

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUANA CAROLINE SCHNEIDER**

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VOLTADAS PARA O CONFORTO INTERNO DE  
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO PROJETO CASA FÁCIL EM MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

**TOLEDO**

**2022**

**LUANA CAROLINE SCHNEIDER**

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VOLTADAS PARA O CONFORTO INTERNO DE  
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO PROJETO CASA FÁCIL EM MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

**BIOCLIMATE STRATEGIES AIMED AT THE INTERNAL COMFORT OF  
BUILDINGS: CASE STUDY OF THE CASA FÁCIL PROJECT IN MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Silmara Dias Feiber.

**TOLEDO**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUANA CAROLINE SCHNEIDER**

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VOLTADAS PARA O CONFORTO INTERNO DE  
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO PROJETO CASA FÁCIL EM MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

**BIOCLIMATE STRATEGIES AIMED AT THE INTERNAL COMFORT OF  
BUILDINGS: CASE STUDY OF THE CASA FÁCIL PROJECT IN MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Silmara Dias Feiber.

**TOLEDO**

**2022**

**LUANA CAROLINE SCHNEIDER**

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VOLTADAS PARA O CONFORTO INTERNO DE  
EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO PROJETO CASA FÁCIL EM MARECHAL  
CÂNDIDO RONDON.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/novembro/2022

---

Fulvio N. Feiber  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lucia Bressiani  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Silmara Dias Feiber - Orientadora  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**TOLEDO**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus, por permitir que eu tivesse saúde e determinação para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo deste trabalho e por todas as incontáveis bênçãos em minha vida.

Aos meus pais Aloisio e Tania, meu irmão Guilherme e meu parceiro e companheiro Giordano por todo o apoio durante os altos e baixos desta fase da graduação, e por acreditarem em mim até o final desta trajetória.

Agradeço à minha orientadora, professora Silmara, pelo auxílio e suporte, e todos os professores da UTFPR campus Toledo que de alguma forma contribuíram com este trabalho. Um agradecimento especial aos professores José Alberto Cerri e Eduardo Kruger, da UTFPR câmpus Curitiba, pela orientação perante as dúvidas que surgiram, mesmo não fazendo parte de suas obrigações acadêmicas.

Também gratifico a UTFPR, por me proporcionar um estudo de qualidade e contato com professores excepcionais.

Agradeço à Associação de Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR), especialmente à Mireli Adachi e ao Claiton Schindwein, que acreditaram no estudo e se dispuseram a fornecer todos os dados necessários ao desenvolvimento dele.

Por fim, um reconhecimento especial ao Movimento Empresa Júnior, por ser a peça chave durante a minha graduação, para me formar enquanto pessoa e profissional e possibilitar que eu ampliasse os meus horizontes.

## RESUMO

A medida em que se estuda as ações do ser humano e as consequências que elas vêm causando no meio ambiente, observa-se cada vez mais a urgência de fomentar uma mudança estrutural. Uma das maiores responsáveis pelos impactos ambientais são as construções e operações de edifícios, e a partir disso, molda-se o objetivo deste trabalho: adaptar o projeto de residência popular Casa Fácil com estratégias bioclimáticas eficazes para melhorar o nível de conforto residencial das pessoas de baixa renda na cidade de Marechal Cândido Rondon. Para realizar este estudo, foi realizado um estudo de caso do projeto Casa Fácil, no qual foram definidas estratégias bioclimáticas favoráveis ao clima local por meio das ferramentas ProjeetEEE, Analysis Bio, Analysis ABC, ZBBR e Climate Consultant; o desempenho do projeto original foi avaliado a partir do método prescritivo da NBR 15575, 15220 e demais normativas, metodologias e softwares existentes; foram propostas melhorias para o projeto original com base nos resultados obtidos, e o projeto de residência popular Casa Fácil foi remodelado com a aplicação das estratégias no programa Revit. Como resultados, o desempenho térmico das vedações externas estavam de acordo com os critérios avaliados, porém a cobertura necessita de ajuste na transmitância térmica e fator solar. Quanto ao sombreamento de aberturas, todas as janelas estão em desacordo com o critério, se fazendo necessário a utilização de artifícios de sombreamento para bloquear a entrada de sol no verão. Em relação à ventilação, todas as aberturas apresentaram total desconformidade com a área de abertura recomendada pela normativa, sendo necessário ampliar a área útil. Por fim, os únicos ambientes com taxa de renovação de ar adequada é a sala de estar e cozinha, gerando a necessidade de utilizar artifícios de ventilação para aumentar as trocas de ar. A partir desse resultado, observa-se que o projeto Casa Fácil possui irregularidades em relação aos critérios de desempenho e conforto, e deve ser adaptado para que os usuários possuam uma melhor qualidade de vida.

