

INSTITUTO CEUB DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
PROGRAMA DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - CIDADE E HABITAÇÃO
LINHA DE PESQUISA: CIDADE, INFRAESTRUTURA URBANA,
TECNOLOGIA E PROJETO

ANDRÉ LUIZ PRIMO BERTOLETTI

USO DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM FACHADAS PREDIAIS COM
VIDRO REFLETIVO: UM ESTUDO DE ALTERNATIVA DE *RETROFIT*

Brasília

2020

ANDRÉ LUIZ PRIMO BERTOLETTI

USO DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM FACHADAS PREDIAIS COM
VIDRO REFLETIVO: UM ESTUDO DE ALTERNATIVA DE *RETROFIT*

Dissertação apresentada ao Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento - ICPD do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Cidade e Habitação, linha de pesquisa em Cidade, Infraestrutura Urbana, Tecnologia e Projeto, para a obtenção do título de Mestre.

Brasília

2020

ANDRÉ LUIZ PRIMO BERTOLETTI

USO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS EM FACHADAS PREDIAIS COM
VIDRO REFLETIVO: UM ESTUDO DE ALTERNATIVA DE *RETROFIT*

Dissertação apresentada ao Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento - ICPD do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Cidade e Habitação, linha de pesquisa em Cidade, Infraestrutura Urbana, Tecnologia e Projeto, para a obtenção do título de Mestre.

Brasília, 28 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Dra. Eliete de Pinho Araujo, (UniCEUB)
(Orientadora)

Dr. Leonardo Pinto de Oliveira, (UniCEUB)
(Coorientador, Examinador Interno)

Dr. Honório Assis Filho Crispim, (UniCEUB)
(Examinador Externo)

FICHA CATALOGRÁFICA

BERTOLETTI, André Luiz Primo.

USO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS EM FACHADAS PREDIAIS COM VIDRO REFLETIVO: UM ESTUDO DE ALTERNATIVA DE *RETROFIT* / André Luiz Primo Bertoletti. – Brasília: o autor, 2020.

XXX f.

Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário de Brasília (ICPD/UniCEUB), Brasília, 2020.

Dissertação apresentada ao Centro Universitário de Brasília (ICPD/UniCEUB) como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Orientadora: Prof^a. Dra. Eliete de Pinho Araujo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Francisco e Eloisa,
Pela realização dos meus sonhos.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pela saúde, força, determinação, capacidade, conhecimento e oportunidades que tive até hoje.

A minha namorada, Laura Guerreiro, que esteve comigo durante todo o período de construção do trabalho, e me apoiou durante todas as dificuldades e alegrias desta conquista.

Agradeço ao apoio de meus pais, que me incentivaram constantemente desde sempre e continuam a me incentivar em todos os projetos.

Agradeço aos amigos que fizeram parte desta caminhada, tanto em horas de dificuldade, como em horas de alegrias.

Agradeço aos meus orientadores e professores pelos conselhos e conversas que tornaram a conclusão deste trabalho possível.

Agradeço aos professores do corpo docente do mestrado. Cada um foi fundamental para meus avanços pessoais e profissionais.

Agradeço a todos que me ajudaram e foram significantes de alguma forma para que eu pudesse concluir essa pesquisa.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) que financiou este trabalho.

RESUMO

O uso de peles de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais vem se firmando como uma tendência duradoura ao longo dos últimos anos. Tal recorrência se deve principalmente ao fator estético, porém esse revestimento foi projetado para fachadas em países do hemisfério norte, e se mostra uma solução eficaz no controle de temperatura em climas temperados, entretanto, seu uso em países de clima tropical pode acarretar algumas consequências indesejadas, como o aumento da temperatura interna do ar causada pela entrada de boa parte da radiação solar e pelo tipo de vidro. Por conta das altas temperaturas, os custos com o uso do ar condicionado tornam-se elevados, fator que pode ser prejudicial para o edifício. Perante o exposto, uma das pretensões é tornar o edifício mais sustentável e mais eficiente energeticamente por um estudo de *retrofit*. Diante dessa premissa, a pesquisa buscou alternativas para diminuir o impacto que as fachadas de vidro refletivo causam na cidade e no próprio edifício. Uma das opções, é o *brise-soleil*. O *brise-soleil* é um elemento arquitetônico utilizado em edifícios, para impedir a incidência direta de radiação solar no seu interior, evitando assim, a manifestação de altas temperaturas. Aliado a esse artifício, o uso de painéis fotovoltaicos nas fachadas dos edifícios de altura, na forma de *brises-soleils*, pode melhorar a rentabilidade energética do edifício, tanto por meio da diminuição de temperatura quanto pelo fornecimento de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos. Definiu-se então, o uso de placas fotovoltaicas na forma de *brises-soleils* para essa pesquisa. Neste trabalho será abordada apenas a questão da rentabilidade energética para o edifício e o enfoque será sobre a avaliação do desempenho termoenergético e do potencial de geração energética da instalação de *brises* com painéis fotovoltaicos. Para tal, realizaram-se simulações computacionais dinâmicas, tanto para a avaliação do desempenho termoenergético como para a geração de energia fotovoltaica, por meio do uso do software *EnergyPlus*. O estudo de caso escolhido foi o Edifício Banco do Brasil Sede VII, na zona central de Brasília, pois possui fachadas compostas por vidro refletivo, voltadas para o Norte e Oeste (sol poente), representando a configuração das demais edificações na região. A pesquisa tem como propósito a comprovação do quanto rentável é para o edifício essa adição e quanto de energia essas duas fachadas com painéis fotovoltaicos

em forma de *brises-soleils* poderão suprir do consumo já existente do edifício. Para isso, foram obtidas informações técnicas sobre o modelo de painel fotovoltaico escolhido, dados por estudos da carta solar que ajudaram a definir o melhor posicionamento e formato dos *brises* e informações sobre o projeto já existente, como as plantas técnicas da edificação e materiais utilizados nas fachadas. Com esses dados, foi possível a simulação computadorizada, onde se traçou uma projeção do potencial energético gerado mensalmente pelos painéis fotovoltaicos em conjunto com a proteção dos *brises* sugeridos. Através da simulação computadorizada, comprovou-se que as adições dos painéis fotovoltaicos utilizados como *brises-soleils* nas fachadas Norte e Oeste respectivamente proporcionaram um rendimento energético anual aproximadamente 50% melhor, em comparação com a configuração atual da edificação.

Palavras-chave: Vidro Refletivo; Edificação; Fachada; *Brise-soleil*; Painel Fotovoltaico

ABSTRACT

The use of reflective glass in commercial building facades has been established as a lasting trend in recent years. This recurrence is mainly due to aesthetics, but this model was designed for facades in countries of the northern hemisphere and proved to be an effective solution for temperature control in temperate places; however, if used in countries with a tropical climate, it can have some unintended consequences, such as the increase in indoor air temperature, caused by the entry of a good amount of solar radiation and the type of glass. Due to high temperatures, the costs of using air conditioning become high, a factor that can be detrimental to the building. Given the above, one of the intentions is to make the building more sustainable and more energy efficient through a modernization study. The research sought alternatives to reduce the impact that reflective glass facades cause in the city and in the building itself. One of the options is the brise-soleil. Brise-soleil is an architectural element used in buildings, to avoid the direct incidence of solar radiation in the interior, preventing the manifestation of high temperatures. Allied to this artifice, the use of photovoltaic panels on the façades of skyscrapers, in the form of brises-soleils, can improve the energy efficiency of the building, reducing the temperature and supplying energy produced by the photovoltaic panels. Then, the use of photovoltaic panels in the form of brises-soleils was defined for this research. In this work, only the issue of the building's energy efficiency will be addressed and the focus will be on assessing the thermoenergetic performance and energy generation potential of the windscreen installation with photovoltaic panels. For this, dynamic computer simulations were carried out, both for the evaluation of thermoenergetic performance and for the generation of photovoltaic energy, using the EnergyPlus software. The chosen case study was the Banco do Brasil Headquarters, in the central area of Brasilia, for having facades composed of reflective glass, facing north and west, representing the configuration of the other buildings in the region. The objective of the research is to prove how profitable this addition are for the building and how much energy these two facades with photovoltaic panels in the form of brise-soleils will be able to supply of the existing consumption in the building. For this, technical information about the chosen photovoltaic panel model was obtained, studies of the solar chart that helped to define the best position and shape of the

windshield and information about the existing project, as the technical plans of construction and materials used on the facades. With these data, computer simulation was possible, where a projection of the energy potential generated by the photovoltaic panels was made, together with the protection of the suggested windshields. Through computer simulation, it was proven that the addition of photovoltaic panels used as windshield soles in the North and West facades, respectively, provided a 50% better annual energy efficiency compared to the current building configuration.

Keywords: Reflective Glass; Building; Facade; Brise-Soleil; Photovoltaic Panel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Edificações na zona central de Brasília com fachadas revestidas Em vidro refletivo.....	03
Figura 2: Detalhe de edificações localizadas no Setor Bancário Norte do Distrito Federal com destaque na edificação escolhida.....	04
Figura 3: Edifício Sede VII do Banco do Brasil.....	05
Figura 4: Carta solar posicionada sobre a edificação escolhida.....	06
Figura 5: Exemplo de carta solar.....	15
Figura 6: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino.....	20
Figura 7: Rendimento de um módulo de silício multicristalino típico em função da cor de suas células.....	23
Figura 8: Museu Público de Milwaukee.....	44
Figura 9: Sede da Caltrans District 9.....	45
Figura 10: Sede da Fundación Metrópoli, Alcobendas (Madri)	47
Figura 11: Trajetória do sol com Solstícios e Equinócios.....	53
Figura 12: Ângulo de inclinação da edificação Banco do Brasil Sede VII Em relação ao Norte verdadeiro.....	54
Figura 13: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Norte...55	
Figura 14: Esquema para cálculo do comprimento X.....	56
Figura 15: Novo valor de comprimento do painel.....	56
Figura 16: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Oeste..57	
Figura 17: Dimensionamento das chapas de vidro distância entre elas.....	58
Figura 18: Vista da estrutura para a instalação do <i>brise</i> fotovoltaico.....	59

Figura 19: Vista frontal da estrutura para a instalação do <i>brise</i> fotovoltaico.....	59
Figura 20: Vista lateral da estrutura para a instalação do <i>brise</i> fotovoltaico.....	60
Figura 21: Unidade fotovoltaica.....	61
Figura 22: Pele de vidro Oeste com <i>brises</i> fotovoltaicos.....	62
Figura 23: Fachada Oeste às 9:00 horas.....	63
Figura 24: Fachada Oeste às 12:00 horas.....	64
Figura 25: Fachada Oeste às 15:00 horas.....	65
Figura 26: Fachada Norte às 9:00 horas.....	66
Figura 27: Fachada Norte às 12:00 horas.....	67
Figura 28: Fachada Norte às 15:00 horas.....	68
Figura 29: Modelo base de um pavimento tipo modelado no <i>DesignBuilder</i>	71
Figura 30: Disposição do layout e seus usos.....	72
Figura 31: Esquema do processo de programação para a simulação da geração de energia no <i>HoneyBee</i>	76
Figura 32: Gráfico do Consumo Elétrico por metro quadrado e redução de consumo por cenário avaliado.....	78
Figura 33: Gráfico de geração elétrica anual por cenário estudado.....	79
Figura 34: Gráfico de geração elétrica média diária por mês para os cenários...80	
Figura 35: Gráfico de geração elétrica anual por metro quadrado por cenário estudado.....	81
Figura 36 Gráfico de geração elétrica média diária por mês por metro quadrado para os cenários estudados.....	81

Figura 37: Gráfico do consumo elétrico e redução do consumo elétrico por cenários.....	82
Figura 38: Gráfico da redução do consumo elétrico por estratégia para cada cenário.....	83
Figura 39: Representação 2D da fachada Oeste.....	93
Figura 40: Representação 2D da fachada Norte.....	94
Figura 41: Planta pavimento tipo 10º andar.....	95
Figura 42: Representação de corte.....	96
Figura 43: Representação de corte.....	97
Figura 44: Projeto do ar condicionado, pavimento tipo.....	98
Figura 45: Planta de estrutura pavimento tipo.....	99
Figura 46: Detalhe esquadria.....	100
Figura 47: Modelo da fachada Oeste com os <i>brises</i> fotovoltaicos no Programa <i>DesignBuilder</i>	101
Figura 48: Simulação da edificação após a proposta de <i>retrofit</i>	102
Figura 49: Fachada Oeste.....	103
Figura 50: Fachada Norte.....	104

TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Comparação dos modelos de painéis fotovoltaicos.....	61
Tabela 2: Ocupação e potenciais de equipamentos e iluminação por tipo de ambiente.....	73
Tabela 3: Caracterização termofísica dos sistemas opacos da envoltória.....	74
Tabela 4: Caracterização física do vidro.....	74
Tabela 5: Consumo da Edificação.....	105
Tabela 6: Geração de energia dos painéis fotovoltaicos mensal e média diária.....	106
Tabela 7: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de janeiro.....	107
Tabela 8: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de fevereiro.....	108
Tabela 9: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de março.....	109
Tabela 10: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de abril.....	110
Tabela 11: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de maio.	112
Tabela 12: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de junho.	113
Tabela 13: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de julho.	114

Tabela 14: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de agosto.115

Tabela 15: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de setembro.....116

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

α – Alfa

BTU – *British thermal unit* (Unidade Térmica Britânica)

°C – Grau Celsius

CM – Centímetro

DWG – Extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do *software* AutoCAD

EVA – Espuma Vinílica Acetinada

°F – Grau Fahrenheit

H – Hora

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

KW - Quilowatt

M – Metro

M² – Metro Quadrado

TAN – Tangente

TR – Tonelada de Refrigeração

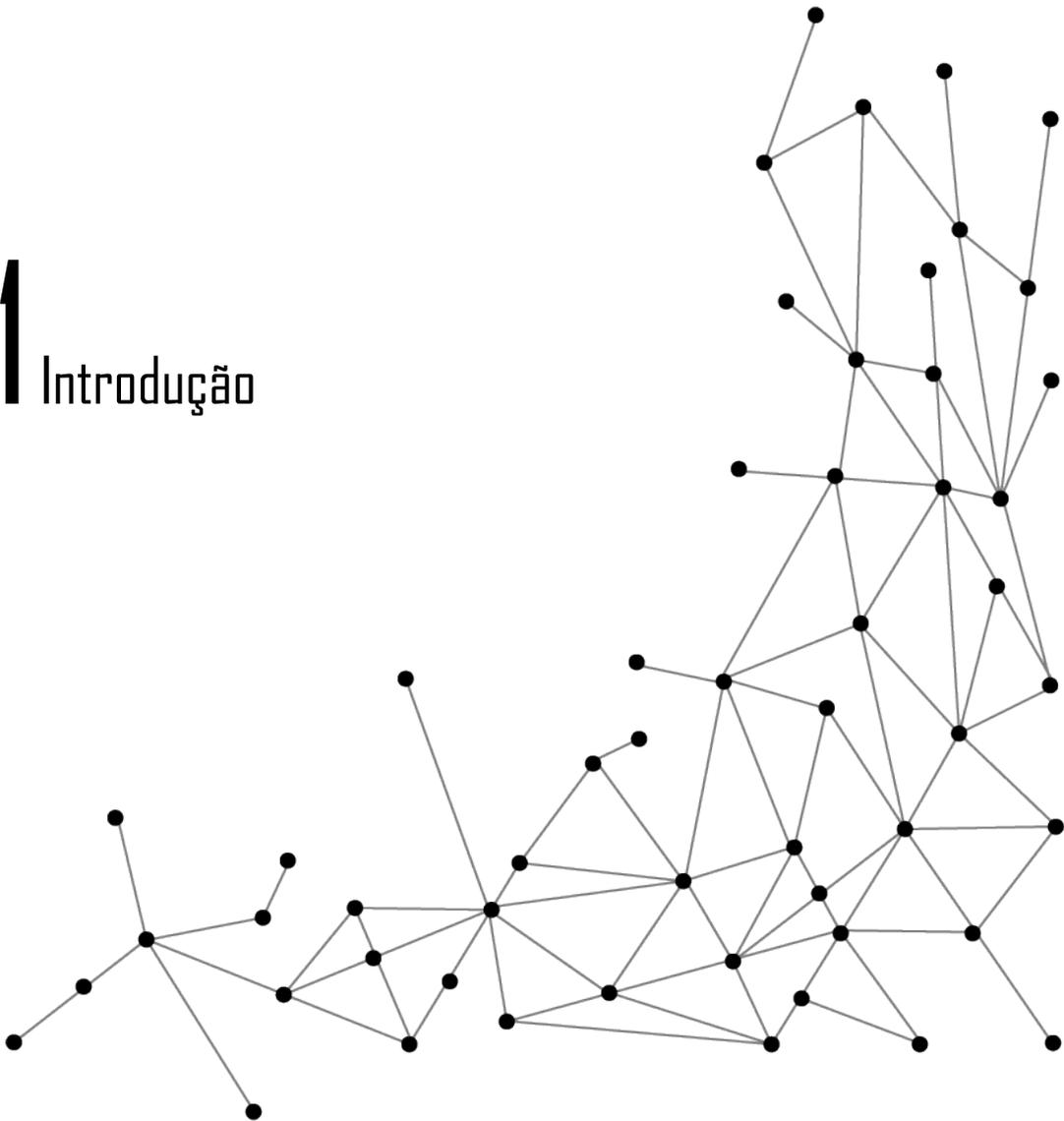
γ – Gama

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	X
Tabelas e Quadros.....	XIII
Abreviaturas e Siglas.....	XV
1. Introdução.....	02
1.1 Objeto de estudo: estudo de caso.....	03
1.2. Problema.....	07
1.3. Justificativa.....	07
1.4. Objetivos.....	08
1.5. Geral.....	08
1.6. Específicos.....	08
1.7. Hipótese.....	09
2. Fundamentação Teórica.....	10
2.1. Espaço de Trabalho e Corpo Humano.....	11
2.2. O Clima de Brasília.....	11
2.3. Radiação e Energia solar.....	12
2.4. Histórico.....	13
2.5. Sistema Fotovoltaico <i>Off Grid</i>	13
2.5.1. Vantagens e Desvantagens.....	13
2.6. Gráficos Solares.....	14
2.7. Projeto Sustentável.....	15
2.8. Edifícios e Consumo Energético.....	17
2.9. Normas e Leis.....	19
2.10. Funcionamento e Aplicação do Painel Fotovoltaico.....	20
2.11. Estrutura e Mecânica de um Módulo Fotovoltaico.....	21
2.12. Brises.....	24
2.13. Ar Condicionado e Temperatura.....	26
2.13.1. Desenvolvimento da Refrigeração.....	26
2.13.2. Histórico da Refrigeração Artificial.....	27
2.13.3. Calor.....	30
2.13.4. Calor em Edificações.....	31
2.13.5. Ar Condicionado e Meio ambiente.....	32

2.13.6.	Consumo de Eletricidade do Equipamento.....	32
2.13.7.	Tipos de Equipamento.....	34
2.14.	Vidro na Arquitetura e Peles de Vidro.....	41
2.14.1.	Vidro Refletivo.....	42
2.15.	Exemplos no Mundo.....	44
2.15.1.	Museu Público de Milwaukee.....	44
2.15.2.	Sede da Caltrans.....	45
2.15.3.	Fundación Metrópoli.....	47
3.	Metodologia.....	48
4.	Desenvolvimento.....	52
4.1.	Fachadas.....	53
4.2.	Carta solar para a defini�o do brise.....	54
4.3.	Estrutura do <i>brise</i> fotovoltaico.....	57
4.4.	Especifica�es do Painel Fotovoltaico.....	60
4.5.	<i>Brise</i> Fotovoltaico Completo.....	61
4.6.	Estudo de Sombreamento das Fachadas Oeste e Norte.....	63
4.7.	Diagnóstico do Sistema de Ar Condicionado.....	69
4.8.	Desempenho Termoenergético.....	70
4.9.	Potencial de Gera�o Elétrica.....	75
5.	Resultados.....	77
5.1.	Desempenho Termoenergético Sombreamento.....	78
5.2.	Potencial de Gera�o Fotovoltaica.....	79
5.3.	Potencial de Redu�o de Consumo Energético.....	82
6.	Conclusões.....	84
6.1.	Recomenda�es Para Trabalhos Futuros.....	86
	Referências.....	87
	Anexos e Apêndices.....	92

1 Introdução



1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, Brasília cresceu consideravelmente, principalmente em seus centros urbanos, compostos em sua grande maioria por edificações verticalizadas. Seus prédios mais recentes descartam alguns elementos do estilo modernista proposto por Lucio Costa no projeto inicial para a capital, abrindo mão dos *brise-soleils* nas fachadas e de outros elementos funcionais bloqueadores de radiação solar e controladores de temperatura. As novas construções comerciais adotaram uma estética internacional, com fachadas majoritariamente revestidas por peles de vidro e vidros refletivos. Apesar de tal solução trazer consigo um estilo atrativo do ponto de vista visual, pode causar efeitos indesejados se implantados em regiões tropicais.

Esse tipo de revestimento de vidro para fachadas de edifícios foi projetado para países do hemisfério norte, com climas temperados, e se mostra uma boa solução para o aproveitamento do calor do sol durante períodos mais frios ao longo do ano, pois permite que uma grande quantidade de radiação e luz do sol entre no edifício, regulando sua temperatura interna, bem como refletindo uma parte do calor de volta para o ambiente externo. Porém em regiões como Brasília, que possui clima tropical sazonal, caracterizado com inverno seco e temperaturas máximas próximas dos 40° C, tal solução arquitetônica não é recomendada porque provoca a elevação da temperatura interna e externa local, esta causada pela reflexão da radiação solar pelos vidros de volta a atmosfera, e a diminuição da umidade, consequência do uso do ar condicionado no interior da edificação. A Figura 1 exemplifica a configuração de fachadas de alguns prédios da zona central de Brasília.

Figura 1: Edificações na zona central de Brasília com fachadas revestidas em vidro refletivo.

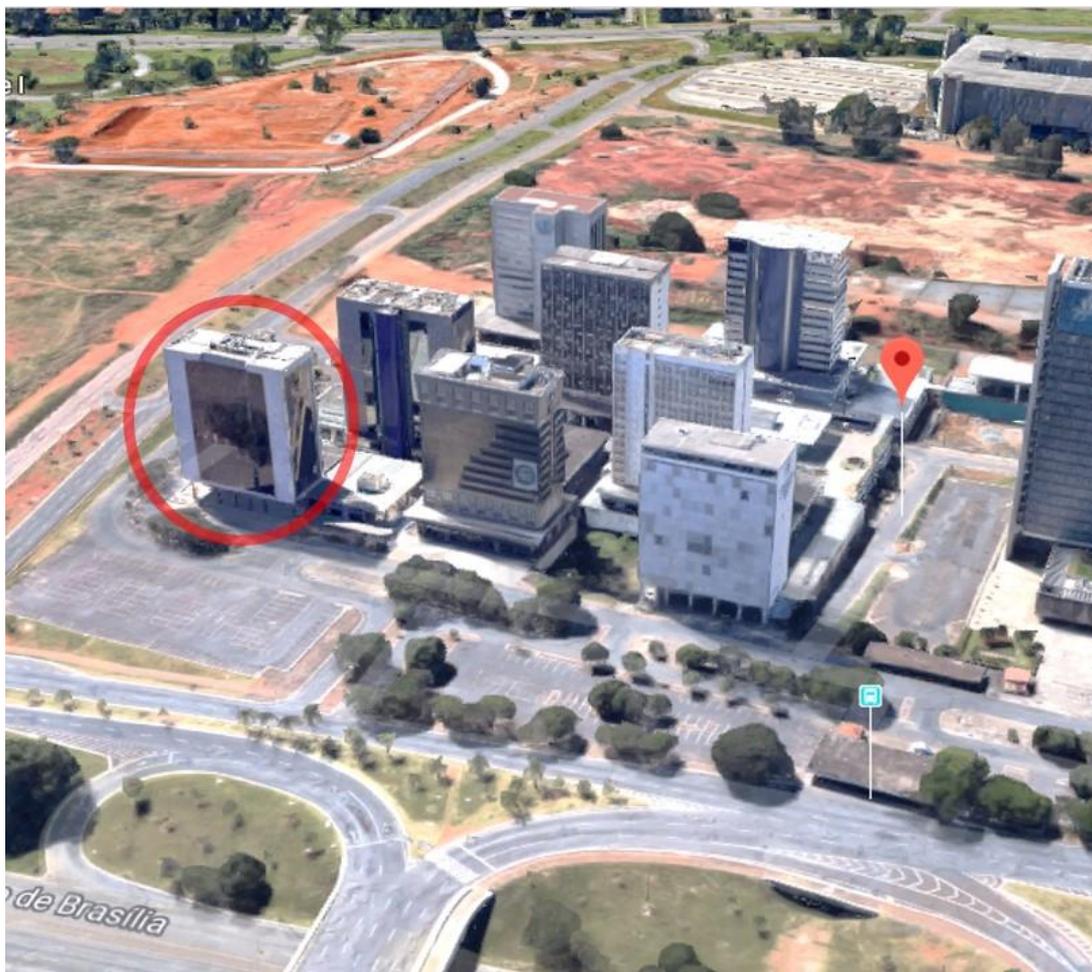


Fonte: Acervo pessoal - Agosto 2018

1.1. OBJETO DE ESTUDO: ESTUDO DE CASO

Para a escolha da edificação e a fachada a ser estudada (Edifício Banco do Brasil Sede VII) abordaram-se alguns critérios acerca do seu posicionamento na malha urbana, a edificação possuir fachadas revestidas com vidro refletivo, as atividades que ocorrem em seu entorno e se possui em sua proximidade estruturas de grande porte que poderiam vir a bloquear as fachadas a serem estudadas em questão. É importante ressaltar que a região escolhida em Brasília foi a do Setor Bancário Norte (Figura 2), pois até o momento não existe um estudo feito nessa área acerca deste tema.

Figura 2: Detalhe de edificações localizadas no Setor Bancário Norte do Distrito Federal com destaque na edificação escolhida.



Fonte: <https://is.gd/AsAZuw> (acesso em 19/06/2019)

A maioria dos edifícios analisados na região mostraram uma configuração semelhante e mesma modulação de vidro nas fachadas. Devido a isso, o que se mostrou mais adequado para o estudo proposto nesta dissertação, o recebimento da alternativa de *retrofit*, nas fachadas Norte e Oeste, é o Edifício Sede VII do Banco do Brasil (figura 3), pois o mesmo possui as fachadas Norte e Oeste retangulares revestidas com vidro refletivo, sem nenhum tipo de obstrução ao seu redor, como outras edificações e vegetação.

Figura 3: Edifício Sede VII do Banco do Brasil (Fachada Oeste)

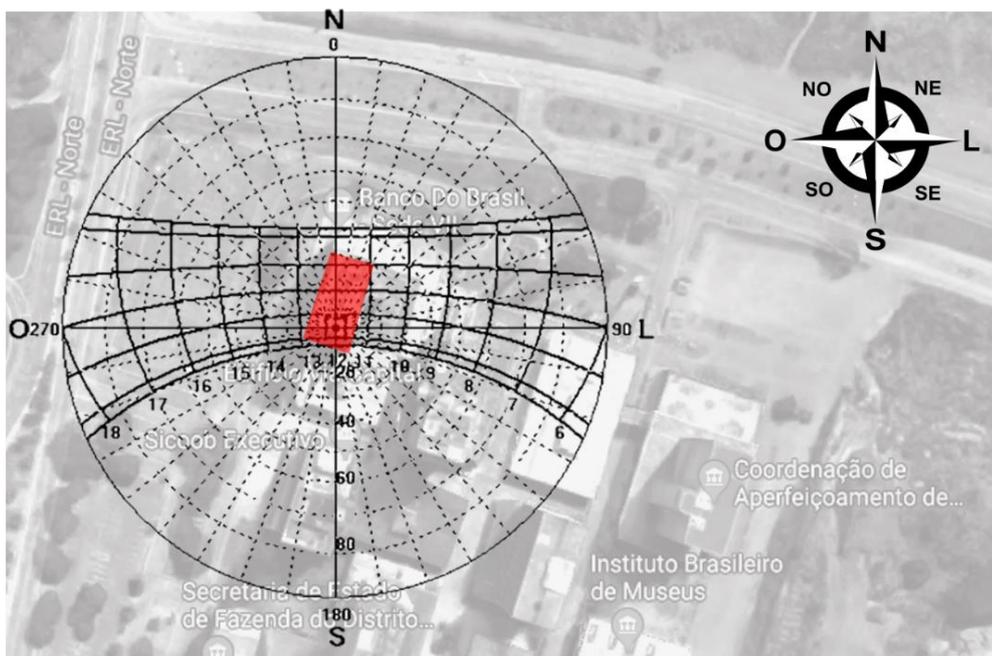


Fonte: Acervo pessoal.

Para os demais fatores de escolha fizeram-se análises de posicionamento em carta solar (Figura 4), sendo que se deu preferência às fachadas viradas para o Norte e Oeste geográfico, pois a fachada Norte é a mais indicada para a aplicação de painéis fotovoltaicos por ser a que mais recebe incidência solar direta ao longo do ano, e a fachada Oeste fica voltada para o sol da tarde, o mais prejudicial para a edificação nesse caso em específico. Nessa fachada Oeste, os painéis fotovoltaicos entrariam como uma solução de curativo para os efeitos do vidro refletivo.

Também levou-se em consideração o formato da fachada, para efeitos de resultado e praticidade, priorizou-se fachadas com formato retangular, visto que, a grande maioria dos painéis fotovoltaicos disponíveis atualmente possuem tal formato. Ao colocarmos a carta solar alinhada com o Norte verdadeiro sobre a edificação, é possível visualizar a direção das fachadas em relação aos pontos cardeais, Norte, Sul, Leste e Oeste, bem como analisar os períodos do dia e do ano em que as fachadas recebem maior incidência solar, criando espaço para estudos e análises individuais de cada fachada. Para um resultado preciso, é importante que a carta solar seja da mesma região em que se pretende realizar o estudo.

Figura 4: Carta solar posicionada sobre a edificação escolhida



Fonte: Acervo pessoal

1.2. PROBLEMA

Salas de escritórios em edifícios com fachadas de pele de vidro refletivo tendem a ter um uso constante do ar condicionado, diminuindo a umidade do local e facilitando a propagação de doenças respiratórias.

Brisas-soleils e outras soluções tradicionais de bloqueio solar para aberturas foram pensados como uma forma de regulação da temperatura interna da edificação. Projetos arquitetônicos com estudos preliminares e de condicionantes ambientais bem estudados, tendem a ter uma eficiência energética melhor. Os *Brisas-soleils* podem ser opacos ou translúcidos, e se dispõem em várias posições: horizontais, verticais, curvos ou inclinados. Podem também ser fixos ou móveis.

Com essas informações apresentadas, o trabalho se propõe a pesquisar um modo de reduzir o impacto causado pelo uso do ar condicionado, consequência da utilização de fachadas de edifícios com pele de vidro refletivo nos ambientes internos e como encontrar uma solução de eficiência energética local, pois, as soluções atuais não são consideradas adequadas para o clima de Brasília, causando um aumento da temperatura sensível do ar local, e como consequência, aumentando o gasto energético do interior das construções para gerar o conforto ambiental adequado por meio do ar condicionado.

1.3. JUSTIFICATIVA

Devido à configuração das fachadas do estudo de caso escolhido para essa pesquisa apresentar uma grande área composta de vidro refletivo, e levando em consideração as informações apresentadas sobre o uso do ar condicionado e sobre o clima de Brasília, é relevante pensar em uma solução que sirva como uma fonte geradora de eletricidade local capaz de suprir gastos energéticos da construção, que possibilite o seu uso diretamente pelo edifício e que ajude no controle térmico. O elemento escolhido foi o *Brise-soleil*. Se trata de um recurso arquitetônico utilizado nas fachadas e aberturas de construções para impedir a incidência solar direta em seu interior, evitando assim a manifestação de temperaturas elevadas do ar, limitando a necessidade de resfriamento do interior do edifício. Adepto a isso, o uso de painéis fotovoltaicos, dispositivos utilizados para converter a energia da luz do Sol em energia

elétrica, nas fachadas de edifícios em altura, na forma de *Brise-soleil* podem ajudar a suprir parte da rentabilidade energética da edificação. Com isso, se define a utilização de painéis fotovoltaicos utilizados como *Brise-soleil* sobre duas fachadas (Norte e Oeste) de vidro refletivo do objeto de estudo, o Edifício Banco do Brasil Sede VII.

1.4. OBJETIVOS

1.5. OBJETIVO GERAL

Analisar, através de simulação computadorizada o desempenho termoenergético e o potencial de geração energética através da instalação de *brises* com painéis fotovoltaicos nas fachadas Norte e Oeste do estudo de caso.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Verificar através de simulações computacionais dinâmicas o quanto os painéis fotovoltaicos instalados como *brises-soleis* nas fachadas Norte e Oeste do edifício comercial em questão, serão capazes de suprir da demanda energética já existente. A simulação será feita com o *software Energyplus 8.9*, contudo por meio do software de modelagem *Rhinoceros 3D* e o add-on *Honeybee*. Espera-se que a intervenção de *retrofit* gere uma economia de pelo menos 30% no consumo anual da edificação. Tais programas foram escolhidos devido a sua precisão e simulação realista, sendo uma alternativa mais confiável se comparados com programas de simulação gratuitos.
2. Realizar uma simulação computadorizada do gasto termoenergético da edificação em seu estado atual e com esse resultado gerar uma comparação após a aplicação dos *brises* sugeridos. Tal simulação será feita com o *software EnergyPlus* por meio da interface gráfica *DesignBuilder 6.1*. Os resultados são apresentados por meio de consumo energético em kWh.ano, assim como o dado normalizado, por metragem quadrada, em kWh.ano/m², para melhor apreciação do dado e possíveis comparações futuras com outros edifícios.

