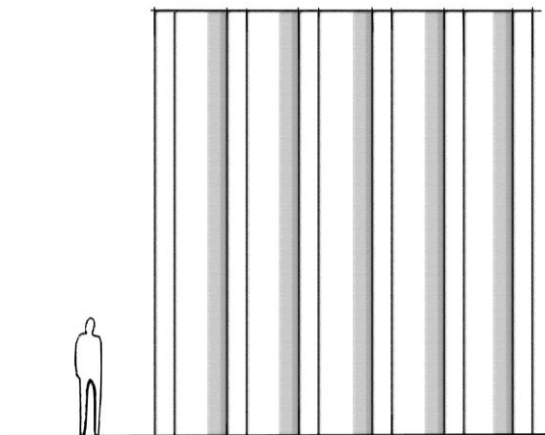
<sup>64</sup> BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004.

A orientação dos dispositivos de controle solar pode ser vertical, horizontal, ou misto. Os dispositivos verticais controlam o Sol com menor altura – quando o mesmo está posicionado no horizonte, o desenho é realizado com a utilização da planta baixa da edificação. O dispositivo acaba limitando a visibilidade ao exterior, pois é instalado em frente às aberturas.

A utilização dos dispositivos verticais é indicada para as orientações solares leste e oeste. São orientações solares onde o controle solar é dificultado pelo ângulo de altura do Sol. Recomenda-se também a redução do número de aberturas, substituindo as superfícies transparentes por superfícies opacas, aumentando a área de inércia térmica no envoltório<sup>65</sup>.

O desenho dos dispositivos verticais enfatiza a volumetria do edifício devido às linhas verticais que induzem a sensação de verticalidade. A figura 20 mostra os dispositivos verticais.

Figura 20 – Dispositivos Verticais em vista de elevação.



Fonte: Autoria própria.

Os dispositivos horizontais controlam o sol de maior altura, quando está acima do horizonte. A orientação solar ideal é norte – se for desenvolvido para leste e oeste, a dimensão deverá ser muito profunda, reduzindo a iluminação natural. Os dispositivos são projetados com auxílio de um corte passando pelo envoltório da edificação.

---

<sup>65</sup> LECHNER, Norbert. **Heating, cooling, lighting**: Sustainable design methods for architects. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

Os dispositivos horizontais enfatizam a sensação longilínea devido à repetição e à horizontalidade do elemento na fachada. A expressão visual da edificação está associada ao dispositivo horizontal e à materialidade. A figura 21 mostra os dispositivos horizontais.

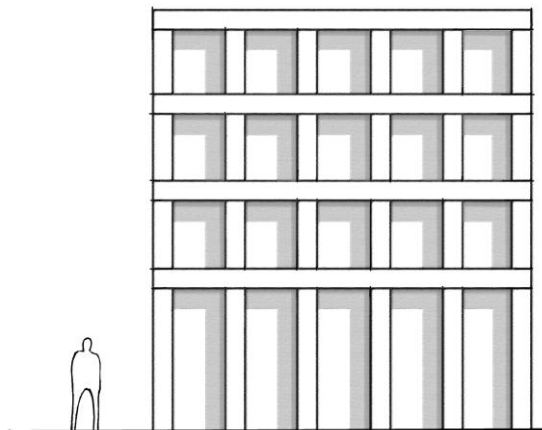
Figura 21 – Dispositivos Horizontais.



Fonte: Autoria própria.

Os dispositivos mistos são uma combinação entre os dispositivos horizontais e verticais. São utilizados para as orientações solares leste, oeste, norte e sul. O projeto arquitetônico necessita dimensionar cada dispositivo, para permitir o acesso da luz indireta e a visualização do exterior. O desenho dos dispositivos necessita do corte e planta baixa da edificação. A figura 22 mostra os dispositivos mistos.

Figura 22 – Dispositivos Mistos.



Fonte: Autoria própria.

Na dissertação são destacados os seguintes dispositivos de controle solar: persiana, veneziana, toldo, sacadas, marquises e *brise soleil*. Estes dispositivos fazem parte da linguagem arquitetônica presente na arquitetura brasileira.

As persianas são dispositivos de controle solar utilizados tanto no interior quanto no exterior da edificação. São compostas por lâminas rígidas que projetam um sombreamento efetivo. São recomendadas para as orientações leste e oeste, e quando acionadas, bloqueiam a visibilidade ao exterior. A figura 23 mostra a persiana presente no edifício de número predial 888, do estudo de caso.

Figura 23 – Persianas do edifício de número predial 888.



Fonte: Autoria própria.

As venezianas são dispositivos populares em edificações no Brasil. São compostas por lâminas horizontais dimensionadas de acordo com o vão da esquadria. São fixadas, geralmente, no exterior das janelas e são eficientes no controle do Sol, proporcionando o sombreamento. É um dispositivo móvel, de baixa manutenção e longa durabilidade, que permite uma iluminação indireta no ambiente, mantendo a privacidade e bloqueando a visão ao exterior. A figura 24 mostra as venezianas presentes no edifício de número predial 928, do estudo de caso.

Figura 24 – Venezianas do edifício de número predial 928.



Fonte: Autoria própria.

Os toldos são dispositivos fixos ou móveis, confeccionados com lona e perfis metálicos. Funcionam para o controle solar norte, atuando como dispositivos horizontais, sombreando as aberturas. O uso abrange estabelecimentos comerciais, residências ou apartamentos. A figura 25 mostra o toldo presente na edificação de número predial 896, do estudo de caso.

Figura 25 – Toldos da edificação de número predial 896.



Fonte: Autoria própria.

As sacadas são elementos arquitetônicos projetados além dos limites do edifício. Propiciam uma área externa ao ambiente e interceptam a radiação solar quando o Sol apresenta maior altura, na orientação solar norte, sombreando os pavimentos inferiores. A figura 26 mostra a sacada presente na edificação de número predial 956, do estudo de caso.

Figura 26 – Sacada da edificação de número predial 956.



Fonte: Autoria própria.

As marquises são dispositivos conectados à laje dos edifícios e projetados além dos limites do alinhamento predial do corpo da edificação. O dispositivo é recomendado para as orientações norte e sul, pois bloqueia o sol de maior altura. O dispositivo não interfere no contato visual com o exterior, sendo muito utilizado em lojas e acessos residenciais. A figura 27 mostra a marquise da edificação de número predial 888, do estudo de caso.

Figura 27 – Marquise da edificação de número predial 888.



Fonte: Autoria própria.

O *brise soleil* é um dispositivo constituído por lâminas horizontais, verticais ou mistas, fixas ou móveis, externas à fachada e organizadas de modo a ser integradas na composição arquitetônica. Em geral, é projetado com um espaçamento entre as lâminas, de modo a possibilitar o contato visual com o exterior.

Para incorporar o *brise soleil* ao envoltório são consideradas duas possibilidades. A primeira com o elemento integrado ao envoltório, pertencente à estrutura; a segunda, adicionado ao envoltório, fixado por meio de estrutura – em geral, pré-fabricado. Os materiais de maior utilização são: placas de concreto armado, placas de concreto celular, placas de madeira, chapas de aço, chapas de aço perfurado e perfis de alumínio<sup>66</sup>.

Os dispositivos de controle solar – além do controle da radiação solar – oferecem a possibilidade de enriquecer a expressão visual da edificação. Se alguns elementos servem apenas para tratar a superfície, outros participam de um jogo de luz e sombra, criando efeitos espaciais que se constituem na definição plástica do

---

<sup>66</sup> FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. 1. ed. São Paulo: Editora Geros, 2004.

conjunto arquitetônico. Proporcionam, assim, ritmo, luz, cor, texturas, expressando uma consciência regional<sup>67</sup>.

Os dispositivos de controle solar representam um importante elemento na composição plástica do edifício. Reforçam a natureza do envoltório através da materialidade e da geometria compositiva. A presença dos dispositivos define a forma do envoltório, como um elemento arquitetônico que constitui a própria fachada e o caráter do edifício<sup>68</sup>.

Assim sendo, os dispositivos interferem no caráter abstrato dado pelo vidro e pelo alumínio. A linguagem arquitetônica dos dispositivos de controle solar é conectada ao caráter regional, devido à ligação com a latitude, clima, orientação solar e materiais locais<sup>69</sup>.

O próximo capítulo elege um edifício – dentre um estudo de caso – para qualificação e quantificação energética do envoltório através da etiquetagem PROCEL. Posteriormente à avaliação, é realizado um estudo de *retrofitting*, com a adição de dispositivos de controle solar.

---

<sup>67</sup> OLGAYAY, Aladar; OLGAYAY, Victor. **Solar control & shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1976.

<sup>68</sup> CUNHA, Eduardo Grala da. Mitos e Verdades sobre o brise-soleil: da estética a eficiência energética. **Arquitetura Revista**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 73-80, jan./jun. 2011.

<sup>69</sup> MASCARÓ, Lucia Raffo de. **Luz, clima e Arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983.



### 3 ESTUDO DE CASO

O clima de Porto Alegre está na zona bioclimática ZB 3, caracterizada por períodos de calor acentuado, especialmente na orientação solar oeste. As recomendações de projeto – dadas pelo zoneamento bioclimático ZB 3 – sugerem a massa térmica, ventilação, desumidificação e sombreamento como estratégias de projeto, em decorrência das altas temperaturas para conforto interno nos ambientes construídos onde a radiação solar incide diretamente.

A utilização de massas térmicas corrobora com o conforto térmico. Os fechamentos opacos propiciam a inércia térmica, retendo o calor absorvido sem transmiti-lo diretamente para o interior, diferentemente das aberturas, que transmitem grande parte da radiação solar incidente.

O sombreamento das aberturas controla o acesso de raios solares no interior da edificação. Em dias quentes, o sombreamento é necessário para propiciar o conforto térmico, evitando o sobreaquecimento do ambiente e a dependência da refrigeração mecânica.

Os ângulos de Azimute e Altura Solar são obtidos com o auxílio da carta solar. Com os ângulos de Azimute e Altura Solar, é possível dimensionar os dispositivos de controle solar – que sobrepostos às aberturas, geram os ângulos de sombreamento (AVS, AHS).

Os dispositivos de controle solar controlam a radiação solar, influenciando no consumo energético da edificação. O programa brasileiro PROCEL EDIFICA quantifica o consumo energético do envoltório para a avaliação energética do envoltório da edificação.

A avaliação expedita do consumo energético pode ser realizada através da ferramenta WEBPRESCRITIVO do LABEEE. A avaliação relaciona os principais

dados da edificação, como o dimensionamento do edifício e as características das aberturas.

As edificações com grandes superfícies envidraçadas têm dificuldade de controlar a radiação solar – em especial, na orientação solar oeste. A orientação solar oeste é associada ao Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAFo) e possui um campo específico na avaliação expedita, pois é determinante no condicionamento térmico para o zoneamento bioclimático ZB 3.

A presença de dispositivos de controle solar altera o Fator Solar (FS) das aberturas, reduzindo a porcentagem de radiação solar que é diretamente transmitida ao interior da edificação. Em destaque na cor amarela – na Tabela 5 – estão as aberturas sem dispositivo de controle solar: o vidro transparente simples com 3 mm de espessura e o vidro verde com 3 mm. Em destaque, na cor verde, estão as aberturas com dispositivos de controle solar: o toldo 45° opaco, as venezianas de madeira e plástico, e os brises horizontais. A tabela 5 destaca valores de FS de acordo com as aberturas.

Tabela 5 – Valores de Fator Solar (FS) para aberturas com diferentes superfícies separadoras.