**Palavras-chave:** estratégias projetuais; arquitetura bioclimática; habitação social; desempenho térmico; conforto ambiental.

## ABSTRACT

As human actions and the consequences they have caused in the environment are studied, there is an increasing urgency to promote structural change. One of the main factors responsible for environmental impacts is the construction and operations of buildings, and from this, the objective of this work is shaped: to adapt the popular housing project Casa Fácil with effective bioclimatic strategies to improve the level of residential comfort of people from low income in the city of Marechal Cândido Rondon. To carry out this study, a case study of the Casa Fácil project was carried out, in which bioclimatic strategies favorable to the local climate were defined using the ProjetEEE, Analysis Bio, Analysis ABC, ZBBR and Climate Consultant tools; the performance of the original project was evaluated based on the prescriptive method of NBR 15575, 15220 and other regulations, methodologies and existing software; improvements were proposed for the original project based on the results obtained, and the popular housing project Casa Fácil was remodeled with the application of strategies in the Revit program. As a result, the thermal performance of the external seals were in accordance with the evaluated criteria, but the cover needs adjustment in thermal transmittance and solar factor. As for the shading of openings, all windows are at odds with the criterion, making it necessary to use shading devices to block the entry of sun in summer. With regard to ventilation, all openings did not comply with the opening area recommended by the regulations, making it necessary to expand the useful area. Finally, the only environments with an adequate air renewal rate are the living room and kitchen, generating the need to use ventilation devices to increase air exchange. From this result, it is observed that the Casa Fácil project has irregularities in relation to the performance and comfort criteria, and must be adapted so that users have a better quality of life.

**Keywords:** design strategies; bioclimatic architecture; social habitation; thermal performance; environmental comfort.

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Classificação climática do Brasil conforme Köppen .....	22
Imagem 2 – Representação da planta baixa da residência em estudo .....	37
Imagem 3 – Representação da planta de cobertura da residência em estudo.....	38
Imagem 4 – Representação da fachada da residência em estudo.....	38
Imagem 5 – Representação da planta de implantação do projeto em estudo.....	39
Imagem 6 – Interface da Carta Psicrométrica do Climate Consultant. ....	42
Imagem 7 – Interface da seção de estratégias bioclimáticas do ProjetEEE .....	43
Imagem 8 - Interface da seção da carta psicrométrica do Analysis Bio .....	44
Imagem 9 - Interface do software Analysis ABC .....	44
Imagem 10 - Interface do software ZBBR .....	45
Imagem 11 – Interface do software Analysis SOL-AR com a carta solar de Marechal Cândido Rondon .....	46
Imagem 12 – Interface do software Revit.....	47
Imagem 13 - Zonas bioclimáticas do Brasil e de Marechal Cândido Rondon .....	49
Imagem 14 - Informações contidas na carta solar.....	52
Imagem 15 – Carta solar da cidade de Marechal Cândido Rondon .....	53
Imagem 16 – Representação dos ângulos $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ dos elementos de sombreamento .....	54
Imagem 17 - Janela tipo basculante do projeto em estudo .....	55
Imagem 18 – Ângulo de incidência do vento para ventilação unilateral .....	56
Imagem 19 - Ângulo de incidência do vento para ventilação cruzada.....	58
Imagem 20 – Esquema da carta bioclimática de Givoni.....	63
Imagem 21 - Orientação solar para análise do projeto.....	67
Imagem 22 - Nomenclatura das aberturas do projeto em estudo para cálculo de sombreamento .....	72