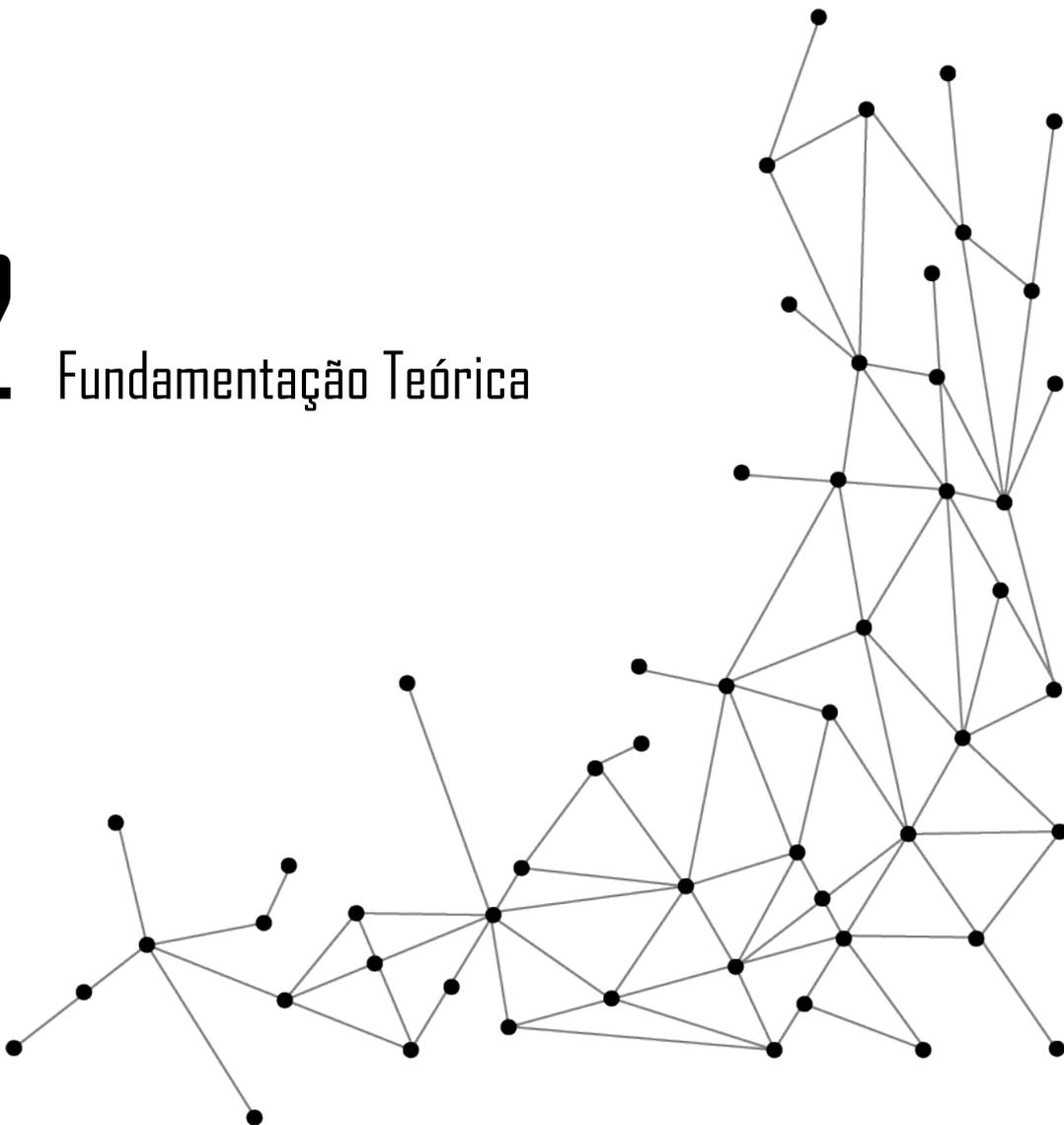
3. Definir a quantidade de painéis fotovoltaicos a ser utilizada levando em consideração a área da fachada em questão;
4. Determinar o melhor posicionamento e inclinação dos *brises-soleils* fotovoltaicos, levando em consideração que os mesmos terão que cumprir uma função desejável de proteção solar. Serão levados em consideração dados sobre os níveis de incidência solar mensal da região, pelos de dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, o posicionamento geográfico da edificação e o uso do programa SOL-AR;
5. Determinar quais os melhores meses para a obtenção de eletricidade nas fachadas Norte e Oeste em específico;
6. Verificar o quanto que o sombreamento dos *brises* é relevante para a economia de energia da edificação. Espera-se que somente o sombreamento seja responsável por uma economia de 10% no valor total do consumo energético anual;
7. Determinar a fachada mais indicada para a intervenção de *retrofit*, entre a Norte e a Oeste, no quesito de geração de energia elétrica.

1.7. HIPÓTESE

Verificar se a instalação de painéis solares fotovoltaicos dispostos como *brises-soleils* na fachada Norte e Oeste do Edifício Banco do Brasil Sede VII são capazes de suprir os gastos energéticos da edificação, bem como se os mesmos atendem a função de proteção de um *brises-soleil*.

2

Fundamentação Teórica



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ESPAÇO DE TRABALHO E CORPO HUMANO

Araujo (1999) comenta que o conforto térmico de um espaço é onde a maioria das pessoas se sente satisfeita, nem preferindo um ambiente muito frio ou muito quente. As condições de conforto térmico variam de acordo com as atividades desenvolvidas pelos indivíduos, suas vestimentas, sexo, idade, hábitos alimentares e principalmente de elementos climáticos como a temperatura, umidade, radiação e movimento do ar, que produzem efeitos térmicos sobre as pessoas. Para a compreensão dos efeitos climáticos nos organismos é necessário examinar o processo térmico no corpo humano, como a fisiologia e o meio ambiente. O corpo humano precisa de uma temperatura média interna de 37°C, valor que pode variar entre 36,1°C e 37,2°C, produzindo energia interna pelo processo de metabolização de alimentos, que é causada por reações químicas. Dessa energia, 20% é transformada em potencial de trabalho e 80% em calor, interferindo na produção de trabalho.

2.2. O CLIMA DE BRASÍLIA

O estudo do clima compreende a formação resultante de diversos fatores geomorfológicos e espaciais, como o sol, latitude, altitude, ventos, massas de terra e água, vegetação e solo. Esses fatores condicionam termicamente o ambiente em que o homem desenvolve suas atividades. Dentro das variáveis climáticas, as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos são a oscilação diária e anual da temperatura e umidade relativa do ar, a quantidade de radiação solar incidente, o grau de nebulosidade do céu, a predominância do tempo e direção dos ventos e os índices pluviométricos. Como o edifício se localiza em Brasília, estuda-se o clima da cidade, que se caracteriza como tropical de altitude, com dois períodos bem definidos, quente e seco, com temperatura média de 19°C e quente e úmido, com temperatura média de 22°C, com amplitudes de temperaturas diárias que chegam a casa dos 30°C de dia e 15°C a noite. Adequar a arquitetura a um clima determinado de uma região significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto. À

arquitetura cabe amenizar as sensações de desconforto impostas pelos variados climas.

2.3. RADIAÇÃO E ENERGIA SOLAR

Segundo Araujo (2004) a energia solar é necessária para a manutenção da vida na terra, explicando também os diferentes tipos de tecnologia utilizados para captar a energia solar distribuída (solar térmica, o efeito fotovoltaico e a solar passiva) e explicando que um edifício se bem projetado, seguindo uma boa orientação solar, consegue adquirir até 70% da energia que precisa. Essa forma de produzir energia não causa danos ao meio ambiente, porém, ainda é uma das mais caras do mundo. Uma aplicação importante seria sua instalação em lugares isolados, distantes das redes elétricas, o que a longo prazo pode significar uma solução para países em crescimento. A ideia que move as pesquisas e as aplicações da energia fotovoltaica pelo mundo não é para a substituição de toda fonte de energia tradicional do mundo pela energia solar, mas de utilizar a energia fotovoltaica com caráter mais autônomo.

A radiação solar é uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera, sendo elas a radiação solar direta e radiação solar difusa, proveniente da abóboda celeste, sem radiação solar direta.

A energia solar é uma fonte 100% natural, ecológica, gratuita, inesgotável e que não agride o meio ambiente, onde pode ser armazenada em acumuladores e ser usada à noite, e até mesmo produzir 4 vezes mais a energia gerada no mesmo período por uma usina hidrelétrica. Essa energia é obtida através de placas solares, onde existem dois tipos: o primeiro utiliza a luz do sol apenas para aquecimento de água, e o segundo converte energia solar diretamente em eletricidade. O projeto “Casa Solar Eficiente” é um projeto sustentável que utiliza painéis de energia fotovoltaica, além de possuir um painel de operação do sistema para demonstrar a iluminação do local para os visitantes.

2.4. HISTÓRICO

O Brasil dispõe de energia fotovoltaica desde 1978, e ainda que lentamente, o sistema já chegou a outras localidades do Nordeste, que é o local que mais se adapta, porém, o investimento inicial continua tendo grandes custos, limitando sua aplicação, embora a tecnologia já tenha sido utilizada no exército brasileiro em 1988, e também já levada para o alto mar.

2.5. SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID

O sistema fotovoltaico *off grid* é um sistema formado por células solares que transformam a luz do sol em energia elétrica. O sistema é composto pelo módulo, contendo várias células solares conectadas de forma a produzir tensão corrente para a geração de energia, o controlador de carga, que dirige a energia gerada pelo módulo a bateria, protegendo-se de uma sobrecarga, a bateria, que acumula à energia produzida para a posterior liberação e o inversor, que tem a função de transformar a energia corrente contínua em energia corrente alternada. Seu funcionamento se dá ao receber os raios do sol, onde os módulos começam a produzir corrente elétrica, em seguida a energia gerada é conduzida por fios ao controlador de carga, do controlador de carga a eletricidade é levada para as baterias, onde é acumulada para o uso diurno e noturno, por fim as baterias enviam a energia acumulada aos inversores, que direcionam a corrente aos aparelhos de tensão diferentes. Os painéis coletores de energia fotovoltaica, além de sua função, podem ser usados como recursos decorativos, cortinas de vidro, *brises* ou fechamento de telhado, sendo um bom exemplo de forma e função.

2.5.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As vantagens são diversas, o excedente de energia produzida pode ser vendido a rede pública, a energia é renovável, é silenciosa, é limpa, não emitindo CO₂, é gerada no local, evitando linhas de transmissão e pode ser transportada para outra casa em caso de mudança. As desvantagens são o alto custo de implantação e o pouco desenvolvimento da tecnologia no Brasil, porém o cenário atual está mudando, e cada vez mais se está investindo nesse recurso no país. O posicionamento das construções no local escolhido é de ínfima importância

para que seja aplicado o conceito da sustentabilidade, e é fator determinante para o uso consciente de métodos sustentáveis para a obtenção de energia, como por exemplo o uso da energia solar para aquecimento de água e obtenção de eletricidade. Aliada a utilização da carta solar, que é extremamente necessária para a determinação dos locais mais adequados para a instalação dos painéis solares, além de ajudar a determinar o posicionamento da construção e disposição dos ambientes internos de modo que o conforto dos frequentadores seja o melhor possível.

2.6. GRÁFICOS SOLARES

De acordo com Bittencourt (2004) os gráficos solares (Figura 5) ajudam na elaboração do desenho urbano de um determinado local, contribuindo para a definição de determinados fatores pertinentes aos projetos. Também podem ser usados para determinar a melhor orientação para as nossas construções, e também para determinar as máscaras de sombras, que são a representação nas cartas solares, dos obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por parte de um observador. As cartas solares são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, nos diferentes períodos do dia e do ano. Sendo gerada a partir da altura solar, que é definida pelo ângulo formado entre o sol e o plano horizontal, o azimute, que é o ângulo formado pela projeção horizontal do raio solar com uma direção estabelecida, a projeção do percurso do sol, ao longo do ano, e nas diversas horas de um dia, num plano horizontal e a latitude de um local determinado. Para utilizarmos a carta solar, basta alinhar o Norte da carta solar com o norte verdadeiro e posicioná-la sobre o projeto em questão, com isso, é possível estudar em quais períodos do dia e do ano cada fachada irá receber luz solar direta.

e do clima em geral e o uso mais racional de fontes renováveis e não renováveis de energia.

Para que tais soluções sejam implementadas é importante que se tenha conhecimento dos fatores ambientais em todas as escalas. Para que seja a análise dos fatores climáticos é necessário saber-se que os fatores locais dão origem aos microclimas e que os elementos representam os valores relativos a cada tipo de clima.

É importante ressaltar que o plantio de árvores é, também, uma solução para a diminuição da temperatura local, visto que suas folhagens absorvem grande parte da radiação solar, tanto direta quanto indiretamente, reduzindo assim, gastos energéticos, como na redução do uso de ar condicionado dentro das edificações.

Para o estudo dessas condicionantes é importante que se tenham dados fornecidos pelas estações das cidades, como o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, aeroportos e universidades, e para a análise de carga térmica é necessário calcular apenas a quantidade de radiação que a área está exposta. São necessários também dados em relação aos tipos de materiais existentes nas áreas, uma vez que a energia da carga térmica terá comportamentos diferentes em diferentes materiais. É de se levar em consideração que a poluição pode contribuir para a retenção de calor, ao minimizar as trocas radiativas entre os edifícios e a abóbada celeste, porém as trocas também podem ser maximizadas pela forma da estrutura urbana. Todo o calor absorvido pelas estruturas urbanas fica retido e é dificilmente reenviado à abóbada, razão pela qual provoca um aumento da temperatura urbana.

A radiação solar refletida pelos edifícios sofre ainda fenômenos de múltipla reflexão, sendo que apenas uma pequena parte é refletida para o céu. As edificações armazenam radiação de ondas curtas, aumentando a temperatura do local e a energia solar absorvidas graças às múltiplas reflexões. Tal fenômeno é conhecido como ilhas de calor. A radiação solar absorvida pelo espaço urbano se transforma em calor sensível, com um conseqüente aumento de temperatura dos próprios materiais, sendo que parte do calor é dissipado para

o ar circundante, aumentando a temperatura do ar. A elevada capacidade térmica dos materiais de construção promove o armazenamento de calor que, posteriormente, é emitido por radiação.

2.8. EDIFÍCIOS E CONSUMO ENERGÉTICO

Maragno (2000) explica que grandes foram as transformações que ocorreram no âmbito da construção no início do século XX; o uso de materiais locais e o respeito ao clima foram esquecidos e superadas pelas possibilidades de incorporação de novas tecnologias que despontaram.

De acordo com Neves e Caram (2003), o uso de modelos de edificações vindas de países estrangeiros, como as caixas de vidro, aplicadas sem consciência pelo seu valor estético, são impróprias ao clima brasileiro.

Carlo (2008), em sua tese, diz que a envoltória da edificação, associada com a carga térmica interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, levam a um consumo maior do condicionamento de ar para conforto dos usuários. Afirma, também, que o aumento no consumo de energia proveniente do resfriamento de ar é gerado majoritariamente por aberturas voltadas para oeste, de modo que aberturas voltadas para Leste e Norte teriam uma influência um pouco menor, mas de igual importância, e as voltadas para sul teriam a menor influência entre as demais.

Paredes, antes usadas para fins estruturais, deram lugar a aberturas avantajadas e a descoberta da estrutura metálica trouxe às fachadas dos edifícios a pele de vidro (MARAGNO, 2005).

O aproveitamento da luz natural através das aberturas requer atenção quanto aos ganhos térmicos com a radiação solar direta, de forma a admiti-la em quantidades adequadas e com uma boa distribuição. Desta forma, o uso dos protetores solares deve ser considerado de forma a garantir uma boa distribuição da luz natural no ambiente interno, além de diminuir a entrada da radiação solar direta (SILVA, 2011).

De acordo com Borba et al. (2015) foram adotadas algumas medidas de proteção solar nos edifícios da esplanada dos ministérios, na fachada oeste (sol

da tarde) foram instalados *brises* metálicos, fazem uso de persiana vertical e os vidros são pintados de branco acima dos *brises*, com a finalidade de evitar a incidência solar; também é dito que se deve evitar o contraste excessivo e o desconforto térmico causados pela exposição direta da luz do sol em áreas de trabalho.

A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma edificação é variável conforme a orientação solar e a época do ano. Volumes interiores idênticos podem ter comportamentos térmicos e visuais distintos, dependendo das formas adotadas no projeto arquitetônico. A distribuição das aberturas em diferentes fachadas pode proporcionar resultados favoráveis ao conforto térmico e visual, sem acrescentar consumo energético aos sistemas de climatização artificial. Formas mais alongadas ou mais compactas, mais verticalizadas ou horizontais, terão influência direta na exposição das fachadas à radiação solar. O conhecimento dessas variáveis pode ajudar na seleção de medidas para minimização do consumo energético mesmo em edificações já construídas, pela adoção de elementos de proteção ou isolamento adequados.

Borba et al. (2015) também diz que a orientação solar da edificação, define o comportamento térmico devido à influência de radiação solar e dos ventos predominantes, basicamente. Em edificações comerciais e de serviços com climatização artificial, em geral não se faz uso de ventilação natural. Os projetos de *retrofit* podem considerar, dada a orientação da edificação, quais as melhores alternativas de proteção contra a radiação solar nas épocas mais críticas do ano. Por exemplo, fachadas orientadas para o norte geográfico, na latitude de Brasília, recebem carga térmica significativa ao longo do ano, na direção vertical.

As fachadas leste e oeste ficam sujeitas à radiação solar no início e no final do dia, respectivamente, com incidência mais horizontal. Desta forma, proteções solares devem ser projetadas de acordo com essas características das fachadas. A aplicação de proteções solares em aberturas permite reduzir os ganhos de calor nas edificações, sendo de grande importância para o consumo de energia em prédios climatizados artificialmente. Por outro lado, sua adoção

está geralmente associada à redução da disponibilidade de luz natural nas aberturas em questão, sendo, portanto, recomendada atenção no uso desse recurso no projeto ou no *retrofit* de edificações. A proteção bloqueia a radiação direta, antes que esta atinja o fechamento transparente, evitando tanto a absorção de calor radiante pelo material (vidro, por exemplo) quanto a sua transmissão ao interior do edifício. Os tipos mais comuns de proteções externas são: toldo, *brise-soleil* (horizontal ou vertical), veneziana e *light shelf*. Para melhor aproveitamento do efeito de sombreamento e permitir o controle da entrada de luz natural, essas proteções externas também podem ser móveis, com acionamento manual ou automático.

Lamberts (2006) comenta que os edifícios no Brasil consomem, em geral, cerca de 48% de energia elétrica, pelo uso do ar condicionado, apenas para geração de conforto ambiental ao usuário.

2.9. NORMAS E LEIS

O Art. 92. Da lei Nº 6.138, de 26 de abril de 2018 do SINJ - DF determina que as obras iniciais de reforma ou requalificação das edificações públicas devem atender aos requisitos de sustentabilidade e eficiência energética, de acordo com a legislação específica. A lei também caracteriza o *brise* como um elemento de proteção de fachadas, utilizado para impedir a incidência direta da radiação solar no interior do edifício, sem impedir a ventilação.

2.10. FUNCIONAMENTO E APLICAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

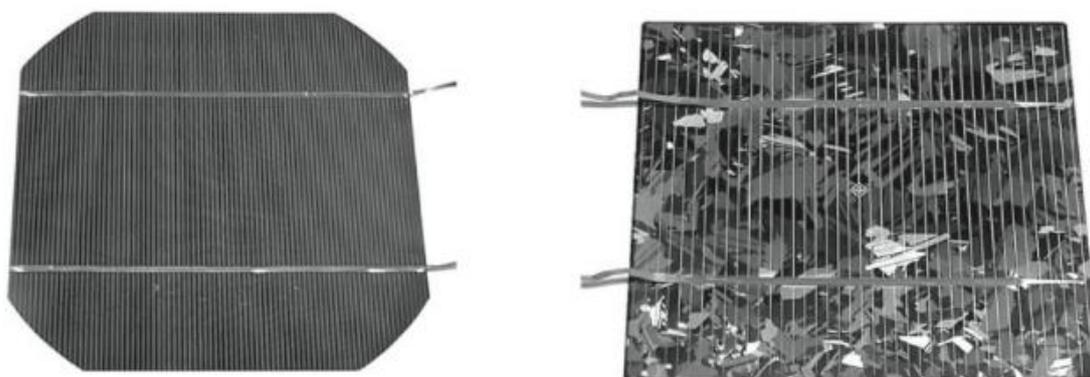
A unidade fotovoltaica básica é a “célula solar”, que forma os “módulos fotovoltaicos”, elementos de fácil manuseio que, conectados entre si, compõem o gerador elétrico de uma instalação fotovoltaica. Os módulos fotovoltaicos transformam diretamente a luz solar em energia elétrica e podem ser incluídos de muitas maneiras nos sistemas de vedação externa de uma edificação. Na maioria dos casos, estas “edificações fotovoltaicas” estão conectadas à rede elétrica, mas também existem edificações autônomas (CHIVELET; SOLLA, 2010).

As células solares fotovoltaicas transformam diretamente a energia solar em energia elétrica. Fabricados com materiais semicondutores, esses

dispositivos absorvem parte da radiação solar que incide sobre eles e a transformam, com maior ou menor eficácia, em eletricidade. Conectando uma célula solar a uma carga elétrica e ligando o sistema, será produzida uma diferença de potencial nesta carga que fará com que circule uma corrente elétrica. As células convencionais são fabricadas com finas lâminas de silício cristalino de cerca de 100 centímetros quadrados de superfície e décimos de milímetro de espessura.

Sobre o silício se deposita uma película antirreflexiva, que melhora o rendimento e confere à célula um tom azulado. A essa película se imprime uma malha metálica que constitui o contato ôhmico da face voltada para o sol. O contato da superfície posterior da célula forma uma rede metálica de distribuição homogênea. Existem dois tipos básicos de células solares (Figura 6) as de silício “monocristalino” e as de silício “multicristalino. A mais escura (à esquerda) é de silício monocristalino; e a quadrada, de aspecto iridescente (à direita), de silício multicristalino. Em ambas se distinguem a malha metálica (linhas verticais) e as faixas de conexão entre as células. As primeiras conseguem um rendimento levemente superior ao das segundas, embora essa diferença dependa do fabricante; além disso, têm um aspecto mais escuro, devido ao fato de que sua superfície é texturizada, para conseguir aproveitar melhor a luz. Outra diferença é o fato de que as células monocristalinas têm quinas chanfradas, uma vez que são obtidas a partir do corte de barras de silício de seção circular.

Figura 6: Vista frontal de duas células solares convencionais de silício cristalino.



Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

As células solares costumam ter valores de tensão baixos para a maioria das aplicações. Por esse motivo, são conectadas em série ou mesmo em paralelo, para se obter correntes maiores, e constituem, uma vez fechadas, uma unidade de geração elétrica chamada de módulo fotovoltaico. Do ponto de vista qualitativo, o comportamento elétrico de um módulo é similar ao das células que o compõem.

Em termos energéticos, os parâmetros elétricos principais de um módulo foto-voltaico são a “potência de pico” e o “rendimento”. A “potência de pico” é a potência máxima que um módulo é capaz de gerar sob condições padrão de iluminação e temperatura (1.000 watts por metro quadrado de irradiância solar e atmosfera padrão e 25 graus centígrados de temperatura do módulo). O “rendimento” é definido como o cociente entre a potência máxima e a potência luminosa que o módulo recebe. Quanto maior for o rendimento, maior será a geração de potência por unidade de superfície. Por exemplo, um módulo de 1 metro quadrado que tenha cerca de 15% de rendimento gera uma potência de 150 watts sob um sol de 1.000 watts por metro quadrado. Para estimar a quantidade de energia produzida por esse módulo durante um tempo determinado, se multiplica essa potência (150 watts) pela energia solar de referência, ou seja, a irradiação total recebida em quilowatts-hora por metro quadrado dividida por 1.000. Esse valor normalizado de irradiação também é denominado número de “horas pico” (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Chivelet e Solla (2010) relatam que hoje em dia, cerca de 90% das células comerciais são fabricadas com finas lâminas de silício, seja monocristalino ou multi- cristalino. O uso predominante desse material para a fabricação de módulos comerciais se deve ao bom domínio de sua tecnologia, ao seu alto rendimento relativo e à sua confiabilidade demonstrada durante várias décadas.

2.11. ESTRUTURA E MECÂNICA DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

É dito pelos autores Chivelet e Solla (2010) que em um módulo, as células estão protegidas elétrica e mecanicamente, assim como dos efeitos do intemperismo. As normas aplicáveis aos módulos fotovoltaicos incluem uma série de ensaios mecânicos, ambientais e elétricos e manutenção que garantem todas essas propriedades. A estrutura laminada de um módulo comercial

costuma ser formada por uma moldura de suporte, que protege o interior da placa, uma camada de vidro temperado na superfície externa, para resistir aos esforços térmicos, e apresenta alta transmissividade luminosa, uma camada de substrato, costuma ser um polímero transparente como o EVA, que envolve as células fotovoltaicas e o contato elétrico entre elas e uma vedação posterior, que geralmente é constituída de um laminado de fluoreto de polivinil (*Tedlar*), quase sempre de cor branca, mas também pode ser transparente ou de diversas cores. A vedação posterior pode ser substituída por um vidro, como demonstram numerosos exemplos existentes no mercado.

Essa configuração com vidro duplo é a mais utilizada para a integração em edificações, devido à sua resistência superior às cargas de vento. A espessura total desse laminado oscila entre 10 e 12 milímetros, em função da necessidade da espessura mínima do vidro interno, que é o elemento resistente. Existem diversas possibilidades para adequar o projeto do módulo às necessidades de cada aplicação arquitetônica.

Algumas das características que podem variar, dentro de certos limites, são as seguintes: tamanho e forma do módulo, estrutura construtiva do módulo, forma e tamanho das células, cor das células e da vedação posterior, transparência do módulo, número de células e sua disposição no módulo. Tem-se que levar em consideração que muitas das variações afetam o rendimento elétrico dos módulos. Assim, uma maior transparência implica um menor rendimento. Por outro lado, a transparência afeta o coeficiente de transmissão térmica do módulo e, portanto, o equilíbrio energético global da edificação. Tamanho e forma do módulo, o tamanho da maioria dos módulos não costuma superar 80 × 160 centímetros.

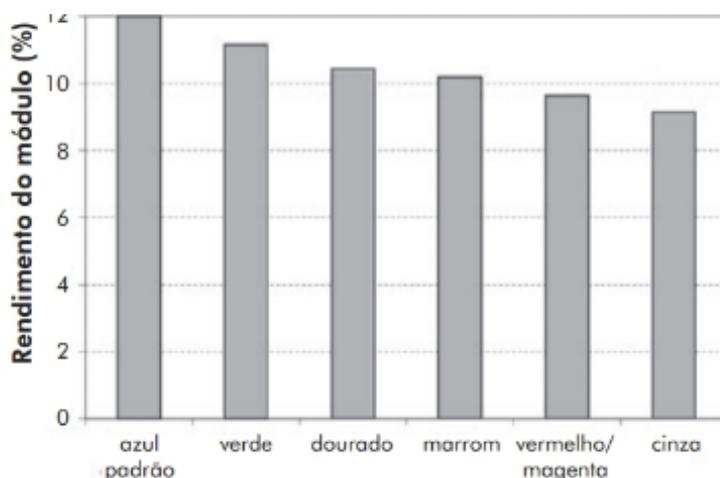
Em determinadas aplicações (janelas, paredes-cortina ou claraboias) é de interesse que o módulo fotovoltaico apresente uma baixa transmissividade térmica. Para isso, o laminado fotovoltaico é montado como um vidro duplo, com o módulo sempre instalado na lâmina exterior. A espessura da câmara estanque intermediária oscila entre 12 e 16 milímetros, para minimizar a transmissão térmica. A lâmina interna pode ser de vidro simples ou mesmo de um laminado de segurança, se o conjunto trabalhar como parapeito ou como claraboia.

Acrescentando-se um revestimento de baixa emissividade na folha interior, ou um gás inerte, como o argônio, à câmara, se reduz ainda mais a transmitância térmica.

Quanto aos suportes dos módulos, as opções vão desde os sistemas de fixação por suspensão quase padronizados, típicos das fachadas ventiladas, até a fixação como vidros de uma parede-cortina ou em janelas. Outra opção de integração arquitetônica dos módulos fotovoltaicos é sua colocação como telhas de cobertura ou como brises em uma fachada, guardando semelhança com os elementos de construção típicos que substituem. Nesses casos, os materiais da vedação anterior e posterior do laminado são substituídos por outros mais adequados a cada aplicação.

Chivelet e Solla (2010) ressaltam também que a cor habitual das células fotovoltaicas pode ser modificada mediante a variação da espessura de seu revestimento antirreflexo. Essa camada tem uma espessura ideal, para que seja mínima a reflexão na faixa de comprimentos de onda de maior rendimento da célula. A variação da espessura afeta a faixa de comprimento das ondas refletidas e, portanto, a cor da célula, mas também seu rendimento. Como orientação, observemos o gráfico da Figura 7, que mostra o rendimento típico de um módulo de silício multicristalino em função da cor de suas células.

Figura 7: Rendimento de um módulo de silício multicristalino típico em função da cor de suas células



Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

Observe que as perdas de rendimento oscilam entre 7% (verde) e 24% (cinza) em relação à cor ideal.

Hoje em dia, os módulos de silício monocristalino atingem os níveis de conversão energética mais elevados entre os produtos comerciais. Até quase 18% da energia incidente pode ser convertida em eletricidade. De fato, cada vez é mais frequente ver módulos de silício multicristalino nas fachadas dos edifícios. Além da melhoria de seu rendimento e da redução dos preços, a razão dessa proliferação está no fato de serem vistosos e em sua versatilidade de tamanho e aspecto de células (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Qualquer superfície da pele externa de uma edificação que esteja livre de sombras e bem orientada para o sol pode ser adequada para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Do ponto de vista da geração de energia, a posição ideal para os sistemas fotovoltaicos interligados à rede pública corresponde à orientação norte (em latitudes sul, ou seja, no hemisfério sul), com uma inclinação similar ao valor da latitude local. Para os sistemas integrados a edificações nem sempre é possível contar com essas condições, mas, ainda assim, é recomendável que os módulos recebam ao menos cerca de 80% da irradiação máxima anual local. No projeto dos sistemas fotovoltaicos integrados a edificações entram no estudo vários fatores que interagem mutuamente: a geração fotovoltaica, a função e arquitetura, o comportamento térmico, a transmitância luminosa dos módulos e o custo. É importante se chegar a um meio-termo entre todos esses fatores e, ao mesmo tempo, cumprir exigências de segurança que afetam a instalação, tanto do ponto de vista elétrico como do arquitetônico. (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Ainda segundo Chivelet e Solla (2010) os brises fotovoltaicos representam a preocupação com a economia de energia que tem levado os países com maiores demandas energéticas a desenvolver projetos e normas que impliquem uma economia real de recursos. Por outro lado, a arquitetura tem buscado o aumento das superfícies envidraçadas nos edifícios, para oferecer luz natural e conforto ambiental aos seus ocupantes. Em países com alta radiação, a solução para compatibilizar ambas as exigências solares é empregar brises, que limitam os excessos pontuais de energia incidente. Essa necessidade tem se convertido

em uma virtude para muitos arquitetos, que têm feito da integração de máscaras reticuladas e brises uma parte bem consolidada de sua linguagem.

2.12. *BRISES*

Os *brises* ou quebrassóis podem ser fixos ou móveis, de vidro ou metálicos, grandes ou pequenos; podem fazer parte da fachada ou estar separados dela e, portanto, criar um espaço intermediário para a manutenção. Sejam fixos ou móveis, os brises externos geralmente são fixados na própria esquadria da abertura que protegem, embora nos casos de maior tamanho possam ser fixados diretamente na estrutura do prédio. Em tais casos, costumam ser integrados a uma moldura periférica que os sustenta, e na qual se inserem os mecanismos de acionamento.

Os principais critérios no desenho de *brises* externos são sua resistência à ação do vento, sua durabilidade e a possibilidade de acesso para limpeza e manutenção. Os *brises* móveis podem ser acionados de modo manual ou mediante um sistema motorizado, que pode estar conectado a um programa de controle energético do prédio, para que a orientação seja ideal, em função da época do ano e das condições exteriores. No caso de o vento ser excessivo, algumas posições dos brises são perigosas, por sua maior exposição, o que também pode ser controlado por um sistema automático, como acontece com os toldos, dotando-os de um pequeno anemômetro.

É evidente que um elemento projetado para nos proteger do sol, como os brises em geral, oferece uma grande oportunidade de se converter no suporte ideal para integrar os módulos fotovoltaicos. Dessa maneira, os painéis combinam duas funções em apenas um elemento: controle solar e produção energética (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Uma primeira solução é o uso de *brises* fixos, que protegem do sol por cima da linha das janelas e que podem ser orientados do modo mais adequado para assegurar a máxima captação solar. As células fotovoltaicas podem estar inseridas em panos de vidro laminado fixados em perfis de alumínio, através dos quais passam as conexões elétricas até o interior do edifício. Outra variante são os *brises* metálicos revestidos com painéis solares de película delgada. Em

ambos os casos, a limpeza costuma ser o ponto crítico, uma vez que não podemos contar apenas com a ação da água da chuva. Deve-se prever o acesso para a limpeza através da abertura das janelas do pavimento imediatamente superior, ou da cobertura, para o último pavimento, com a ajuda de um braço extensor conectado a uma mangueira (CHIVELET; SOLLA, 2010). Tanto por sua extensão como por sua acessibilidade, a melhor opção para a integração de módulos fotovoltaicos é oferecida pelos *brises* que cobrem uma grande superfície de fachada, fixados a uma estrutura intermediária com passarelas para limpeza removíveis. Em tais casos, os *brises* podem ser móveis e orientáveis para o sol buscando oferecer simultaneamente a sombra máxima e o rendimento também máximo. A energia elétrica necessária para esse ajuste fino ao longo do dia pode ser obtida dos mesmos módulos fotovoltaicos.

2.13. AR CONDICIONADO E TEMPERATURA

Segundo Bensoussan (2013) climatizar ambientes é o processo conhecido do tratamento do ar em recintos fechados, de modo que se possa controlar, simultaneamente, temperatura, umidade, pureza e movimentação, com o objetivo de obter um ambiente mais agradável. Para isso acontecer, é necessário que se coloque o ar em um recinto ou ambiente fechado que esteja em movimento contínuo, fazendo-o passar por sistemas de tratamento de temperatura e umidade.

Os sistemas são conhecidos como os de distribuição do ar simples: atendem apenas a um ambiente ou recinto. Podem ter controle de temperatura. Sistemas de zonas múltiplas, como no caso do condicionamento de vários ambientes: podem ter controle individual de temperatura. Sistemas de zonas simples: tem-se o controle da taxa de renovação de ar interno através da tomada de ar externo. Em todos os sistemas o ar de retorno é misturado com o ar de renovação, para depois passar pelos processos de tratamento, como resfriamento, desumidificação ou aquecimento.

Nos tópicos a seguir, serão abordados temas como o desenvolvimento do resfriamento artificial, seu histórico, o calor em edificações e a relação do meio ambiente com os fluidos refrigerantes utilizados nos aparelhos de resfriamento.

2.13.1. DESENVOLVIMENTO DA REFRIGERAÇÃO

De acordo com Miller e Miller (2014) A refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é desejado. O calor é removido dos alimentos para preservar suas qualidades e sabor, ou é removido do ar de uma sala para propiciar condições de conforto a seus ocupantes. Durante o processo de refrigeração, o calor não desejado é transferido mecanicamente para um local em que ele não seja prejudicial. Um exemplo prático disso é o condicionador de ar de janela, que resfria o ar no interior de uma sala e descarrega ar quente no ambiente externo.

A substância chamada de fluido refrigerante é fundamental para a transferência de calor em um equipamento de refrigeração. Em termos práticos, um fluido refrigerante comercial é qualquer substância que evapore e vaporize a temperaturas relativamente baixas. Durante a evaporação ou vaporização, o refrigerante absorve o calor. O efeito refrescante sentido quando álcool é despejado nas costas de sua mão ilustra este princípio. Em operação, uma unidade de refrigeração permite que o refrigerante vaporize no interior de tubos que estão em contato, direta ou indiretamente, com o meio a ser resfriado. Os controles e o projeto de engenharia determinam as temperaturas que são alcançadas por uma unidade em particular.

2.13.2. HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO ARTIFICIAL

Ainda segundo Miller e Miller (2014) o gelo natural foi enviado dos estados da Nova Inglaterra (nos Estados Unidos) para diversos países desde 1806 até o início do século XX. Embora as máquinas para fabricação de gelo tenham sido patenteadas no início do século XIX, inicialmente elas não conseguiram competir com a indústria do gelo natural. O gelo só começou a ser fabricado artificialmente em escala comercial, no sul dos Estados Unidos, por volta de 1880.