Superfícies Separadoras		F <sub>s</sub>	Referência	
Vidros	Transparente (simples) 3 mm	0,87	ASHRAE (1993)	
	6 mm	0,83	ASHRAE (1993)	
	Transparente (duplo) 3 mm	0,75	Pereira e Sharples (1991)	
	Cinza (fumê) 3 mm	0,72	ASHRAE (1993)	
	6 mm	0,60	ASHRAE (1993)	
	Verde 3 mm	0,72	Windows and Daylighting Group (1992)	
	6 mm	0,60	Windows and Daylighting Group (1992)	
	Reflexivo 3 mm	0,26 – 0,37	Windows and Daylighting Group (1992) e Aroztegui (1983)	
	Externas	Toldo 45° translúcido ***	0,36	Aroztegui (1983)
		Toldo 45° opaco ***	0,20	Aroztegui (1983)
Venezianas (mad/plast)		0,09	Aroztegui (1983)	
Esteira de madeira		0,09	Aroztegui (1983)	
Venezianas horiz. **		0,19	Pereira e Sharples (1991)	
Brise horizontal ***		0,25	Aroztegui (1983)	
Prateleira de luz espelhada *		0,58	Pereira e Sharples (1991)	
“Tampão” de madeira		0,07	Aroztegui (1983)	

Fonte: LAMBERTS. 2014. Acesso em: 15 de abr. 2016.

Desta maneira, a escolha pelo trecho de quadra levou em consideração a presença de edificações com diferentes planos diretores e tipologias construtivas,

assim como a fachada frontal com orientação solar oeste, situação crítica no solstício de verão em Porto Alegre.

As edificações presentes no trecho de quadra, além das já mencionadas diferenças entre planos diretores e tipologias, apresentam envoltórios distintos, possibilitando distinguir as aberturas e os fatores de controle solar relevantes ao cálculo WEBPRESCRITIVO do LABEEE e posteriormente, o *retrofitting* da edificação selecionada. Desta forma, a análise dos edifícios do estudo de caso leva em consideração o ano da construção, plano diretor, recuo de jardim, classificação de uso, material das aberturas, dispositivo de controle solar, altura, FS, PAF<sub>T</sub>, PAF<sub>O</sub>, AVS e AHS.

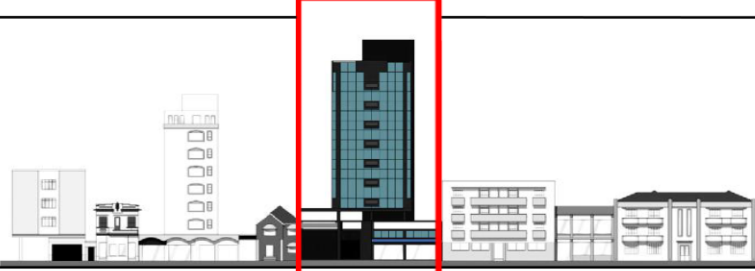
O edifício de número predial 912 foi projetado pela arquiteta Silvana Barcellos, ano de 1993. O edifício é escolhido perante os demais devido aos seguintes fatores: Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAF<sub>O</sub>), Fator Solar (FS), materialidade do envoltório, tipologia de uso, ausência de dispositivos de controle solar nas aberturas. A altura do edifício corrobora para seleção, devido à exposição da fachada oeste à radiação solar.

O estudo de caso classifica o edifício de número predial 912 dentro do contexto urbano, através do método de análise do sombreamento e a eficiência energética do envoltório. Essa investigação auxilia na compreensão das teorias relacionadas aos sistemas de controle solar e ações de *retrofitting*.

A tabela 6 apresenta os critérios de análise das edificações, nos quais o edifício de número predial 912 é destacado perante os demais.

Tabela 6 – Critérios de análise dos edifícios.

ELEVAÇÃO OESTE DA AV. GETÚLIO VARGAS, ENTRE AS RUAS BARÃO DO TRIUNFO E VISCONDE DO HERVAL



ANO DA CONSTRUÇÃO	1964	1939	1977	1947	1993	1960	1991	1947
NÚMERO PREDIAL	n°866	n°876	n°888	n°896	n°912	n°928	n°938	n°956
PLANO DIRETOR	PLANO GLADOSCH	X		X		X		X
	PLANO DIRETOR 1961	X		X				
	PDDU				X		X	
RECUO DE JARDIM (m)	SEM RECUO.	X		X		X		
	4,00 m	X		X	X		X	X
USO	RESIDENCIAL		X	X		X		X
	MISTO	X		X				
	COMERCIAL				X		X	
MATERIAL ABERTURAS	VENEZIANA EM MADEIRA		X			X		X
	PERSIANA EM PVC			X	X			
	VIDRO	X			X		X	
SISTEMAS DE CONTROLE SOLAR	VENEZIANAS		X			X		X
	MARQUISE			X				
	TOLDO				X			
	SACADA					X		X
	PERSIANAS			X	X			
ALTURA (m)	14,00	8,70	23,00	7,25	30,80	12,30	8,38	9,00
FS	0,87	0,09	0,09	0,09	0,72	0,09	0,87	0,09
PAFT %	18%	7%	14%	12%	34%	10%	10%	15%
PAFo %	9%	25%	18%	23%	75%	20%	55%	21%
AVS	0°	0°	70°	45°	0°	70°	0°	60°
AHS	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
MÉTODOS EXPEDITO	X	X	X	X	E	X	X	X

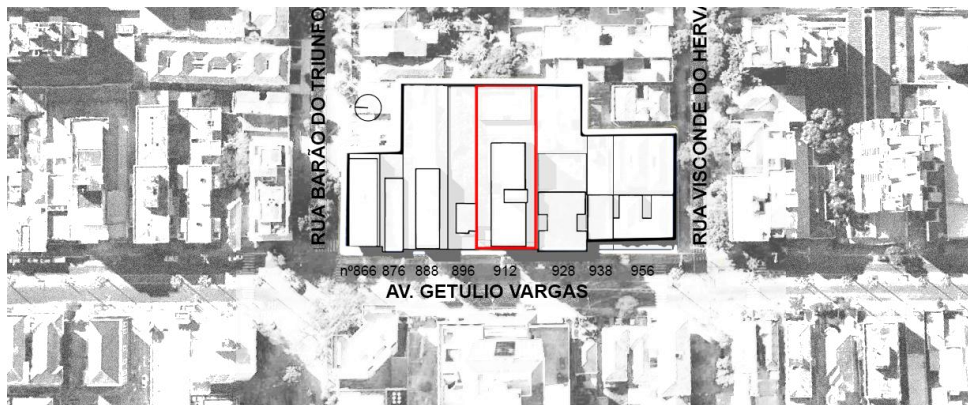
Fonte: Autoria própria.

O ano de construção dos edifícios do segmento de quadra é delimitado entre os anos de 1939 a 1993. O primeiro edifício construído é o de número predial 876, e o último, de número predial 912. Por compreender um período de tempo de mais de meio século entre a primeira e a última construção do segmento de quadra, as edificações apresentam características distintas entre si.

A avaliação contextualiza as edificações conforme os critérios construtivos e históricos. Na sequência, são discutidas as edificações presentes no estudo de caso, para compreensão da escolha do edifício de número predial 912. Os números prediais das edificações são os seguintes: 866, 876, 888, 896, 912, 928, 938 e 956.

O edifício de número predial 912 situa-se no bairro Menino Deus da cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, zona bioclimática 3. As oito edificações do estudo de caso estão inseridas em um tecido urbano consolidado. O segmento de quadra tem frente para a Avenida Getúlio Vargas e está situado entre as ruas Visconde do Herval e Barão do Triunfo. Na figura 28, estão a planta de situação com os oito lotes e a numeração predial e – em destaque – o edifício de número predial 912.

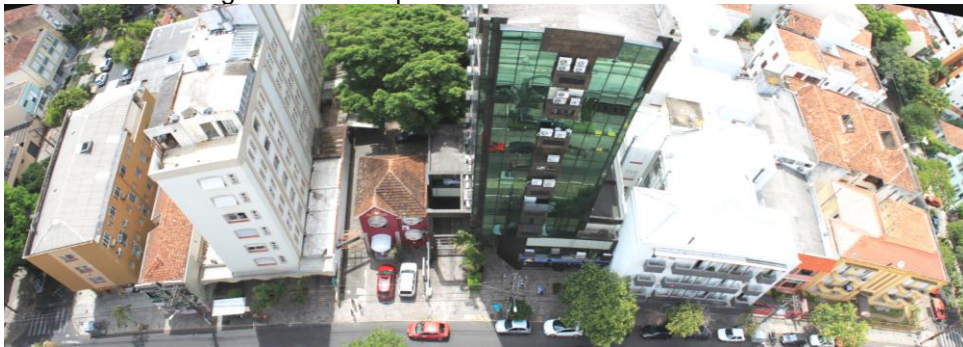
Figura 28 – Planta de situação com lotes do estudo de caso.



Fonte: Autoria própria.

As concepções construtivas e urbanísticas presentes no bairro resultaram em edificações com diferentes tipologias construtivas. A figura 29 mostra uma fotografia panorâmica dos edifícios do estudo de caso.

Figura 29 - Foto panorâmica dos edifícios em análise.

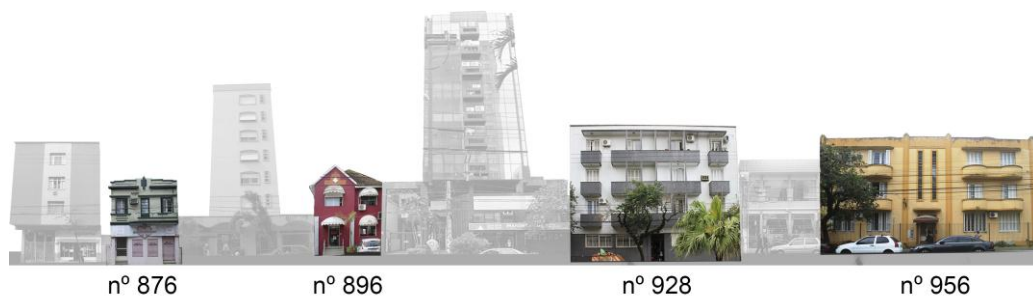


Fonte: Autoria própria.

As edificações presentes no segmento de quadra se desdobram em três planos diretores: Plano Gladosch, Plano Diretor de 1961 e Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU). Os planos influenciaram o regime urbanístico das edificações nas datas de suas respectivas construções.

As edificações de números prediais 876, 896, 928 e 956 foram construídas conforme as normas do Plano Gladosch (1937). O plano estabeleceu mudanças na imagem da cidade com o conjunto de medidas que resultou no primeiro plano a pensar a cidade em uma escala urbana, propondo a integração do centro com a periferia. As medidas permitiram a criação de parques, a conexão do centro com os bairros da Zona Sul e a ampliação do bairro Menino Deus junto à orla. Entre elas, estão o prolongamento da Avenida Borges de Medeiros, a canalização do Arroio Dilúvio e o aterro da orla do Guaíba, atual Parque Marinha do Brasil<sup>70</sup>. A figura 30 mostra a elevação oeste dos edifícios construídos no plano Gladosch.

Figura 30 – Elevação oeste dos edifícios construídos no Plano Gladosch.



Fonte: Autoria própria.

As edificações de números prediais 866 e 888 foram construídas conforme as normas do Plano Diretor de 1961. O plano teve maior alcance territorial na cidade de Porto Alegre – em relação aos planos anteriores – e regulamentou as avenidas periféricas ao bairro Menino Deus, como a Avenida Praia de Belas, e a urbanização do aterro na orla do Guaíba. A figura 31 mostra a elevação oeste dos edifícios construídos no Plano Diretor de 1961.

<sup>70</sup> ABREU FILHO, Silvio Belmonte de. O PDDUA de Porto Alegre: O ambiental ao final é substantivo ou adjetivo? In: Panizzi, Wrana Maria. (Org.). **Outra vez Porto Alegre: a cidade e seu planejamento**. Porto Alegre: Cirkula, 2016 .p. 271.