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação dos edifícios e da construção na energia final global em 2020 .....	15
Gráfico 2 - Consumo energético residencial por uso final .....	16
Gráfico 3 - Participação dos edifícios e da construção mundial nas emissões de CO <sub>2</sub> relacionadas à energia em 2020 .....	17
Gráfico 4 - Comportamento do uso de energia e emissões em edifícios em relação aos seus impulsionadores globais.....	18
Gráfico 5 - Consumo de água residencial por uso final .....	19
Gráfico 6 - Porcentagem de materiais usados na construção .....	20
Gráfico 7 – Variação de temperatura (°C) em Marechal Cândido Rondon.....	60
Gráfico 8 - Carta de Givoni de Marechal Cândido Rondon .....	62
Gráfico 9 - Orientação solar nos meses de dezembro a junho.....	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de energia e carbono incorporado e operacional .....	30
Quadro 2 - Condições definidas para análise do projeto.....	66
Quadro 3 - Tabela resumo das diretrizes construtivas, resultados do projeto e alterações necessárias.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área útil dos ambientes do projeto em estudo .....	40
Tabela 2 – Dados das aberturas do projeto .....	41
Tabela 3 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissível para a zona bioclimática 3.....	50
Tabela 4 - Absortância para radiação solar para componentes do projeto em estudo .....	51
Tabela 5 – Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente dos materiais do projeto .....	51
Tabela 6 – Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente dos materiais do projeto .....	52
Tabela 7 - Área útil de ventilação conforme os diferentes tipos de aberturas .....	54
Tabela 8 - Área útil de ventilação conforme os diferentes tipos de aberturas .....	55
Tabela 9 - Coeficientes K e a .....	56
Tabela 10 – Coeficiente de pressão para situação de fachada exposta .....	58
Tabela 11 - Dados de conforto obtidos a partir do ProjeTEEE .....	61
Tabela 12 - Dados de conforto obtidos a partir do Analysis Bio .....	61
Tabela 13 - Estratégias bioclimáticas por estação apontadas pelo ProjeTEEE, Climate Consultant, Analysis Bio, ZBBR e Analysis ABC .....	63
Tabela 14 - Estratégias bioclimáticas por estação apontadas pelo ProjeTEEE, Climate Consultant, Analysis Bio, ZBBR e Analysis ABC .....	64
Tabela 15 - Estratégias bioclimáticas por horário apontadas pelo ProjeTEEE e Climate Consultant .....	64
Tabela 16 - Estratégias bioclimáticas por horário apontadas pelo ProjeTEEE e Climate Consultant .....	65
Tabela 17 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar das vedações conforme a norma e do projeto em estudo.....	68
Tabela 18 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar da cobertura conforme a norma e do projeto em estudo.....	69

Tabela 19 - Possíveis composições de cobertura recomendadas para o projeto conforme a normativa.....	69
Tabela 20 - Possíveis composições de cobertura recomendadas para o projeto conforme a normativa.....	70
Tabela 21 - Condição de sombreamento das aberturas do projeto em estudo.....	72
Tabela 22 - Situação de sombreamento com a solução A.....	73
Tabela 23 - Situação de sombreamento com a solução B.....	74
Tabela 24 - Dimensionamento de brises nas aberturas do projeto.....	75
Tabela 25 - Área útil das aberturas do projeto.....	76
Tabela 26 - Taxa de renovação de ar para quarto 2 e 3 do projeto em estudo.....	78
Tabela 27 - Taxa de renovação de ar para sala de estar e cozinha do projeto em estudo.....	78
Tabela 28 - Taxa de renovação de ar do projeto em estudo.....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
BRE	Building Research Establishment
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
COHAPAR	Companhia de Habitação do Paraná
CREA-PR	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos da América
EDGE IFC	Excellence in Design for Greater Efficiencies, iniciativa do International Finance Corporation
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Normas Brasileiras
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGBC	US Green Building Council
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WorldGBC	World Green Building Council