Os refrigeradores domésticos não estavam comercialmente disponíveis até meados de 1920. Durante a década de 1920, a indústria de ar condicionado também teve o seu início com algumas instalações comerciais e domésticas. A indústria de refrigeração agora se expandiu de forma a estar presente na maior

parte de nossas vidas. Existe refrigeração em nossos lares e ar condicionado em nosso local de trabalho, e até mesmo em nossos automóveis. A refrigeração é usada em vários setores, da fabricação de café instantâneo às mais modernas técnicas cirúrgicas.

Araujo (2011) diz que durante muito tempo, o homem pensou em maneiras de amenizar os efeitos do calor. Invenções mais antigas, como ventiladores, abanadores e até mesmo o uso do gelo em larga escala faziam parte dos métodos para amenizar a temperatura em um ambiente. Em 1902, o engenheiro Willis Carrier inventou um processo mecânico para condicionar o ar, tornando realidade o almejado controle climático de ambientes fechados. Essa tecnologia teve início, na época, a partir de um problema pelo qual uma empresa de Nova York passava. Ao realizar impressões em papel, o clima muito quente de verão e a grande umidade do ar faziam com que o papel absorvesse essa umidade de forma que as impressões saíam borradas e fora de foco.

Ele criou um processo que resfriava o ar, fazendo circular por dutos resfriados artificialmente, o que também era capaz de reduzir a umidade do ar. Este foi o primeiro ar condicionado contínuo por processo mecânico da história. A partir desta experiência, o sistema foi adotado por muitas indústrias de diversos segmentos, como têxtil, indústrias de papel, farmacêuticos, tabaco e alguns estabelecimentos comerciais.

Em 1914, Carrier desenvolveu um aparelho para aplicação residencial, que era muito maior e mais simples do que o ar condicionado de hoje em dia, e também desenhou o primeiro condicionador de ar para hospitais, que foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a umidade de um berçário (para bebês nascidos de forma prematura), no Allegheny Hospital de Pittsburg.

Foi a partir da década de 1920 que o ar condicionado começou a se popularizar nos Estados Unidos, foi colocado em diversos prédios públicos, tais como a Câmara dos Deputados, o Senado Americano, os escritórios da Casa Branca.

Além disso, foi de grande utilidade para ajudar a indústria cinematográfica pois, antes de serem instalados os aparelhos de ar condicionado, as salas de

cinema ficavam vazias devido ao clima muito quente, nas temporadas de verão americano.

Na década de 1930, foi desenvolvido também por Willis Carrier um sistema de condicionadores de ar para arranha-céus com distribuição de ar em alta velocidade, que economizava mais espaço, em relação aos produtos utilizados na época. A distribuição do ar em alta velocidade por meio de dutos "Weathermaster", criada em 1939, economizava mais espaço do que os sistemas utilizados na época.

Araujo (2011) diz ainda que em meados de 1950, os modelos residenciais de ar condicionado começaram a ser produzidos em massa, ano em que Willis Carrier faleceu. A demanda foi muito grande, acabando com os estoques em apenas duas semanas. Na década seguinte, estes produtos já não eram mais novidade. A partir disso, se inicia um mercado de amplitude mundial em constante expansão, com muito espaço para desenvolvimento tecnológico e novidades em produtos, até os dias de hoje.

Os aparelhos de ar condicionado atuais, que são utilizados para controlar a temperatura de ambientes fechados, provêm da criação deste processo mecânico para condicionar o ar, criado pelo Carrier.

O ar condicionado é um equipamento destinado a climatizar o ar em um recinto fechado, mantendo sua temperatura e umidade do ar controladas, para deixar os ambientes em temperaturas agradáveis, criando uma sensação de conforto térmico (aquecendo ou refrigerando) ou até mesmo em determinados ambientes em que o seu uso é indispensável como, por exemplo, CPD, Laboratórios, Unidades de Hospitais, Radiologia, No Break, e outros.

O princípio de funcionamento dos condicionadores de ar, nada mais é do que a troca de temperatura do ar do ambiente, pela passagem do ar pela serpentina do evaporador que, por contato, tem queda ou aumento de temperatura do ar, dependendo do ciclo utilizado, baixando a umidade relativa do ar. O ar do ambiente é sugado por um ventilador e atravessa um evaporador, passando em volta de uma serpentina cheia de R-22, substância refrigeradora à temperatura de 7° C e em estado líquido.

Em contato com uma serpentina gelada, o ar se resfria e volta para o ambiente. Ao absorver o calor do ar, o R-22 muda de estado dentro da serpentina e vira gás, entrando depois num compressor elétrico. Essa peça, que produz o barulho do aparelho, comprime o R-22 até que, sob alta pressão, ele vire um gás quente, a 52° C. Esse gás entra numa outra serpentina, do lado de fora do aparelho, chamado condensador. Mais quente que o ambiente externo, o R-22 se resfria um pouco.

Com isso, ele vira líquido de novo mesmo antes de chegar aos 7°C, pois está sob alta pressão. Um outro ventilador sopra o ar quente que sobrou para a rua. O R-22 (em estado líquido por causa da alta pressão) entra numa válvula de expansão, espécie de orifício onde o líquido perde pressão rapidamente e se esfria até 7° C, que o mantém em estado líquido. A partir daí o ciclo recomeça novamente.

Os Sistemas de condicionamento de ar possuem quatro componentes básicos: compressor; condensador; evaporador; motor ventilador.

Também é dito por Araujo (2011) que as vantagens do uso do equipamento são a longevidade dos eletrodomésticos é prolongada; uma atmosfera mais confortável e podem ser utilizados tanto no inverno como no verão. Dentre as desvantagens do equipamento temos o ressecamento do ar causando irritação aos olhos; recirculação do ar (não renovação do ar); alto consumo de energia elétrica; uso de gases prejudiciais à camada de ozônio e efeito estufa; manutenção periódica; interfere na arquitetura de interiores (espaços necessários) e o mau uso do ar condicionado compromete a saúde.

2.13.3. CALOR

Miller e Miller (2014) comentam que a produção de calor em excesso em um sistema causará problemas. Normalmente, a matéria se expande quando aquecida. Este é o princípio da expansão térmica. As dimensões lineares aumentam, assim como o volume. A remoção de calor de uma substância causa a sua contração nas dimensões lineares e no volume. Este é o princípio de operação do líquido em um termômetro de vidro. A temperatura é a medida de

quente ou frio em uma determinada escala. Todas as substâncias possuem temperatura.

As moléculas estão sempre em movimento. Elas se movem mais rápido com um aumento de temperatura e mais devagar com uma diminuição de temperatura. Teoricamente, as moléculas param de se mover na temperatura mais baixa possível. Esta temperatura é chamada de *zero absoluto* e corresponde aproximadamente a -460°F (-273°C).

A quantidade de calor em uma substância possui uma relação direta com a quantidade de movimento molecular. A ausência de calor ocorreria somente no zero absoluto. Acima desta temperatura, existe movimento molecular. A quantidade de movimento molecular corresponde à quantidade de calor.

O fornecimento de calor causa um aumento de temperatura. A remoção de calor causa uma diminuição de temperatura. Isto é verdadeiro exceto quando a matéria atravessa uma mudança de estado.

O calor é frequentemente confundido com a temperatura. A temperatura é a medida da intensidade do calor. Ela não é uma medida direta da entalpia (uma grandeza física definida no âmbito da termodinâmica clássica, de forma que esta meça a máxima energia de um sistema termodinâmico, teoricamente passível de ser deste removida na forma de calor). A entalpia não depende da temperatura. Ela depende do tipo de material, do volume de material e da quantidade de calor que foi colocada ou retirada do material.

2.13.4. CALOR EM EDIFICAÇÕES

Miller e Miller (2014) dizem que o calor em edificações vem principalmente de quatro fontes: energia elétrica, o Sol, temperaturas do ar exterior e os ocupantes do edifício. Cada quilowatt de energia elétrica em uso produz 3413 Btu/h, independentemente de ele ser utilizado em luzes, resistências de aquecimento, ou em fogões elétricos, torradeiras ou ferros de passar roupa.

O Sol é uma fonte de calor. Ao meio-dia, um pé quadrado de superfície diretamente voltado para o Sol pode receber 300 Btu/h em um dia claro. Quando as temperaturas do ar exterior excedem a temperatura do espaço interno, o

exterior torna-se uma fonte de calor. A quantidade de calor transferida depende do tamanho, do número de janelas, entre outros fatores.

Os ocupantes de um edifício são uma fonte de calor, já que as temperaturas corporais são maiores do que as temperaturas normais dos cômodos. Uma pessoa, sentada e em repouso, liberará cerca de 400 Btu/h em um cômodo a 74°F (23,3°C). Se a pessoa começar a desenvolver alguma atividade, esta quantidade de calor pode aumentar em duas ou três vezes, dependendo da atividade desenvolvida. Parte deste calor é o calor sensível que o corpo libera por convecção e radiação. O restante é o calor latente, resultante da evaporação visível ou invisível da transpiração. O calor sensível aumenta a temperatura do cômodo, enquanto o calor latente aumenta a umidade. Ambos compõem a quantidade de calor total do cômodo.

2.13.5. AR CONDICIONADO E MEIO AMBIENTE

Ainda é dito por Miller e Miller (2014) que fluidos refrigerantes como a amônia são usados para sistemas de baixa temperatura, que incluem o resfriamento de alimentos e de processos industriais, pistas de patinação e assim por diante. O propano é utilizado em algumas aplicações especiais. Agora que se determinou que hidrocarbonetos clorados são danosos à camada de ozônio da Terra, protocolos internacionais (normas) recentes estabeleceram cronogramas para a eliminação do uso comercial dos refrigerantes danosos. Substitutos foram, e estão sendo, desenvolvidos. Parte do desafio é técnico e parte é econômico. Primeiro, encontrar um fluido que tenha características ótimas e seja seguro é um desafio. Segundo, estimular as indústrias em quantidades suficientes para produzir e distribuir o fluido a um preço acessível é outro.

2.13.6. CONSUMO DE ELETRICIDADE DO EQUIPAMENTO

Segundo Araujo (2011) a classificação da eficiência energética (EER) de um ar condicionado é a sua capacidade em BTU, dividida pelo seu consumo. Se, por exemplo, um ar condicionado de 10 mil BTU consome 1.200 Watts, o seu EER é de 8,3 (10 mil BTU/1.200 Watts). Obviamente, vai-se querer que o EER seja o mais alto possível, mas, normalmente, um EER maior é acompanhado de

um preço elevado. Para evitar o consumo excessivo de energia, deve-se: manter portas e janelas fechadas, pois o aparelho possui um filtro de ar interno que dificulta a passagem de insetos, particulados e até fuligem de automóveis para o interior do ambiente. Com elas abertas, estas impurezas entram no ambiente, sem passar pelo filtro e a filtragem de ar pelo aparelho deixa de ocorrer como deveria; não deixar fugas de ar, pois essas fugas como: geladeira, frestas e janelas abertas fazem com que o aparelho de ar condicionado tente refrigerar o ambiente externo também. Isso faz com que o compressor do aparelho funcione por mais tempo, consumindo mais energia e o barulho do aparelho aumenta; regular sempre a temperatura, pois a principal finalidade do ar condicionado é propiciar conforto térmico às pessoas ou os equipamentos especiais. A menos que a sala possua computadores que necessitem de temperaturas baixas para trabalhar, não podendo refrigerar mais que o necessário.

A potência de arrefecimento ou aquecimento dos equipamentos de ar condicionado pode ser medida de diferentes formas: Kw, Kcal/h ou Btu/h.

BTU é a unidade que mede a quantidade de calor presente em um ambiente fechado e que precisa ser retirada ou adicionada para atingir um conforto térmico. A sigla BTU significa British Thermal Unit ou Unidade Térmica Britânica. Um BTU é a quantidade de calor necessária para reduzir a temperatura de uma libra de água (0,4536 litros) em um grau Fahrenheit (0,53 graus Celsius).

Para calcular o BTU ou a quantidade de calor que precisa ser retirada, alguns fatores são necessários: saber quanta água um condicionador de ar pode resfriar não é muito útil. Para se ter uma ideia de quanto de ar pode ser resfriado, deve-se levar em conta que 1 metro cúbico de água pesa 1.000 Kg e a água é 6.300 vezes mais densa que o ar, portanto, 1 metro cúbico de ar pesa aproximadamente 0.159 Kg. Isto significa que um local com área de 30 metros cúbicos, com um aparelho de ar condicionado de 10.000 BTUs reduz a temperatura em 5 graus Celsius em questão de minutos. Outras variáveis que influenciam neste cálculo: números de janelas; números de portas; paredes externas e janelas que recebem insolação; quantidade e potência de equipamentos elétricos e lâmpadas que dissipam calor; número de pessoas no ambiente.

Ventilação em modo misto é uma estratégia da ventilação natural de ambientes equipados com climatização artificial pode proporcionar uma economia na energia consumida. Em cidades de clima tropical, por exemplo, a abertura automática de janelas de um ambiente corporativo no período noturno, pode reduzir significativamente a energia despendida pelo ar condicionado para atingir a temperatura de conforto dos ocupantes no dia seguinte. Além disso, proporciona uma alta taxa de renovação do ar.

Soluções arquitetônicas também são formas utilizadas que podem ajudar o ar a deslocar-se por dentro de um edifício incluem janelas operáveis; desenhos de plantas abertas de edifício de modo a facilitar o movimento do ar; átrios; chaminés de ventilação; aberturas de remoção de ar localizadas na parte superior do edifício; aberturas de admissão de ar localizadas na parte inferior do edifício; pequenas ventoinhas e aberturas entre divisões como as janelas por cima de portas interiores, grelhas e paredes, instalar o aparelho em local com boa circulação de ar, usar o equipamento de maneira correta como está indicado no seu manual, manter portas e janelas fechadas evitando a entrada de ar do ambiente externo, manter o ar condicionado sempre desligado quando se estiver fora do ambiente por muito tempo.

As Instalações de climatização são aquelas que criam um microclima nos quesitos de temperatura, umidade, velocidade, distribuição e pureza do ar. São conjuntos de processos empregados para se obter, por meio de equipamentos em recintos fechados, condições específicas de conforto e boa qualidade do ar, adequadas ao bem-estar dos ocupantes.

O climatizador de ar possui um ventilador que força o ar externo através de um painel evaporativo, sobre o qual a água circula continuamente pela ação de uma bomba. Nesta passagem do ar pelo painel, há a troca de calor entre a água e o ar. A água que evapora garante uma maior umidade do ar resfriado e é repostada por uma boia que mantém o nível constante do reservatório. Tal processo garante um resfriamento de até 12°C. Porém, o aparelho possui algumas condições para um bom funcionamento. A troca contínua do ar ambiente por ar resfriado é fundamental para manter as condições de conforto térmico no ambiente.

2.13.7. TIPOS DE EQUIPAMENTO

Araujo (2011) diz que o equipamento de expansão direta é um sistema cuja troca final de calor se dá entre o gás refrigerante e o ar a ser tratado. Já os sistemas de janela ou parede são os mais utilizados e também os mais baratos. São facilmente encontrados no mercado. Podem ou não fazer uma renovação do ar fresco. Possuem o evaporador e condensador no mesmo gabinete. Devem ser instalados embutidos na parede ou em vãos de janelas, com algumas restrições em determinados edifícios ou residências como, por exemplo, alteração de fachada. Os modelos mais recentes têm baixo nível de ruído e possuem controle remoto de operação. Capacidades entre 1.775 e 7.500 Kcal h 17.100 e 30.000 BTU/h, porém necessitam de um dreno. As Vantagens são: compactos, não requerem instalação especial, fácil manutenção, controle e atendimento específico de uma determinada área, não ocupam espaço útil interno e são produzidos para aquecimento por reversão de ciclo. Desvantagens são: pequena capacidade, maior nível de ruído, não tem flexibilidade, maior custo energético, distribuição de ar a partir de ponto único, alterações na fachada da edificação e local ideal para sua instalação normalmente interfere com aberturas ou outros elementos do prédio.

Os equipamentos portáteis São práticos porque podem ser utilizados em todos os ambientes da casa onde for necessária climatização e tem custo zero de instalação. Dentre as vantagens temos o funcionamento o ar quente é expelido para o exterior e trazendo ar frio para o interior, asseguram a renovação do ar, os modelos mais recentes têm baixo nível de ruído e possuem controle remoto de operação, todos os componentes estão em uma única peça, custo zero de Instalação e maiores custos do aparelho e oferece mobilidade.

Já o sistema de *Split* Possui duas partes diferentes: uma é instalada no interior, o evaporador, e a outra fica do lado de fora da edificação, o condensador, ventilado e protegido do sol e chuva. Além de manter o ar do ambiente agradável e com a temperatura controlada, os *Splits* ainda reduzem o ruído de operação, pois o condensador é externo ao ambiente. Possuem sistema de filtragem do ar. Pode ser fixo ou móvel. O tipo móvel pode ser utilizado em mais de um ambiente da edificação. A instalação é relativamente cara e

especializada, é de fácil adaptabilidade ao ambiente. Possuem controle remoto de operação e baixo consumo de energia, necessitam de dreno, tubulação em cobre. Todo ar condicionado em funcionamento condensa água, e isso dá origem ao famoso pinga-pinga. Um ar *split* é igual a qualquer outro ar condicionado, também condensa água e ela precisa ser eliminada. No entanto, enquanto no ar condicionado de janela a água sai por um orifício na parte traseira do aparelho que fica fora do ambiente que é refrigerado, no ar *Split* ele sai na parte que refrigera o ambiente. É importante que se pense no dreno (usar plástico marrom) antes de instalar, no projeto.

A unidade que refrigera o ambiente (evaporadora) é separada da unidade do compressor (condensadora) mas existe uma distância máxima para isso. Essa distância é menor nos aparelhos de menor capacidade e maior nos de maior, respectivamente. Por exemplo, existem ar *split* que a evaporadora pode estar afastada até 9 metros da condensadora e já em alguns aparelhos de 48.000 BTUS essa distância pode chegar até 30 metros, conforme a marca e o modelo.

Dentre as vantagens podemos citar que: São compactos, de fácil instalação e manutenção, têm grande versatilidade; Não interferem com fachadas, distribuição de ar por dutos ou não, operam como bomba de calor (ciclo reverso).

Existem no mercado outros tipos de modelos de *split*, que têm suas funcionalidades similares ao descrito acima. Os modelos comerciais conhecidos são: *split* cassete (Figura 10), multi-*split* (Figuras 11 e 12), *split* piso teto, *split built in* (embutido), *split* teto quadrado, etc. São modelos de *splits* com configurações diferentes, são idênticos ao sistema do *split*, porém são conectadas duas ou mais unidades de evaporação à unidade de condensação.

O sistema de *Rooftop* tem capacidade de 150 a 480 Kbtu/h. Para melhor flexibilidade de instalação o *Rooftop* é composto pela Unidade Evaporadora e Unidade Condensadora, que podem ser posicionadas juntas ou em locais separados. A unidade Evaporadora pode facilmente ter sua descarga e retorno de ar na posição horizontal ou vertical, bastando para isto a troca de painéis de

fechamento. As unidades são feitas para serem içadas até o topo da edificação por meio de guindastes. São construídas em chapas de aço galvanizado com pintura poliéster, própria para ambientes externos. Como podem ser instaladas fora da área a ser condicionada, estas unidades proporcionam uma sensível economia de espaço nobre. O projeto otimizado e os compressores garantem uma operação silenciosa e econômica. A unidade evaporadora é fornecida com filtragem classe G0. Duas calhas de 1 polegada para filtros adicionais são colocadas em campo.

Os sistemas centrais de expansão direta são equipamentos de grande capacidade e porte com necessidades específicas para ambientes comerciais, industriais, hospitalares. São sistemas cujo refrigerante resfria um líquido intermediário, que normalmente é a água gelada. Torre de resfriamento: fazem um tipo especial de trocador de calor. Nos aparelhos anteriores, os fluidos são separados. Nas torres, ambos os fluidos, ar e água, estão fisicamente em contato. Nessa condição, a troca se dá principalmente por evaporação. Pode ser instalada em área interna do prédio, com exaustão, ou em área externa. O local tem grandes dimensões, é provido de canaletas no piso para o escoamento da água e a limpeza, tratamento acústico nas paredes, tetos e portas e ventilação adequada. Nos pavimentos, são projetados ambientes para os fan-coil

Os condicionadores de ar *self contained* São equipamentos de custo mais elevado. Demanda estudos de engenharia de relativa complexidade e mão de obra especializada. Suas potências normalmente situam-se na faixa de 3TR a 30TR, podendo tanto ser instalados com insuflamento com “*Plenum*” ou como condicionadores centrais, geralmente distribuindo o ar tratado pelas redes de dutos. Podem ser instalados na cobertura do prédio, onde deverá ser estudada a base da estrutura do equipamento. Citamos as vantagens em: menor custo por TR e manutenção mais econômica; fabricação seriada com aprimoramentos técnicos constantes e garantia de desempenho por testes de fábrica; manutenção e reposição de peças mais eficientes; maior rapidez de instalação; grande versatilidade para projetos (zoneamentos, variações de demanda). Desvantagens: não são produzidos para operar como bomba de calor. Os equipamentos divididos requerem procedimentos habituais de vácuo e carga de gás.

Uma manutenção criteriosa e regular dos equipamentos e instalações em uma edificação oferece tranquilidade na execução dos serviços, aumenta a produtividade e influencia os custos. Os procedimentos da manutenção preventiva envolvem estipular uma rotina de horário e dia, pois aumenta a qualidade, a vida útil do equipamento e das redes e diminui o desperdício, além de melhorar a qualidade ambiental, a saúde do usuário e as condições seguras de trabalho.

A manutenção corretiva se deve a um colapso na rede ou equipamento que não estava previsto. Importante: colocar um funcionário lavando, varrendo e limpando. Pelo custo-benefício, a manutenção pode fazer alguns reparos e colocações, pois amplia a eficiência das máquinas do sistema, aproveita a água já usada e a reutiliza, economizando para o Planeta e melhora as condições de conforto térmico do usuário. O verão e o inverno são estações onde são registrados aumentos significativos em solicitações de manutenção, pois é a estação do ano em que o ar condicionado é mais utilizado, o que aumenta as doenças respiratórias, mas ao mesmo tempo, aumenta a necessidade de limpeza dos aparelhos. Nos ambientes fechados não existe circulação de ar, com os poluentes existentes, como fungos, poeira, fumo, bactérias, ácaros e bolor, que fica retido nos filtros, turbinas e serpentina dos equipamentos. Para a prevenção das doenças que são causadas por esses poluentes, deve ser feita manutenção periódica nos equipamentos. Irregularidades e problemas de saúde podem ter origem nos projetos de arquitetura e de instalações. São sintomas que ocorrem com o usuário do sistema: Mal-estar Ardência e secura nos olhos Dor de cabeça Fadiga Gripes constantes Alergias respiratórias Sinusite Rinite Amigdalite Faringite Bronquite Pneumonia

Estes procedimentos adequados, como limpeza dos acessórios, troca de filtros, instalações de filtros adequados, higienização de todos o sistema (dutos, difusores, retorno), instalação de sistema automatizado, colocação de materiais de acabamento que melhorem o conforto térmico e a eficiência das máquinas *fancoil*, levam à qualidade do ar ambiental, à saúde do usuário e a condições seguras de trabalho.

A análise da temperatura e umidade do ar é feita pelo termômetro a laser ou outro tipo, que poderá ser instalado dentro do ambiente para verificar o conforto ambiental e para manter os equipamentos com a temperatura necessária. Verificar ambientes que necessitem de trabalhar a pressão negativa e positiva.

A higienização dos dutos do sistema de ar condicionado pode ser feita com robôs, eficientemente e a filmagem também, com robô nos dutos de insuflamento e de retorno. É necessário filmar antes da limpeza e após a mesma. Os robôs têm 2 escovas diferentes, sendo uma para os cantos mais difíceis dos dutos.

A higienização permite controlar a qualidade do ar para localizar, com precisão, os focos potenciais de contaminação, identificar a existência ou não de microorganismos patogênicos em suspensão, determinar os níveis totais de contaminação, permitindo a correlação destes com o padrão nacional de aceitabilidade e obter referências mensuráveis que garantam a saúde dos usuários.

Automação é o uso da tecnologia para facilitar e tornar automáticas algumas tarefas habituais que ficaria a cargo de seus funcionários. Com sensores de presença, temporizadores ou até um simples toque em um botão é possível acionar cenas ou tarefas pré-programadas, trazendo maior praticidade, segurança, economia e conforto para o usuário. A automação pode proporcionar aos seus utilizadores o conforto, pelo fato de ser facilmente adaptado a qualquer utilidade, sendo desse modo, uma tecnologia expansível e flexível, onde o próprio usuário designa como será beneficiado com essa automação.

As vantagens desse sistema em geral: ter menor custo por TR e manutenção mais econômica; as pessoas procuram, hoje em dia, por formas de não apenas se sentirem seguras, mas de poderem aperfeiçoar suas tarefas, de modo a demandar menos tempo e proporcionar uma sensação maior de conforto, segurança e bem-estar; automação pode ser com horário programado: pela internet e celular, cabeamento estruturado, *leds*. Deste modo, é possível, então, observar a existência de redes específicas, como a utilização de controle

de acesso, a detecção e controle de incêndios, a climatização, elevadores, bombas hidráulicas, entre outras. As redes permitem o desenvolvimento de sistemas complexos, ao que se refere às tarefas que poderão ser executadas.

A racionalização é planejar e coordenar as etapas de construção, coordenar os projetos entre si e a obra, controlar a qualidade, pois ela otimiza recursos humanos, materiais organizativos, tecnológicos e financeiros, além de visar um aumento de produtividade. Em hospitais, chega-se mais longe, pode-se construir um andar técnico ou uma galeria de instalações. No andar técnico, tem-se a possibilidade de uma manutenção mais confortável, pois o pé direito utilizado igual aos outros pavimentos, ou seja, em torno de 3 metros. São instaladas as máquinas de ar condicionado, com suas redes, os condensadores da exaustão, os quadros elétricos, os aparelhos de aquecimento, etc. Nos shafts são instaladas as tubulações das instalações, pois facilitam a visita para manutenção. Os shafts podem ser classificados em molhado e seco.

A exaustão é um processo de renovação do ar de um ambiente fechado pelo meio mecânico, com o objetivo de controlar a pureza, temperatura, umidade, distribuição, movimentação e odor do ar ou é um processo de ventilação mecânica que introduz o ar de renovação do ambiente, estabelecendo uma pressão maior do que a exterior ou é um processo de ventilação mecânica que remove o ar contaminado ou viciado do ambiente, fazendo que a pressão interior do recinto seja menor que a exterior. É obrigatória a existência de sistemas de exaustão mecânica em ambientes que necessitem que o ar ou o vapor saia para o exterior, até mesmo em ambientes ventilados naturalmente, por meio de coifas ou de ventiladores. Algumas máquinas também devem ter exaustão para eliminação de resíduos impróprios.

A saída do exaustor na sala deve estar posicionada de modo que não prejudique a captação de ar de outros ambientes. A exaustão deve estar presente em laboratórios, banheiros ou sanitários, sala de utilidades, cozinha ou copa e onde o local necessite de trabalhar a pressão ou onde tem vapor. Assim como o ar condicionado, o sistema de exaustão requer compatibilização dos projetos de arquitetura, instalações e estrutura. Os equipamentos, exaustor e dutos, têm dimensões grandes.

2.14. VIDRO NA ARQUITETURA E PELES DE VIDRO

Segundo Michelato (2007) a partir da década de 50, difundiu-se por muitos países do mundo, o conceito de “pele-de-vidro” por meio do “estilo internacional” lançado pelo Movimento Moderno. Desse modo, as cidades passaram a ser marcadas por uma arquitetura das caixas de vidro.

No início dos anos 1960, havia a ideia de que para uma obra ser considerada “moderna”, ela precisava apresentar vidros nas suas fachadas, sendo as aberturas os componentes que permitiam a comunicação com o exterior. Primeiramente essas aberturas visuais eram as janelas, posteriormente surgiram no país os primeiros edifícios com “pele-de-vidro”.

As fachadas-cortina têm sido empregadas no Brasil como elemento arquitetônico inovador, isto é, como elemento estético, representando uma forte tendência da arquitetura contemporânea. Nos últimos vinte anos, respondendo às exigências da arquitetura, as fachadas-cortina passaram por etapas evolutivas. A primeira geração dessas fachadas com vidros no Brasil foi chamada de fachada relógio. Nessa geração os vidros eram encaixilhados em perfis de alumínio. Para tanto, a estrutura deveria ser perfeitamente executada, como um “relógio”, o que restringia sua utilização. Na segunda geração, começaram a ser feitas as fachadas “pele-de-vidro”, nas quais os quadros de vidros passaram a ser aparafusados com presilhas, sobrepostos às colunas e travessas. O alumínio externo que sustentava os vidros era apenas um pequeno filete e por isso a fachada era chamada de “pele-de-vidro”.

Muitas experiências foram feitas com o sistema “pele-de-vidro” entre 1978 e 1984 no Brasil, e muitas das obras que utilizaram esse sistema apresentaram problemas de estanqueidade à água. O vidro usado nesse período era o monolítico, na cor bronze ou fumê, com a desvantagem de ser termo absorvente.

Somente a partir de 1984 o sistema “pele-de-vidro” evoluiu, surgindo o *structural glazing*. A fachada passou a revelar apenas o vidro, eliminando visualmente em definitivo o alumínio, que até então era exposto na fachada “pele-de-vidro”.

A fachada de vidro estrutural (*structural glazing*) é um tipo especial de fachada contínua, cujos painéis de vidro são montados com um selante à base de silicone, que adere aos suportes com suficiente firmeza para impedir que os vidros deslizem e com flexibilidade para suportar o peso dos painéis e permitir eventuais movimentos causados por dilatações térmicas ou acionamento dos caixilhos. Ao mesmo tempo, proporciona estanqueidade muitas vezes superior àquela obtida com os caixilhos de alumínio. A fachada de vidro estrutural proporciona também melhor isolamento térmico e acústico, eliminando na face externa, o elemento metálico responsável pela transmissão de calor e vibrações.

Da fachada “pele-de-vidro”, com caixilhos aparentes, ao *structural glazing*, que se transformou na pele dos grandes edifícios comerciais da década de 90, a indústria vem mostrando que é possível atender aos mais sofisticados projetos arquitetônicos.

A tendência que marcou e se produziu em maior escala foi a do emprego do vidro em fachadas contínuas que, desde o início dos anos 1970, esteve presente nos prédios do centro da cidade de São Paulo.

No Rio de Janeiro, o emprego das *curtain-wall* não foi muito diferente do que aconteceu em São Paulo, entretanto, só começou a ser notado mais fortemente a partir do final da década de 60.

A partir de 1970, começaram a surgir sedes de bancos, grandes empresas, amplos complexos hoteleiros e conjuntos habitacionais para a classe alta, que apresentavam soluções urbanísticas alimentadas por critérios de *status* e segurança. A cidade começou a expandir-se e a torre de vidro tornou-se solução fácil e de execução segura.

2.14.1. VIDRO REFLETIVO

Michelato (2007) diz também que a partir da década de 50, com o final da Segunda Guerra Mundial, começaram a ser utilizadas intensamente as fachadas envidraçadas na arquitetura, ocorrendo assim a difusão do conceito de “pele-de-vidro”. Este uso intensivo do vidro nas fachadas foi possível graças ao desenvolvimento da indústria do vidro e de outras tecnologias. Dessa forma, as

idades começaram a se caracterizar pelos grandes panos de vidro, que passaram a ser utilizados sem levar em consideração o local onde estavam sendo inseridos.

Antes da crise e do embargo do petróleo em 1974, a energia era barata e disponível em grande quantidade, e por isso não havia muitos incentivos para o seu uso racional. Com a crise energética, os edifícios de vidro eclodiram como um grande problema no que se refere à questão do uso racional da energia. A indústria vidreira, com o objetivo de minimizar os problemas de superaquecimento dos edifícios, lançou no mercado, dentre outras propostas, os vidros refletivos. Desta forma, muitos edifícios projetados a partir da década de 70, ao mesmo tempo em que apresentavam grandes superfícies envidraçadas, eles também começaram a fazer uso do vidro com proteção solar. Esses edifícios procuraram resolver as questões de excesso de luminosidade e calor através do uso de vidros refletivos.

Devido à grande flexibilidade e liberdade de formas, a “pele-de-vidro” tem sido muito utilizada nos edifícios contemporâneos. Porém, muitas vezes, apenas o aspecto estético vem sendo buscado quando se adota este tipo de vedação, sendo que outras questões de muita importância, como a iluminação natural, aparecem como preocupação secundária dos projetistas. É importante que a arquitetura contemporânea incorpore as novas tecnologias, articulando-as com os dispositivos e mecanismos, para conseguir construir edifícios energeticamente mais econômicos.

Um fato importante a ser lembrado é que para um bom desempenho energético de um edifício, não basta apenas utilizar novas tecnologias, é necessário também um bom projeto arquitetônico, que considere a orientação do edifício e o local onde está sendo inserido.

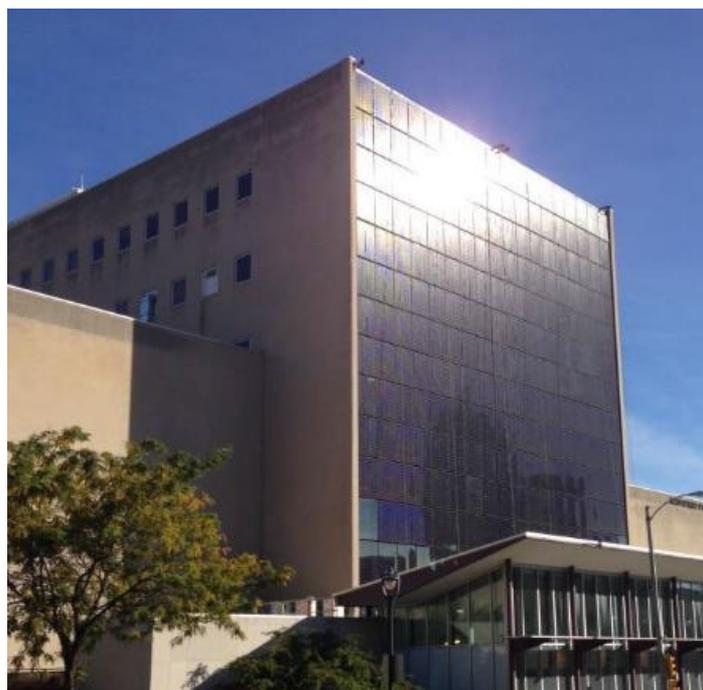
2.15. EXEMPLOS NO MUNDO

Os tópicos a seguir expõem alguns exemplos do uso da tecnologia fotovoltaica em fachadas de edificações, com exemplos de fachadas cegas ou com composição em *brises*.

2.15.1. MUSEU PÚBLICO DE MILWAUKEE

O Museu Público de Milwaukee (Wisconsin) na Figura 8, decidiu apostar em energia renovável e aproveitar sua fachada sul para produzir eletricidade limpa a partir de fontes solares. Como parte do projeto de restauração geral do edifício, o museu decidiu optar pela eficiência energética, substituindo a fachada original de mármore por outra formada por 234 painéis fotovoltaicos.