Figura 31 – Elevação oeste dos edifícios construídos no Plano Diretor de 1961.



Fonte: Autoria própria.

O plano seguiu preceitos técnicos do urbanismo moderno. Identificou perspectivas e correções das deficiências da cidade na época, com o objetivo de corrigir e desenvolver os padrões de saúde, salubridade, funcionamento e organização. As disposições técnicas do plano alteraram o zoneamento das atividades, permitindo a ocupação do comércio e escritórios em áreas residenciais. Outro fator relevante é o aumento da altura máxima das edificações e a maior taxa de ocupação<sup>71</sup>.

O Plano Diretor de 61 alterou o modelo construtivo anterior, optando pelo edifício afastado das divisas do lote. A estratégia era vista como uma oportunidade de criação de áreas livres, favorecendo a existência de jardins e espaços para a recreação. A preocupação com as condições urbanas esteve presente na obrigatoriedade do recuo de ajardinamento e fundos. As alterações implicaram na mudança do desenho na cidade. O modelo descartou a cidade – pelo qual vinha sendo construída –, buscando uma nova espacialidade<sup>72</sup>.

O plano seguinte é denominado de Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), ano de 1979. O plano influenciou o desenho de duas edificações presentes no estudo de caso: o edifício de número predial 912, e a edificação de número predial 938. Entre as características das edificações presentes no estudo estão: o uso comercial na quadra, o recuo de jardim obrigatório e o aumento do limite de

<sup>71</sup> SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO DE PORTO ALEGRE. Plano Diretor de Porto Alegre. 1964. p. 40. Disponível em: <[www.http://www2.portoalegre.rs.gov.br/](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/)>. Acesso em: 5 fev. 2016.

<sup>72</sup> SANVITTO, Maria Luiza Adams. Porto Alegre e os ideais da cidade moderna. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E URBANISMO, 12., 2012, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.



altura das edificações. A figura 32 mostra uma fotografia panorâmica dos edifícios presentes no plano PDDU.

Figura 32 – Elevação edifício construídos conforme o Plano Diretor de 1961.



Fonte: Autoria própria.

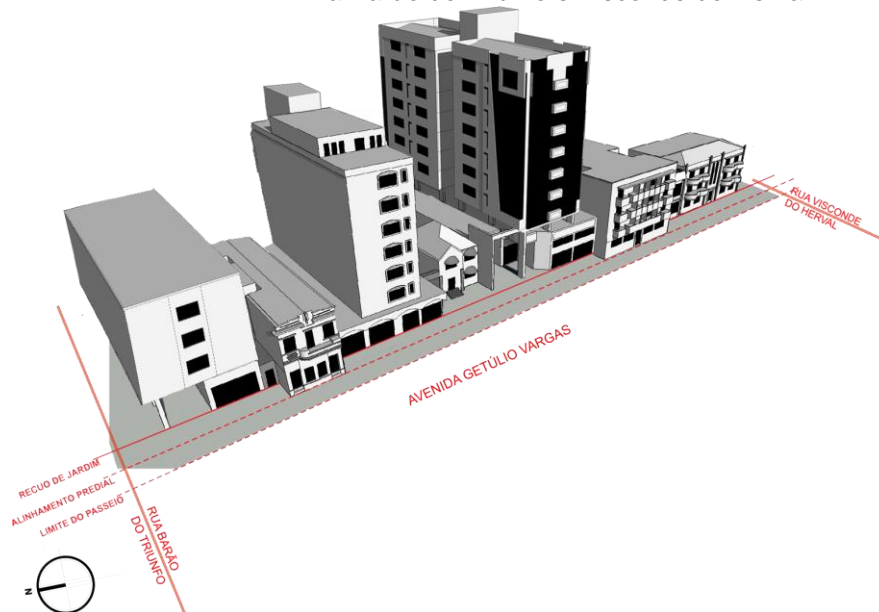
O PDDU realizou um levantamento dos componentes urbanos, atualizando o Plano Diretor de 1961. Em termos urbanísticos, propôs a harmonização do conjunto de normas voltadas para o crescimento urbano. São salientadas a distribuição da população, os índices de aproveitamento, a reserva de índices, as áreas não computáveis e o parcelamento do solo. De certa forma, promoveu ainda mais a ruptura do tecido urbano consolidado<sup>73</sup>.

Os planos diretores influenciaram o conjunto das edificações perante o recuo de jardim. As edificações de número predial 876 e 928 não apresentam recuos de jardim. As edificações de número predial 866, 888, 912, 938 e 956 apresentam 4 metros de recuo de jardim. A edificação de número predial 896 apresenta 6 metros de recuo de jardim – no entanto, não apresentava a obrigatoriedade de acordo com o Plano Diretor vigente na época. A figura 33 mostra a perspectiva da Avenida Getúlio Vargas, com edificações de diferentes recuos de jardins e alinhamentos prediais.

<sup>73</sup> ABREU FILHO, Sílvio Belmonte de. **Porto Alegre como cidade ideal**: planos e projetos urbanos para Porto Alegre. 2006. 357 f. Tese (Doutorado em Arquitetura)–Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.



Figura 33 – Perspectiva da Avenida Getúlio Vargas entre a Barão do Triunfo e Visconde do Herval.



Fonte: Autoria própria.

Além disso, as edificações do segmento de quadra se dividem em três tipos de uso de acordo com os projetos arquitetônicos aprovados originalmente na Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV). As edificações de números prediais 876, 896, 928 e 956 possuem uso residencial. As edificações de números prediais 866 e 888 possuem uso misto, com base comercial e corpo residencial. As edificações de números predial 912 e 938 possuem uso comercial. No caso do edifício de número predial 912, a base apresenta salas comerciais e, no corpo da edificação, escritórios comerciais.

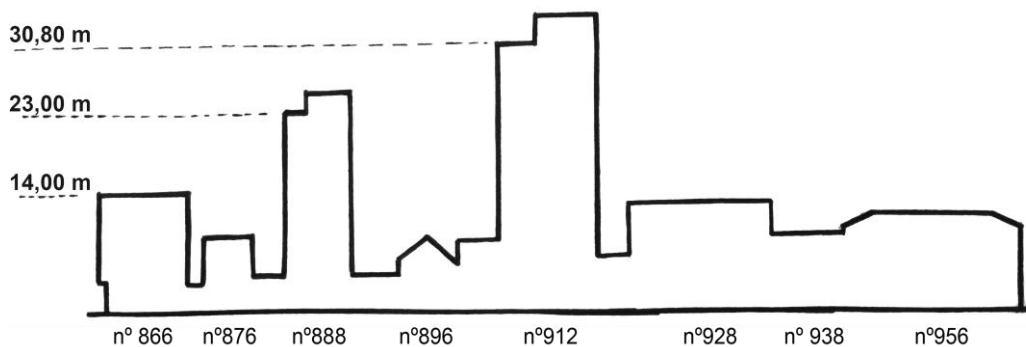
De mesmo modo, as edificações do estudo de caso apresentam distintos materiais de abertura. As edificações de números prediais 876, 928 e 956 possuem aberturas em vidro com venezianas em madeira sobrepostas. As edificações de números prediais 888 e 896 possuem aberturas em vidro com persianas em PVC sobrepostas. As edificações de número prediais 866, 912 e 938 possuem as aberturas em vidro.

Os dispositivos de controle solar também são diversos nas edificações do estudo de caso. As edificações de números prediais 876, 928 e 956 possuem venezianas como dispositivo de controle solar. A edificação de número predial 888 apresenta marquise na área comercial. A edificação de número predial 896 apresenta toldos fixados sobre as aberturas. As edificações de números prediais 928

e 956 possuem sacadas que controlam o Sol de maior altura. As edificações de números prediais 888 e 896 possuem persianas como dispositivos de controle solar. As edificações de número prediais 866, 912 e 938, não apresentam dispositivos de controle solar.

Além disso, as edificações dispõem de alturas que variam entre 7,25 metros a 30,80 metros. Entre as oito edificações, seis estão limitadas à altura de 14 metros – são as de números prediais 866, 876, 896, 928, 938 e 956. O edifício de número 888 possui altura de 23 metros; acima dele, o edifício de número predial 912, tem altura de 30,80 metros. A figura 34 mostra a elevação oeste e a relação entre as alturas das edificações.

Figura 34 – Elevação Oeste – Perfil com a altura das edificações.



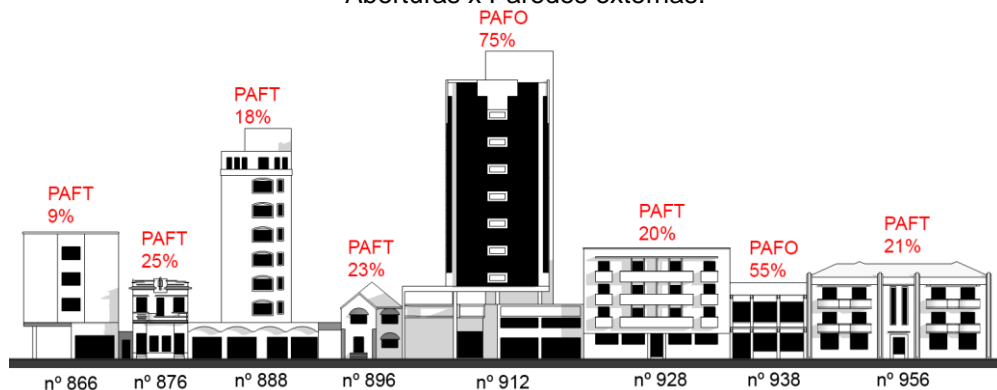
Fonte: Autoria própria.

As edificações possuem um Fator Solar (FS) de acordo com a materialidade das aberturas. As edificações de números prediais 866 e 938 apresentam vidro transparente simples com 3 mm de espessura e com Fator Solar (FS) de 0,87. As edificações de números prediais 876, 888, 896, 928 e 956 apresentam venezianas em madeira e persianas em PVC (policloreto de vinila); o Fator Solar (FS) é 0,09. O edifício de número predial 912, possui vidros verdes com 3 mm de espessura e Fator Solar (FS) de 0,72.

O Percentual de Abertura na Fachada Total das edificações (PAF<sub>T</sub>) varia entre 7% e 34%. A edificação de número predial 876 possui o menor percentual, com 7%, e o edifício de número predial 912 o maior, com 34%. O Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAF<sub>O</sub>) apresenta valores com maior disparidade entre as edificações. O edifício com menor percentual (PAF<sub>O</sub>) é o de número predial 866,

com 9%, e a edificação com maior percentual de abertura (PAFo) é edifício de número predial 912, com 75%. A edificação de número predial 938 também exibe um alto percentual de abertura (PAFo), com 55% de sua fachada a oeste. O percentual de aberturas na fachada oeste das edificações 912 e 938 é 20% maior que o Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT). Nesse caso, o Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAFo) substitui o PAFT, de acordo com as regras de aplicação do Manual RTQ-C. A figura 35 ilustra a relação entre aberturas (cor preta) e alvenarias (cor branca). O Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT) e o Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAFo) estão expressos acima de cada edificação – o número predial está abaixo.

Figura 35 – Elevação Oeste – Área com Abertura e Fechamento dos Edifícios  
Aberturas x Paredes externas.



Fonte: Autoria própria.

O Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) é presente em quatro edificações. São as de número predial 888, 896, 928 e 956, com ângulo de sombreamento que varia de 45° a 70°. Os Ângulos Verticais de Sombreamento são proporcionados por dispositivos horizontais de controle solar – entre eles estão a marquise, o toldo e as sacadas. O Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) não está presente nas edificações do estudo de caso, pois não há dispositivos verticais de controle solar.