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Absortância à radiação solar de uma superfície
$c$	Calor específico de um material
$C_T$	Capacidade térmica de um componente $J/(m^2.K)$
FS	Fator solar de um elemento (%)
$\rho$	Densidade de massa aparente do material ( $kg/m^3$ )
$\lambda$	Condutividade térmica do material em $W/(m.K)$
$\varphi$	Atraso térmico de um componente (horas)
U	Transmitância térmica de um componente $W/(m^2.K)$
EJ	Exajoule (Unidade de medida de energia)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>12</b>
1.2.1	Objetivo geral .....	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Construção civil e sustentabilidade .....</b>	<b>13</b>
2.1.1	Impactos do setor da construção.....	14
<u>2.1.1.1</u>	<u>Uso de energia .....</u>	<u>14</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Uso de água .....</u>	<u>18</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Uso de materiais.....</u>	<u>20</u>
<b>2.2</b>	<b>Edificações projetadas a partir do ambiente .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	Influências do clima na edificação .....	22
2.2.2	Eficiência energética .....	24
2.2.3	Eficiência de água .....	28
2.2.4	Eficiência de energia incorporada dos materiais .....	30
<b>2.3</b>	<b>Habitação social no Brasil.....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Etapas do desenvolvimento do trabalho.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>Objeto de estudo – O projeto do programa Casa Fácil.....</b>	<b>36</b>
3.2.1	Características do projeto.....	40
<b>3.3</b>	<b>Ferramentas utilizadas.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>Métodos de avaliação de desempenho .....</b>	<b>47</b>
3.4.1	Diretrizes construtivas para habitação no Brasil.....	48
3.4.2	Geometria solar .....	52

3.4.3	Ventilação.....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Condições para análise do projeto original .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Desempenho térmico do projeto.....</b>	<b>67</b>
4.2.1	Sistema de vedações verticais externas .....	68
4.2.2	Sistema de cobertura .....	69
<b>4.3</b>	<b>Sombreamento das aberturas .....</b>	<b>70</b>
<b>4.4</b>	<b>Ventilação natural.....</b>	<b>75</b>
4.4.1	Aberturas para ventilação.....	75
4.4.2	Taxa de renovação de ar.....	76
<b>4.5</b>	<b>Resumo dos resultados e discussão .....</b>	<b>79</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>86</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as ações do ser humano têm acelerado a degradação da natureza como nunca registrado antes. É um dos principais causadores de prejuízos ambientais é a construção civil, responsável por consumir aproximadamente 40% da energia global, 25% de água, 40% dos recursos naturais globais, e emitir aproximadamente 1/3 das emissões de gases do efeito estufa (UNEP). Por conta desse cenário, a sustentabilidade na construção civil vem se tornando um tema de muita seriedade e relevância, e no Brasil ainda existem muitos passos a serem dados em relação a problemática ambiental e o papel da construção civil neste processo.

Em paralelo, outro grande problema enfrentado há décadas no Brasil é a crise habitacional. Segundo a Fundação João Pinheiro (2021), o *deficit* habitacional no Brasil, ou seja, a quantidade de moradias incapazes de atender o direito de acesso a um conjunto de serviços habitacionais que sejam pelo menos básicos à população, era de aproximadamente 5,9 milhões em 2019. E destas, 25% são habitações consideradas precárias para se viver, como domicílios improvisados ou rústicos, sendo que 94% delas são utilizados por pessoas com renda domiciliar de até 3 salários mínimos.

Sabendo desse contexto, já existem alguns programas e serviços desenvolvidos no país com o objetivo de progredir a situação habitacional no país, dentre eles o Programa Casa Verde e Amarela promovido pelo Governo Federal, e o Programa Casa Fácil criado pelo CREA-PR. Porém, os programas existentes ainda não contemplam estratégias de sustentabilidade efetivas para viabilizar o conforto ambiental das habitações e melhorar a qualidade de vida da população que usufrui delas. Para que a aplicação de estratégias bioclimáticas seja bem-sucedida, é essencial analisar o clima local para entender como potencializar os resultados dessas soluções, a fim de trazer mudanças significativas em relação à qualidade de vida e à redução dos impactos ambientais.