Figura 8: Museu Público de Milwaukee



Fonte: <https://www.construible.es/2014/12/10/fachada-fotovoltaica-en-el-museo-publico-de-milwaukee>, acesso em 21/03/2019

Assim, a nova fachada, com sete andares de altura, gera uma quantidade estimada de energia em torno de 77.000 kWh por ano; o equivalente ao consumo de 442 lâmpadas de 60 W que foram acesas oito horas por dia durante um ano inteiro. Além dessa importante economia, a instalação fotovoltaica servirá como uma experiência educacional para os milhares de pessoas que visitam o museu todos os anos.

2.15.2. SEDE DA CALTRANS

A superfície coberta com brises como pele externa pode ser até mesmo toda uma fachada, como ocorre na fachada sul da sede da Caltrans (Figura 9) em Los Angeles.

Figura 9: Sede da Caltrans District 9, Los Angeles. Arquitetos: Morphosis.



Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

Este conjunto acomoda cerca de 2.300 trabalhadores do departamento de transportes da Califórnia. O volume principal é um prisma cujos lados maiores, com orientação Leste Oeste, foram revestidos com uma pele de alumínio perfurado que os protege do sol horizontal. A fachada norte é envidraçada, enquanto o lado sul (hemisfério norte) foi resolvido com uma pele dupla: no interior, uma parede-cortina de vidro; por fora, uma passarela de aço galvanizado e, finalmente, uma pele vertical de brises fotovoltaicos de células monocristalinas com vidro laminado. As soluções construtivas das fachadas são extremamente

simples, sem a preocupação com o detalhe da arquitetura *high-tech* (e também sem seus custos), mas o resultado é espetacular. Trata-se de um prédio singular, que concentrou os esforços de projeto no bloco baixo que aloja a cafeteria e os serviços comuns, mas que em seu conjunto funciona como uma simples caixa. As vedações foram projetadas de maneira adequada para cada orientação, e a fachada sul consegue incorporar os brises fotovoltaicos sem que estes pareçam ser um aplique estranho ao projeto como um todo. A energia gerada pelos brises fotovoltaicos equivale a 5% do total da energia consumida no edifício (CHIVELET; SOLLA, 2010).

2.15.3. FUNDACIÓN METRÓPOLI

A Fundación Metrópoli (Figura 10) é uma instituição internacional cujo objetivo é contribuir para a inovação e o desenvolvimento das cidades e territórios sob uma perspectiva internacional.

O edifício da fundação foi concebido com caráter experimental, integrando dois critérios fundamentais: a criação de um lugar para a inovação e a criatividade, e o compromisso com a sustentabilidade. O acesso principal está situado na fachada sul, que incorpora os três elementos principais da vedação externa: um anteparo ventilado de placas de ardósia, um sistema de grandes brises horizontais de alumínio e, finalmente, uma segunda pele de brises de vidro com células de silício policristalino. Os brises móveis de alumínio e os painéis de vidro fotovoltaico atuam como elementos de sombreamento para as aberturas envidraçadas do segundo pavimento.

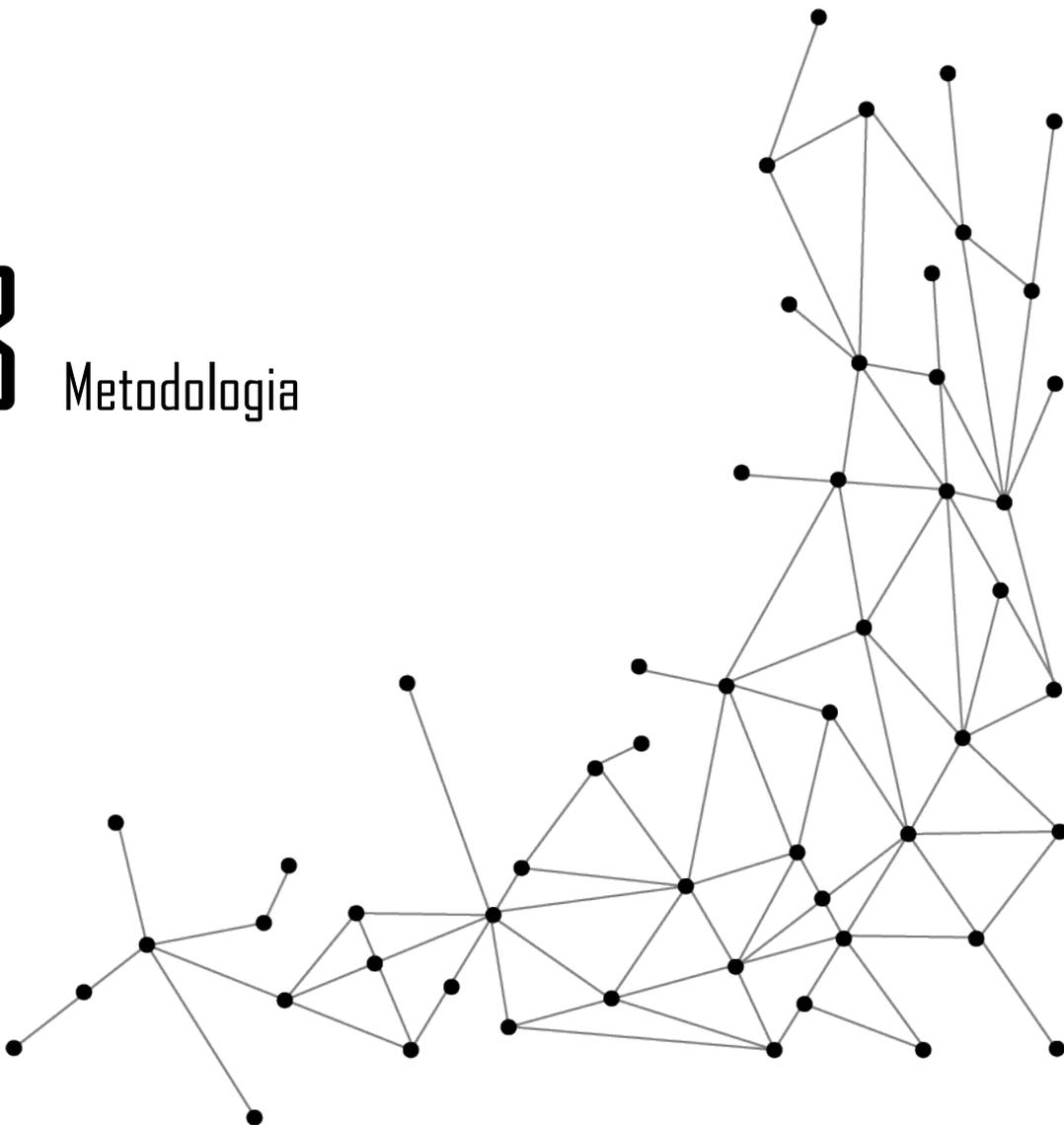
De tamanho pequeno, o edifício incorpora grande quantidade de elementos de arquitetura bioclimática, tanto passivos como ativos. Entre os sistemas passivos podemos citar os brises móveis, as paredes e a cobertura que atuam como termoacumuladores, e a ventilação da face posterior do revestimento de ardósia, mediante energia geotérmica. Entre os sistemas ativos, além dos módulos fotovoltaicos, destacam-se os coletores solares horizontais colocados na cobertura, que empregam a tecnologia de tubos a vácuo para resfriamento do prédio (CHIVELET; SOLLA, 2010).

Figura 10: Sede da Fundación Metrópoli, Alcobendas (Madri) Arquitecto:  ngel de Diego.



Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedac o Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

3 Metodologia



3. METODOLOGIA

O critério metodológico adotado para essa pesquisa foi o de natureza aplicada a um procedimento técnico de estudo de caso, onde procurou-se produzir conhecimentos para uma aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013). Analisando uma forma de suprir a demanda energética do Edifício Banco do Brasil Sede VII, localizado no Setor Bancário Norte de Brasília, utilizando de recursos que diminuíssem a necessidade de resfriamento artificial do interior da edificação bem como gerar energia direto no local.

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os assuntos e autores engajados nos temas, apresentando alguns autores no referencial teórico.

A carta solar e carta de sombras foi gerada pelo programa SOL-AR, com as coordenadas específicas da região a ser estudada, e com ela posicionada sobre a edificação no mapa da região, foi possível verificar os dias e horários mais adequados para proteção solar, bem como para determinar o tamanho, formato e posicionamento dos *brises-soleil* nas fachadas Norte e Oeste.

Depois, na fundamentação teórica foram apresentados autores relacionados ao tema, à estrutura e mecânica de um módulo fotovoltaico e como referencial, edificações como exemplos no mundo.

Após isso, foi selecionada a edificação como estudo de caso e as fachadas a serem estudadas na pesquisa. Foram obtidas informações técnicas sobre o modelo de painel fotovoltaico escolhido, os dados sobre a incidência solar mensal na região, bem como dados obtidos pelo estudo da carta solar.

Foram realizadas visitas a edificação, onde pode-se observar as fachadas individualmente e obter dados sobre o tipo de vidro utilizado, bem como sua modulação nas fachadas. Também foram obtidas as plantas técnicas com detalhamentos de estrutura da edificação, tipo de esquadria, projeto de ar condicionado, plantas de fachadas e plantas de corte.

Em seguida, utilizando os dados obtidos nas plantas e projeto técnico como referência, foi feita uma modelagem 3D da edificação, Edifício Banco do Brasil Sede VII, no programa SketchUp. Com essa maquete eletrônica foi possível a análise da incidência solar nas fachadas ao longo do dia.

A próxima etapa foi a da definição das fachadas que iriam receber a alternativa de *retrofit*, no caso, os painéis fotovoltaicos como *brise-soleil*. As fachadas escolhidas em questão foram a Norte e a Oeste, pois a norte é a mais recomendada para esse tipo de instalação e a Oeste é que recebe a radiação solar mais intensa ao longo do dia.

Em seguida foi realizado o cálculo para a definição da inclinação e do comprimento X do *brise* em relação à altura do painel de vidro. Após a obtenção desses valores, os mesmos foram inseridos no programa SOL-AR, primeiramente sendo feito o estudo da fachada Oeste e depois da fachada Norte. Com isso foi possível determinar individualmente em cada fachada a proteção solar que os *brise-soleils* irão proporcionar ao longo dos dias do ano, bem como o período do dia que vão receber mais incidência solar.

Foi feito também uma modelagem 3D do *brise-soleil*, independente da fachada, utilizando o programa SketchUp. Através desse modelo foi possível determinar o tipo de estrutura do *brise*, como o painel fotovoltaico foi fixado nessa estrutura, e também como a estrutura do *brise* foi fixada na esquadria da edificação.

Em seguida foi realizada a análise do modelo de ar condicionado utilizado pela edificação, onde foi verificado o consumo do mesmo pelo seu tempo de uso ao longo do dia, com isso foi possível obter o valor do seu gasto energético diário.

Para a execução do estudo realizaram-se simulações computacionais dinâmicas, tanto para a avaliação do desempenho termoenergético, como para a geração de energia fotovoltaica, por meio do uso do software *EnergyPlus*.

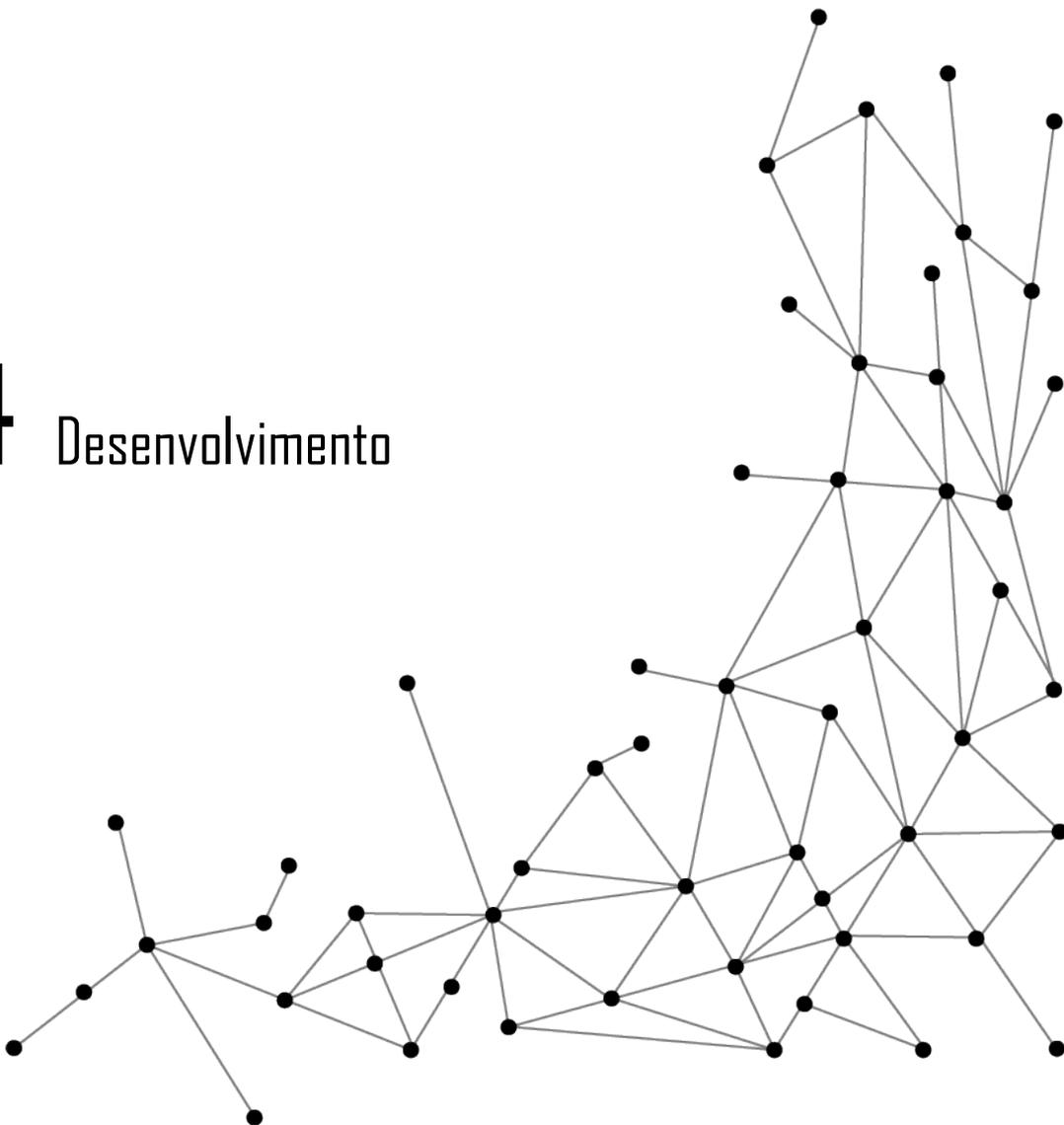
Para a avaliação do desempenho termoenergético da edificação utilizou-se o software *Energyplus* 8.9 por meio da interface gráfica *DesignBuilder* 6.1 para o período de todo um ano típico. Os resultados são apresentados por meio

de consumo energético em kWh.ano, assim como o dado normalizado, por metragem quadrada, em kWh.ano/m², para melhor apreciação do dado e possíveis comparações com outros edifícios.

O *Energypius* 8.9 também foi utilizado para realização da avaliação do potencial de geração de energia fotovoltaica, contudo por meio do software de modelagem 3D *Rhinoceros3D* e o *add-on Honeybee*. Os resultados são apresentados em kWh.ano e kWh.dia, assim como esses mesmos dados normalizados, por metragem quadrada, em kWh.ano/m² e kWh.dia/m². Tais programas foram escolhidos devido a sua precisão, sendo mais confiáveis do que opções gratuitas.

Finalmente, com os dados obtidos, foi feita uma projeção do potencial de energia que será gerada diariamente e mensalmente pelos *brises* e pelos painéis fotovoltaicos.

4 Desenvolvimento



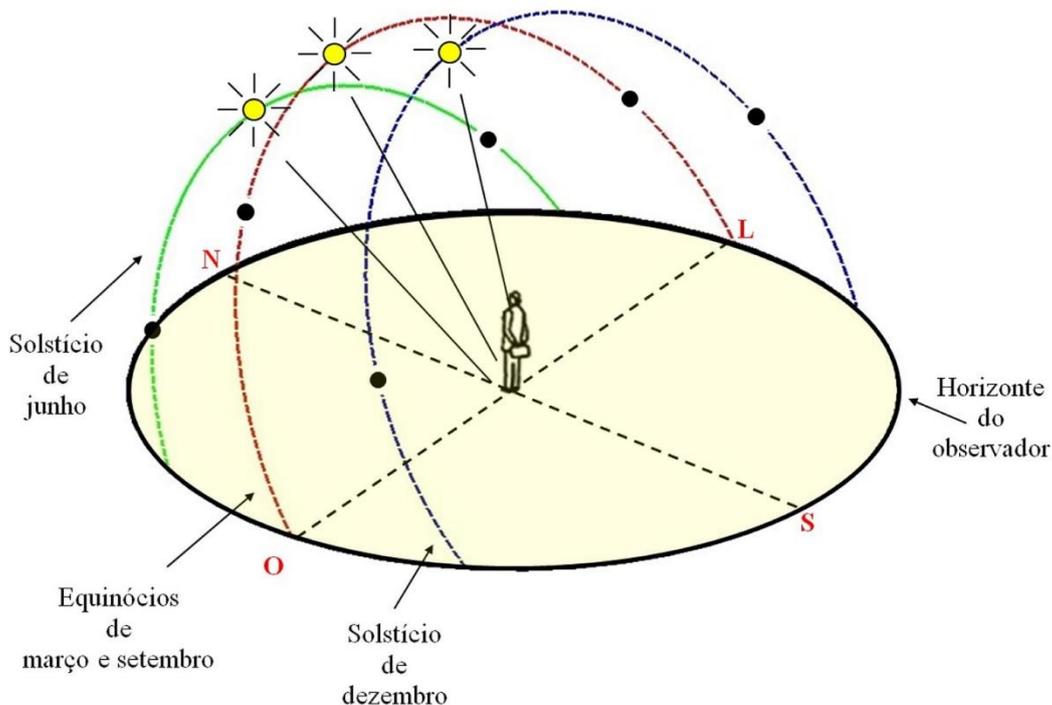
4. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, escolheu-se a edificação que mais se adequou ao tema proposto nessa pesquisa. O Edifício Banco do Brasil Sede VII foi selecionado por diversos fatores, dentre eles as fachadas Norte e Oeste serem revestidas com vidro refletivo, a disposição e instalação das esquadrias ser semelhante aos outros edifícios da região, tornando resultado dessa pesquisa abrangente a outros edifícios, a forma retangular da fachada, permitindo maior precisão e compatibilidade com os modelos de painéis mais acessíveis no mercado e também pelo fato de ainda não haver pesquisa relacionada a esse tema na região do Setor Bancário Norte.

4.1. FACHADAS

No Hemisfério Sul, A fachada mais indicada para o recebimento de um sistema fotovoltaico é a norte, pois o sol nasce no Leste, sobe se inclinando em direção ao Norte e se põe no Oeste (figura 11), ou seja, o maior aproveitamento da irradiação solar, onde o painel captaria mais quantidade de luminosidade, é a direção Norte.

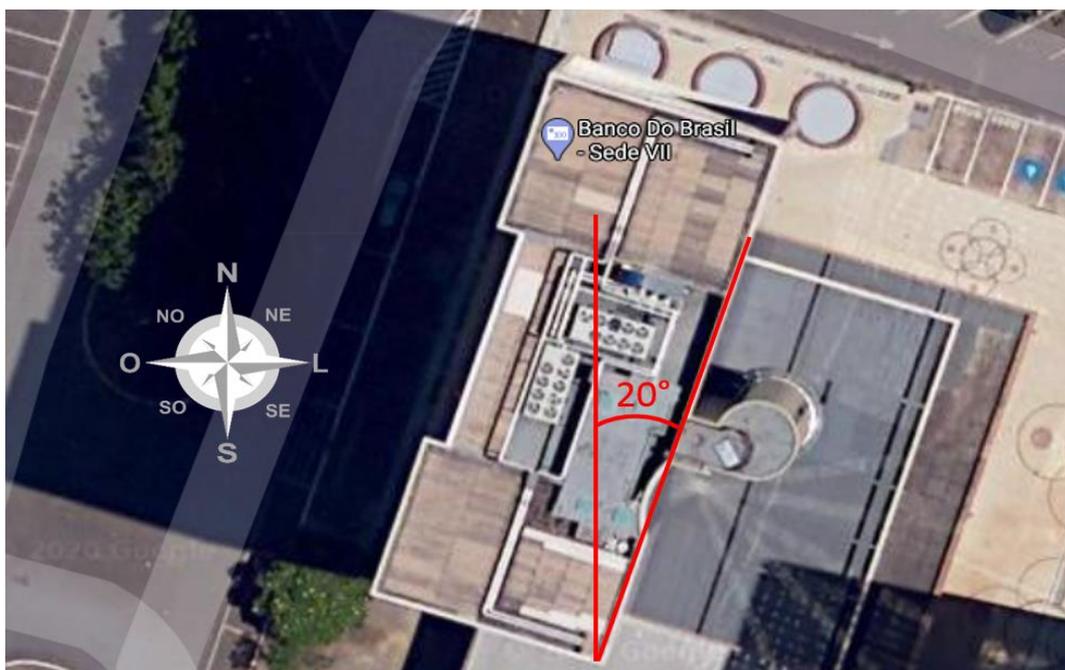
Figura 11: Trajetória do sol com Solstícios e Equinócios.



Fonte: <https://bit.ly/2qGKnER>, (acesso em: 11/11/2019)

O Edifício Banco do Brasil Sede VII possui sua fachada Norte levemente inclinada em relação ao Norte verdadeiro, cerca de 20° (figura 12), porém é o suficiente para que se considere uma fachada adequada para o recebimento da instalação fotovoltaica.

Figura 12: Ângulo de inclinação da edificação Banco do Brasil Sede VII em relação ao Norte verdadeiro.



Fonte: Acervo pessoal

A fachada Oeste também foi selecionada pois é a que recebe a maior parte do sol da tarde, sendo assim a mais prejudicial para a edificação, portanto será também escolhida para o recebimento dos *brise-soleils* fotovoltaicos, mais como uma forma de “curativo” para a edificação.

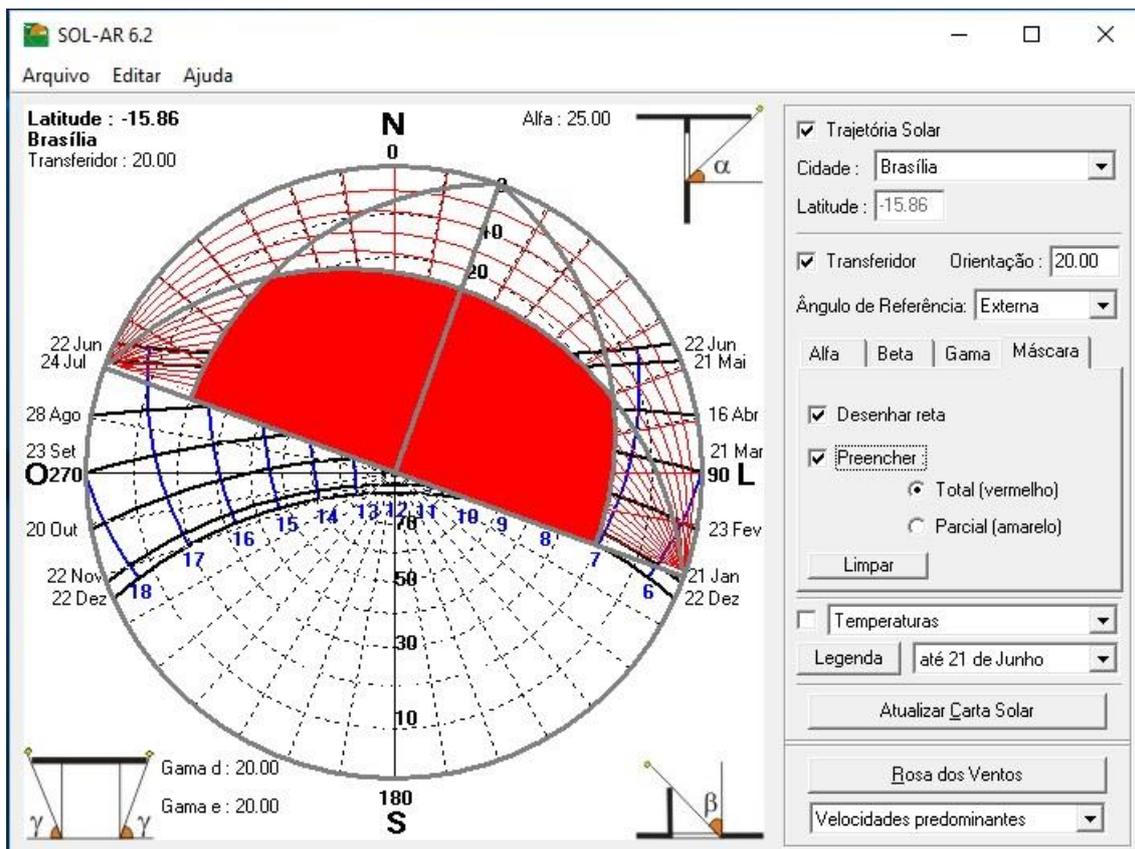
4.2. CARTA SOLAR PARA A DEFINIÇÃO DO BRISE

Para a definição do posicionamento dos *brise-soleils*, bem como sua inclinação, utilizou-se o programa SOL-AR. Primeiramente na fachada Norte e depois na fachada Oeste.

Inicialmente foi feito o cálculo para determinar o comprimento X do *brise-soleil*. O cálculo leva em consideração a altura do painel de vidro, no caso, 1 metro de altura, e consiste na utilização do ângulo α (alfa) para determinar o

comprimento X do *brise-soleil* através da tangente do ângulo complementar. Com o auxílio do programa, levando em consideração a inclinação da fachada em relação ao norte, e os horários de sol ao longo do ano, determinou-se um ângulo α (alfa) de 25° (figura 13).

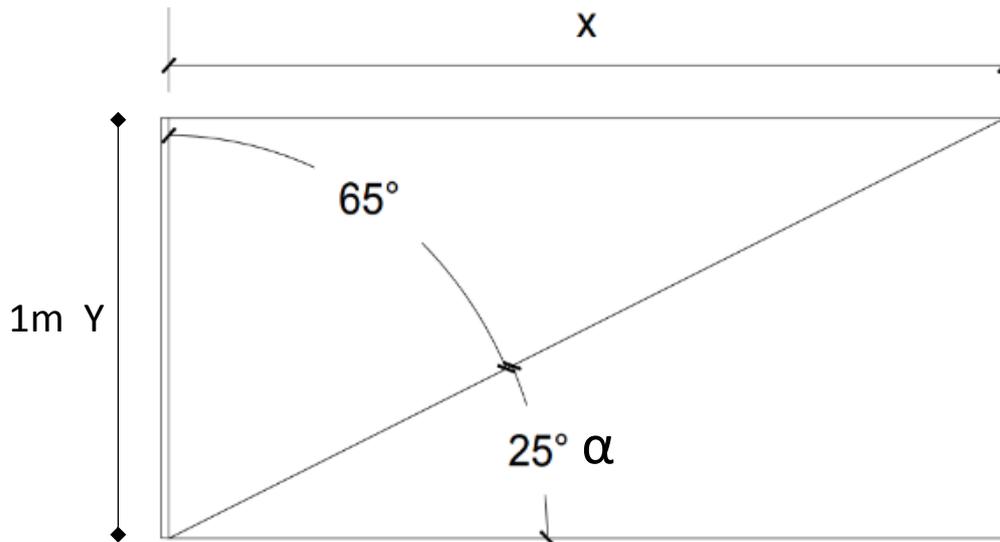
Figura 13: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Norte.



Fonte: Acervo pessoal (gerado no programa SOL-AR)

Como pode ser observado na figura 13, se utilizar um ângulo alfa de 25° e um ângulo γ (gama) de 25° criamos uma proteção solar que compreende um período das 7:00 horas da manhã até as 16:30 da tarde. A Figura 14 mostra em corte um esquema para a visualização da equação, onde X é o comprimento do *brise-soleil* e Y , que tem o valor de 1 metro, representa a altura do painel de vidro já existente na edificação.

Figura 14: Esquema para cálculo do comprimento X



Fonte: Acervo pessoal

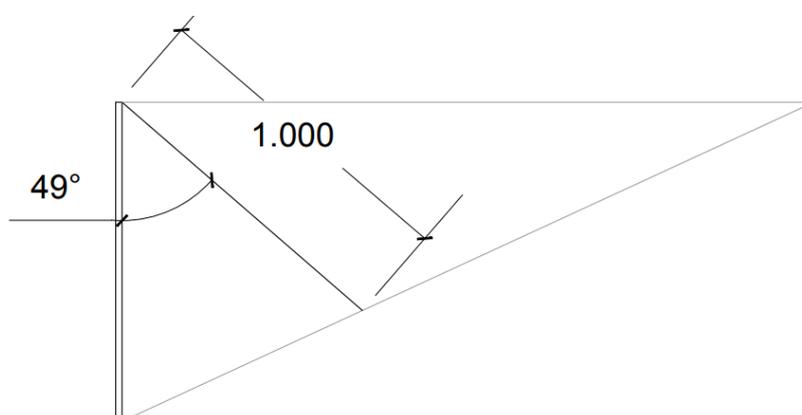
$$\tan 65 = X/1,0$$

$$X = 1,0 \times \tan 65$$

$$X = 2,14 \text{ metros}$$

Segundo a equação, o valor encontrado de X é de 2,14 metros. Porém para efeito de maior praticidade e conveniência, é possível inclinar o painel afim de reduzir seu tamanho, sem prejuízo na área de proteção do sol, desde que seu final se mantenha no limite da linha da tangente. Portanto decidiu-se inclinar o painel em 49° em relação ao eixo Y, obtendo assim, o novo valor de X de 1 metro (figura 15).

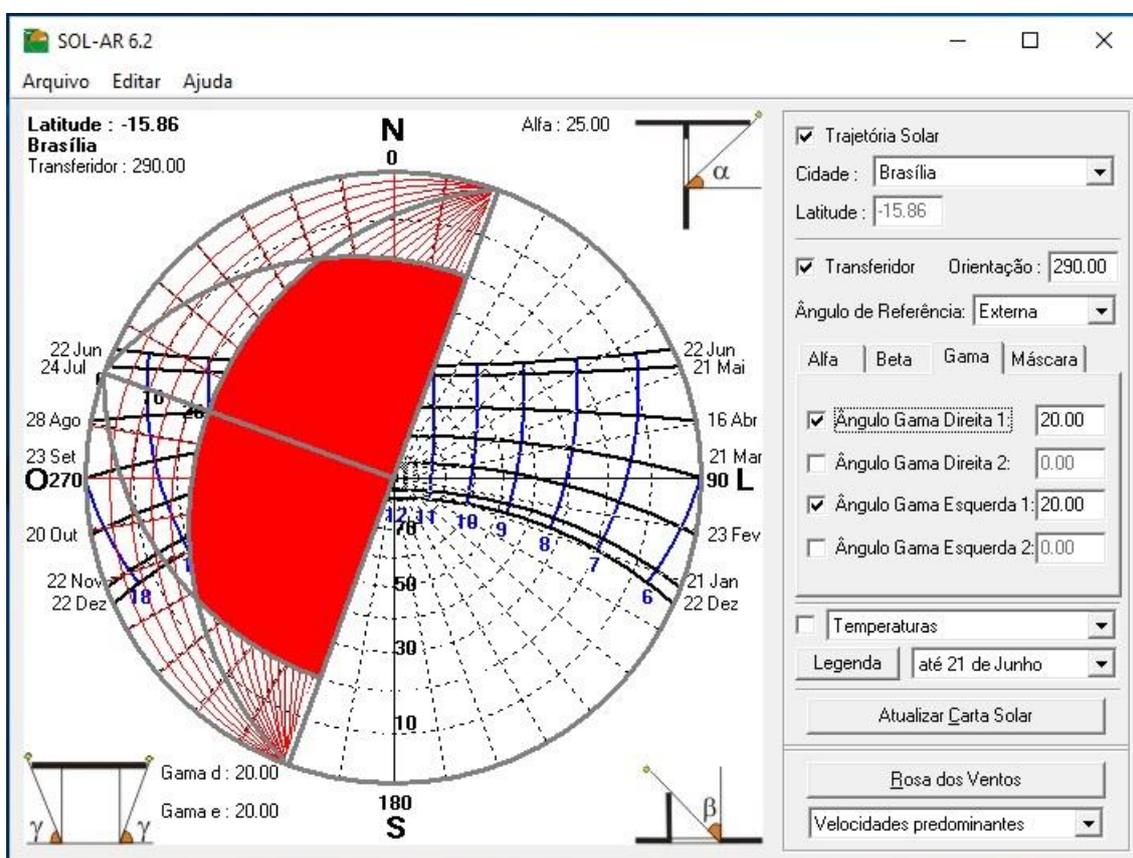
Figura 15: Novo valor de comprimento do painel.



Fonte: Acervo pessoal

Para a fachada Oeste, optou-se por manter os mesmos valores utilizados na fachada Norte, visto que, ao colocarmos o ângulo alfa em 25° e gama em 20°, conseguimos uma proteção que vai aproximadamente até as 17 horas (Figura 16), e para o comprimento e inclinação dos painéis, também se optou por manter os mesmos valores da fachada norte, tal decisão foi feita levando em consideração a praticidade, valor estético das fachadas e o período de proteção ao longo do dia, que é bem próximo dos horários de proteção da fachada Oeste, mantendo assim um padrão entre as duas.

Figura 16: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Oeste.



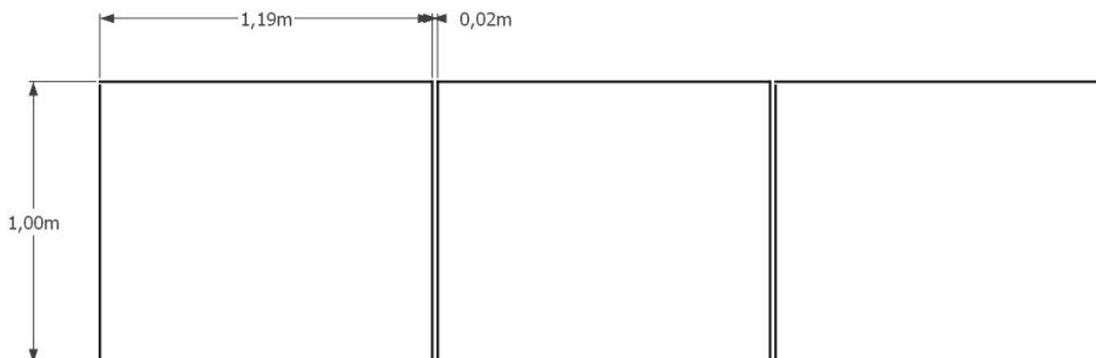
Fonte: Acervo pessoal (gerado no programa SOL-AR)

4.3. ESTRUTURA DO *BRISE* FOTOVOLTAICO

Para o posicionamento dos painéis fotovoltaicos nas fachadas, optou-se por criar uma estrutura metálica, que será fixada diretamente na esquadria das janelas da edificação. Para a criação da estrutura que receberá o painel

fotovoltaico, foi levado em consideração o tamanho da chapa de vidro refletivo das fachadas e sua respectiva esquadria (figura 17).