Os dados levantados pelo estudo realizado nas oito edificações do segmento de quadra destacam o edifício de número predial 912. A edificação é selecionada perante os demais por apresentar a maior altura e elevados percentuais de abertura na fachada total (PAFT), de abertura na fachada oeste (PAFo), de Fator Solar (FS) e por apresentar ausência de dispositivos de controle solar no envoltório.

As grandes áreas de abertura repetidas ao longo dos pavimentos intensificam a dificuldade no controle da radiação solar, constituindo um aspecto preponderante na escolha da edificação para qualificação e quantificação energética. Desta maneira, é avaliada a eficiência energética do envoltório do edifício de número predial 912. O resultado obtido através do método WEBPRESCRITIVO é o nível E de eficiência energética.

A fachada frontal do edifício de número predial 912 apresenta grande percentual de aberturas, especialmente na fachada oeste. Na orientação solar oeste, o Sol dispõe de menor altura e os raios incidem no interior da edificação com facilidade – é recomendado minimizar a carga térmica provinda da energia solar no envoltório. Cabe ainda destacar que, conforme Frampton (1984)<sup>74</sup>:

a janela é provavelmente o ponto mais delicado e de onde fatores visíveis conectados ao caráter da região são expressos, como o lugar de onde pertencem. Aqui o primeiro antagonista da cultura radicada é o implemento do ar-condicionado, aplicado indiscriminadamente em qualquer lado, independente das especificações climáticas da estação. Em qualquer lugar que se encontrem a janela fixa e a implementação do ar-condicionado automático indicam o domínio por parte da técnica universal.

Os edifícios com alta tecnologia criam as denominadas “fachadas de compensação<sup>75</sup>”. Trata-se de quando o envoltório não responde pelo conforto térmico, tornando-se dependente do sistema de condicionamento térmico artificial, escondendo, assim, o consumo energético e a insustentabilidade da construção civil.

As grandes áreas de abertura no envoltório das edificações dificultam o balanço térmico e exigem refrigeração mecânica para o conforto térmico. Essa técnica universal não reflete as estratégias de projeto arquitetônicos recomendadas para a zona bioclimática 3 da cidade de Porto Alegre, onde o sombreamento no envoltório é desejado nos dias quentes, em especial na estação climática do verão.

O edifício de número predial 912 compensa a ausência de sombreamento no envoltório com o condicionamento térmico artificial. A demanda de aparelhos de ar-condicionado é aparente na fachada oeste do edifício de número predial 912. Os

---

<sup>74</sup> FRAMPTON, Kenneth. Anti-tábula rasa: hacia un regionalismo crítico. **Revista de Occidente**, v. 42, p. 29-42, 1984.

<sup>75</sup> Termo utilizado por FRAMPTON (1984) para as edificações dependentes de sistemas de condicionamento térmico artificial de ar.

aparelhos deveriam estar localizados nas áreas técnicas destinadas à refrigeração mecânica – no entanto, devido ao desconforto térmico, o número de equipamentos é superior ao espaço físico destinado a eles.

É possível visualizar os aparelhos de ar condicionado na figura 36 fachada oeste do edifício de número predial 912. As máquinas estão fixadas no lado externo das áreas técnicas.

Figura 36 – Ar condicionados na fachada do Edifício de número predial 912.



Fonte: Autoria própria.

Nas edificações dependentes do condicionamento térmico artificial, a alteração do envoltório é recomendada pela NBR 15220. Os dados avaliados no estudo de caso motivam a investigação da eficiência energética do envoltório do edifício de número predial 912, e o estudo do sombreamento na fachada oeste.

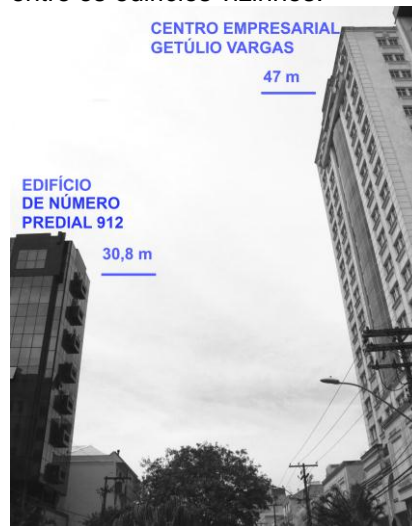
Os ângulos de incidência solar e sombreamento na fachada oeste do edifício de número predial 912 são verificados a partir do uso da carta solar e da simulação com maquete eletrônica realizada com o auxílio do software Sketchup 8. Esses instrumentos possibilitam averiguar a sombra projetada pelos edifícios vizinhos na fachada oeste do edifício de número predial 912 e o período de tempo. A avaliação verificou também os ângulos necessários para implementar os dispositivos de controle solar vertical e horizontal na fachada oeste.

A primeira análise é o sombreamento dos edifícios vizinhos no edifício de número predial 912. As edificações recentemente construídas ultrapassam os

padrões de altura anteriores. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA, 1999) manteve o modelo de edifício isolado, sem respeitar as características espaciais presentes nos bairros.

O edifício comercial Centro Empresarial Getúlio Vargas, número predial 901, situa-se na Avenida Getúlio Vargas e foi construído no ano de 2006. A construção está posicionada em frente ao edifício de número predial 912, possui 14 andares tipo mais dois andares de estacionamento e o térreo, totalizando 47 metros de altura. A figura 37 ilustra a relação entre as alturas dos edifícios.

Figura 37 - A relação das alturas entre os edifícios vizinhos.



Fonte: Autoria própria.

A maquete – confeccionada no Software Sketchup 8 – contribui para a verificação do sombreamento realizado pelo edifício Centro Empresarial Getúlio Vargas na fachada oeste do edifício Couto e Silva. As simulações foram efetuadas nos dias 15 de janeiro e 15 de julho, meses que representam uma média entre os ângulos máximo e mínimo da altura do Sol.

A simulação feita no dia 15 de janeiro significa que o Sol tem altura próxima ao solstício de verão. A trajetória apresenta uma leve inclinação; a altura máxima é próxima de 80° (graus) ao meio-dia. Os horários de simulação escolhidos são às 15 horas, 16 horas e 17 horas. Possibilitam, assim, uma visualização do sombreamento na fachada oeste do edifício de número predial 912 ao longo da tarde.

A primeira simulação no dia 15 de janeiro é efetuada às 15 horas. O Sol apresenta altura próxima de 50° (graus) e incide diretamente na fachada oeste do

edifício de número predial 912. A sombra do edifício Centro Comercial Getúlio Vargas é projetada na base do edifício de número predial 912, onde estão instaladas as lojas comerciais e o estacionamento. A figura 38 exibe, ao centro, o edifício de número predial 912 e, ao lado, as edificações lindeiras.

Figura 38 - Simulação: Dia 15/01  
– Horário 15h.



Fonte: Autoria própria.

A segunda simulação no dia 15 de janeiro é realizada às 16 horas. O Sol está com altura próxima de  $40^\circ$  (graus), e o edifício Centro Comercial Getúlio Vargas projeta a sombra na base e no corpo da edificação, mais precisamente na fachada oeste, onde estão instaladas as salas comerciais do edifício Couto e Silva. A sombra projetada alcança o quinto andar. A figura 39 mostra o edifício de número predial 912 e as edificações vizinhas.

Figura 39 - Simulação: Dia 15/01  
– Horário 16h.



Fonte: Autoria própria.

A terceira simulação no dia 15 de janeiro é realizada às 17 horas. O Sol está com a altura próxima de  $25^\circ$  (graus), e o edifício Centro Comercial Getúlio Vargas projeta a sua sombra ao longo de toda a fachada oeste do edifício de número predial 912. A

trajetória solar muda de quadrante, e o lado sul da edificação começa a receber a incidência dos raios solares até aproximadamente às 18h48min, horário em que o Sol se põe nos dias próximos ao solstício de verão. A figura 40 mostra essa relação.

Figura 40- Simulação: Dia 15/01 – Horário 17h.



Fonte: Autoria própria.

As simulações feitas no dia 15 de julho apontam um resultado similar em relação à fachada oeste do edifício de número predial 912. Nesta data, o Sol está em altura próxima do solstício de inverno. A trajetória apresenta uma declividade maior que o solstício de verão, e a altura solar máxima é de aproximadamente 40° (graus), ao meio-dia. Os horários escolhidos são às 15 horas, 16 horas e 17 horas. A primeira simulação é às 15 horas. O Sol está com altura solar próxima de 25° (graus); no entanto, o edifício Centro Comercial Getúlio Vargas não projeta a sombra no edifício de número predial 912. A figura 41 mostra essa relação.

Figura 41 - Simulação: Dia 15/06 – Horário 15h.



Fonte: Autoria própria.



A segunda simulação do dia 15 de julho é realizada às 16 horas. O Sol está com altura próxima de  $15^\circ$  (graus), e o edifício Centro Comercial Getúlio Vargas projeta a sua sombra na fachada oeste do edifício de número predial 912. A figura 42, mostra essa relação.

Figura 42 - Simulação: Dia 15/06 –  
Horário 16h.



Fonte: Autoria própria.

A terceira simulação do dia 15 de julho é realizada às 17 horas. O Sol está com altura próxima de  $5^\circ$ , e o edifício Centro Comercial Getúlio Vargas projeta a sua sombra ao longo de toda a fachada oeste do edifício de número predial 912. As edificações lindeiras também estão sombreadas, pois em datas próximas ao solstício de inverno o Sol se põe às 17h12min. A figura 43, ilustra essa relação.

Figura 43- Simulação: Dia 15/06 – Horário  
17h.

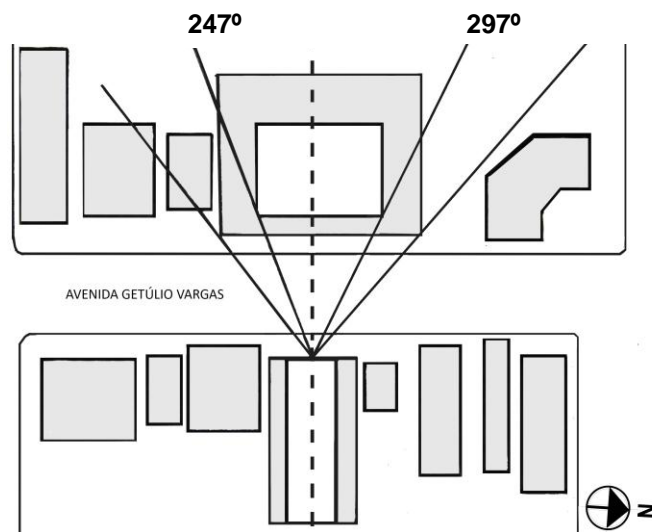


Fonte: Autoria própria.

O sombreamento projetado pelo edifício Centro Comercial Getúlio Vargas no edifício de número predial 912 é visualizado com a carta solar de latitude de  $30^\circ$  sul

e longitude  $51^\circ$  oeste. A avaliação requer o auxílio da planta de situação, na qual são mensurados os Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS). É realizada uma linha tracejada no centro do edifício de número predial 912, cujo resultado são dois ângulos – à esquerda do edifício está o ângulo  $247^\circ$ , e à direita, o ângulo  $297^\circ$ . A figura 44, mostra o desenho da planta de situação.