A partir desse cenário, estrutura-se o objetivo deste trabalho, que consistirá em um estudo de caso: adaptar o projeto de residência popular Casa Fácil com estratégias bioclimáticas eficazes para melhorar o nível de conforto residencial das pessoas de baixa renda na cidade de Marechal Cândido Rondon. Para cumprir esse objetivo, será necessário levantar os dados técnico-construtivos do projeto de

residência popular Casa Fácil; definir estratégias bioclimáticas favoráveis ao clima local por meio das ferramentas ProjeTEEE, Analysis Bio, Analysis ABC, ZBBR e Climate Consultant; avaliar o desempenho do projeto original para cada estratégia bioclimática definida, a partir das normativas, metodologias e softwares existentes; propor melhorias para o projeto original com base nos resultados obtidos, a fim de aprimorar o seu desempenho e conforto aos usuários; e por fim, como forma de contribuir com o estímulo da temática da pesquisa na região de Marechal Cândido Rondon, o projeto de residência popular Casa Fácil será remodelado com a aplicação das estratégias no programa Revit.

Com o alcance do objetivo da pesquisa, pretende-se contribuir com o grande desafio no setor da construção no Brasil que é a busca pela sustentabilidade, e impactar ao mesmo tempo o *déficit* habitacional, que é uma herança da desigualdade social do país ainda muito presente nos dias de hoje. Assim, a ação de investigar e propor um modelo otimizado de habitação passa a configurar uma possível ação no sentido de assegurar melhor qualidade de vida às famílias menos favorecidas.

Por fim, a pesquisa segue em sua estrutura com a justificativa do estudo, objetivos gerais e específicos que se pretende alcançar com a execução do trabalho, capítulos de revisão teórica que englobam o panorama da construção civil e a sustentabilidade no que diz respeito à energia, água e materiais, o que torna uma construção sustentável, e a questão da habitação social no Brasil. No capítulo seguinte, tem-se qual será a metodologia e materiais adotados no estudo, com as etapas a serem seguidas para o alcance dos objetivos, a apresentação do projeto Casa Fácil, as ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento do estudo, e as normativas e métodos a serem utilizados para a avaliação do desempenho do projeto. Em seguida, apresentam-se a análise climática do local em estudo, definição das estratégias bioclimáticas, cálculos do desempenho do projeto Casa Fácil conforme os critérios estudados, e proposta de soluções para aprimorar o conforto dos usuários.

## **1.1 Justificativa**

É fato que as construções sustentáveis agregam valor de diferentes maneiras: além do benefício de trazer menos impactos ao meio ambiente, existem muitas

vantagens para quem constrói, quem compra e os bancos que financiam. Construções sustentáveis possuem maiores preços de venda, ciclos de venda mais rápidos, custos operacionais mais baixos, taxas de inadimplência de empréstimos mais baixas e valores de revenda mais altos. O benefício é ainda mais significativo para aqueles que possuem rendas baixas, já que o ganho está na redução de custos mensais e na possibilidade de usufruir de ambientes que trazem mais qualidade de vida, com mais conforto e economia (EDGE IFC).

Porém, qual o motivo dessas construções não serem populares no Brasil? A aplicação de estratégias sustentáveis na construção civil ainda é um tema com muitas objeções, principalmente em nosso território, onde essa prática ainda está caminhando a passos lentos. E alguns motivos pra a lentidão em relação às mudanças são: a percepção persistente de que os custos são superiores à realidade do mercado, não existência de regulamentações governamentais alinhadas com a adoção de construções sustentáveis, hesitação dos bancos em investir em soluções não convencionais e dos proprietários em desembolsar um valor inicial maior por economias futuras incertas.

Um artigo de Charles Lockwood, publicado em 2006 pela Harvard Business Review, aponta como passo essencial para gerar mudanças em prol das construções sustentáveis a integração de princípios verdes já no planejamento das edificações ao invés de simplesmente adicionar tecnologias verdes a uma instalação projetada tradicionalmente. Segundo o autor, esta ação pode gerar até 40% de economia e 40% de potencial no aumento do desempenho das edificações. Outro apontamento feito pelo autor é que essa ação permite colher todos os benefícios de um edifício sustentável, ao mesmo tempo que propicia permanecer dentro de um orçamento padrão de construção (LOCKWOOD, 2006).

A partir disso, e sabendo que as ações governamentais são uma das principais ferramentas para estimular o desenvolvimento da sustentabilidade na construção civil, o tema do trabalho será voltado ao estudo de estratégias projetuais bioclimáticas no projeto de habitação social Casa Fácil. A pesquisa tem como foco desenvolver uma proposta sustentável de um projeto-padrão pequeno, mas as soluções podem se expandir para outros tipos de obras, como edificações externas aos programas sociais, abrangendo desde a adaptação de obras existentes até obras a serem construídas.