Figura 17: Dimensionamento das chapas de vidro distância entre elas.

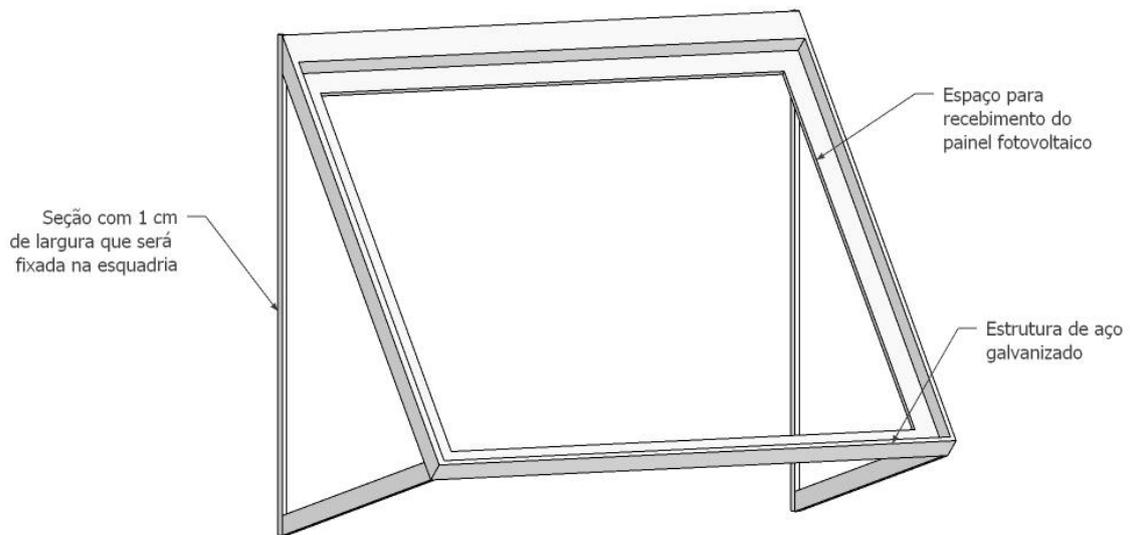


Fonte: Acervo pessoal.

Se analisar a figura anterior, observa-se que as chapas de vidro possuem 1,00 m de altura por 1,19 de largura, com uma distância de 2 cm entre elas, devido a esquadria. Por causa dessa configuração, a estrutura do *brise* atenderá as medidas das chapas de vidro. A estrutura será fixada diretamente na esquadria já existente. A edificação possui 740 chapas de vidro refletivo na fachada Oeste, totalizando uma área de 954,23 m² e na fachada norte o total é de 444 chapas, com área de 551 m².

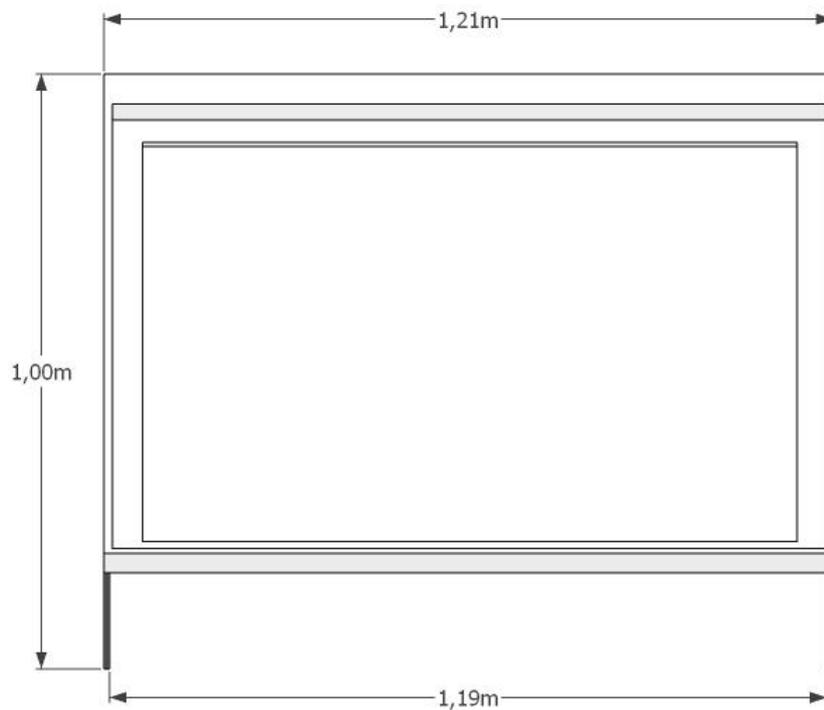
A estrutura proposta para o *brise* será de aço galvanizado, com um espaço próprio para o encaixe dos painéis fotovoltaicos. Como o espaço entre duas chapas de vidro é de 2 cm, a instalação da estrutura na fachada será feita nessas condições, com uma estrutura 1 cm de largura em cada unidade para a aplicação na esquadria (Figuras 18 a 20).

Figura 18: Vista da estrutura para a instalação do *brise* fotovoltaico.



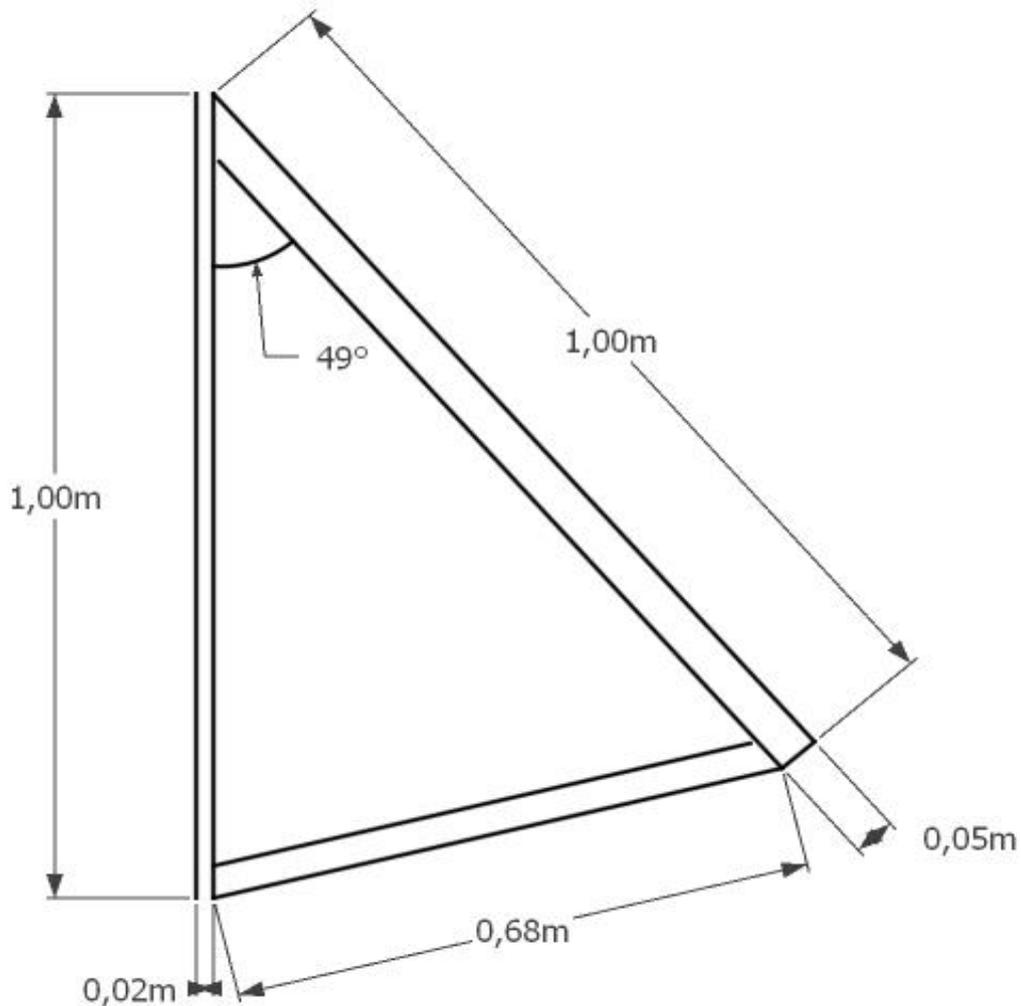
Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Figura 19: Vista frontal da estrutura para a instalação do *brise* fotovoltaico.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Figura 20: Vista lateral da estrutura para a instalação do *brise* fotovoltaico.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

4.4. ESPECIFICAÇÕES DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para a escolha do painel fotovoltaico a ser utilizado na estrutura levou-se em consideração alguns parâmetros como o preço da unidade, o número de células policristalinas, o peso e sua geração média de eletricidade em kwh/mês no Brasil. É importante salientar que todos os valores foram fornecidos pelos fabricantes, e que para essa pesquisa utilizou-se somente os modelos de painéis policristalinos, visto sua maior popularidade e acessibilidade no Brasil. A seguir será apresentada uma tabela comparando 3 modelos similares de fabricantes diferentes (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação dos modelos de painéis fotovoltaicos

Fabricante	Risen Solar	Canadian Solar	Dah Solar
Preço	R\$ 333, 87	R\$ 566,37	R\$ 538,47
Nº de células	36	72	72
Peso/ kg	11	22,4	22,5
Kwh/mês	22	49	49

Fonte: <https://www.minhacasasolar.com.br/painel-solar>, (acesso em: 21/12/2019)

O modelo escolhido para o estudo foi o da *Risen Solar*, por ser o mais rentável economicamente entre os três analisados e por possuir o menor peso.

4.5. BRISE FOTOVOLTAICO COMPLETO

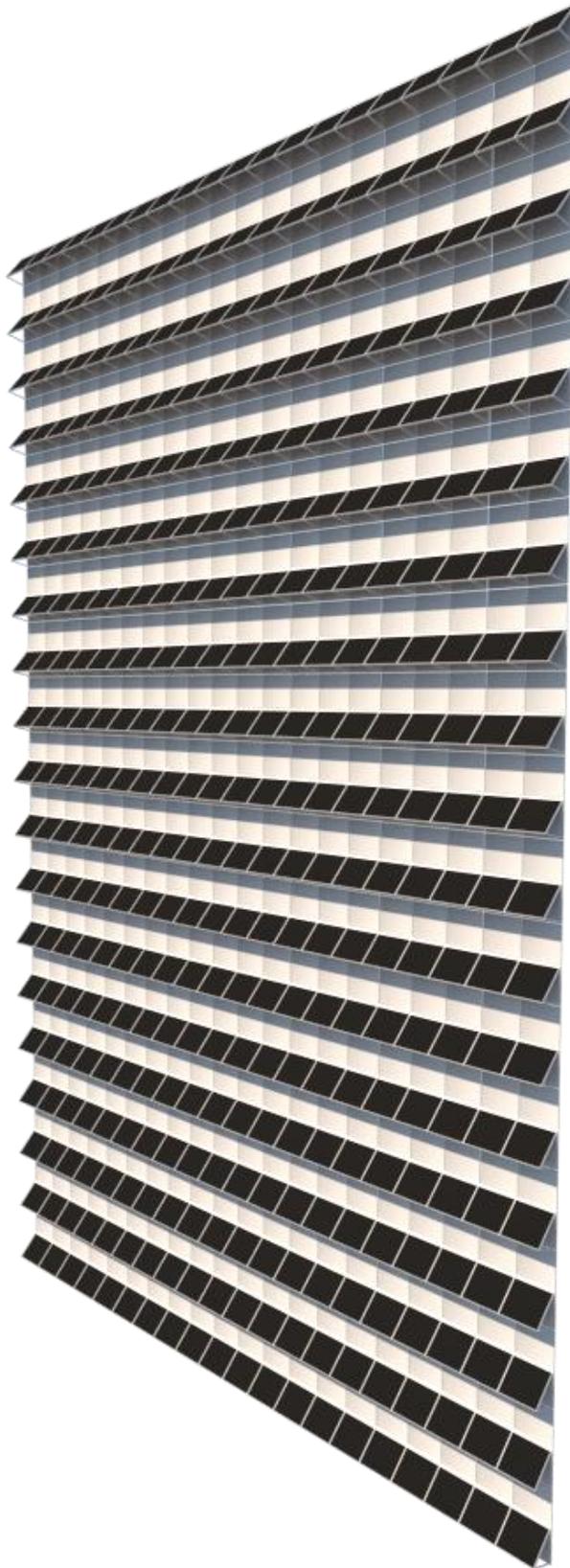
O conjunto da estrutura de aço, já com o painel fotovoltaico devidamente instalado (Figura 21), será fixado diretamente na esquadria das janelas. Para a disposição na fachada, pensou-se na locação de um conjunto de placas fotovoltaicas dispostas em linha horizontal alternando entre uma linha de janelas sem placas fotovoltaicas (Figura 22). Tal decisão foi tomada levando em consideração a entrada de luz natural, visto que não é interessante o bloqueio quase total da mesma.

Figura 21: Unidade fotovoltaica



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Figura 22: Pele de vidro Oeste com *brises* fotovoltaicos

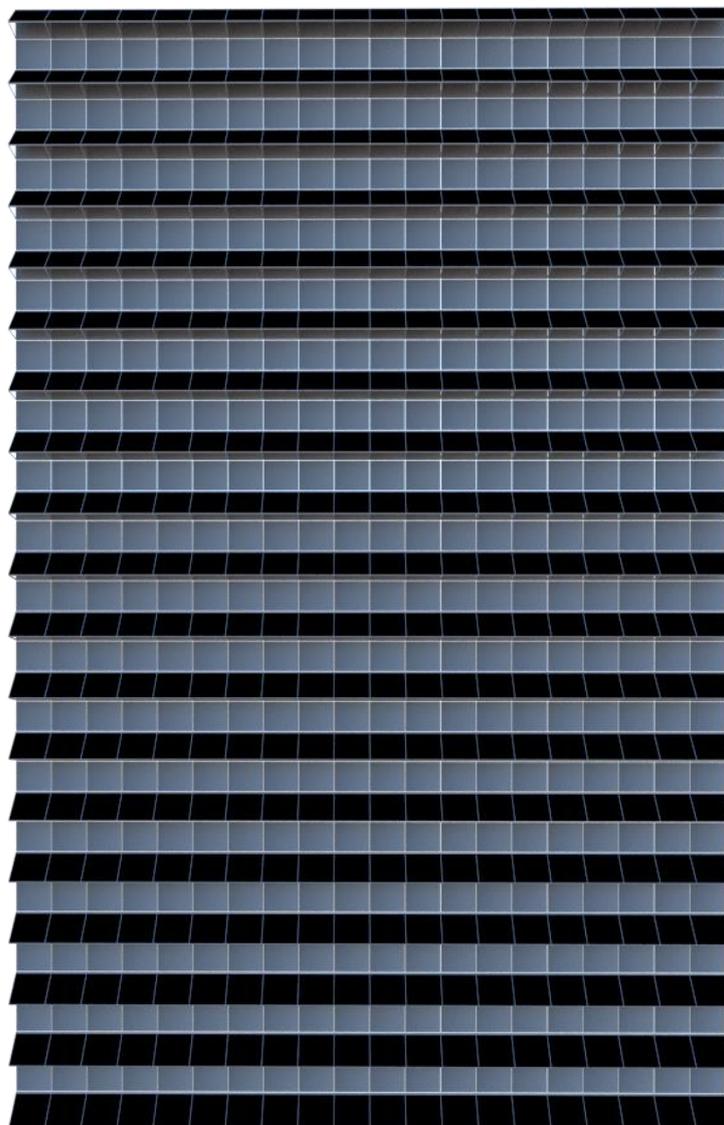


Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

4.6. ESTUDO DE SOMBREAMENTO DAS FACHADAS OESTE E NORTE

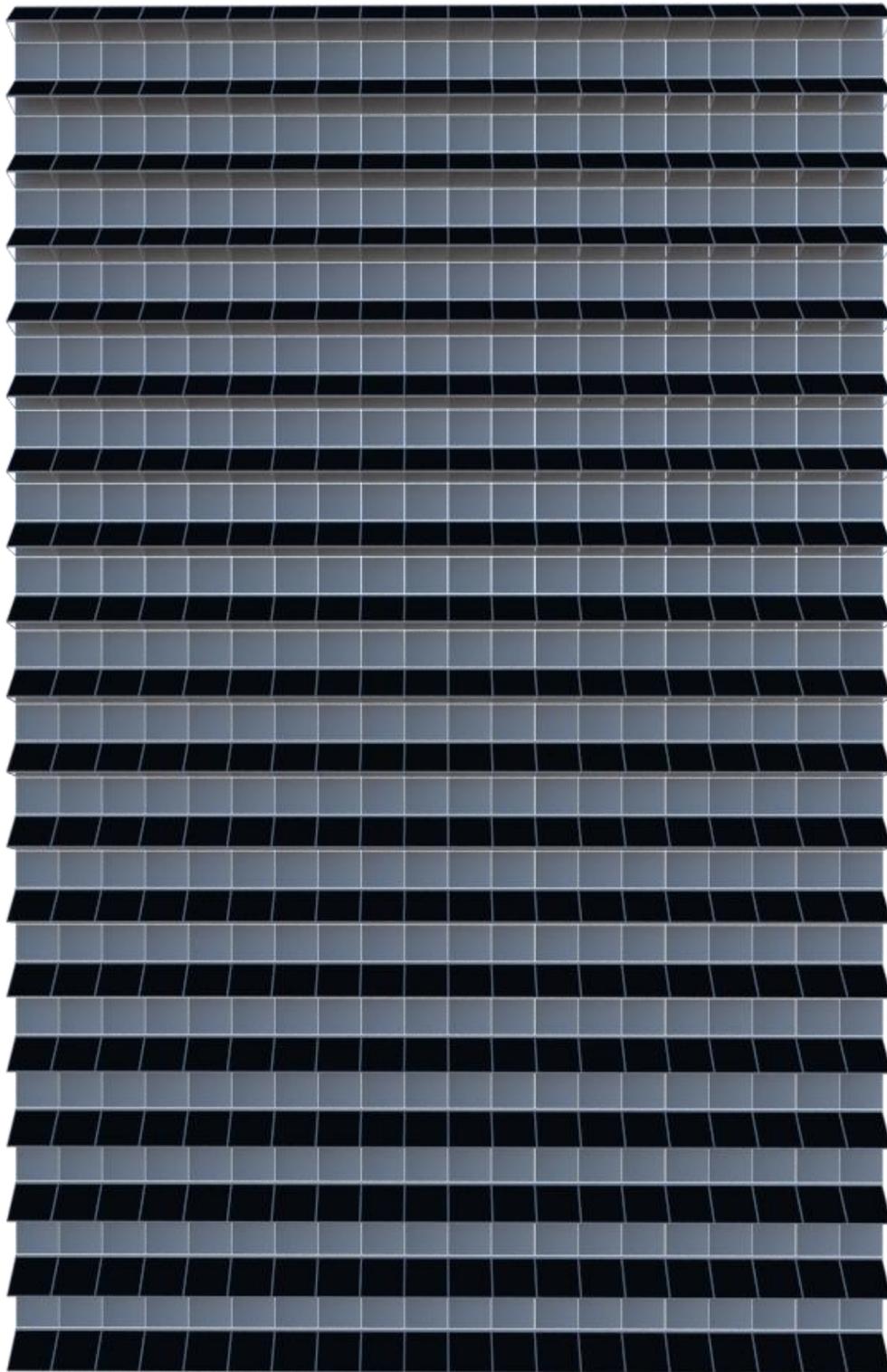
Para o estudo do sombreamento dos *brises* fotovoltaicos propostos, foi realizada a modelagem 3D das fachadas de vidro refletivo individualmente e analisadas utilizando o programa SketchUp. As simulações foram feitas às 9:00 horas, 12:00 horas e 15:00 horas no dia 15 do mês de agosto, utilizando às reais coordenadas cardeais da edificação. Primeiramente estudou-se a fachada Oeste (figuras 23 a 25), e posteriormente a fachada Norte (figuras 26 a 28). Observa-se que na fachada Oeste, o período da manhã não recebe luz solar direta.

Figura 23: Fachada Oeste às 9:00 horas



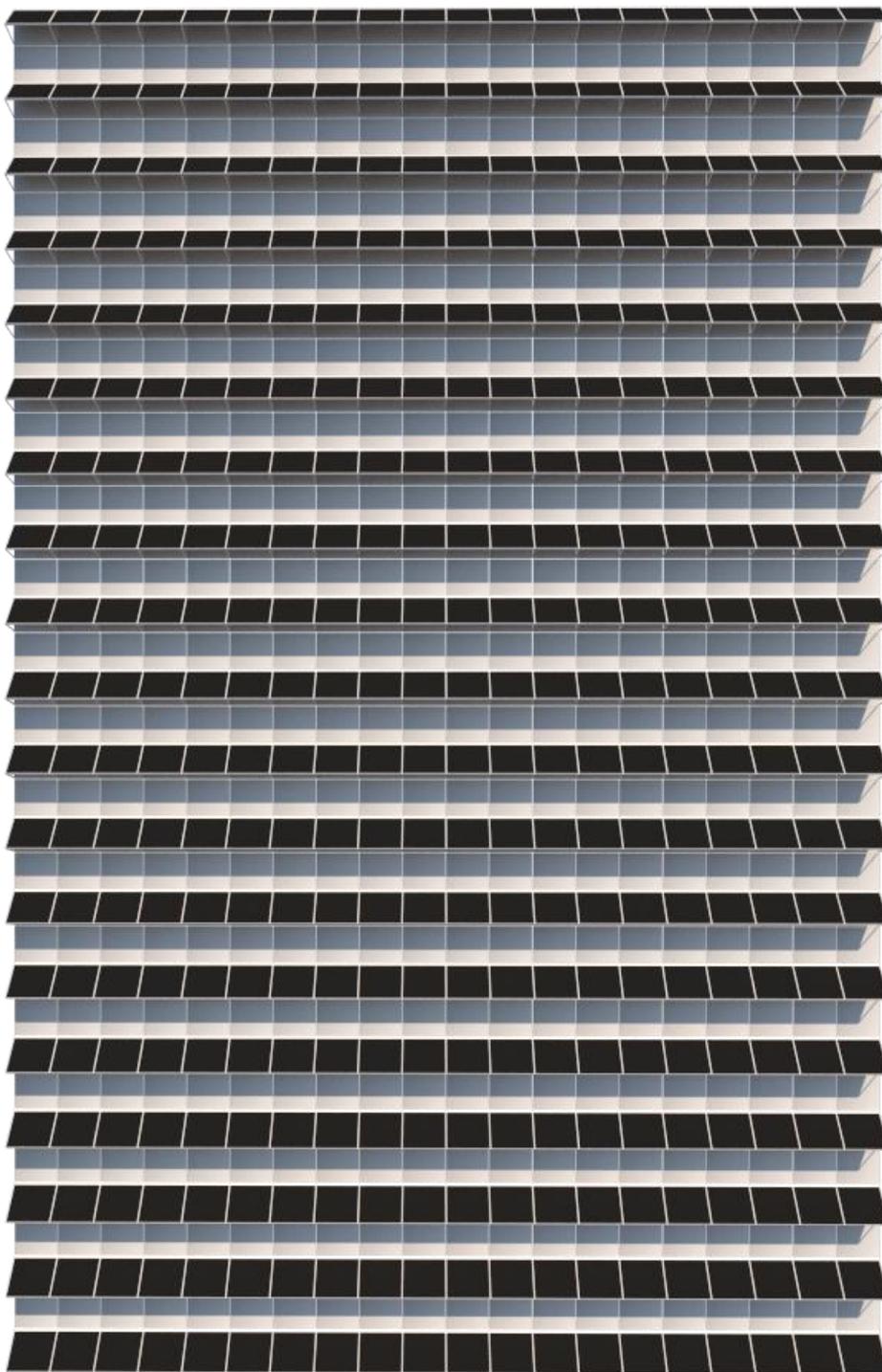
Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp)

Figura 24: Fachada Oeste às 12:00 horas.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

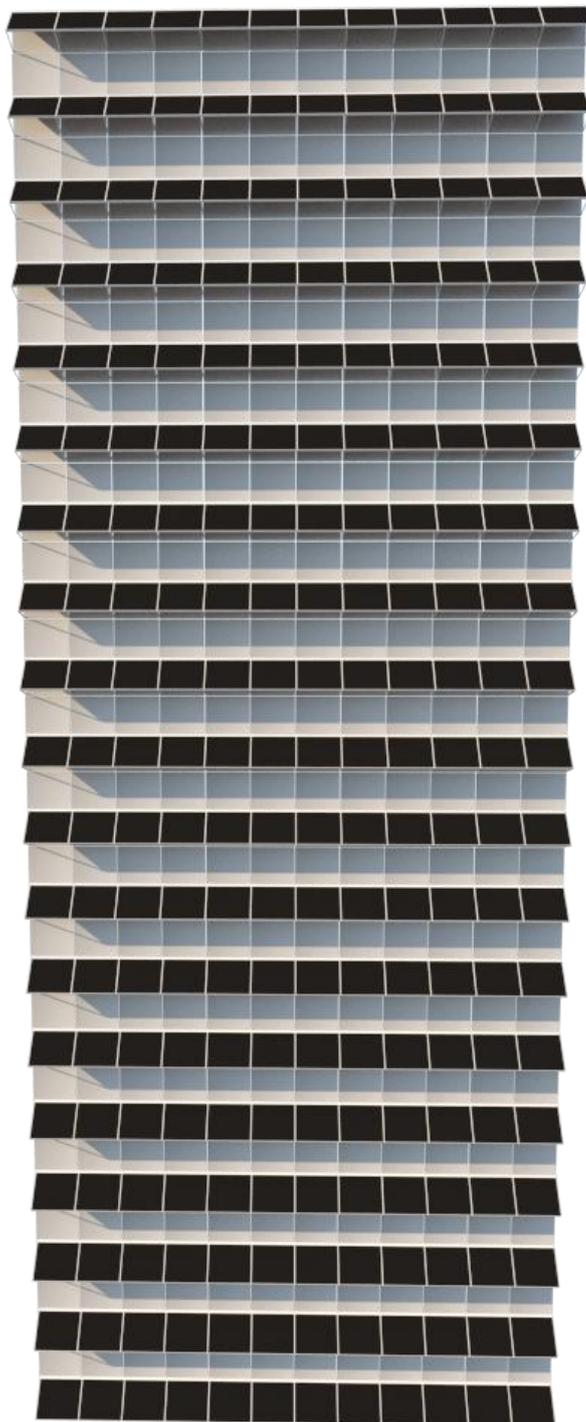
Figura 25: Fachada Oeste às 15:00 horas.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Somente no período da tarde, a partir das 12:00 horas que a fachada Oeste se torna funcional, recebendo luz solar direta.

Figura 26: Fachada Norte às 9:00 horas.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Já a fachada Norte, por ser a mais indicada para essa intervenção, consegue gerar energia de forma homogênea ao longo de todo o dia.

Figura 27: Fachada Norte às 12:00 horas.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Figura 28: Fachada Norte às 15:00 horas.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no SketchUp).

Pelo estudo das imagens anteriores, percebeu-se que na fachada Oeste a proteção dos *brises* só começa efetivamente a partir do meio dia, 12:00 horas, pois antes disso o sol está iluminando a fachada Sul. Sua proteção se dá efetivamente no período da tarde, na Figura 25 observa-se que os *brises* produzem o sombreamento parcial das chapas de vidro da fachada em questão.

Já na fachada Norte, a proteção ocorre de modo uniforme durante todo o dia, na Figura 26 no horário das 9:00 vemos o *brise* gerando um sombreamento parcial, e a partir das 12:00 horas até as 15:00 horas uma proteção total das chapas de vidro da fachada estudada. Essa análise também serve para observamos que os painéis da fachada Norte recebem incidência solar direta durante boa parte do dia, e os painéis da fachada Oeste somente começam a receber incidência solar a partir das 12:00 horas.

4.7. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O resfriador possui condensação a ar, controle micro processado e compressores do tipo parafuso. O gabinete da unidade contém toda a fiação, tubulação, controles, carga do refrigerante e características especiais requisitadas para *startup* no campo.

O sistema é do tipo expansão indireta com capacidade para atender uma carga térmica máxima simultânea de 304 TR.

Os condicionadores de ar são do tipo “fan-coil” e utilizam água gelada para o resfriamento do ar a ser insuflado nos ambientes exceto na sala de automação no 1º subsolo.

A Central de Água Gelada está localizada na cobertura do prédio em local já contemplado no projeto de arquitetura. Ainda na cobertura estão localizados os conjuntos moto bombas do circuito de água gelada, assim como os componentes elétricos de alimentação destes equipamentos.

O circuito de água gelada é composto por duas unidades resfriadores de líquido e três conjuntos moto bombas, sendo uma reserva. Este circuito tem por função resfriar a água que retorna dos condicionadores de ar do tipo *fan coil* e

controlar a vazão e temperatura necessárias ao atendimento dos condicionadores.

Os pavimentos tipo são atendidos cada um por 02 (duas) casas de máquinas. Cada uma destas casas de máquinas abriga um condicionador de ar.

Cada *fan coil* está interligado a dutos de insuflamento que correm no perímetro do ambiente beneficiado, no interior de sanca, com grelhas insuflando o ar horizontalmente. O retorno é feito pelas luminárias e o ar é conduzido até a casa de máquinas através de um furo localizado acima do forro.

No pavimento térreo e na sobreloja estão instalados condicionadores de ar do tipo “fan coil compacto” em cada loja ou salão.

Toda a unidade possui um consumo máximo de 185,0 Kw ou 1480,0 Kw/h, valor encontrado multiplicando o valor do consumo em Kw por 08 (oito) horas de uso diárias, que é o valor médio da jornada de trabalho diária em edifícios comerciais. Esses dados foram obtidos no Memorial Descritivo e Especificações Técnicas do Sistema de Ar Condicionado da edificação Banco do Brasil Sede VII.

É dito por Edward Borgstein (2015), que a média recomendada para consumo de uma edificação, determinada pelo Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil, é de 144,0 Kw. Logo, vê-se que o Edifício Banco do Brasil Sede VII está gerando um consumo maior que a média recomendada, somente com seu ar condicionado.

4.8. DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO

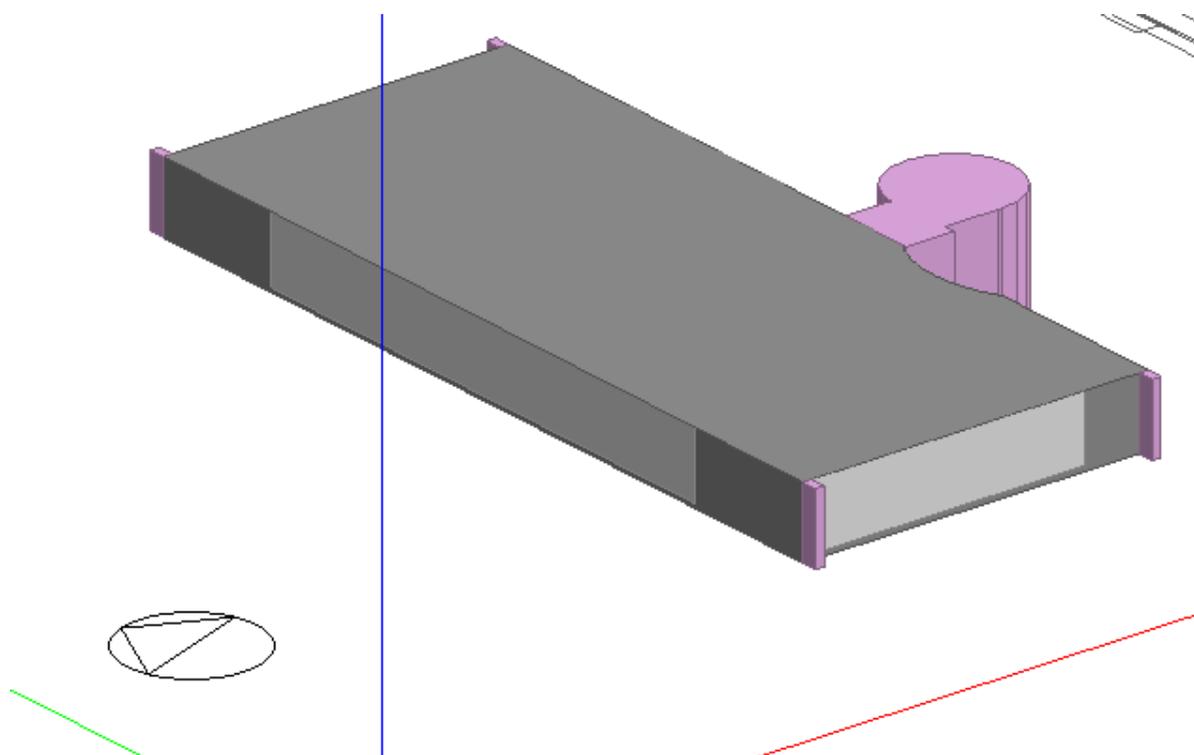
Para realização da avaliação do desempenho termoenergético desenvolveu-se 3 modelos:

1. Um cenário de referência (C0), como a edificação se encontra atualmente, em que não há emprego de brises nas fachadas;
2. Um cenário (C1) com emprego de brises na fachada norte;
3. E um outro cenário (C2) com emprego de brises na fachada oeste.

No presente estudo avaliou-se basicamente os pavimentos tipos da torre, excluindo-se o embasamento do térreo e áreas técnicas da cobertura. Para obter

dados para toda torre, simulou-se as 3 diferentes condições de exposição dos pavimentos para cada um dos cenários: o último pavimento, com cobertura exposta; o primeiro pavimento com laje de piso exposta; e um modelo intermediário, que representa os pavimentos do 2º ao 12º.¹ Assim, para totalizar os dados da torre, somam-se os dados do último e o primeiro pavimentos com 11 vezes os valores do modelo intermediário. A Figura 29 apresenta um dos modelos desses pavimentos desenvolvidos no *DesignBuilder*.

Figura 29: Modelo base de um pavimento tipo modelado no *DesignBuilder*.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no *DesignBuilder*).