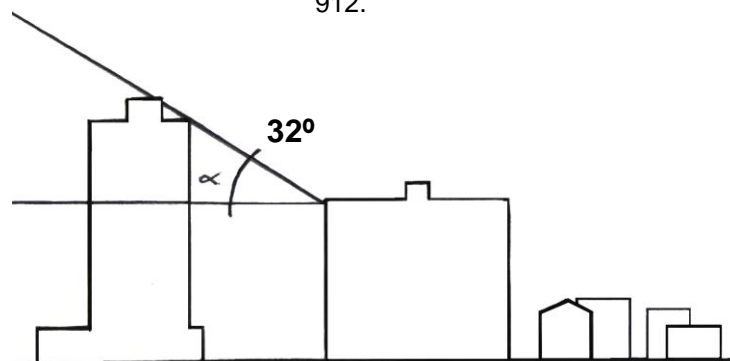
Figura 44 – Planta de situação para aferição dos ângulos de sombreamento. Acima está o edifício Centro Empresarial Getúlio Vargas e abaixo o Edifício de número predial 912.



Fonte: Autoria própria.

O Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) é obtido pelas distâncias e ângulos formados entre os edifícios com auxílio de um corte. O resultado é um ângulo de  $32^\circ$ . A figura 45 mostra o desenho realizado.

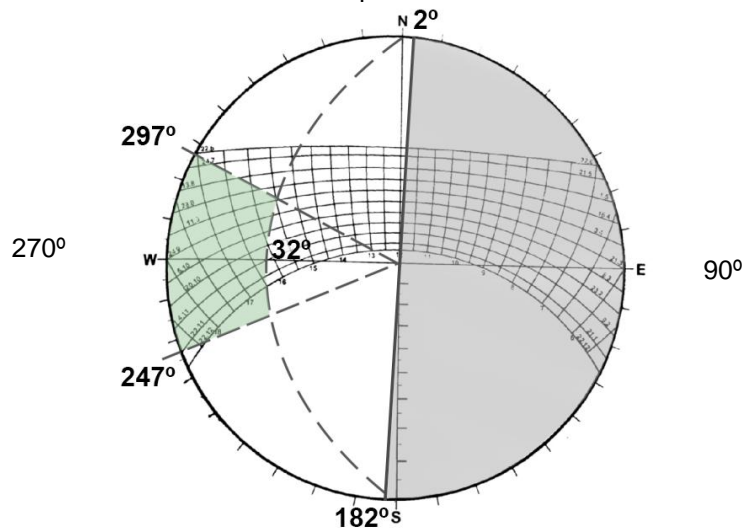
Figura 45 – Corte entre os edifícios para aferição do ângulo de sombreamento. À esquerda, o edifício Centro Empresarial Getúlio Vargas e, à direita, o edifício de número predial 912.



Fonte: Autoria própria.

A máscara de sombreamento na carta solar depende de três ângulos: Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e Azimute. Com os Ângulos de Sombreamento Vertical e Horizontal definidos, obtém-se o azimute da fachada oeste em  $182^{\circ}$ . A figura 46 mostra – na cor cinza – os quadrantes que não influenciam a fachada oeste e – na cor verde – a mancha que representa a sombra projetada pelo edifício Centro Empresarial Getúlio Vargas na fachada oeste do edifício de número predial 912.

Figura 46 – Carta solar com mancha de sombreamento do edifício Centro Empresarial.



Fonte: Autoria própria.

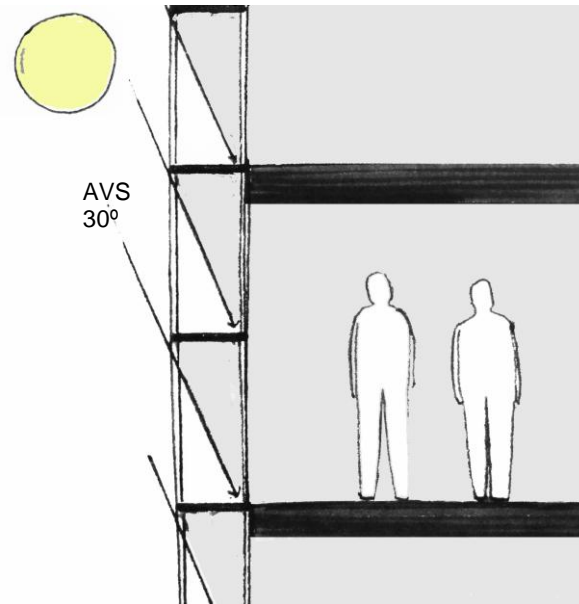
O edifício Centro Comercial Getúlio Vargas projeta sombra na fachada oeste do edifício de número predial 912 a partir das 16 horas e 30 minutos. Para os demais horários, é necessário acrescentar dispositivos de controle solar. Parte-se, assim, para o estudo sobre os possíveis dispositivos capazes de controlar a incidência direta do Sol na fachada oeste.

O controle solar desejado é no período vespertino. O período inicia às 12 horas, meio dia, e se estende até o pôr do sol, que varia conforme o dia do ano. No solstício de inverno, o pôr do sol ocorre às 17 horas e 12 minutos e, no solstício de verão, às 18 horas e 48 minutos. Os quadrantes utilizados estão entre os ângulos  $2^{\circ}$  e  $182^{\circ}$  graus, conforme o azimute da fachada oeste do edifício de número predial 912.

O primeiro ângulo de sombreamento analisado é o vertical. Para a obtenção do ângulo, utiliza-se o corte do edifício de número predial 912. A figura 47 mostra o

corte esquemático de um dos andares tipo e o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) de  $30^\circ$ , proporcionado por dispositivo de controle solar horizontal.

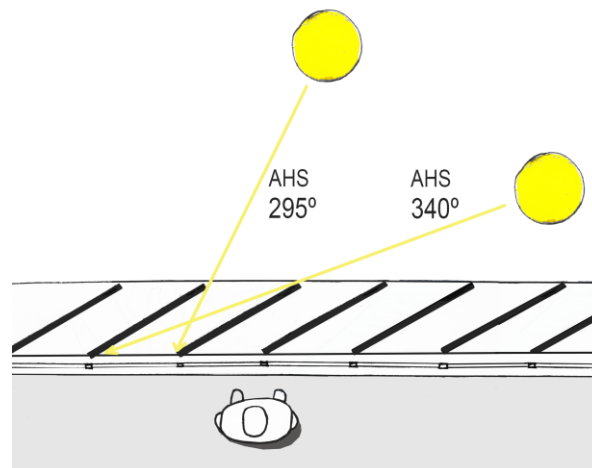
Figura 47 – Corte esquemático de um pavimento tipo.



Fonte: Autoria própria.

O segundo ângulo de sombreamento analisado é o horizontal. Para a obtenção do ângulo, utiliza-se a planta baixa do pavimento tipo do edifício de número predial 912. A figura 48 mostra o setor da planta baixa com frente oeste e os Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS),  $295^\circ$  ( $-25^\circ$ ) e  $340^\circ$  ( $-70^\circ$ ), proporcionado por dispositivos de controle solar vertical.

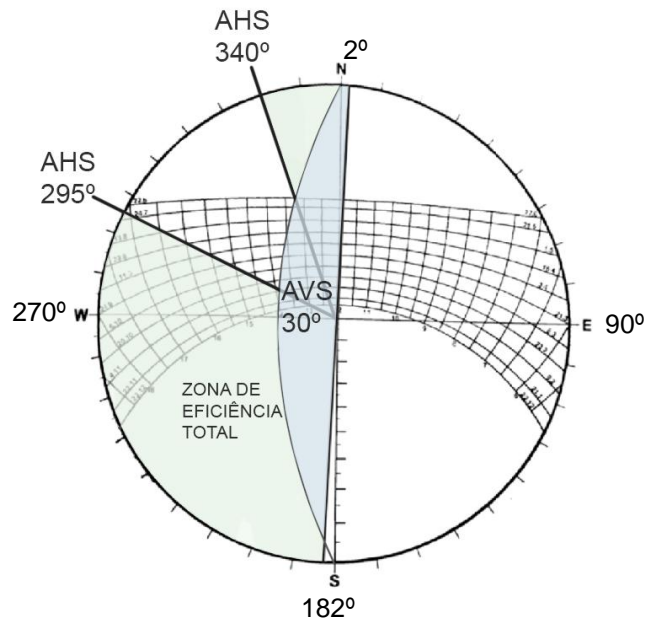
Figura 48 – Planta baixa de pavimento tipo.



Fonte: Autoria própria.

A figura 49 mostra a carta solar de Porto Alegre. Em verde, os Ângulos Horizontais de Sombreamento de  $295^\circ$  ( $-25^\circ$ ) e  $340^\circ$  ( $-70^\circ$ ) – projetados pelo dispositivo de controle solar vertical –, e, em azul, o Ângulo Vertical de Sombreamento de  $30^\circ$ , projetado pelo dispositivo de controle solar horizontal.

Figura 49 - Carta solar com mancha de sombreamento e acréscimo de dispositivo de sombreamento.



Fonte: Autoria própria.

As manchas em azul e verde, na carta solar, representam a zona de eficiência total, na qual os dispositivos verticais e horizontais controlam os raios solares, bloqueando a incidência direta de Sol nos períodos quentes do ano. Entre os ângulos  $295^\circ$  ( $-25^\circ$ ) e  $340^\circ$  ( $-70^\circ$ ), o Sol penetra no interior da edificação proporcionando o aquecimento nos meses frios, recomendação presente nas diretrizes construtivas e estratégias projetuais de acordo com o Zoneamento Bioclimático ZB3.

Os Ângulos de Sombreamento Vertical e Horizontal devem ser quantificados energeticamente. A dissertação utiliza o método expedito para avaliação e compara o desempenho energético da edificação atual com o *retrofitting*.

### 3.1 Método de análise

A avaliação energética do edifício de número predial 912 é realizada adotando as dimensões do corpo da edificação. A base do edifício foi ignorada no cálculo, pois contém duas salas comerciais térreas e o estacionamento. O levantamento dos dados técnicos da edificação é realizado com o auxílio da planta baixa, corte e demais informações coletadas na Prefeitura Municipal de Porto Alegre. A figura 50 mostra a volumetria do edifício de número predial 912 e as dimensões do corpo da edificação.

Figura 50 – Dimensões do edifício de número predial 912.



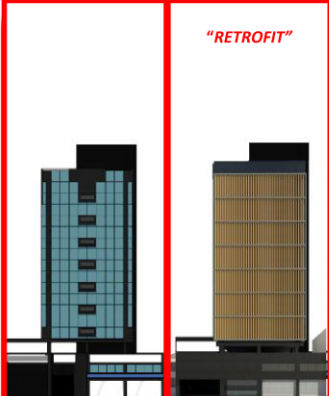
Fonte: Autoria própria.

Os demais dados técnicos são resultado dos cálculos e instruções presentes no Manual de Aplicação do RTQ-C e no WEBPRESCRITIVO do LABEEE.

A tabela 7 mostra – na coluna vermelha à esquerda – o edifício de número predial 912, e – na coluna vermelha a direita – o estudo do *retrofitting* do edifício de número predial 912 com a qualificação do envoltório.

Tabela 7 – Comparação entre o edifício de número predial 912 e o "retrofitting" do edifício de número predial 912.

ELEVAÇÃO OESTE DO EDIFÍCIO COUTO E SILVA



QUADRO 1	LOCALIZAÇÃO	ZONA BIOCLIMÁTICA	3
		CIDADE	PORTO ALEGRE
QUADRO 2	PRÉ-REQUISITOS	$U_{COB-AC}$	1
		$U_{COB-ANC}$	2
		$U_{PAR}$	3
		PAZ	0%
		COB	50%
		$CT_{PAR}$	0
		PAR	30%
QUADRO 3	DADOS DIMENSIONAIS DA EDIFICAÇÃO	FS	0
		$A_{TOT}$	3030,84 m <sup>2</sup>
		$A_{PCOB}$	385 m <sup>2</sup>
		$A_{PE}$	379,23 m <sup>2</sup>
		$V_{TOT}$	8595,30 m <sup>3</sup>
		$A_{ENV}$	2018,68 m <sup>2</sup>
	CARACTERÍSTICAS DAS ABERTURAS	FS	0,72
		$PAF_T$	34%
		$PAF_O$	75%
		AVS	0°
		AHS	0°
QUADRO 4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	E	A

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 Resultados

A comparação entre o edifício de número predial 912 e o *retrofitting* do edifício de número predial 912, tabela 7, foi realizada em duas colunas e quadro. Os quadros mantêm a ordem presente na fórmula do ICenv, WEBPRESCRITIVO do LABEEE. O quadro 1 abrange a localização; o quadro 2, os pré-requisitos; o quadro 3, os dados dimensionais da edificação e as características das aberturas; o quadro 4, o resultado do nível de eficiência energética do envoltório.