## 1.2 Objetivos

Para que seja possível atingir sua proposta, organizam-se a seguir os objetivos geral e específicos, a fim de nortear o desenvolvimento do estudo e compreender após sua conclusão se o propósito do desenvolvimento foi alcançado.

### 1.2.1 Objetivo geral

Adaptar o projeto de residência popular Casa Fácil com estratégias bioclimáticas eficazes para melhorar o nível de conforto residencial das pessoas de baixa renda na cidade de Marechal Cândido Rondon.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, é necessário desenvolver ações em uma sequência lógica, que permitam o desenvolvimento efetivo do trabalho, sendo estas elencadas a seguir.

- Estabelecer estratégias bioclimáticas favoráveis ao clima local para o projeto;
- Avaliar o nível de conforto do projeto Casa Fácil de acordo com os critérios estudados;
- Propor soluções de melhoria para o projeto Casa Fácil de acordo com os critérios estudados;
- Remodelar o projeto de residência popular Casa Fácil com a aplicação das estratégias.

A partir dos objetivos específicos propostos, espera-se alcançar o objetivo geral e assim cumprir com o propósito do trabalho. Para que seja possível desenvolvê-lo, primeiramente é essencial compreender os fundamentos que o norteiam, que será tratado no capítulo a seguir.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo trata da fundamentação teórica que visa ancorar a prática a ser desenvolvida no estudo de caso. A seção embasa a necessidade urgente de mudar as ações do setor da construção civil visando a sustentabilidade, apontando seus impactos em relação à energia, água e materiais. Além disso, contextualiza acerca das edificações sustentáveis e estratégias bioclimáticas, bem como a questão da habitação de interesse social no Brasil.

### **2.1 Construção civil e sustentabilidade**

De acordo com a revisão de 2019 das Perspectivas da População Mundial, que consiste em um relatório de estimativas e projeções populacionais elaborado pelas Nações Unidas, a população global deverá atingir 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100. Ainda conforme o relatório, no Brasil, a tendência é que haja um aumento populacional até 2045, ano no qual se estima um início de queda da taxa anual de crescimento do número de habitantes, que tende a permanecer em queda até o ano de 2100. Por mais que em nosso território a estimativa de aumento populacional não seja tão significativa quanto em outros países, as Nações Unidas também prevê um aumento na urbanização nos próximos anos: segundo a revisão de 2018 das Perspectivas da Urbanização Mundial, 55% da população mundial residia em áreas urbanas naquele ano. Em 1950, 30% da população mundial era urbana e, em 2050, a projeção é de 68%. No Brasil, a projeção para 2030 é 89%, e 92% para 2050.

A partir desses dados, observa-se a importância e necessidade das sociedades buscarem gerir o crescimento urbano desde já, frente aos cenários demográficos futuros, por meio de políticas e planejamento de desenvolvimento que incorporem esse aumento populacional, principalmente em países de renda baixa e média-baixa onde a maior taxa de urbanização é esperada até 2050, conforme as estimativas de urbanização mundial das Nações Unidas. Mas como o crescimento urbano se relaciona à sustentabilidade? A medida que a urbanização aumenta no mundo, o desenvolvimento sustentável depende cada vez mais da gestão bem

sucedida do aumento de habitantes. Por meio do conhecimento das tendências populacionais a longo prazo, é possível maximizar os benefícios dos altos níveis de densidade e minimizar os impactos ambientais que esse aumento gera, além de prevenir outras potenciais consequências que o crescimento no número de habitantes pode trazer para as cidades.

Para minimizar a degradação ambiental, além da boa gestão do crescimento populacional, é imprescindível que o setor da construção civil atue de modo estratégico, buscando soluções que possam atender a população no que diz respeito à moradia adequada, disponibilidade de água e energia, etc., e que não gere prejuízos para o meio ambiente, englobando desde artifícios construtivos, até origem e uso de materiais, e alternativas para reduzir a demanda de água, em busca do uso de recursos de modo eficiente e sustentável.