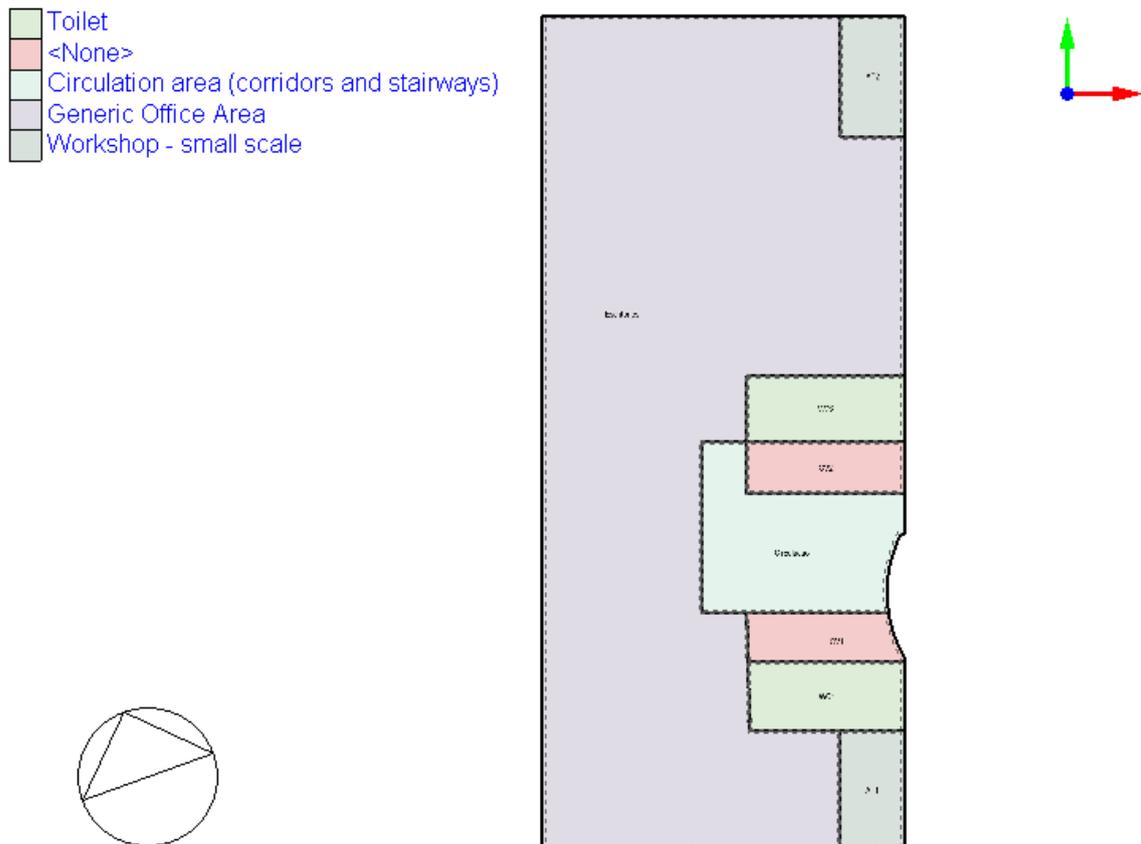
O modelo desenvolvido no *DesignBuilder* segue em linhas gerais o projeto arquitetônico, especificamente a geometria como um todo.

O volume de circulação vertical de escadas e as saliências dos pilares externos foram modelados como *component block*, somente como elemento de sombreamento e não como zona térmica como os demais ambientes.

¹ Por não realizar trocas térmicas, a cobertura e piso do modelo intermediário, a cobertura do modelo inferior e o piso do modelo superior são modelados como adiabáticas.

O layout, apresentado na Figura 30, sofreu uma leve simplificação, unificando áreas com os mesmos tipos de uso, como os banheiros e as duas áreas de escritórios, o que tem pequena interferência na avaliação termoenergética. Os *shafts* foram modelados abertos, com *holes* nos pisos e coberturas e sem nenhuma carga ou atividade.

Figura 30: Disposição do layout e seus usos.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no *DesignBuilder*).

As cargas térmicas de cada tipo de zona térmica foram definidas a partir dos dados *default* da biblioteca do programa, com exceção da distribuição de potência instalada da iluminação artificial (DPI) que se utilizou como referência os valores do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e o RAC - Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações e suas Portarias Complementares) para o nível de etiquetagem A (INMETRO, 2009). Esses

valores são apresentados na Tabela 2. As rotinas de operação são derivadas de um funcionamento da edificação das 8h às 18h, com um intervalo de almoço das 12h às 14h, para os cinco dias da semana. Contudo também se considera a ocupação das equipes de limpeza, segurança e manutenção.

Tabela 2: Ocupação e potenciais de equipamentos e iluminação por tipo de ambiente.

	Escritório	Circulação	Banheiro	Área Técnica	Vazias (Shaft)
Ocupação (pessoas/m ²)	0,1100	0,2889	0,1124	0,0500	-
Equipamentos (W/m ²)	11,77	1,85	5,48	5,00	-
Iluminação (W/m ²)	9,7	7,1	5,0	6,0	-

Fonte: Acervo pessoal.

A área de escritórios possui controle de iluminação artificial a partir da disponibilidade de iluminação natural com dois pontos de controle com um valor de referência de 300 lux.

O sistema de condicionamento de ar segue a mesma lógica do sistema de iluminação artificial e utiliza o RTQ-C como referência (INMETRO, 2009). Utiliza-se um Coeficiente de Performance (CoP) do sistema de condicionamento de ar de 3,23, o que equivale a uma etiquetagem nível A. Utiliza-se um *setpoint* de resfriamento de 24°C e não há *setpoint* para aquecimento nem *setbacks*. Também não há ventilação natural e a taxa de infiltração é mantida mínima, somente pelas frestas das esquadrias, em 1,0 renovações de ar por hora. O período de operação do sistema de condicionamento segue o período de ocupação da edificação.

Quanto aos materiais de vedação, estes seguem as definições de projeto e são modelados a partir das orientações do estudo de camadas equivalentes de Weber *et al.* (2017). As divisórias internas são em alvenaria, assim como as paredes externas, mas que possuem revestimento cerâmico de cor escura, e assim com absorvância de 0,7 que segue parâmetro da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Há também trechos da fachada com vidro, mas que não são vedações translúcidas pois possuem paredes encostadas por trás. Dessa forma são

modeladas com paredes de alvenaria com uma camada adicional de vidro. Já a laje de cobertura e entrepiso são modeladas em concreto maciço, contrapiso e revestimento cerâmico, com 22 cm no total, e possuem absorvância de 0,7, assim como as paredes externas. Os elementos de sombreamento de pilares e volume da caixa de escadas possuem as mesmas características das paredes externas com revestimento cerâmico. A Tabela 3 apresenta os valores de resistência térmica para as composições dos sistemas mencionados.

Tabela 3: Caracterização termofísica dos sistemas opacos da envoltória.

	Resistencia Térmica (m ² K/W)
Divisória alvenaria	0,513
Laje de cobertura e entrepiso	0,405
Parede Externa com revestimento de vidro	0,428
Parede Externa com revestimento cerâmico	0,433

Fonte: Acervo pessoal.

Os vidros da envoltória são refletivos de 6 mm com as características físicas conforme a Tabela

Tabela 4: Caracterização física do vidro.

	Vidro Simples 6 mm
Fator Solar (W/W)	0,321
Transmissão luminosa (W/W)	0,201
Transmitância Térmica (W/m ² K)	4,975

Fonte: Acervo pessoal.

Os *brises* modelados para os dois cenários (C1 e C2) seguem o padrão fornecido², com uma inclinação de 49°, comprimento de 1 m e um

² Utilizou-se os dados da modelagem do SketchUp e do projeto em Autocad.

espaçamento entre elementos de sombreamento de 2,07 m. Como modelou-se somente um andar, o primeiro elemento de sombreamento inicia-se no nível da laje. No cenário C1, empregou-se os *brises* na fachada predominante volta ao norte, enquanto em C2 os *brises* são empregados na fachada predominante voltada ao oeste.

As simulações são realizadas para o período inteiro do ano e são extraídos os dados de consumo em kWh.ano, assim como dados normalizados em kWh.ano/m². Considera para o cálculo da área somente a área útil. A esse fim, utiliza-se o arquivo climático tipo swera para a cidade de Brasília.

4.9. POTENCIAL DE GERAÇÃO ELÉTRICA

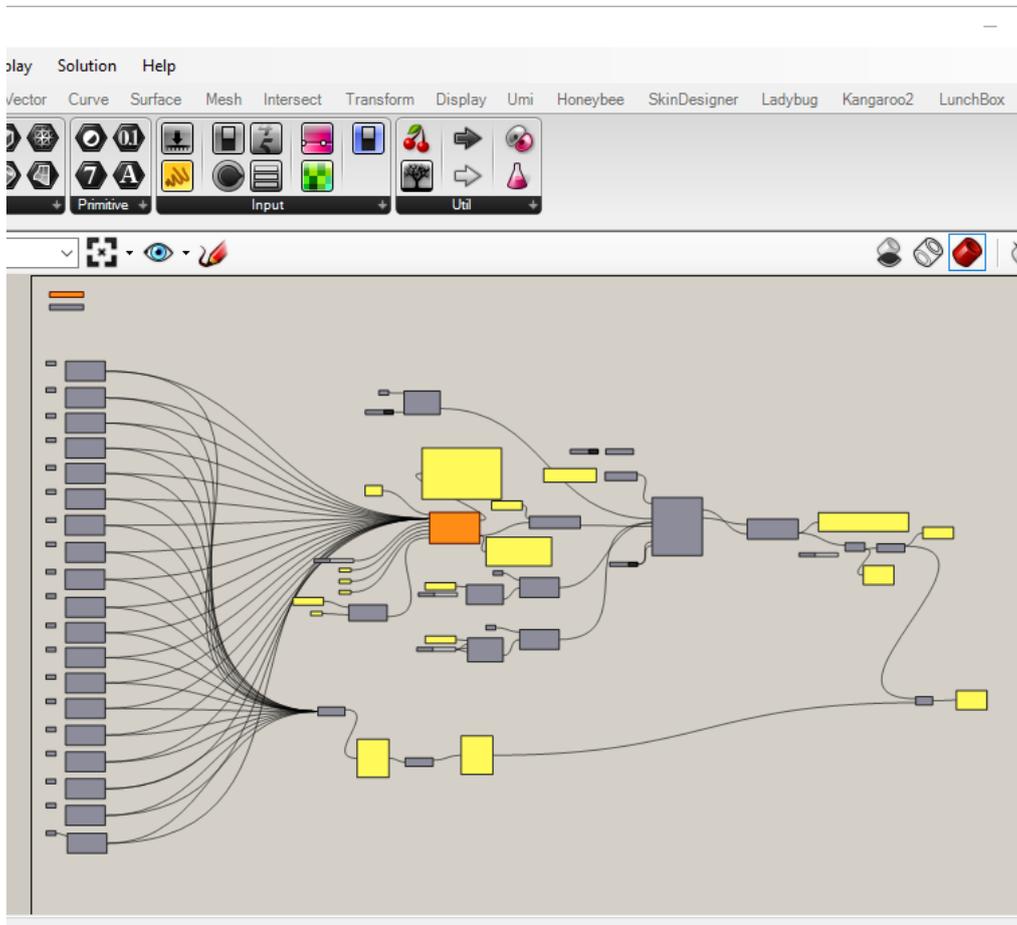
Para avaliação do potencial de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos realizou-se a modelagem de toda a volumetria da torre da edificação, com os *brises* com painéis fotovoltaicos na fachada predominante voltada ao Norte (C1), assim como na fachada voltada predominantemente ao Oeste (C2). Da mesma forma que na modelagem utilizada para a avaliação termoenergética, utilizou-se as especificações disponíveis nos projetos de arquitetura em dwg e no modelo de *brises* no arquivo de *SketchUp*, com *brises* com uma inclinação de 49°, comprimento de 1 m e um espaçamento entre elementos de sombreamento de 2,07 m, o que no total contabilizam 19 elementos de sombreamento do último ao primeiro andar.

Tanto para C1 quanto para C2 modelou-se a geometria externa conforme projeto, inclusive as saliências dos pilares que funcionam como *brises*. A característica de reflexão dos materiais externos também foi modelada, com as paredes externas com refletância de 0,3 e vidros com transmissão luminosa de 0,2, valores equivalentes aos empregados na simulação termoenergética.

O sistema de geração fotovoltaica foi caracterizado com eficiência de 17% e potência por módulo de 300 W. Em C1, utilizou-se 8 módulos ligados em série em cada elemento de sombreamento, o que ocupou 98% da área de cada elemento de sombreamento. Enquanto em C2 foram 20 módulos ligados em série em cada elemento de sombreamento que ocuparam 97% de cada elemento

de sombreamento. Esses dados foram inseridos no *plugin Honeybee*, dentro do *Grasshopper*. A Figura 31 mostra o processo de programação por meio dos componentes dos dois programas.

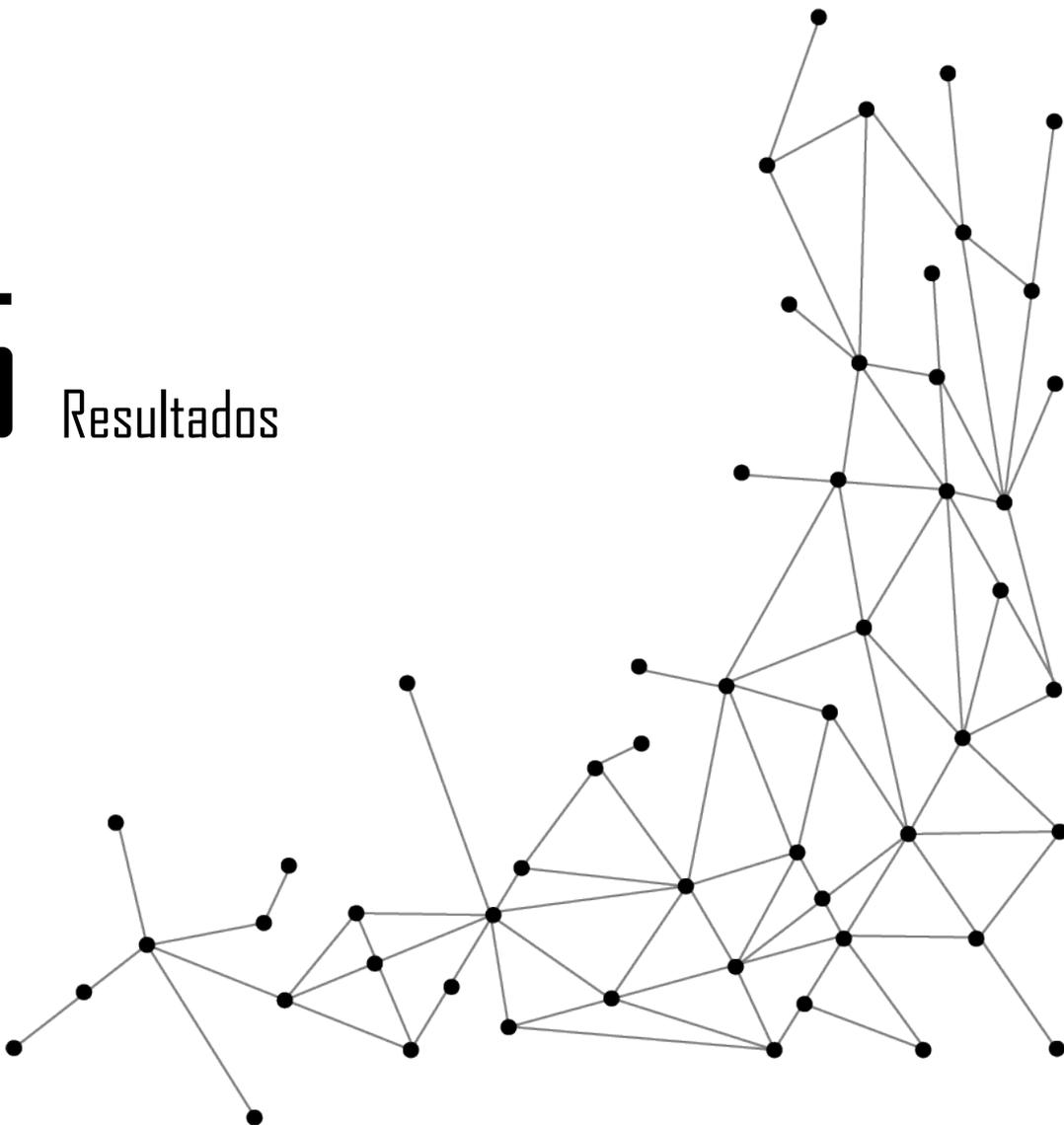
Figura 31: Esquema do processo de programação para a simulação da geração de energia no *Honeybee*.



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no *Honeybee*).

O arquivo climático utilizado na simulação também foi o swera para Brasília. Avaliou-se a geração por ano em kWh.ano e kWh.dia, assim como esses mesmos dados normalizados, por metragem quadrada, em kWh.ano/m² e kWh.dia/m².

5 Resultados



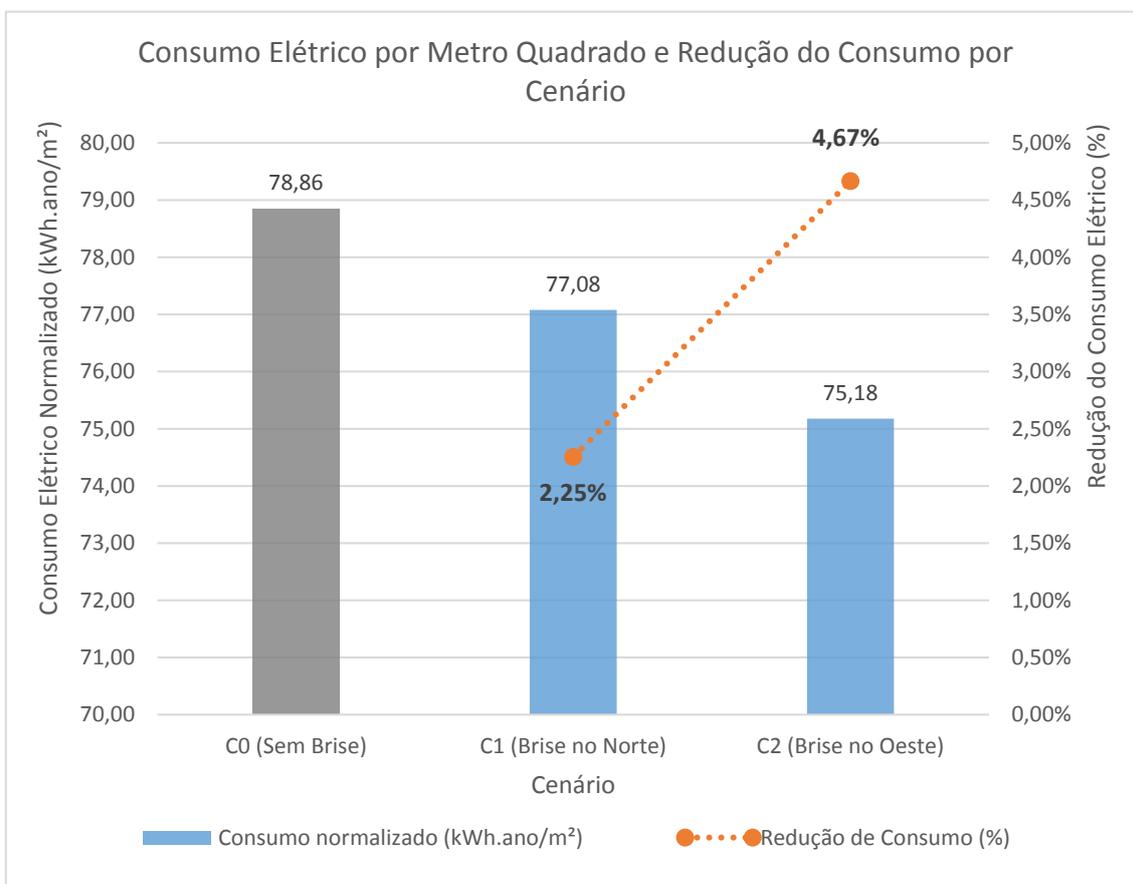
5. RESULTADOS

Nos tópicos a seguir serão apresentados os resultados obtidos através da simulação computadorizada.

5.1. DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO SOMBREAMENTO

O emprego dos *brises* mostrou-se benéfico em ambas as fachadas, contudo os valores são tímidos como demonstra o gráfico na Figura 32. O emprego dos *brises* na fachada predominantemente Norte possibilita uma redução de 2,25% em comparação com o cenário sem *brises*, enquanto a fachada predominantemente oeste possibilita uma redução de 4,67%, ao somarmos os dois resultados temos uma redução total de 6,92%. Em parte, isso pode ser explicado pelo próprio formato do edifício que possui maior fachada na orientação Oeste.

Figura 32: Gráfico do Consumo Elétrico por metro quadrado e redução de consumo por cenário avaliado.

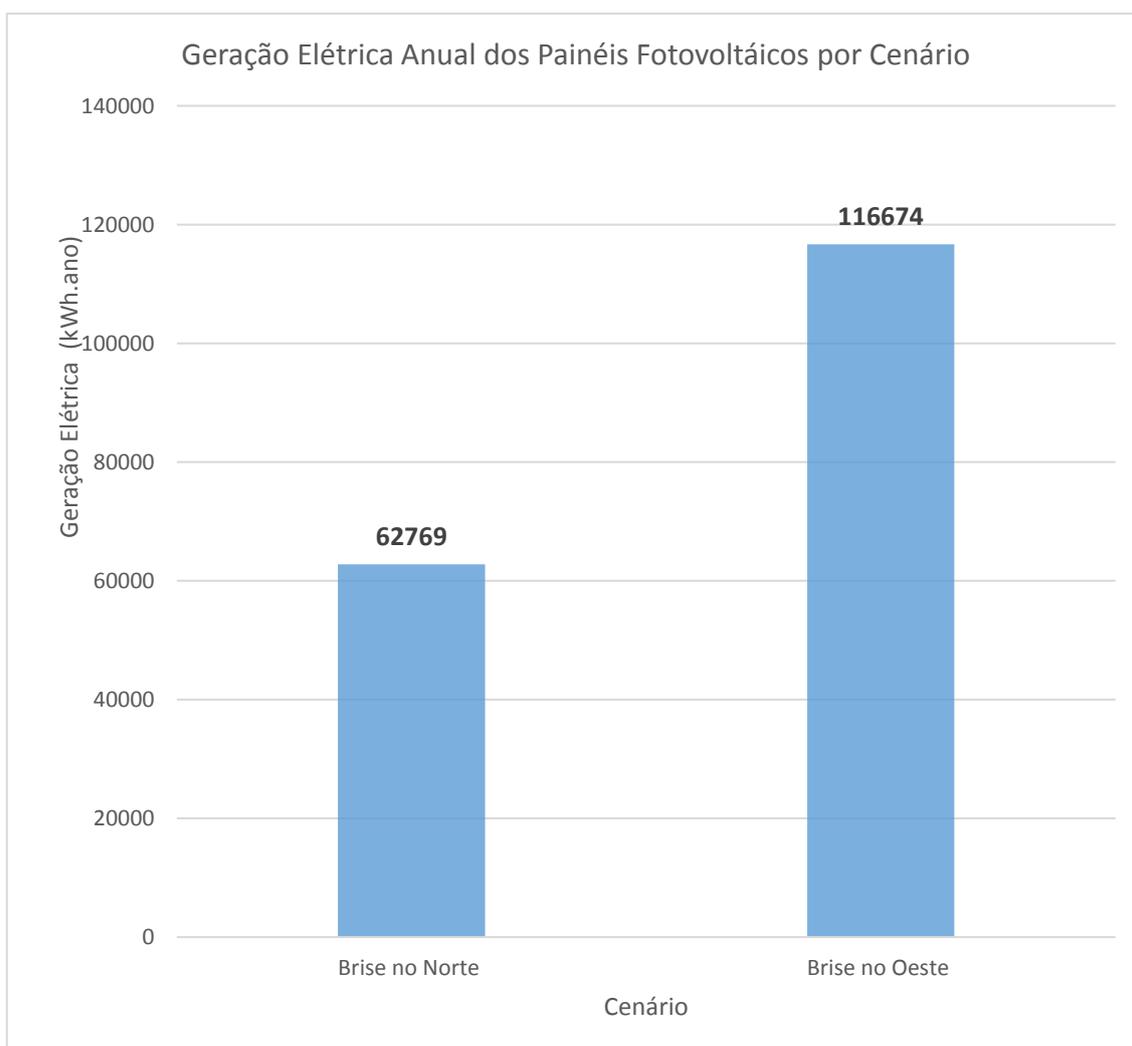


Fonte: Acervo pessoal.

5.2. POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

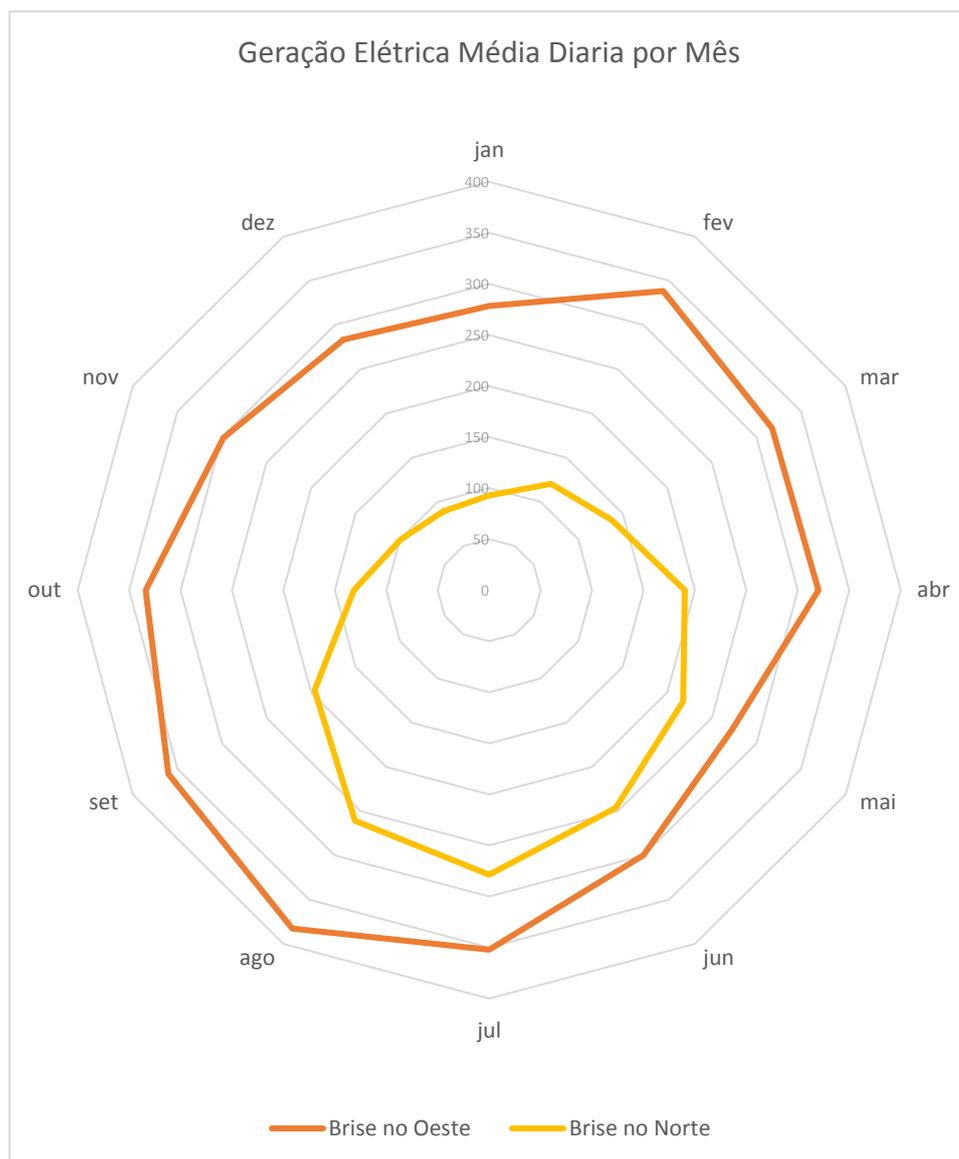
A instalação dos painéis fotovoltaicos nos *brises* da fachada predominantemente oeste foram capazes de gerar mais energia elétrica do que os painéis fotovoltaicos nos *brises* da fachada predominantemente Norte, como mostra o gráfico da Figura 33, com uma geração de 116 mil kWh.ano no Oeste e 62 mil kWh.ano na fachada norte. Ao analisar a geração por mês dos dois cenários, no gráfico da Figura 34, nota-se que a geração dos *brises* na fachada Oeste é superior durante todos os meses do ano. Em ambos os cenários, a maior geração ocorre nos meses de junho a setembro, quando há alta taxa de radiação e a altura solar é mais baixa, o que melhora a exposição dos painéis bastante inclinados.

Figura 33: Gráfico de geração elétrica anual por cenário estudado.



Fonte: Acervo pessoal.

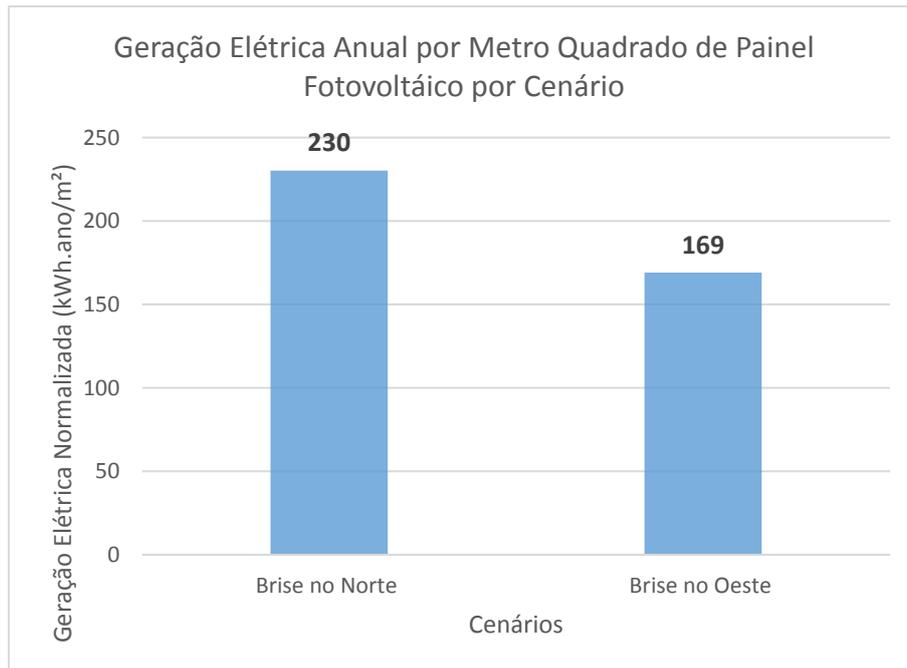
Figura 34: Gráfico de geração elétrica média diária por mês para os cenários.



Fonte: Acervo pessoal.

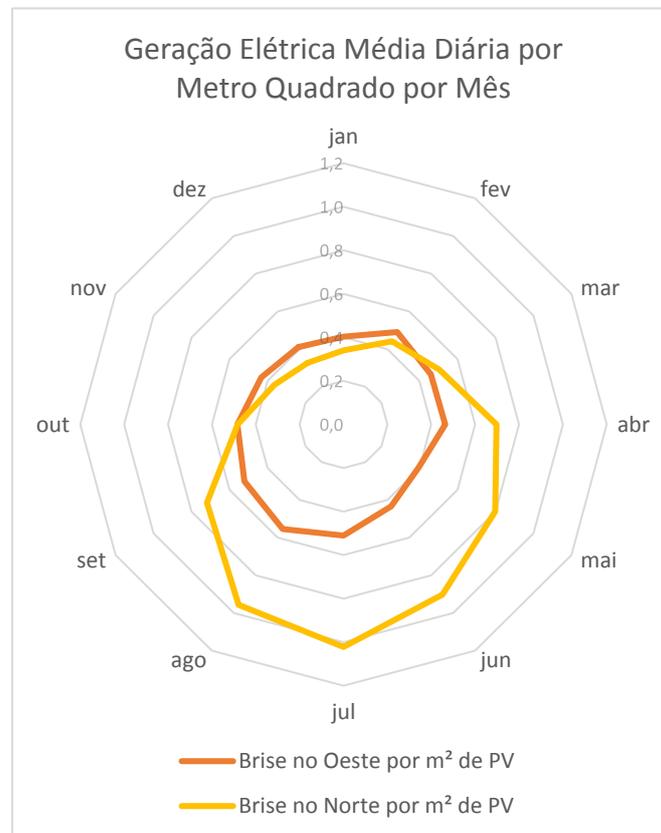
Contudo, apesar da maior geração dos painéis fotovoltaicos da fachada Oeste, estes são menos eficientes e geram menos eletricidade por metro quadrado, como mostra o gráfico da Figura 35, em que os painéis da fachada Norte geram 230 kWh.ano/m² enquanto os da fachada Oeste geram 169 kWh.ano/m². Essa tendência é notada praticamente durante todo ano, em que a fachada Norte gera mais energia por área de painéis, somente nos meses de verão que isso não ocorre, como se percebe no gráfico da Figura 36. Em parte, isso pode ser explicado também pela alta inclinação dos painéis, que prejudica mais a fachada norte por possuir maior altura solar nessa orientação.

Figura 35: Gráfico de geração elétrica anual por metro quadrado por cenário estudado



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 36 Gráfico de geração elétrica média diária por mês por metro quadrado para os cenários estudados



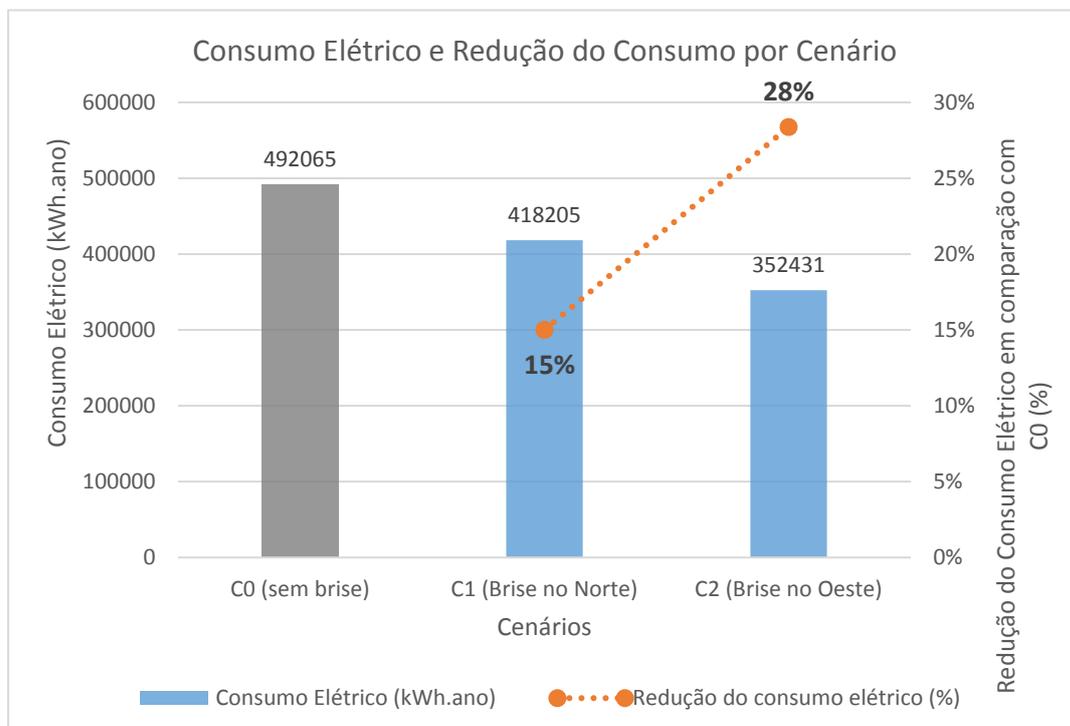
Fonte: Acervo pessoal.

5.3. POTENCIAL DE REDUÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO

Ao combinar o potencial de redução do consumo energético da edificação das duas estratégias, sombreamento e geração de energia, obtém-se para o cenário C2, com os *brises* na fachada predominantemente Oeste, uma redução de 28%, como pode ser observado no gráfico da Figura 37. Já na fachada predominante Norte este valor é quase a metade, de 15%. Isso em parte pode ser explicado pela própria geometria da edificação.