Os dados presentes no quadro 1 e 2 são iguais nas duas colunas. O quadro 1 – denominado de Localização – contém dois campos, sendo que a primeira linha compreende a zona bioclimática 3, a segunda linha a cidade de Porto Alegre.

No quadro 2 – campo Pré-Requisitos – os dados são os mesmos para as duas colunas. Os dados de Transmitância Térmica da Cobertura ( $U_{COB} - AC$ ), Transmitância Térmica da Cobertura ( $U_{COB} - ANC$ ) e Transmitância Térmica das Paredes ( $U_{PAR}$ ) foram preenchidos conforme os padrões disponíveis no Manual de Aplicação do RTQ-C para os níveis de avaliação A e B. O Percentual de Abertura Zenital (PAZ) (%) é zero, pois não existem aberturas zenitais no edifício de número predial 912. Os dados da Absortância Solar da Cobertura ( $\alpha_{COB}$ ) e Absortância Solar das Paredes ( $\alpha_{PAR}$ ) foram retirados da NBR 15220 conforme os materiais presentes no edifício de número predial 912, que são: telhas metálicas oxidadas e reboco claro. Os dados da Capacidade Térmica das Paredes ( $CT_{PAR}$ ) e Fator solar (FS) foram fornecidos automaticamente pela ferramenta WEBPRESCRITIVO de acordo com a Zona Bioclimática 3.

No quadro 3, o campo Dados Dimensionais da Edificação é igual para as duas colunas. O campo contém as áreas e volumes da edificação, assim sendo: Área total ( $A_{TOT}$ ) de 3.030,84 m<sup>2</sup>, Área de projeção da cobertura ( $A_{pcob}$ ) de 385 m<sup>2</sup>, Área de projeção do edifício ( $A_{pe}$ ) de 379,23 m<sup>2</sup>, Volume Total da Edificação ( $V_{tot}$ ) de 8.595,30 m<sup>3</sup> e Área do Envoltório ( $A_{ENV}$ ) de 2.018,68 m<sup>2</sup>.

No quadro 3, o campo Características das Aberturas é diferente entre as duas colunas. Na coluna à esquerda, o edifício de número predial 912 sem o *retrofitting* do envoltório, o Fator Solar (FS) é de 0,72; o Percentual de Abertura na Fachada Total ( $PA_{FT}$ ), de 34%; Percentual de Abertura na Fachada Oeste ( $PA_{Fo}$ ), de 75%; Ângulo



Vertical de Sombreamento (AVS), de 0°; e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), de 0°.

A adição de dispositivos de controle solar verticais e horizontais no estudo do envoltório do edifício de número predial 912 altera o campo Característica das Aberturas na coluna do *retrofitting*, à direita. Os dados são alterados para: Fator Solar (FS), para 0,25; Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF<sub>T</sub>), para 25%; Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAF<sub>O</sub>), para 0%; Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), para 30°; e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), para 25°.

No quadro 4, o campo Eficiência Energética apresenta o resultado do nível de eficiência energética do envoltório do edifício de número predial 912, de acordo com a ferramenta WEBPRESCRITIVA. O edifício – sem o *retrofitting* – apresenta o nível E de eficiência energética. Com a inserção dos dispositivos de controle solar, a eficiência energética do envoltório é alterada para o nível A.

O envoltório tornou-se eficiente energeticamente com as alterações das características das aberturas. Os dispositivos de controle solar mudam o Fator Solar as aberturas, alteram o Percentual de Abertura na Fachada Oeste (PAF<sub>O</sub>) devido à sobreposição dos dispositivos em frente à fachada, reduzindo também o Percentual de Abertura na Fachada Total (PAF<sub>T</sub>). Além disso, os dispositivos geram os Ângulos de Sombreamento (AVS, AHS), controlando o acesso dos raios solares nos meses onde a radiação provoca o desconforto térmico.

### **3.3 Discussão**

A metodologia adotada neste trabalho mostrou-se adequada, pois permitiu avaliar o experimento e qualificar os elementos e sistemas que produzem efeitos quantificáveis no envoltório. Por conseguinte, foi possível avaliar o envoltório, a alteração do nível de consumo energético do envoltório e os Ângulos de Sombreamento Vertical e Horizontal.

A opção pelo programa de avaliação energética PROCEL EDIFICA do envoltório mostrou-se adequada. A etiquetagem PROCEL é adaptada ao clima e aos

sistemas construtivos no Brasil, indicada tanto para trabalhos acadêmicos quanto para a concepção de projetos arquitetônicos.

Entretanto, o programa PROCEL EDIFICA limita-se à quantificação do nível energético das edificações. O programa não orienta as estratégias de projeto arquitetônico para obter a eficiência energética em novos projetos, mas descreve os parâmetros do cálculo que podem gerar a eficiência energética do envoltório.

O procedimento WEBPRESCRITIVO do LABEEE foi considerado pelo autor como confiável para a quantificação energética do envoltório. O nível de consumo energético é avaliado de maneira segura e – com a ação de *retrofitting* – é possível alterar o desempenho energético de edificações que não estão adaptadas às exigências locais e climáticas.

Os valores dos pré-requisitos utilizados na ferramenta WEBPRESCRITIVO – no quadro 2 – são encontrados no Manual de Aplicação do RTQ-C. O Manual distingue os valores dos pré-requisitos para obtenção de uma etiquetagem completa de acordo com os níveis A, B, C e D de eficiência energética. Os valores indicados para níveis C e D não foram adotados, pois comprometem a avaliação “do edifício de número predial 912 e seu *retrofitting*”.

O nível de eficiência energética E no envoltório do edifício de número predial 912 ocorre devido aos seguintes fatores: o Percentual de Abertura da Fachada Oeste (PAFo), Fator Solar (FS) das aberturas e a ausência de Ângulos de Sombreamento (AVS, AHS). Atualmente, para obter conforto térmico, o edifício requer o condicionamento térmico artificial.

O edifício de número predial 912 apresenta a materialidade das aberturas, composta com vidros verdes de espessura de 3 mm (milímetros), com Fator Solar de 0,72 (ASHRAE, 1993). Isso significa que 72% da radiação solar incidente penetra no interior. O restante é absorvido pelo vidro, em forma de calor, ou refletido ao exterior. Além disso, o edifício de número predial 912 possui o percentual de 75% de aberturas na fachada oeste (PAFo). O alto percentual de abertura – combinando com o Fator Solar (FS) – tornam o edifício dependente de sistemas de condicionamento térmico artificial para garantir o conforto térmico nos ambientes de trabalho.

Dessa maneira, a porcentagem de abertura na fachada é proporcional ao consumo energético. O edifício de número predial 912 tem a eficiência energética

comprometida devido às grandes áreas de abertura e ao Fator Solar (FS). A alteração do consumo de energia é possível com o *retrofitting* do envoltório.

O Percentual de Abertura na Fachada Total (PAFT) destaca-se como a variável que apresenta maior influência na variação do consumo de energia, seguido pelos ângulos de sombreamento (AVS; AHS) e o fator solar (FS). Esses itens têm papel fundamental no desempenho térmico da edificação e devem ser levados em consideração em uma ação de *retrofitting*.

Além disso, os Ângulos Verticais e Horizontais de Sombreamento (AVS; AHS) não atuam de forma isolada no cálculo. Ao introduzir os Ângulos de Sombreamento, os valores contribuem no cálculo e alteram o Fator Solar (FS) e o Percentual de Abertura na Fachada (PAFT; PAFo).

Os Ângulos de Sombreamento (AVS; AHS) atuam como uma superfície protetora, sombreando a fachada e controlando o acesso direto dos raios solares. Esse fator implica a redução do Fator Solar (FS), modificando os valores de acordo com o tipo de dispositivos de controle solar.

A eficiência energética do envoltório do edifício de número predial 912 está relacionada à materialidade do envoltório da edificação. Os sistemas de controle solar são relevantes para evitar o aquecimento indevido no clima de Porto Alegre.

O resultado da avaliação energética do *retrofitting* reflete a importância dos fatores de cálculo alterados (AVS, AHS, PAFT, PAFo, FS). Ou seja, são os principais fatores de interferência no resultado final de etiquetagem do envoltório, minimizando o acesso de raios solares – garantindo, assim, um nível adequado de controle solar no envoltório.

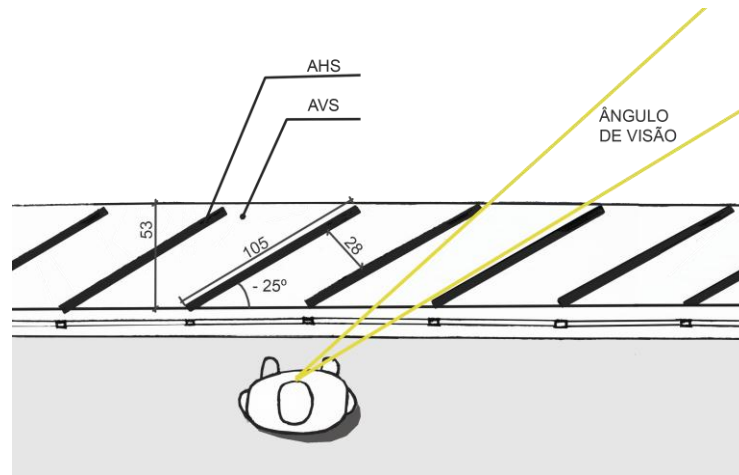
O Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) na fachada oeste do edifício de número predial 912 é representado por dispositivos de controle solar verticais, os *brises soleil*. São dispositivos fixados na fachada oeste que concebem um ângulo de sombreamento de 295° (-25°) e permitem o acesso dos raios solares no período de inverno (junho, julho), bloqueando a radiação solar nos períodos quentes do verão (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março).

O Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) na fachada oeste do edifício de número predial 912 é representado por dispositivos de controle solar horizontais, os *brises soleil*. Os dispositivos são fixados na fachada oeste e proporcionam um

ângulo de sombreamento de  $340^\circ$  ( $30^\circ$ ), bloqueando a radiação solar nos períodos onde o Sol tem maior altura.

Apesar de alterar a eficiência energética do envoltório, os *brises soleil* limitam a visualização ao exterior, pois formam um ângulo restrito. A distância entre os *brises soleil* verticais é de 28 centímetros e o seu comprimento é de 105 centímetros. Os *brise soleil* horizontais têm comprimento de 53 centímetros. Na figura 51, são mostrados as dimensões e os ângulos formados pelos *brises soleil* verticais (AHS).

Figura 51 – Planta baixa do pavimento tipo com as dimensões dos *brises soleil* verticais (AHS).



Fonte: Autoria própria.

Os dispositivos de controle solar podem ser móveis e acionados eletronicamente ou manualmente – porém, a dissertação optou por dispositivos fixos pelo interesse na quantificação energética do envoltório. A tabela 8 detalha as características tipológicas dos dispositivos de controle solar adicionados ao edifício de número predial 912 para o *retrofitting*.

Tabela 8 – Características dos dispositivos de controle solar do *retrofitting*.