Frente a essa necessidade, o primeiro passo em direção ao aprimoramento do setor construtivo alinhado ao desenvolvimento sustentável é entender qual o cenário atual e qual o impacto que ele gera na sociedade e meio ambiente, que será tratado a seguir.

### 2.1.1 Impactos do setor da construção

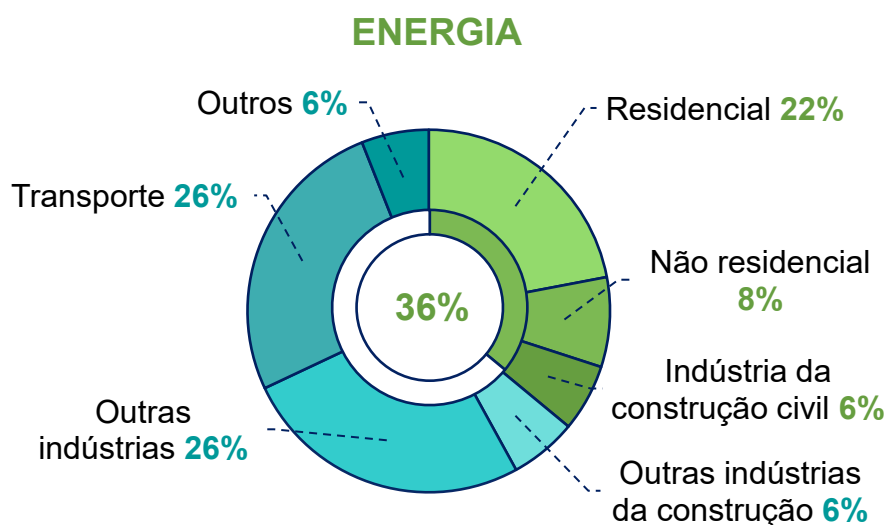
O setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pela ascensão da economia de qualquer país: além de promover o desenvolvimento, favorece a criação de múltiplos empregos e, conseqüentemente, o aumento da renda das famílias. Porém, da mesma maneira que se destaca por aspectos benéficos, chama a atenção por apresentar diversos fatores desfavoráveis, já que suas atividades estão na lista das principais causas dos prejuízos ambientais no mundo, conseqüências estas apresentadas nos tópicos ao longo desta seção. Primeiramente, será evidenciado o cenário atual em relação ao uso de energia nos edifícios.

#### 2.1.1.1 Uso de energia

De acordo com o 2021 Global Status Report for Buildings and Construction, relatório elaborado pela UNEP, a construção e operação de edifícios representaram

36% do consumo mundial de energia, totalizando 149 EJ de energia demandada, sendo que 127 EJ foram consumidos na operação das construções e 22 EJ na fabricação de materiais de construção. No gráfico 1, pode-se observar as demandas de cada setor no uso de energia, ressaltando que a maior taxa se refere à construção e operação dos edifícios residenciais.

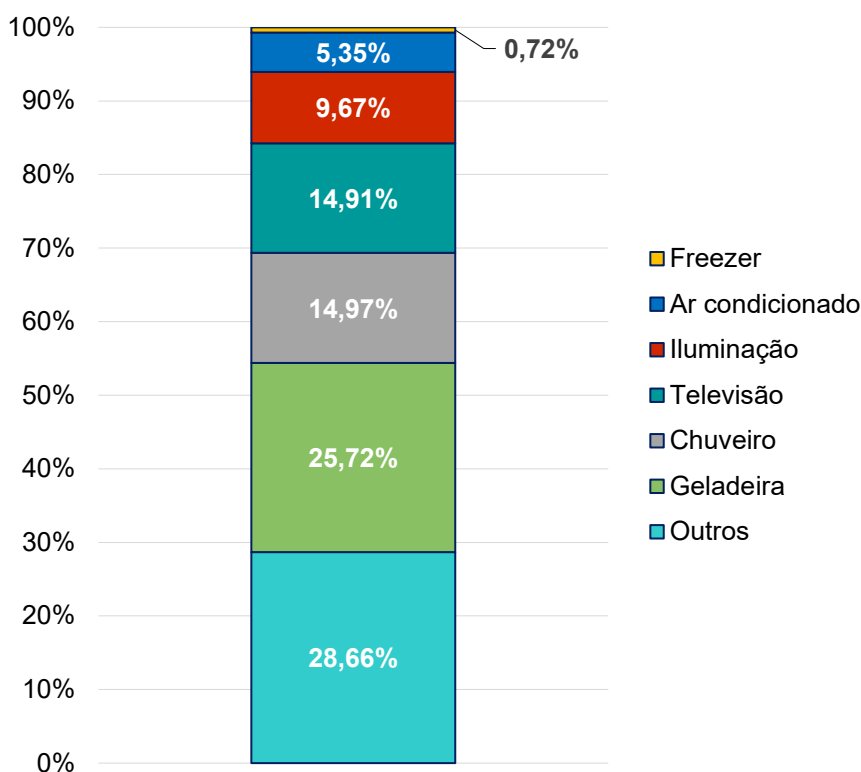
**Gráfico 1 - Participação dos edifícios e da construção na energia final global em 2020**