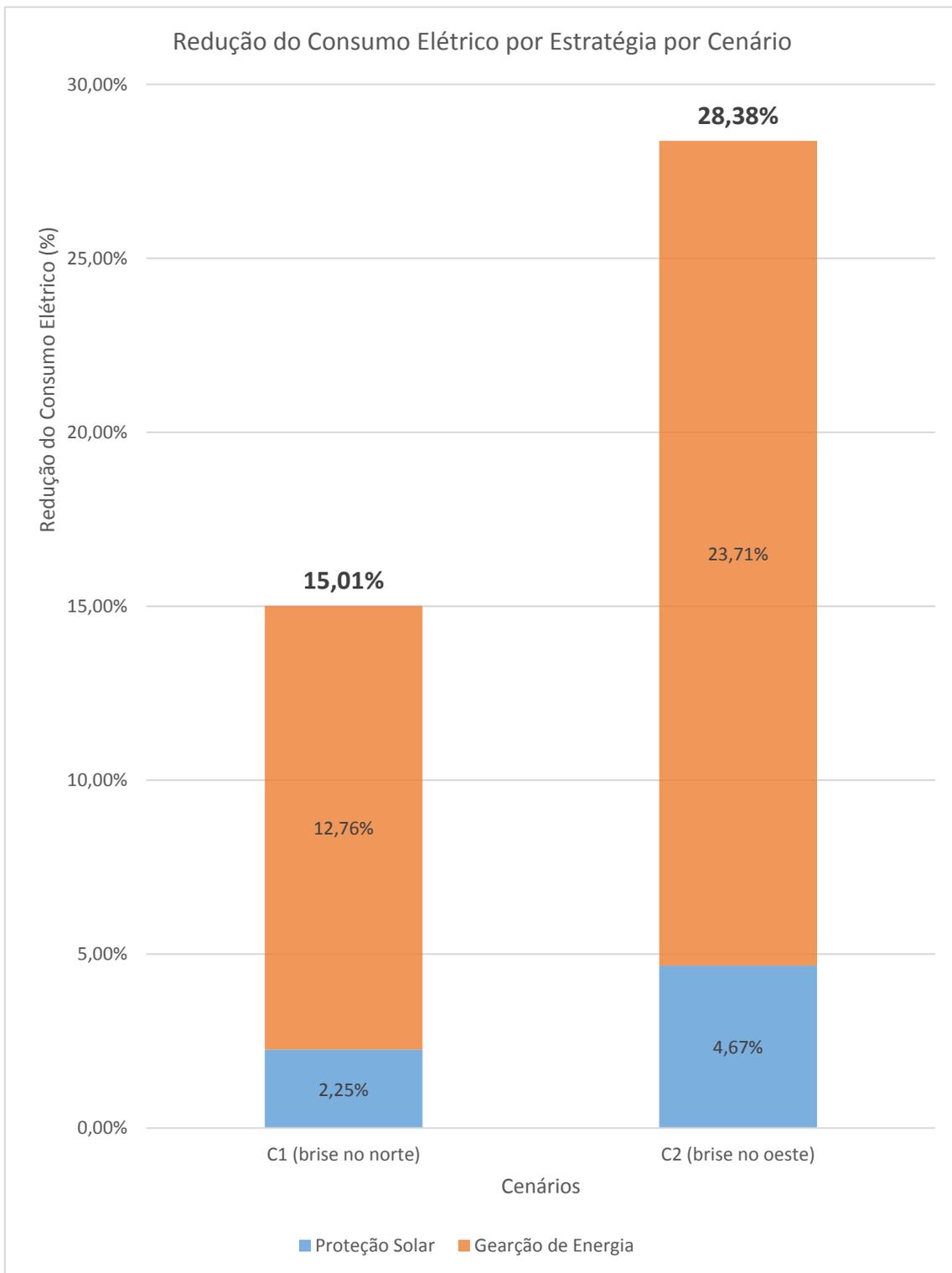
Nota-se a partir do gráfico da Figura 38, que a maior parte dessa redução em ambos os cenários se deve a geração de energia elétrica fotovoltaica. Na fachada predominantemente Oeste a geração de energia possibilita uma redução de 23,71%, enquanto na fachada predominantemente norte a redução é de 12,76%. Já o sombreamento foi responsável por uma redução de 4,67% e 2,25% respectivamente. Ao somarmos tudo, temos uma redução total de 43,40% no consumo energético. É importante ressaltar que a pesquisa não levou em consideração outros gastos como instalação e manutenção do equipamento proposto nas fachadas.

Figura 37: Gráfico do consumo elétrico e redução do consumo elétrico por cenários.



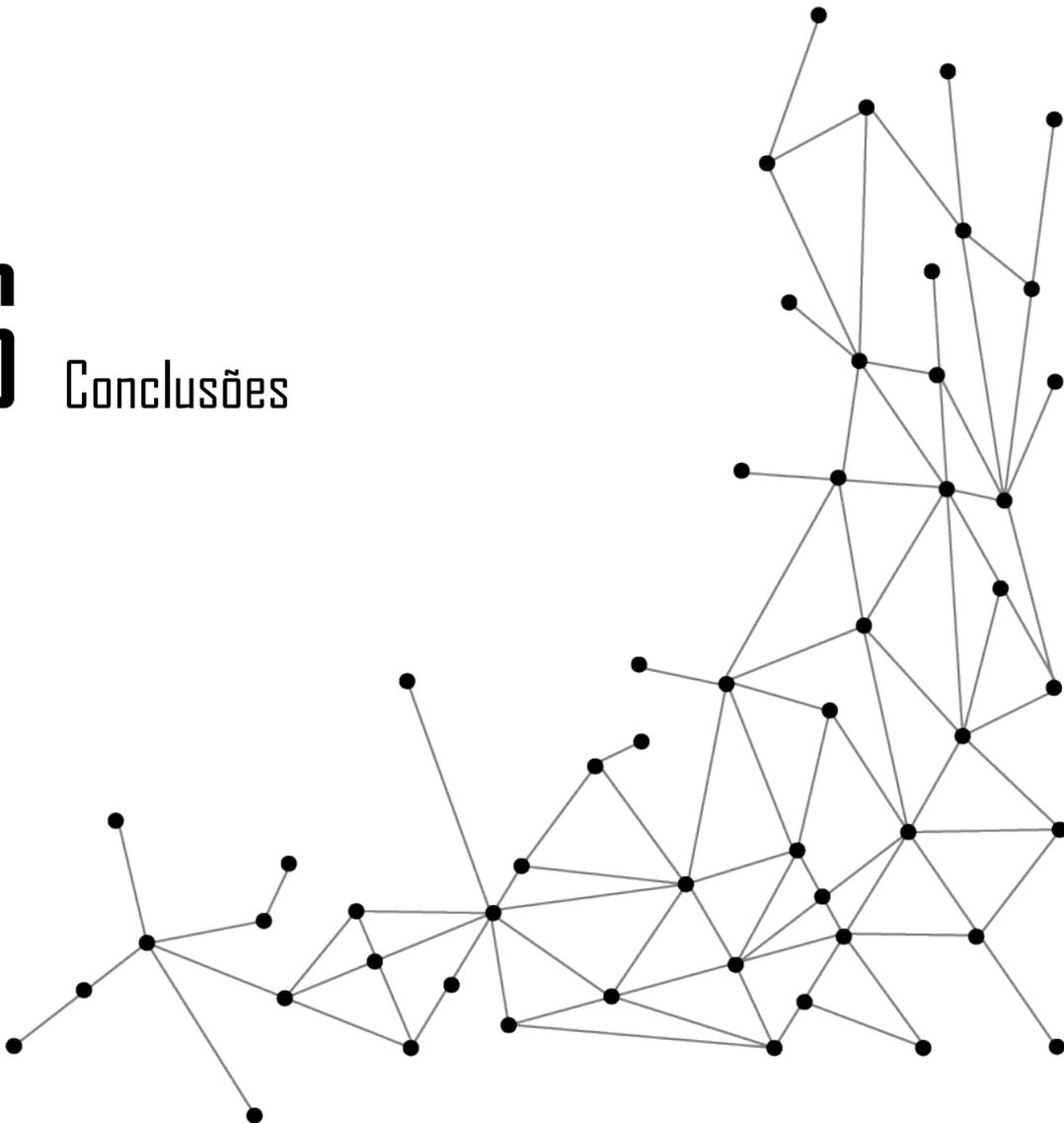
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 38: Gráfico da redução do consumo elétrico por estratégia para cada cenário.



Fonte: Acervo pessoal.

6 Conclusões



6. CONCLUSÕES

Os painéis fotovoltaicos se instalados como *brises-soleis* nas fachadas Norte e Oeste do edifício comercial em questão foram capazes de reduzir em 43,40% o consumo energético anual da edificação. Para tal, foram necessários 380 painéis na fachada Oeste e 228 na fachada Norte, somando um total de 608 painéis fotovoltaicos.

Em seu estado atual, a edificação estudada consome 492065 kWh.ano. Após a simulação para a intervenção dos *brises* fotovoltaicos, o edifício passou a consumir 213556 kWh.ano. Uma economia de 43,40% no consumo energético anual, superando a expectativa proposta nos objetivos.

Como os painéis fotovoltaicos teriam de cumprir a função de *brise-soleil*, fez-se o estudo solar da região da edificação, onde determinou-se a inclinação de 49° em relação ao eixo Y e o comprimento de 1 metro como sendo os mais adequados para a proteção solar e sombreamento ao longo do dia.

Somente com o sombreamento dos *brises-soleil* foi possível uma economia de 4,67% na fachada Oeste e 2,25% na fachada Norte, totalizando uma redução de 6,92% no consumo anual da edificação, ficando abaixo da expectativa proposta nos objetivos.

Segundo os dados obtidos nas simulações os melhores meses para obtenção de energia total através dos painéis fotovoltaicos nas fachadas estudadas são os de junho a setembro, para ambas as fachadas. Estes meses são caracterizados por ser o período de seca em Brasília, onde ocorre maior incidência de radiação solar diária.

A fachada Oeste apresentou um rendimento bastante superior se comparada a fachada Norte. Isso se deve pelo fato de que a fachada Oeste possui maior área total, porém, os *brises* instalados na fachada Norte se mostraram mais eficientes por metro quadrado, se comparados aos da fachada Oeste. Os painéis da fachada Norte geram 230 kWh.ano/m² enquanto os da fachada Oeste geram apenas 169 kWh.ano/m². Então apesar da fachada oeste gerar mais energia total, a fachada norte é mais eficiente, produzindo mais

energia por metragem quadrada, comprovando o que foi mostrado no desenvolvimento, onde foi dito que no hemisfério sul as fachadas com orientação voltada para o Norte, são mais recomendadas para a instalação de placas fotovoltaicas.

Com todos os dados e informações obtidas e apresentados nesta pesquisa, conclui-se que uma opção de *retrofit* utilizando *brises-soleil* com painéis fotovoltaicos nas fachadas Norte e Oeste da edificação proposta se mostrou eficiente e rentável energeticamente, servindo como uma possível solução termoenergética e geradora de eletricidade para as edificações comerciais existentes que utilizam as fachadas com a configuração de vidro refletivo.

6.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

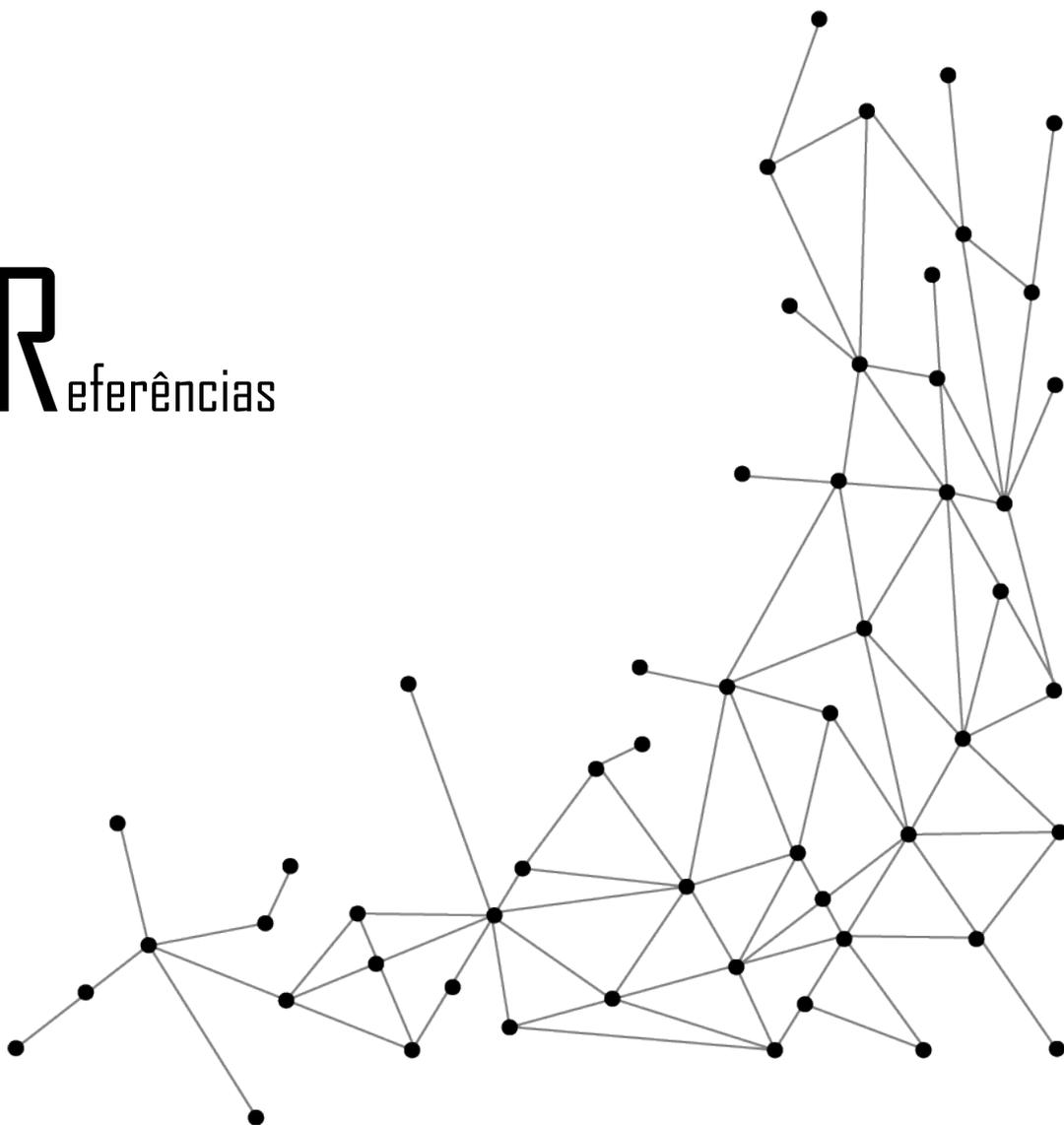
Recomenda-se uma análise de custo das células fotovoltaicas, comparando-as com células fotovoltaicas instaladas na cobertura. Tal sugestão é relevante para uma pesquisa futura pois se fixadas nas fachadas, as células fotovoltaicas terão um alto custo para a instalação e para a manutenção, em oposição a instalação na cobertura da edificação, onde a instalação e manutenção são bem mais acessíveis.

Também é interessante pesquisar uma forma de instalação mais universal, visto que a proposta nessa pesquisa só é funcional em edifícios com fachadas de vidro fixas, que não abrem como uma janela.

Pesquisar e comparar a instalação com armazenamento de energia, se é viável e se é mais eficiente do que o sistema sem armazenadores, proposto nessa pesquisa.

R

Referências



REFERÊNCIAS

ARAUJO, Eliete de Pinho. Análise Pós-Ocupação de um Edifício Comercial em Brasília: Aspectos do Conforto Térmico. 1999. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Concentração em Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

ARAUJO, Eliete de Pinho. Apostila de ar condicionado e exaustão. Brasília: UniCEUB, 2011. 71 p.

ARAUJO, Eliete de Pinho. Sol: a fonte inesgotável de energia. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.054/531>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003.

AUGUSTO, Otávio. Termômetros marcam 37,3°C: a mais alta temperatura já registrada no DF. 2017. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2017/10/15/interna_cidadesdf,633773/termometros-marcam-37-3-c-mais-alta-temperatura-ja-registrada-no-df.shtml>. Acesso em: 15 out. 2017.

BENSOUSSAN, Marcos D'ávila. QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA EM EDIFICAÇÕES. Brasília: Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração, 2013. 62 p.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar. O Uso das Cartas Solares Diretrizes para Arquitetos. 4. ed. Maceió: Edufal, 2004. 96 p.

BORBA, Aroldo José Viana et al. Guia Para Eficiência Energética Nas Edificações Públicas. 2015. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/GUIA+EFIC+ENERG+EDIF+PUBL_1+0_12-02-2015_Compacta.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRASIL. Art. 92. Lei Nº 6.138, de 26 de abril de 2018. Institui o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal - COE. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/94156cc83d524f1ba6d0c0555ec9cd9d/Lei_6138_26_04_2018.html>. Acesso em: 6 ago. 2019.

CARAM, NEVES, R. P. A. A.; CARAM, R. M. Identificação das tecnologias para conforto ambiental e eficiência energética utilizadas pelos chamados edifícios inteligentes. In: Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído e Conferência Latino-Americana de Conforto e Desempenho Energético de Edificações – ENCAC-COTEDI, 7, 2003. Curitiba. Anais... ANTAC. Curitiba/PR, 2003.

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

CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. Técnicas de Vedação Fotovoltaicas na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010. 193 p.

EDWARD BORGSTEIN (Brasil). Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil. São Paulo: Mitsidi Projetos, 2015. 110 p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/53688522-Relatorio-final-benchmarking-de-escriptorios-corporativos-e-recomendacoes-para-certificacao-deo-no-brasil.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Anexo da Portaria INMETRO nº 163/2009. 2009.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e Conforto Térmico de Edifícios no Brasil. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicações/relatórios-de-pesquisa/>>. Acesso em: 10 ago.2010

MARAGNO, G. V. Eficiência e Forma do *Brise-Soleil* na Arquitetura de Campo Grande – MS. 2000. 219f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARAGNO, G. V. Eficiência e Forma do *Brise-Soleil* na Arquitetura de Campo Grande – MS. In: Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído - Encac, 8, 2005. ANTAC. Maceió/AL, 2005.

MICHELATO, Rubia. Avaliação do Desempenho Térmico de Vidros Refletivos: Estudo de Caso em Células-Teste. 2007. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-06082007212946/publico/DissertacaoRubia.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. Ar Condicionado e Refrigeração. 2. ed. Rio de Janeiro: Gen Grupo Editorial Nacional, 2014. 565 p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013. 277 p.

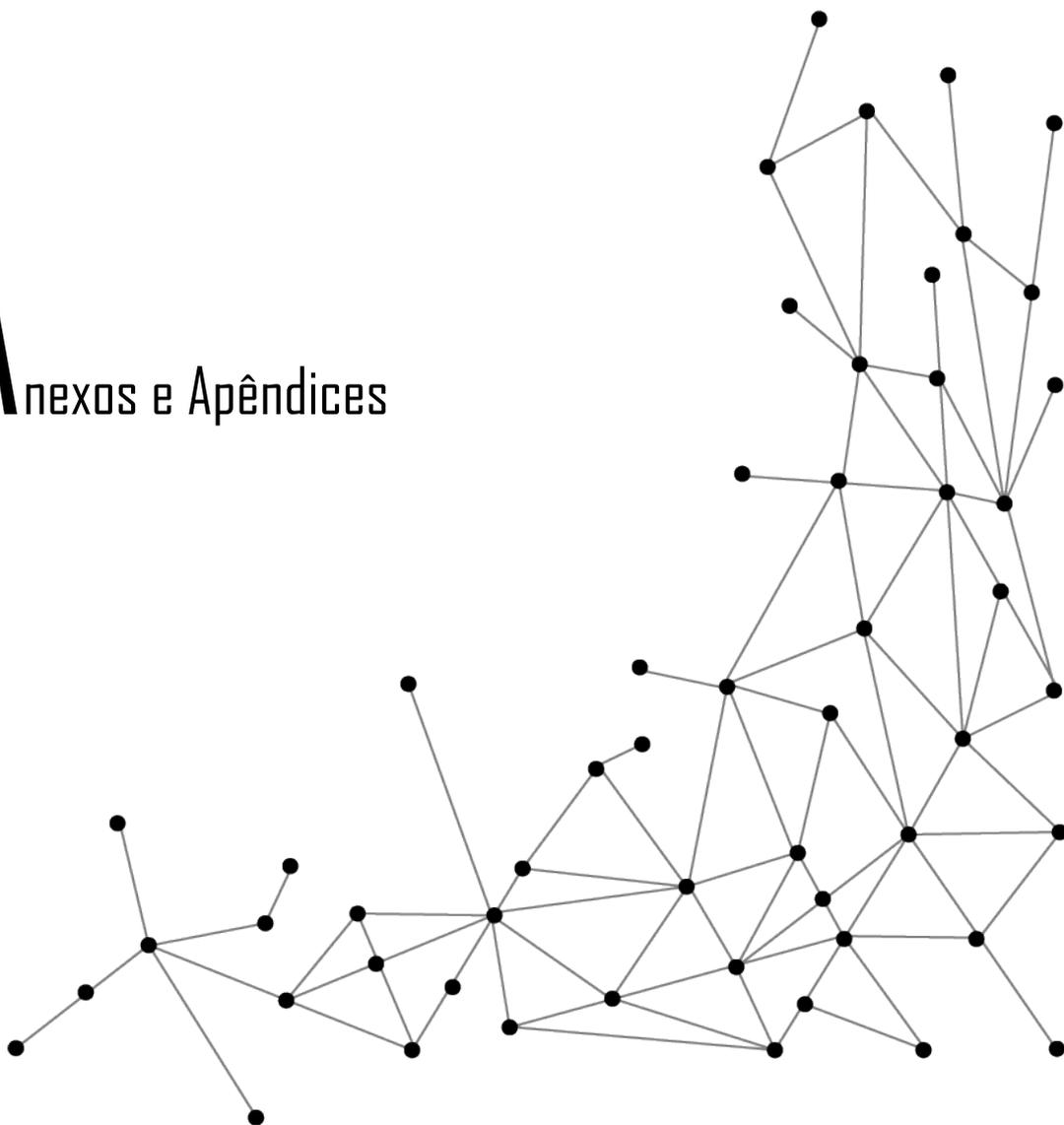
ROMERO, Marta Adriana Bustos. Arquitetura do Lugar: Uma Visão Bioclimática da Sustentabilidade em Brasília. São Paulo: Nova Técnica, 2011. 164 p.

SILVA, Viviane de Sousa Cruz e. A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios. 115 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

VENÂNCIO, Heliomar. Minha Casa Sustentável. Guia para uma Construção Residencial Responsável. 2. ed., Vila Velha, ES: Edição do Autor, 2010. 227 p.

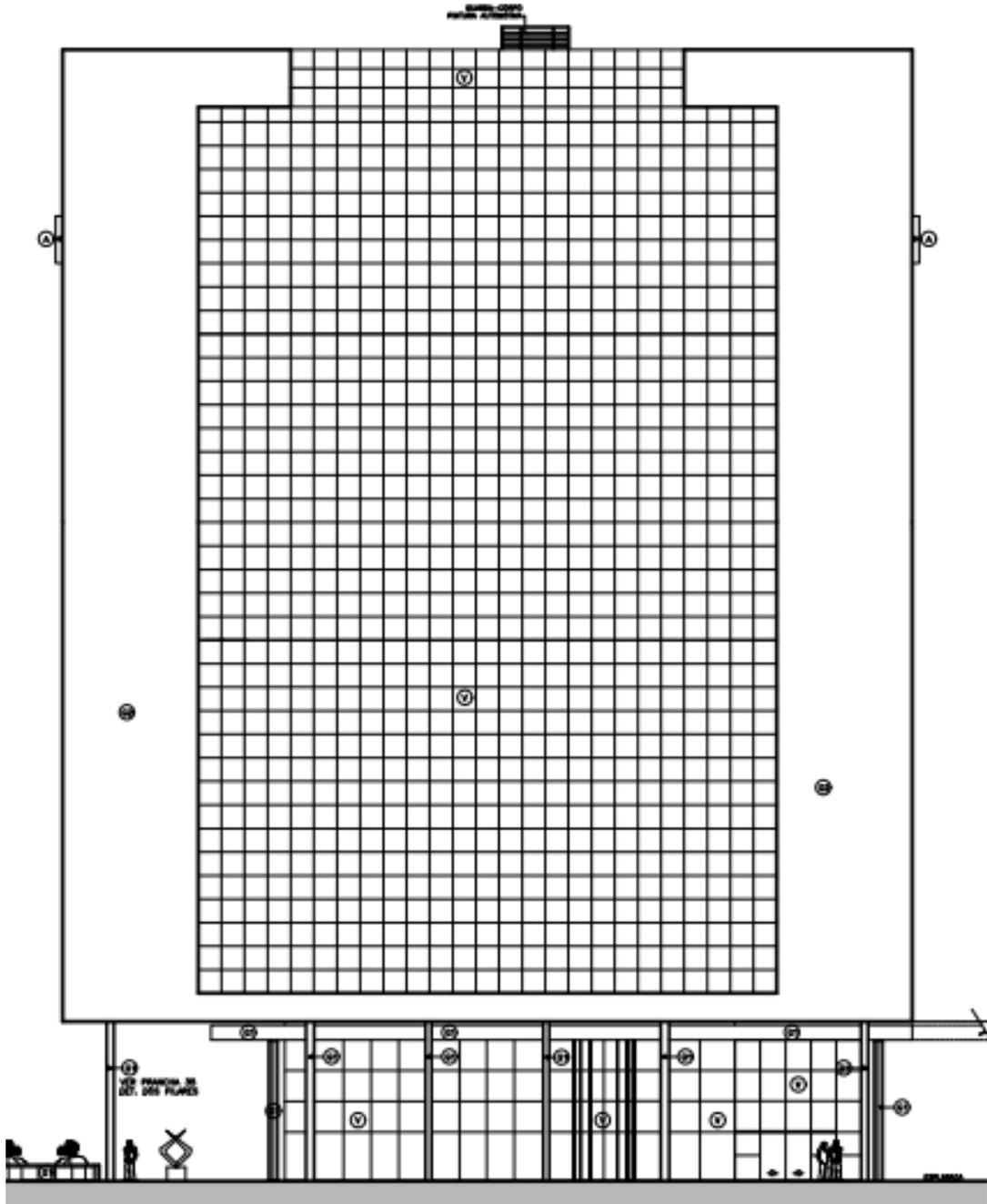
WEBER, F. S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., GUTHS, S., LAMBERTS, R. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. Relatório técnico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Universidade Federal de Santa Catarina. Agosto, 2017.

A nexos e Apêndices



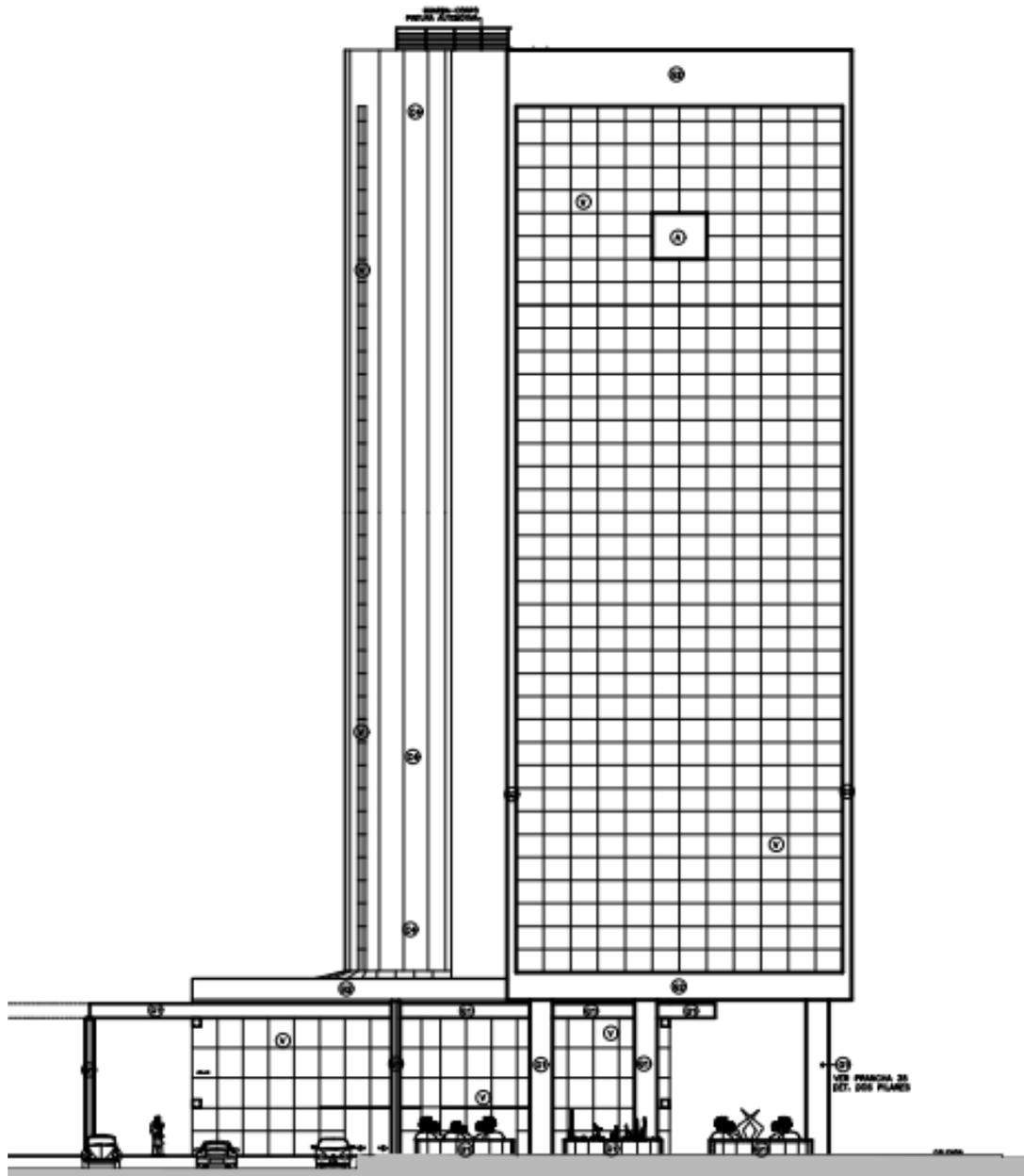
ANEXOS

Figura 39: Representação 2D da fachada Oeste.