POSIÇÃO	HORIZONTAL (AVS) – 30°
MATERIALIDADE	ESTRUTURA METÁLICA
MOBILIDADE	FIXA
INCLINAÇÃO	-
LEITURA ARQUITETÔNICA	ALINHADO AOS MÓDULOS DE VIDRO E EM PRIMEIRO PLANO NA FACHADA
COMPOSIÇÃO	ALTERA A EXPRESSÃO PLÁSTICA DO EDIFÍCIO
EFICIÊNCIA	FACE OESTE – CONTROLE SOLAR DO MEIO DIA ÀS 14 HORAS DA TARDE
POSIÇÃO	VERTICAL (AHS) – 25°
MATERIALIDADE	MADEIRA
MOBILIDADE	FIXA
INCLINAÇÃO	-
LEITURA ARQUITETÔNICA	FRENTE DO EDIFÍCIO
COMPOSIÇÃO	CONTRIBUI PARA A EXPRESSÃO PLÁSTICA DO EDIFÍCIO
EFICIÊNCIA	FACE OESTE – BLOQUEIA O SOL NOS MESES QUENTES DO ANO (NOVEMBRO, DEZEMBRO, JANEIRO, FEVEREIRO, MARÇO). PERMITE O ACESSO DO SOL NOS MESES FRIOS (JUNHO, JULHO)

Fonte: Autoria própria.

No *retrofitting* da edificação de número predial 912, optou-se por dispositivos horizontais metálicos fixados no envoltório que sustentam os dispositivos verticais, feitos de madeira. A transmitância e capacidade térmica destes elementos, assim como suas cores, não são discutidas no estudo, pois a avaliação

WEBPRESCRITIVA não considera estes fatores para o cálculo das aberturas. Eles poderiam alterar o cálculo se mudassem o campo dos pré-requisitos, no entanto, para isso, deveriam ser incorporados a cobertura ou paredes da edificação. Como estão vinculados somente nas aberturas, dispostas externamente, acabam alterando a eficiência energética, como calculado, e a expressão plástica da edificação.

Os dispositivos de controle solar utilizados no edifício de número predial 912 alteram a expressão plástica do envoltório. Os *brises soleil* verticais enfatizam a volumetria, definem a forma geométrica da fachada oeste e criam uma profundidade em relação ao vidro. A figura 52 mostra a maquete eletrônica do edifício de número predial 912 com os dispositivos fixados na fachada oeste.

Figura 52 – Edifício de número predial 912 com *retrofitting*



Fonte: Autoria própria.

O uso dos dispositivos de controle solar no edifício de número predial 912 possibilita a qualificação do envoltório. A linguagem dos dispositivos de controle solar altera a identidade visual do edifício com ritmo e unidade, qualificando o envoltório. Dessa forma, os sistemas de controle solar definem a expressão arquitetônica e a eficiência energética do envoltório.

A eficiência energética do envoltório deve ser fator preponderante no seu desenho controlando, assim, os ganhos térmicos e obtendo soluções que maximizem o conforto térmico sem comprometer o consumo energético.

O Brasil apresenta referências arquitetônicas consistentes de controle solar associado ao envoltório e às exigências climáticas. No estudo de caso, os dispositivos de controle solar estão presentes nas edificações de números prediais 876, 888, 896, 928 e 956. Como resultado, contribuem para a redução do Fator Solar (FS) e Percentual de Abertura da Fachada total (PAF<sub>T</sub>).

A opção por sistemas de controle solar fixados em frente ao vidro, segue referências arquitetônicas brasileiras como o Palácio da Justiça de Porto Alegre. Os dispositivos de controle solar verticais controlam o sol no lado oeste da edificação, cujos problemas de conforto térmico eram recorrentes.

Referente aos custos da implantação dos dispositivos de controle solar, não se estimou valores, pois não foi realizado o projeto arquitetônico – foi realizado um estudo - e o orçamento de materiais e mão de obra. Os materiais estimados no estudo de caso, são acessíveis e disponíveis no mercado construtivo brasileiro.

Por apresentarem disponibilidade no mercado construtivo, há possibilidade de serem trocados se houver algum dano ao longo do uso. Sua correta fixação e manutenção rotineira, podem garantir o *retrofitting* do envoltório da edificação de número predial 912, possibilitando assim, que alcance os índices energéticos fornecidos pelo método WEBPRESCRITIVO. Em relação aos custos de manutenção, compreende-se que depende da qualidade e durabilidade do material e serviços prestados na execução dos dispositivos de controle solar.

Em relação ao conforto térmico após o *retrofitting* do edifício de número predial 912, a quantificação energética do método WEBPRESCRITIVO não oferece um parâmetro de avaliação. A dissertação não avalia esta questão, pois o conforto térmico é um conceito subjetivo, variável conforme o bem estar do homem, o ambiente, vestimenta e atividade física. Seria necessário um estudo de caso mais aprofundado em tais questões para avaliar a situação.

A legislação deve incentivar a adoção de práticas de *retrofitting* em edificações construídas que apresentem um índice de consumo energético elevado. Assim, acelera a busca pela sustentabilidade do ambiente construído, reduzindo os índices de consumo energético da construção civil.

A passagem do tempo deixa para trás problemas a serem resolvidos. As edificações ineficientes energeticamente perduram nas cidades e contribuem para que os problemas energéticos e o impacto ambiental da construção civil perdurem na sociedade, causando transtornos ao planeta.

A prática do *retrofitting* é capaz de recondicionar os edifícios com grandes áreas de envoltório, servindo de solução para as grandes “torres de vidro” – em especial, na Zona Bioclimática 3. Desta maneira, reduz o consumo energético e realiza ações de acordo com o clima local.



## CONCLUSÃO

As edificações que apresentam grandes áreas de abertura com orientação solar oeste – sem dispositivos de controle solar – são equivocadas para o clima de Porto Alegre. Esse trabalho serviu para demonstrar que edifícios envidraçados têm a eficiência energética do envoltório comprometida, quando expostos à radiação solar onde o sombreamento das edificações vizinhas é parcial e o vidro utilizado tem o FS elevado, como é o caso do vidro verde.

Ações de *retrofitting* que promovam o desempenho energético do envoltório devem ser tomadas em edifícios onde o envoltório compromete a eficiência energética. Sendo assim, as grandes áreas de vidro sujeitam o edifício a uma vulnerabilidade, quando expostas ao Sol e sem dispositivos de controle solar. O conhecimento das soluções técnicas – aliado às novas tecnologias – realiza uma arquitetura responsável e condizente com os preceitos da sustentabilidade do ambiente construído. Dessa maneira, a ausência de dispositivos de controle solar é suprida pelo condicionamento térmico artificial, aumentando os custos de manutenção e de funcionamento dos edifícios. Os dispositivos de controle solar podem responder pela adaptação climática do envoltório das edificações e devem ser escolhidos e desenhados de acordo com o local e as características da edificação.

O sombreamento das aberturas evita o sobreaquecimento das edificações, controlando os ganhos térmicos do envoltório. É recomendável a instalação dos dispositivos de controle solar com o auxílio da carta solar: a ferramenta auxilia na compreensão da posição do Sol na calota celeste, assim como dos ângulos e alturas do Sol e azimute. Com estes dados, é possível mensurar e dimensionar os dispositivos de controle solar e o determinado sombreamento na fachada.

O *retrofitting* do envoltório do edifício de número predial 912 mostrou-se uma estratégia possível de redução do consumo energético de edifícios envidraçados. Somente a aplicação dos sistemas de controle verticais e horizontais proporcionou ao edifício em questão passar do selo de etiquetagem E do PROCEL para o selo de etiquetagem A, gerando economia de aproximadamente 40% de energia elétrica destinada ao condicionamento térmico.

É possível alterar o consumo energético de edifícios com grandes áreas de abertura, pois estão entre as principais causas do alto consumo de energia. O *retrofitting* dos edifícios é parte da solução de reversão do consumo energético.

Destaca-se na conclusão do trabalho a importância de estudar as orientações solares no momento da concepção do projeto de um edifício e projetos já executados e consolidados, o uso do *retrofitting* como ferramenta eficaz para atingir a eficiência energética.

Sabe-se que há preocupação por parte do governo com o consumo energético, embora não hajam leis ou orientações nos planos diretores sobre como tratar o envoltório do ponto de vista de conforto térmico e eficiência energética.

Os dados que envolvem o consumo energético do envoltório refletem a importância das estratégias construtivas relacionadas ao clima local. Na ausência de sistemas de refrigeração mecânicos, ocasiona-se um consumo acentuado de energia. Em combinação com ações de *retrofitting*, apresentam a possibilidade de alterar o consumo energético do edifício e ser parte da solução dos problemas energéticos atuais.

## **RECOMENDAÇÃO PARA FUTUROS TRABALHOS**

Este trabalho procurou contribuir para o debate do aperfeiçoamento energético das edificações, especialmente relacionados ao envoltório. Com alternativas pedagógicas e investimento na pesquisa, é possível que a pesquisa no Brasil influencie de maneira ativa o mercado da construção civil.

Espera-se que esta dissertação possa ser utilizada para futuras discussões, ou como base para novos trabalhos relacionados aos sistemas de controle solar e ações de *retrofitting*.

A metodologia implementada pode ser estendida a futuros trabalhos – assim, a dissertação e seus resultados serão divulgados em futuros congressos nacionais e internacionais.

O levantamento realizado pode ser estendido a outras quadras do bairro Menino Deus, retomando e aperfeiçoando a metodologia, com novas avaliações energéticas sobre outras edificações de outros usos, como, por exemplo, prédios residenciais.

As ações de *retrofitting* no envoltório podem ser ampliadas, associando outros sistemas de controle solar, ou ao menos proporcionando uma redução no percentual de abertura das edificações.

Além disso, recomenda-se um trabalho de investigação sobre os custos do *retrofitting*, a avaliação do conforto térmico interno com testes in loco, ou seja, medições ou questionário com os usuários.

## REFERÊNCIAS

ABREU FILHO, Sívio Belmonte de. **Porto Alegre como cidade ideal**: planos e projetos urbanos para Porto Alegre. 2006. 357 f. Tese (Doutorado em Arquitetura)– Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

\_\_\_\_\_. O PDDUA de Porto Alegre: O ambiental ao final é substantivo ou adjetivo? In: Panizzi, Wrana Maria. (Org.). **Outra vez Porto Alegre**: a cidade e seu planejamento. Porto Alegre: Cirkula, 2016 .p. 271.

ALMUSAED, Amjad. **Biophilic and bioclimatic architecture**: Analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture. Londres: Springer Science & Business Media, 2010.

APTE, Joshua; ARASTEH, Dariush. **Window-Related Energy Consumption in the US Residential and Commercial building stock**. LBNL-60146. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory: 2006.

ARGAN, Giulio Carlo. **Progetto e destino**. Milão: Il saggiatore. 1965. p.75-81.

\_\_\_\_\_. “Sobre o conceito de tipologia arquitetônica”. In: ARGAN, Giulio Carlo. **Projeto e destino**. São Paulo: Editora Ática, 2000. p.70.

ARIAS, Andrea Soledad Martinez. **Facade retrofit**: enhancing energy performance in existing buildings. 174 f. 2013. Thesis (Master of,Bulding Science)–School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles, 2013

ARZTEGUI, José Miguel. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Núcleo Orientado para Industrialização da Edificação, Departamento de Engenharia Civil Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. **NBR. 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ALVAREZ, Cícero. **Palácio da Justiça de Porto Alegre: construção e recuperação da arquitetura moderna em Porto Alegre 1952-2005**. (2008).

BAKER, Nick V; FANCHIOTTI, Aldo; STEEMERS, Koen. **Daylighting in architecture: a European reference book**. Londres: Routledge, 2013.

BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. **Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers**. Londres: Routledge, 2014. p. 5.

BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BENDEWALD, Michael et al. **How to Calculate and Present Deep Retrofit Value: A Guide for Owner-Occupants**. Boulder: Rocky Mountain Institute, 2014.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004.

BRUAND, Yves. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2010. p.53.

BUTERA, Federico. **Glass architecture: is it sustainable?** In: International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, 2005, Santorini.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)—Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CAMBRIDGE. **Cambridge idioms dictionary**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. xv, 505 p.

COMAS, Carlos Eduardo Dias. **Precisões brasileiras: sobre um estado passado da arquitetura e urbanismo modernos: a partir dos projetos e obras de Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, MMM Roberto, Affonso Reidy, Jorge Moreira & Cia, 1936-45**. 341 f., 259 f. 2002. Tese (Doutorado em Arquitetura)—Universidade de Paris 8, Paris, 2002. 2 v.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003. p.42.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos Alberto Cerqueira. **Dicionário da Arquitetura Brasileira**. São Paulo: Companhia das Artes, 1998.

CUNHA, Eduardo Grala da. Mitos e Verdades sobre o brise-soleil: da estética a eficiência energética. **Arquitetura Revista**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 73-80, jan./jun. 2011.

DANZ, Ernst. **La Arquitectura y el Sol**: Protección de los Edifícios. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1989.

DEMING, M. Elen; SWAFFIELD, Simon. **Landscape architecture research**: inquiry, strategy, design. Hoboken: Wiley, 2011.

EVANS, John Martin. **The comfort triangles**: a new tool for bioclimatic design. 2007. 315 f. Thesis (Doctor of Philosophy)–Universidade Técnica de Delft, Delft, 2007.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010. I, 2222 9. 1 CD-ROM.

FRAMPTON, Kenneth. Anti-tábula rasa: hacia un regionalismo crítico. **Revista de Occidente**, v. 42, p. 29-42, 1984.

FRANCO, Sérgio da Costa Franco. **Porto Alegre**: guia histórico. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS, 1992.

FREIXANET, Victor Armando Fuentes. **Arquitectura Bioclimática**. Cidade do México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2013.

FROTA, Anésia Barros. **Geometria da insolação**. 1. ed. São Paulo: Editora Geros, 2004.

FROTA, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico**. 8.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

GHISI, Eneid; TINKER, John A. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**. v. 40, n. 1, p. 51-61, jan. 2005.

GIEBELER, Georg; KRAUSE, Harald; FISCH, Rainer; MUSSO, Florian; LENZ, Bernhard; RUDOLPHI, Alexander. **Refurbishment manual**: maintenance, conversions, extensions. Berlim: Walter de Gruyter, Birkhäuser, 2009.

GIVONI, Baruch. **Man, Climate and Architecture**. 2. ed. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

HERTZ, John B. **Ecotécnicas em arquitetura**: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

KEPLER, Souza Oliveira. **Astronomia e astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 780.

KNNACK, Ulrich et al. **Façades**: principles of construction. Basel: Birkhäuser, 2014.

LABAKI, Lucila C; KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil. **Building and Environment**, v. 33, n. 1, p. 63-77, jan. 1998.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência Energética**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

LECHNER, Norbert. **Heating, cooling, lighting**: Sustainable design methods for architects. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

LOFTNESS, Vivian; HAASE, Dagmar. (orgs.). **Sustainable Built Environments**. Springer, 2013.

LOVEL, Jenny. **Building envelopes**: an integrated approach. Princeton: Princeton Architectural Press, 2013.

MA, Zhenjun et al. Existing building retrofits: Methodology and state of the art. **Energy and Buildings** n. 55. p. 889-902, 2012.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande-MS. 2000**. 203 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)– Programa de Pós Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

MASCARÓ, Lucia Raffo de. **Luz, clima e Arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983.

MAZRIA, Edward. **The Passive Solar Energy Book**: A Complete Guide to Solar Home, Greenhouse, and Building Design. Emmaus: Rodale Press, 1979.

\_\_\_\_\_. It's the Architecture, Stupid! **World and I**, v. 18, n. 10, mai./jun. 2003. p. 48-51.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **The Hannover Principles**. William McDonough Architects, 1992.

MEIRELLES, Hely Lopes. **Direito Municipal**. 14. ed. São Paulo: Malheiros, 2006. 538 p.

MENEGAT, Rualdo; PORTO, Maria Luiza; CARRARO, Clovis Carlo; FERNANDES, Luís Alberto Dávila. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2006.

NESBITT, Kate. **Uma nova agenda para a arquitetura**. São Paulo: Editora Cosac Naify, 2006.

NEUHOFF K., et al. **Meeting Energy Concept Targets for Residential Retrofits in Germany Economic Viability, Financial Support, and Energy Savings**. Berlin: Climate Policy Initiative, 2011.

NOGUEIRA, José Paulo Machado. **Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no contexto nacional**-ciclo de vida, independência energética da rede e emissões de dióxido de carbono. 235 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014.

OECD/IEA. Joint Workshop on Sustainable Buildings: Towards Sustainable Use of Building Stock. (2004).

OLGYAY, Victor. **Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

OLGYAY, Aladar; OLGAY, Victor. **Solar control & shading devices**. Princeton: Princeton University Press, 1976.

PEIXOTO, Silveira Marta. Sistema de Proteção de Fachada na Escola Carioca de 1935 a 1955. **Arqtexto**, n. 2, p. 122-137, 2002.

PINTO JUNIOR, Helder et al. **Economia da energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 343 p.

PROCEL. Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. Rio de Janeiro: Procel/Eletronbras, 2009.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS-REES, Stephanie. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

ROSSI, Aldo. **Arquitetura da cidade**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1995.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto norma de desempenho vida útil**. FHS Consultoria e Engenharia, 2007.

SALENGUE, Laís Guimarães de Pinho; MARQUES, Moacyr Moojen. Reavaliação de Planos Diretores: O Caso de Porto Alegre. In: PANIZZI, Wlana; ROVATTI, João F. (orgs.). **Estudos Urbanos: Porto Alegre e seu Planejamento**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. p. 159.

SANGUINETTI, Paola. **Integrated Performance Framework to Guide Facade Retrofit**. 135 f. 2012. Dissertation (Doctor of Philosophy)–College of Architecture, Georgia Institute of Technology, 2012.

SANTANA, M.V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC**. 196 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANVITTO, Maria Luiza Adams. Porto Alegre e os ideais da cidade moderna. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E URBANISMO, 12., 2012, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

SBCI, UNEP. **Common carbon metric: protocol for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations**. United Nations Environment Programme Sustainable Buildings & Climate Initiative. 2010.

SCHÄFFER, Barbara. **Porto Alegre, arquitetura e estilo - 1880 a 1930**. 177 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)–Programa de Pesquisa e Pós-



Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, Heitor da Costa; KINSEL, Luciane Stürmer. Região climática de Porto Alegre—revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada. **Arqtexto**, n. 9, p. 124-133, 2006.

SILVA, Heitor da Costa; TAVARES, Sílvia Garcia. Meio ambiente: Encontro entre arquitetura e sustentabilidade. In: BENINI, Sandra Medina; ROSIN, Jeane Aparecida Rombi de Godoy. (orgs.) **Estudos urbanos**: uma abordagem interdisciplinar da cidade contemporânea. 2. ed. Tupã: ANAP, 2016.

SOLOMON, Susan. **Climate change 2007-the physical science basis**: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. V. 4. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SZOKOLAY, Steven V. **Solar Geometry**. Brisbane: PLEA, 1996

\_\_\_\_\_. **Introduction to architectural science**: the basis of sustainable design. Routledge, 2014.

THOMAS, Randall. **Joint Workshop on Sustainable Buildings**: Towards Sustainable Use Of Building Stock. Paris: OECD, 2004.

US DEPARTMENT OF ENERGY. Buildings Energy Data Book. 2013.

VON BERTALANFFY, Ludwig. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes, 1975.

WIGGING, Michael; HARRIS, Jude. **Intelligent Skins**. Oxford: Architectural Press, 2002.

YANNAS, Simons, CORBELLA. Oscar. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

ZEMELLA, Giovanni; FARAGUNA, Andrea. **Evolutionary Optimisation of Façade Design**. Londres: Springer London, 2014.

## REFERÊNCIAS INTERNET

ARCHITECTURE 2030. Architecture 2030: Why? Disponível em: <[http://architecture2030.org/the\\_problem/buildings\\_problem\\_why](http://architecture2030.org/the_problem/buildings_problem_why)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ASHRAE. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/resources-Publications/bookstore/standard-55-and-users-manual>>. Acesso em: 8 out. 2016.

CLIMATE POLICY INITIATIVE. Disponível em: <<http://climatepolicyinitiative.org/>>. Acesso em 20 nov. 2016.

DELOITTE DEVELOPMENT LLC. The Dollars and Sense of Green Retrofits. 2008. Disponível em: <<http://www.greenbiz.com>>. Acesso em: 24 out. 2016.

ELETROBRÁS; PBE EDIFICA; INMETRO. Manual para a aplicação do RTQ-C: Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Volume 4.1, Versão 3, 2015. Disponível em: <[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/download/ads/manual-rtqc\\_V4.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/download/ads/manual-rtqc_V4.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2017.

ESTATUTO DA CIDADE. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 16 jun. 2016.

GLOBAL ENERGY NETWORK INSTITUTE. 2012. Disponível em: <<http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/generation/climate-change/negawattconsult.com/vying-for-worlds-greenest-city-seoul-korea/index.shtml>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

INMETRO. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel\\_2/lamberts\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel_2/lamberts_2012.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2017.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. LABEEE. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>> Acesso em: 06/08/2016.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Método Expedito. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, 2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2018\\_VF+guilherme.pdf/7b6a3b80-0003-4c9f-a6a7-f55dfc55d39e](http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2018_VF+guilherme.pdf/7b6a3b80-0003-4c9f-a6a7-f55dfc55d39e)>. Acesso em 15 fev. 2018.

\_\_\_\_\_. Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações. 2010. PROCEL. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso: 15 out. 2016.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução Normativa no 02, de 04 de junho de 2014. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=102&totalArquivos=164>>. Acesso em: 10 nov 2016.

PETINELLI. Disponível em: <<http://www.petinelli.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. 2016. Disponível em <[www.portoalegre.rs.gov.br](http://www.portoalegre.rs.gov.br)>. Acesso em: 10/12/2016.

\_\_\_\_\_. 2016. Disponível em: <[www.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p\\_secao=260](http://www.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p_secao=260)>. Acesso em: 15 dez. 2016.

PROCEL. Manual para aplicação do RTQ-C. Disponível em: <[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02\\_1.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2016.

PROGRAMA PROCEL EDIFICA. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO DE PORTO ALEGRE. Plano Diretor de Porto Alegre. 1964. p. 40. Disponível em: <[www.http://www2.portoalegre.rs.gov.br](http://www2.portoalegre.rs.gov.br)>. Acesso em: 5 fev. 2016.

SMARTENERGY PARANÁ. Disponível em: <<https://smartenergy.org.br/portal/eficiencia-energetica-e-trunfo-de-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS AND ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. Deep Energy Retrofits: An emerging opportunity. 2013. Disponível em: <<http://www.rmi.org>>. Acesso em: 05 set. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Sustainable Buildings and Climate Initiative. 2016. Disponível em: <<http://www.unep.org/sbc/i/AboutSBCI/Background.asp>>. Acesso em: 06 ago. 2016.

VITRUVIUS. Disponível em: <[www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/08.089/3037](http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/08.089/3037)>. Acesso em: 20 nov. 2016.

WEB PRESCRITIVO. Ferramenta de avaliação de eficiência energética de edificações comerciais pelo método prescritivo do RTQ-C. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 10 fev. 2017.