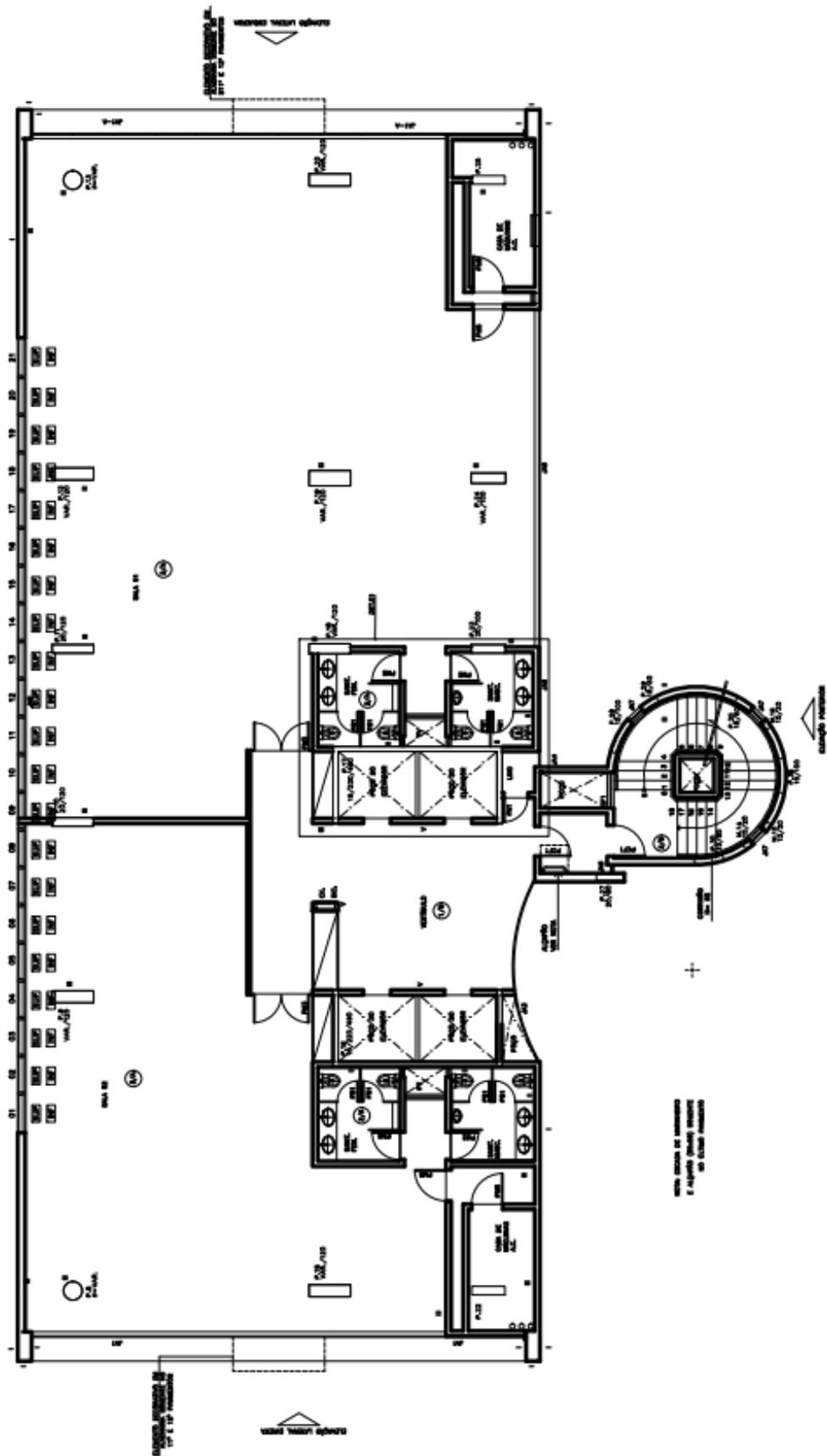
Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

Figura 40: Representação 2D da fachada Norte



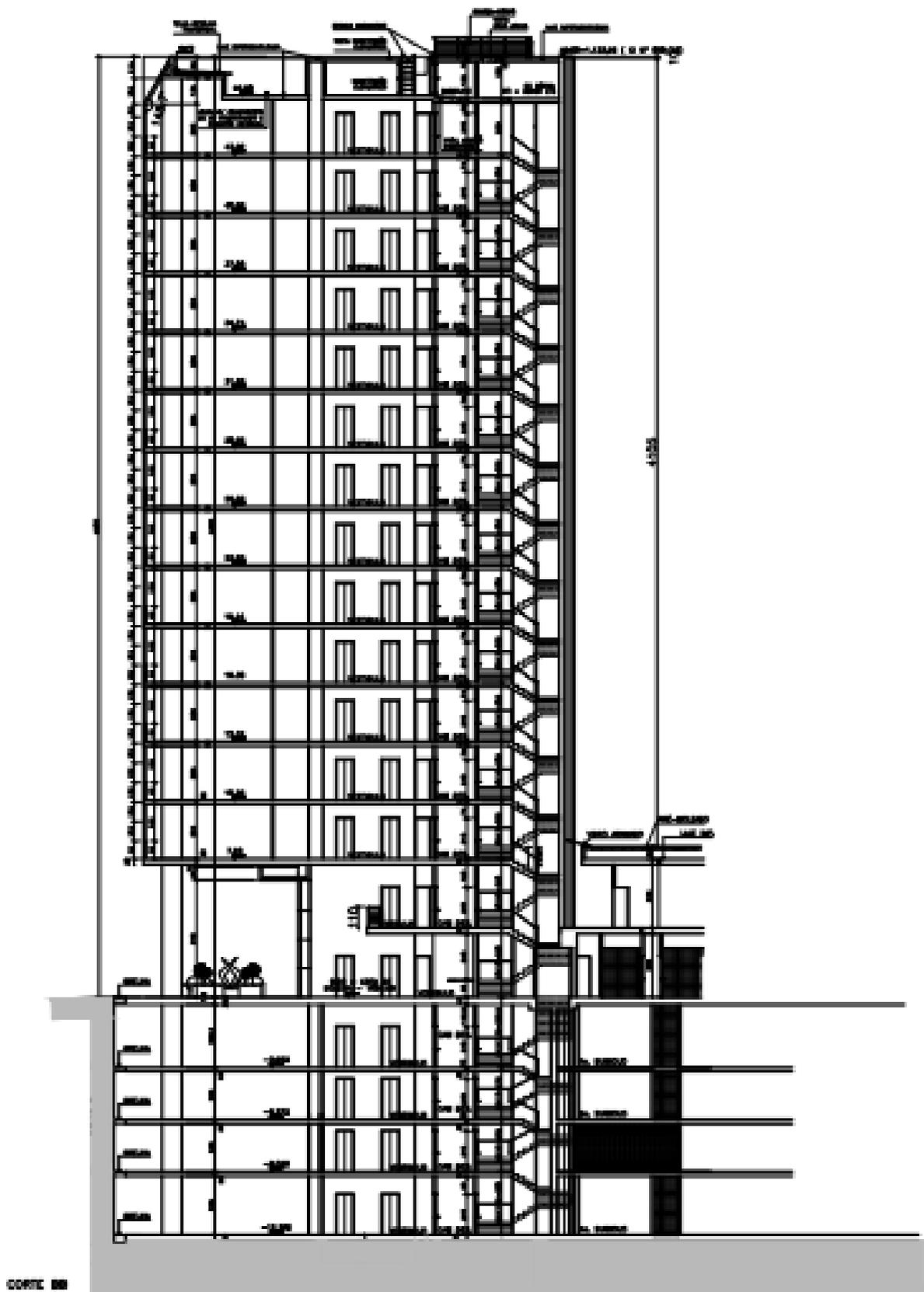
Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

Figura 41: Planta pavimento tipo 10º andar



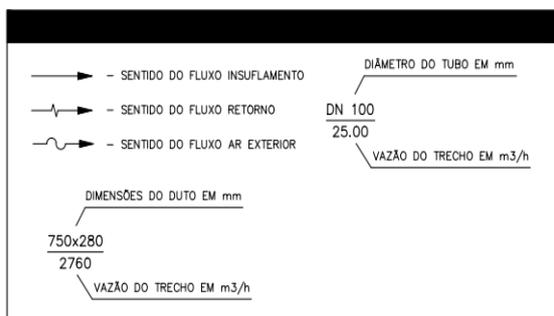
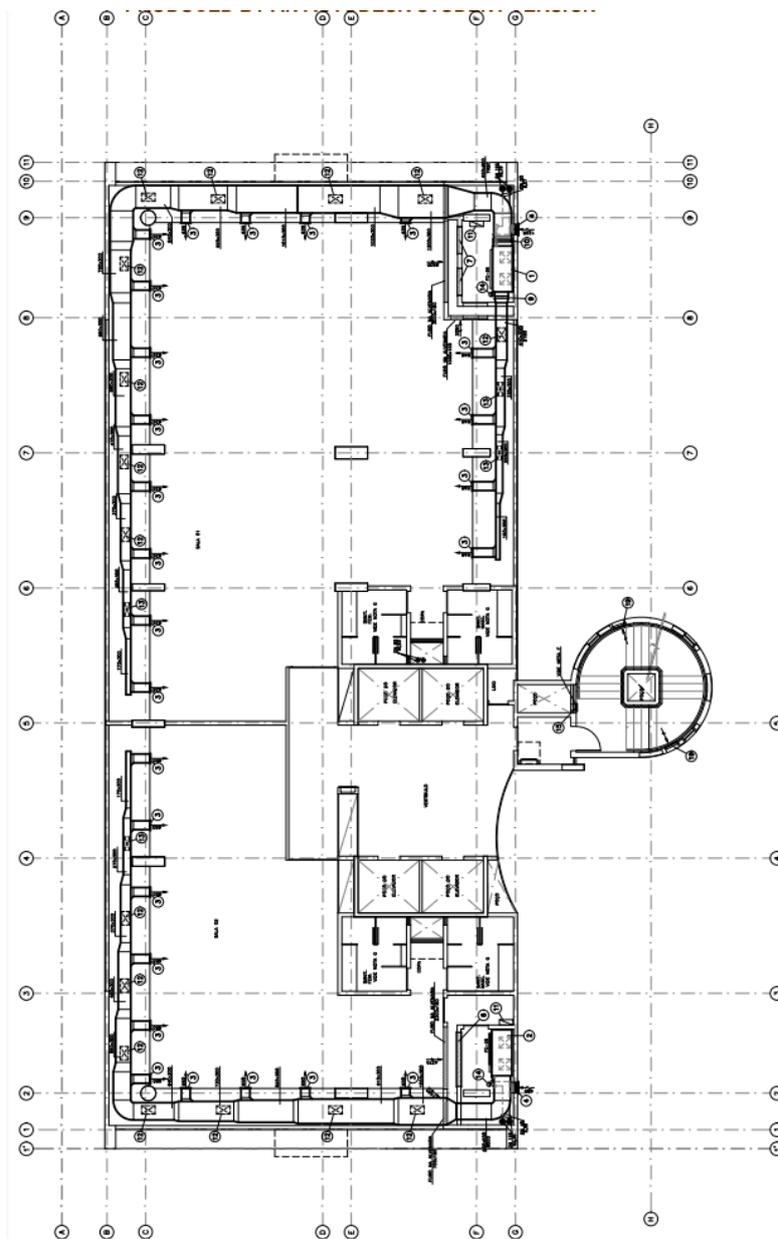
Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

Figura 42: Representação de corte 1



Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

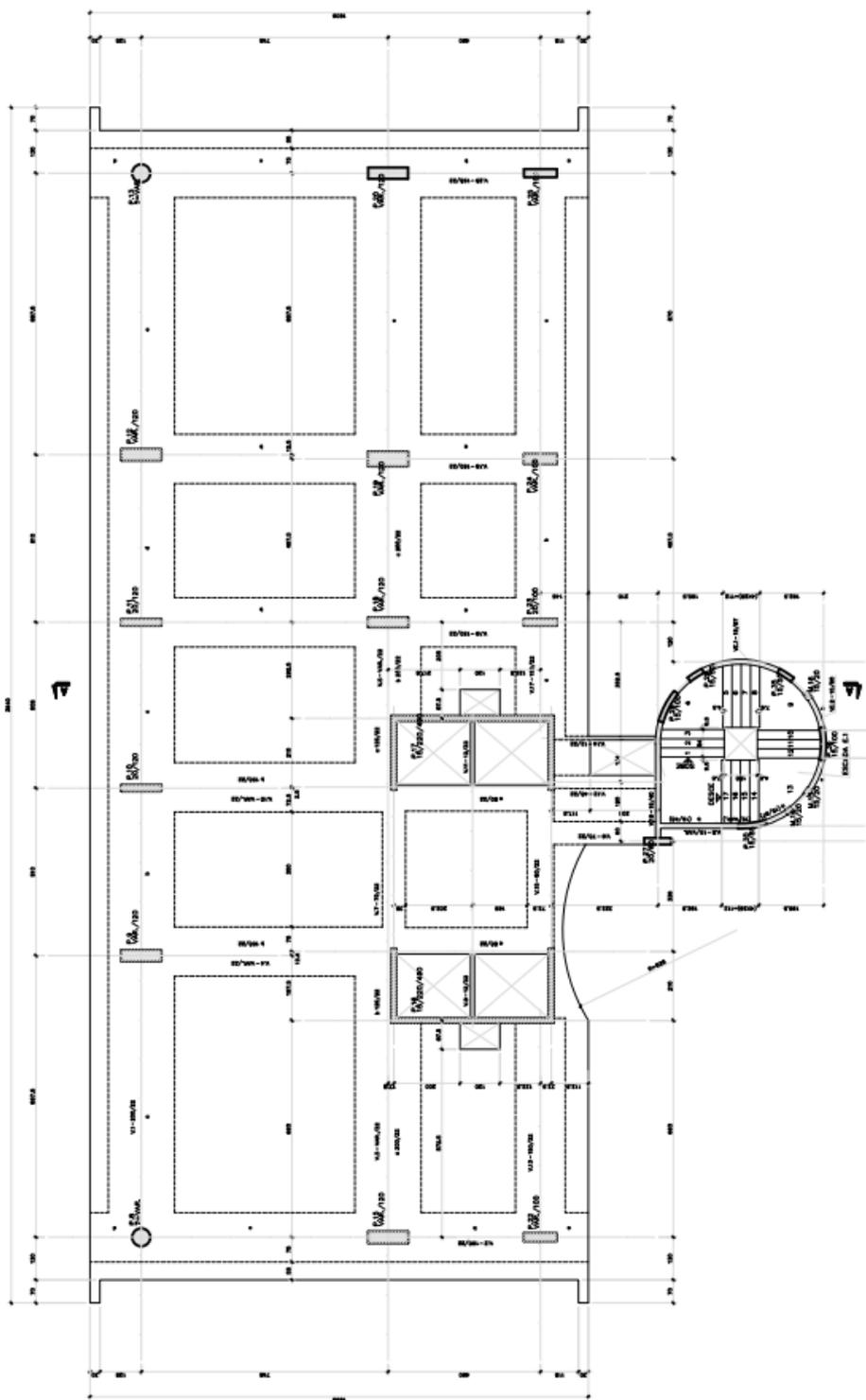
Figura 44: Projeto do ar condicionado, pavimento tipo



- A - TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS
- B - O DUTO DEVE SER ELETRICAMENTE ATERRADO, APÓS A CONEXÃO FLEXÍVEL DO CONDICIONADOR
- C - ABERTURA NA ALVENARIA COM CAIXILHO EM MADEIRA DE LEI
- D - DUTOS A SEREM CONSTRUÍDOS DE ACORDO COM A NBR-6401, E NORMAS DA DA SMACNA, UTILIZANDO-SE BITOLA MÍNIMA DE CHAPA Nº24
- E - PARA VER DETALHES DA CASA DE MÁQUINAS VIDE PRANCHA 11/15.
- F - PARA VER DETALHES DE INSTALAÇÕES VIDE PRANCHA 12/15.
- G - SANITÁRIO COM VENTILAÇÃO NATURAL.
- H - O RETORNO DO AMBIENTE É FEITO ATRAVÉS DE RASGO NAS LUMINÁRIAS.

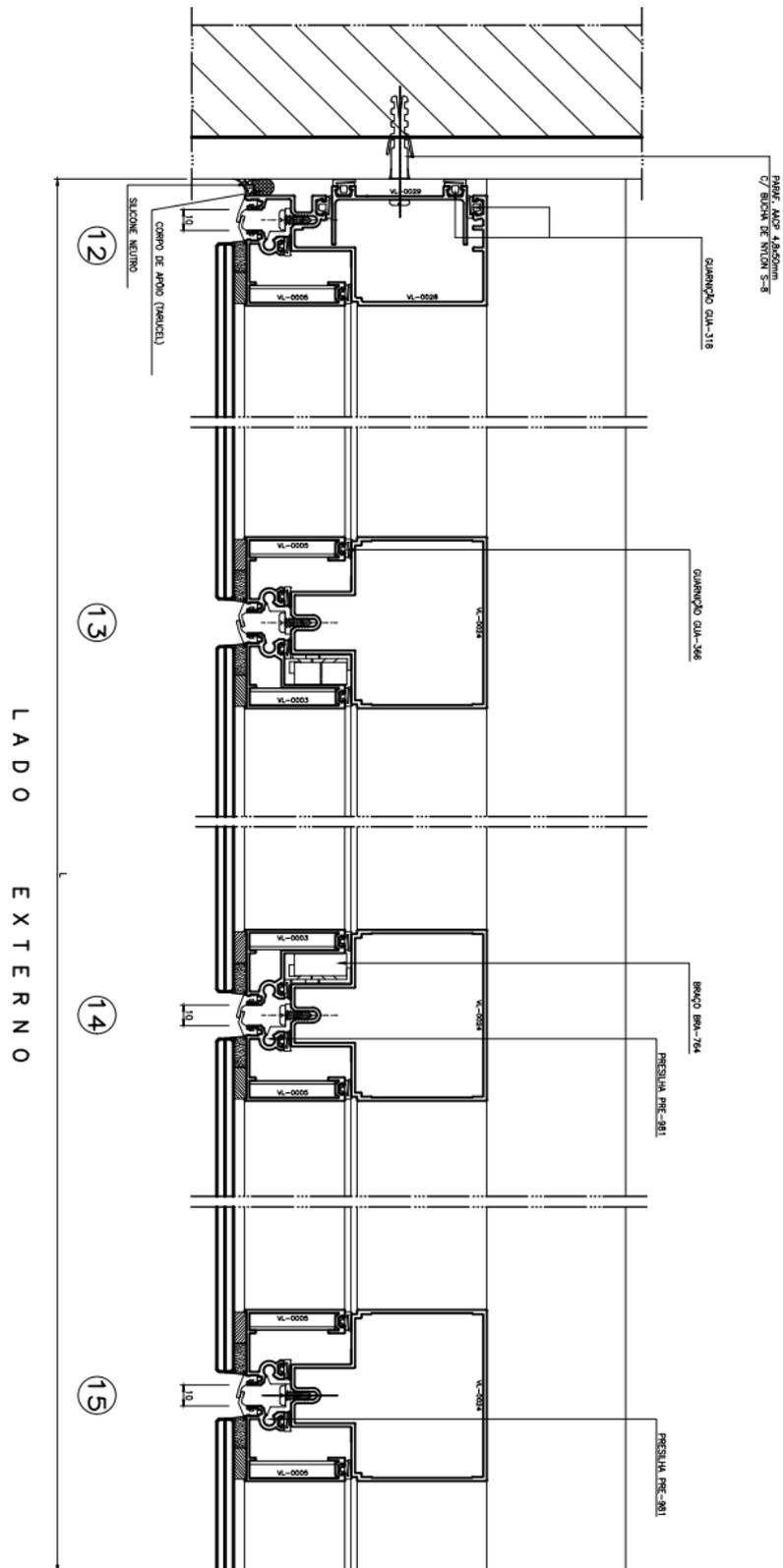
Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

Figura 45: Planta de estrutura pavimento tipo.



Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

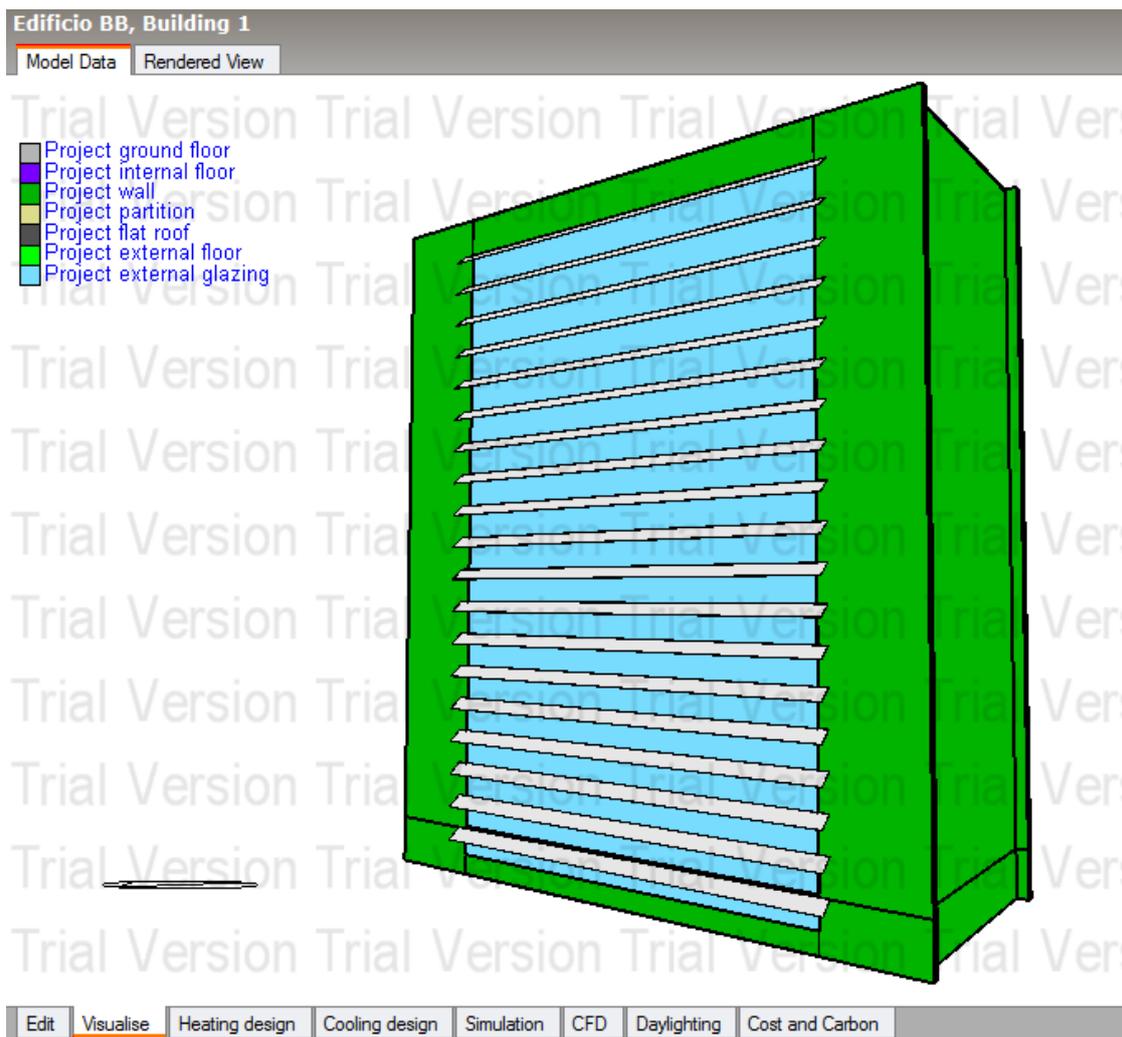
Figura 46: Detalhe esquadria.



Fonte: Acervo pessoal (feito no AutoCAD).

APÊNDICES

Figura 47: Modelo da fachada Oeste com os *brises* fotovoltaicos no Programa *DesignBuilder*



Fonte: Acervo pessoal (Modelo feito no *DesignBuilder*).

Figura 48: Simulação da edificação após a proposta de *retrofit*.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 49: Fachada Oeste



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 50: Fachada Norte



Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 5: Consumo da Edificação

Room	Lighting	Cooling (Electricity)	Total	Area	Consumo normalizado (kWh.ano/m ²)	
kWh	kWh	kWh	kWh	m ²	kWh/m ²	
17701,18	5461,378	14710,6	37873,158	480	78,9024125	
17701,18	5461,378	17105,55	40268,108	480	83,89189167	
17701,18	5461,378	12029,47	35192,028	480	73,316725	
			492064,87	6240	78,86	
17701,18	5600,961	13663,18	36965,321	480	77,01108542	2,40%
17701,18	5600,961	16353,68	39655,821	480	82,61629375	1,52%
17701,18	5600,961	11397,46	34699,601	480	72,29083542	1,40%
			480973,95	6240	77,08	2,25%
17701,18	5489,374	12817,83	36008,384	480	75,01746667	4,92%
17701,18	5489,374	15764,22	38954,774	480	81,15577917	3,26%
17701,18	5489,374	10867,74	34058,294	480	70,95477917	3,22%
			469105,29	6240	75,18	4,67%

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 6: Geração de energia dos painéis fotovoltaicos mensal e média diária.

Época	kWh	Media diária kWh/dia		kWh	Media diária	
jan	2877,90	92,8	0,3	8631,96	278,5	0,403449
fev	3368,39	120,3	0,4	9474,94	338,4	0,490297
mar	4262,36	137,5	0,5	9846,19	317,6	0,460201
abr	5704,74	190,2	0,7	9601,88	320,1	0,463741
mai	6750,15	217,7	0,8	8455,04	272,7	0,39518
jun	7384,11	246,1	0,9	8991,92	299,7	0,434282
jul	8637,97	278,6	1,0	10916,74	352,2	0,510237
ago	8083,94	260,8	1,0	11864,25	382,7	0,554523
set	5879,46	196,0	0,7	10802,65	360,1	0,521735
out	4076,14	131,5	0,5	10351,66	333,9	0,483826
nov	2978,90	99,3	0,4	8951,31	298,4	0,432321
dez	2765,36	89,2	0,3	8785,95	283,4	0,410646
Total	62769			116674		
Produção por m ² de PV	230			169		
	Brise no Norte	Brise no Norte		Brise no Oeste	Brise no Oeste	

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 7: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de janeiro

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0,23	5:00	5:00	0,57
2,79	6:00	6:00	4,81
7,77	7:00	7:00	9,65
11,61	8:00	8:00	12,72
12,88	9:00	9:00	15,46
12,37	10:00	10:00	20,69
8,91	11:00	11:00	18,12
8,97	12:00	12:00	31,7
10,2	13:00	13:00	50,62
9,61	14:00	14:00	44,39
8,25	15:00	15:00	32,65
5,65	16:00	16:00	20,6
2,61	17:00	17:00	8,47
0,38	18:00	18:00	1,01
0,17	5:00	5:00	0,41
1,69	6:00	6:00	3,94
5,03	7:00	7:00	10,52
8,87	8:00	8:00	16,15
12,73	9:00	9:00	14,99
10,94	10:00	10:00	14,07
9,67	11:00	11:00	21,49
10,38	12:00	12:00	28,8
10,01	13:00	13:00	36,94
8,99	14:00	14:00	38,43
8,02	15:00	15:00	35,88
6,68	16:00	16:00	51,64
2,74	17:00	17:00	12,23
0,36	18:00	18:00	0,99
0,1	5:00	5:00	0,24
1	6:00	6:00	2,45
3,01	7:00	7:00	7,25
5,42	8:00	8:00	12,79
8,62	9:00	9:00	19,93
10,89	10:00	10:00	24,96
11,15	11:00	11:00	26,21
10,79	12:00	12:00	30,58
10,51	13:00	13:00	41,12
9,78	14:00	14:00	43,27
8,23	15:00	15:00	33,64
5,7	16:00	16:00	20,93
2,63	17:00	17:00	8,82
0,37	18:00	18:00	1

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 8: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de fevereiro.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
1,63	6:00	6:00	1,63
7,11	7:00	7:00	7,11
10,58	8:00	8:00	10,58
12,28	9:00	9:00	12,28
13,57	10:00	10:00	13,57
13,23	11:00	11:00	13,23
11,81	12:00	12:00	11,81
10,91	13:00	13:00	10,91
10,15	14:00	14:00	10,15
8,61	15:00	15:00	8,61
6,06	16:00	16:00	6,06
2,87	17:00	17:00	2,87
0,44	18:00	18:00	0,44
0	5:00	5:00	0
1,11	6:00	6:00	2,51
5,51	7:00	7:00	9,03
13,9	8:00	8:00	14,26
19,96	9:00	9:00	15,48
14,21	10:00	10:00	22,05
12,47	11:00	11:00	24,74
9	12:00	12:00	22,89
10,26	13:00	13:00	40,03
10,14	14:00	14:00	44,51
8,45	15:00	15:00	36,67
6,04	16:00	16:00	23,03
2,9	17:00	17:00	10,34
0,44	18:00	18:00	1,25
0	5:00	5:00	0
0,62	6:00	6:00	1,52
3,28	7:00	7:00	6,85
8,98	8:00	8:00	15,23
11,13	9:00	9:00	20,34
8,68	10:00	10:00	18,42
8,91	11:00	11:00	20,7
8,84	12:00	12:00	21,84
8,35	13:00	13:00	22,89
7,37	14:00	14:00	21,36
5,88	15:00	15:00	16,84
3,97	16:00	16:00	10,87
1,84	17:00	17:00	4,62
0,26	18:00	18:00	0,63

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 9: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de março.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
1,82	6:00	6:00	2,43
10,72	7:00	7:00	8,69
20,31	8:00	8:00	9,53
23,28	9:00	9:00	10,39
19,75	10:00	10:00	18,45
15,57	11:00	11:00	22,38
10,95	12:00	12:00	30,13
9,05	13:00	13:00	66,82
9,5	14:00	14:00	80,17
8,28	15:00	15:00	51,19
5,84	16:00	16:00	33,63
2,49	17:00	17:00	10,86
0,28	18:00	18:00	0,98
0	5:00	5:00	0
1,77	6:00	6:00	2,07
10,85	7:00	7:00	8,11
21,6	8:00	8:00	12,14
29,03	9:00	9:00	14,24
22,62	10:00	10:00	22,15
19,5	11:00	11:00	27,88
17,14	12:00	12:00	31,82
13,71	13:00	13:00	44,47
9,51	14:00	14:00	37,89
8,07	15:00	15:00	30,45
5,49	16:00	16:00	20,56
2,31	17:00	17:00	7,44
0,28	18:00	18:00	0,89
0	5:00	5:00	0
1,12	6:00	6:00	1,69
6,95	7:00	7:00	7,98
14,19	8:00	8:00	15,06
24,27	9:00	9:00	18
25,74	10:00	10:00	19,4
23,49	11:00	11:00	21,45
18,65	12:00	12:00	32,92
14,02	13:00	13:00	48,78
10,59	14:00	14:00	50,46
8,08	15:00	15:00	79,27
4,13	16:00	16:00	79,18
2,23	17:00	17:00	35,06
0,31	18:00	18:00	3,46

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 10: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de abril.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
2,27	6:00	6:00	1,99
14,05	7:00	7:00	7,83
29,07	8:00	8:00	8,8
36,84	9:00	9:00	10,79
38,5	10:00	10:00	15,19
35,75	11:00	11:00	19,93
29,02	12:00	12:00	36,97
21,77	13:00	13:00	62,52
14,61	14:00	14:00	58,75
8,83	15:00	15:00	42,76
4,41	16:00	16:00	23,19
1,35	17:00	17:00	4,96
0,07	18:00	18:00	0,17
0	5:00	5:00	0
0,61	6:00	6:00	1,36
3,83	7:00	7:00	7,16
11,15	8:00	8:00	13,3
27,55	9:00	9:00	16,4
41,83	10:00	10:00	13,76
39,76	11:00	11:00	15,99
26,82	12:00	12:00	32,78
20,56	13:00	13:00	59,06
15,93	14:00	14:00	71,2
9,65	15:00	15:00	71,52
4,61	16:00	16:00	51,02
1,46	17:00	17:00	13,11
0,08	18:00	18:00	0,19
0	5:00	5:00	0
1,61	6:00	6:00	1,68
9,49	7:00	7:00	7,98
17,51	8:00	8:00	14,9
22,49	9:00	9:00	21,61
25,99	10:00	10:00	24,27
28,33	11:00	11:00	22,12
25,1	12:00	12:00	34,18
19,79	13:00	13:00	55,46
14,63	14:00	14:00	57,24
9,34	15:00	15:00	47,87
4,83	16:00	16:00	31,25
1,53	17:00	17:00	7,8
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 11: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de maio.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
2,47	6:00	6:00	1,45
15,13	7:00	7:00	6,43
29,58	8:00	8:00	9,25
39,69	9:00	9:00	8,88
42,97	10:00	10:00	11,85
40,6	11:00	11:00	17,77
35,29	12:00	12:00	36,97
26,32	13:00	13:00	59,89
17,49	14:00	14:00	54,13
13,07	15:00	15:00	56,65
6,34	16:00	16:00	42,68
0,92	17:00	17:00	5,93
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
2,17	6:00	6:00	1,47
12,79	7:00	7:00	6,72
25,49	8:00	8:00	10,42
34,92	9:00	9:00	11,91
39,38	10:00	10:00	15,44
39,69	11:00	11:00	20,16
37,18	12:00	12:00	39,64
32,15	13:00	13:00	72,7
23,62	14:00	14:00	77,13
14,09	15:00	15:00	63,26
5,76	16:00	16:00	34,61
0,82	17:00	17:00	4,54
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
2,22	6:00	6:00	1,45
13,54	7:00	7:00	6,38
26,53	8:00	8:00	9,45
36,71	9:00	9:00	11,14
43,38	10:00	10:00	11,42
44,65	11:00	11:00	14,23
41,9	12:00	12:00	38,04
36,08	13:00	13:00	80,48
26,52	14:00	14:00	88,27
15,79	15:00	15:00	74,78
6,41	16:00	16:00	42,28
0,87	17:00	17:00	5,25
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 12: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de junho.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
1,37	6:00	6:00	0,93
9,24	7:00	7:00	5,56
23,36	8:00	8:00	9,69
37,09	9:00	9:00	8,95
43,28	10:00	10:00	10,14
44,6	11:00	11:00	12,43
40,65	12:00	12:00	33,5
31,69	13:00	13:00	65,09
20,35	14:00	14:00	57,31
11,11	15:00	15:00	37,76
3,74	16:00	16:00	13,14
0,43	17:00	17:00	1,3
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,4	6:00	6:00	0,93
9,48	7:00	7:00	5,53
23,94	8:00	8:00	9,51
37,78	9:00	9:00	8,48
43,59	10:00	10:00	10,01
44,77	11:00	11:00	12,1
41,47	12:00	12:00	33,42
34,39	13:00	13:00	70,05
24,78	14:00	14:00	71,27
16,13	15:00	15:00	60,76
6,12	16:00	16:00	29,37
0,65	17:00	17:00	3,36
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,39	6:00	6:00	0,92
9,4	7:00	7:00	5,48
23,82	8:00	8:00	9,47
37,64	9:00	9:00	8,51
43,55	10:00	10:00	10,01
44,83	11:00	11:00	12,07
42,29	12:00	12:00	33,71
36,83	13:00	13:00	74,67
28,39	14:00	14:00	82,53
17,4	15:00	15:00	66,76
6,25	16:00	16:00	30,22
0,68	17:00	17:00	3,69
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 13: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de julho.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
1,24	6:00	6:00	0,64
10,94	7:00	7:00	4,65
26,95	8:00	8:00	7,3
38,53	9:00	9:00	7,71
44	10:00	10:00	9,2
44,83	11:00	11:00	12,15
41,42	12:00	12:00	29,55
32,94	13:00	13:00	64,63
22,81	14:00	14:00	64,35
17	15:00	15:00	63,99
8,08	16:00	16:00	43,16
0,89	17:00	17:00	5,31
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,36	6:00	6:00	0,61
11,54	7:00	7:00	4,4
26,88	8:00	8:00	7,32
38,36	9:00	9:00	7,67
44,1	10:00	10:00	8,97
44,94	11:00	11:00	12,35
42,86	12:00	12:00	30,01
37,41	13:00	13:00	72,88
29,28	14:00	14:00	84,73
19,68	15:00	15:00	76,97
8,63	16:00	16:00	47,21
0,92	17:00	17:00	5,63
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,31	6:00	6:00	0,64
11,01	7:00	7:00	4,6
26,94	8:00	8:00	7,25
38,45	9:00	9:00	7,79
44,57	10:00	10:00	9,34
45,83	11:00	11:00	12,06
43,94	12:00	12:00	30,17
38,62	13:00	13:00	75,25
30,55	14:00	14:00	88,79
20,26	15:00	15:00	79,67
8,77	16:00	16:00	48,25
0,92	17:00	17:00	5,69
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 14: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de agosto.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
1,58	6:00	6:00	0,92
10,91	7:00	7:00	5,31
24,71	8:00	8:00	8,63
32,54	9:00	9:00	11,12
31,15	10:00	10:00	17,43
26,68	11:00	11:00	21,68
24,36	12:00	12:00	32,03
20,76	13:00	13:00	48,05
15,56	14:00	14:00	50,73
9,73	15:00	15:00	39,22
4,47	16:00	16:00	21,06
0,89	17:00	17:00	3,53
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,52	6:00	6:00	0,93
9,98	7:00	7:00	5,51
22,32	8:00	8:00	9,63
31,15	9:00	9:00	12,16
35,07	10:00	10:00	14,95
33,4	11:00	11:00	20,09
29,23	12:00	12:00	32,39
23,99	13:00	13:00	55,27
19,41	14:00	14:00	68,64
13,46	15:00	15:00	73,64
6,03	16:00	16:00	53,98
1,14	17:00	17:00	12,52
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
1,2	6:00	6:00	0,9
6,55	7:00	7:00	5,84
11,81	8:00	8:00	12,55
19,14	9:00	9:00	16,91
24,88	10:00	10:00	19,98
31,74	11:00	11:00	20,06
26,67	12:00	12:00	30,09
22,01	13:00	13:00	51,58
19,5	14:00	14:00	69,16
13,33	15:00	15:00	73,26
5,97	16:00	16:00	52,13
1,15	17:00	17:00	12,37
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 15: Geração de energia em kw/h dos painéis fotovoltaicos nos 3 primeiros dias de setembro.

Brise no Norte	Horário	Horário	Brise no Oeste
0	5:00	5:00	0
2,02	6:00	6:00	1,74
13,18	7:00	7:00	7,17
27,8	8:00	8:00	9,29
38,32	9:00	9:00	9,11
42,6	10:00	10:00	11,03
38,82	11:00	11:00	12,82
30,68	12:00	12:00	40,08
21,05	13:00	13:00	81,48
12,56	14:00	14:00	83,63
7,37	15:00	15:00	62,49
4,04	16:00	16:00	32,16
1,13	17:00	17:00	5,45
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
2,05	6:00	6:00	1,78
13,23	7:00	7:00	7,24
27,38	8:00	8:00	9,72
35,62	9:00	9:00	11,77
36,66	10:00	10:00	18,01
32,12	11:00	11:00	19,44
28,98	12:00	12:00	41,73
22,1	13:00	13:00	91,29
12,56	14:00	14:00	102,08
6,87	15:00	15:00	83,61
3,65	16:00	16:00	56,65
1,25	17:00	17:00	19,1
0	18:00	18:00	0
0	5:00	5:00	0
0,39	6:00	6:00	0,94
2,04	7:00	7:00	4,89
4,36	8:00	8:00	9,81
6,49	9:00	9:00	13,97
8,04	10:00	10:00	16,96
8,66	11:00	11:00	18,57
8,5	12:00	12:00	19,57
7,62	13:00	13:00	19,68
6,21	14:00	14:00	16,92
4,68	15:00	15:00	13,23
3,48	16:00	16:00	12,19
0,73	17:00	17:00	2,03
0	18:00	18:00	0

Fonte: Acervo pessoal.