**Fonte: UNEP (2021), adaptado pela autora.**

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, o setor de edificações (incluindo residências, edifícios comerciais e públicos) no Brasil é responsável por 48,5% do consumo de energia elétrica. Sabendo que o setor residencial é o que possui maior demanda, entender quais usos geram esse consumo de energia é essencial para promover alternativas visando a eficiência energética. Assim, no gráfico 2, pode-se visualizar os usos finais da energia nos edifícios residenciais brasileiros, dados levantados pela Eletrobras na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial de 2019.

**Gráfico 2 - Consumo energético residencial por uso final**



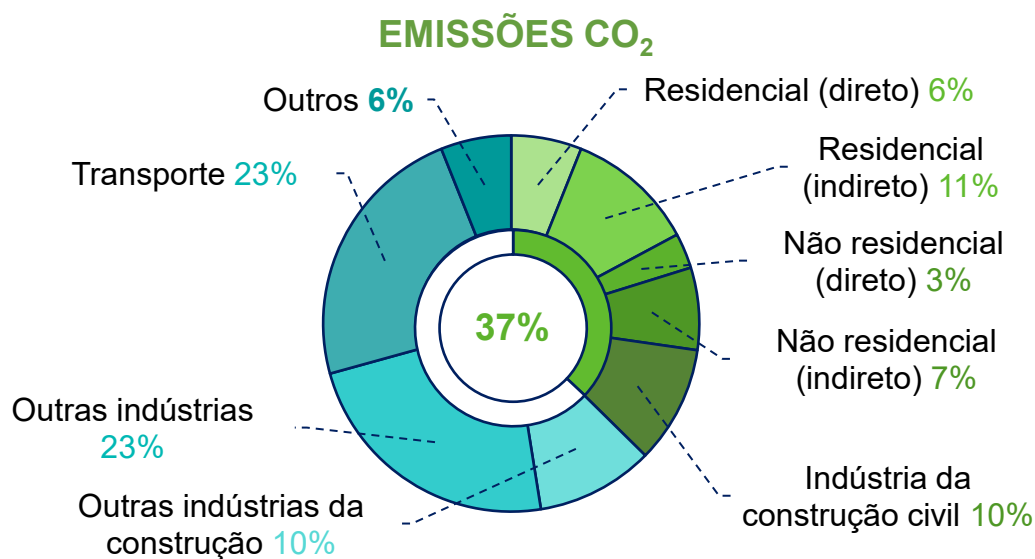
**Fonte: Eletrobras (2019), adaptado pela autora.**

A partir do gráfico 2, observa-se que a geladeira, o chuveiro elétrico e a televisão representam os principais consumos nas residências brasileiras, seguidos de iluminação e ar condicionado, respectivamente.

A medida que a demanda de energia e as taxas de construção aumentam cada vez mais ao longo dos anos, a matriz de energia se torna gradualmente mais responsável pelas emissões de gás de efeito estufa provenientes da geração. A United Nations Environment Programme (UNEP) apresenta em seu relatório de 2021 que o setor construtivo foi responsável mundialmente por 37% das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia em 2020, com suas contribuições apresentadas no gráfico 3, representando novamente que o setor residencial possui uma das maiores representações na parcela de construção e operação de edifícios.



**Gráfico 3 - Participação dos edifícios e da construção mundial nas emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia em 2020**

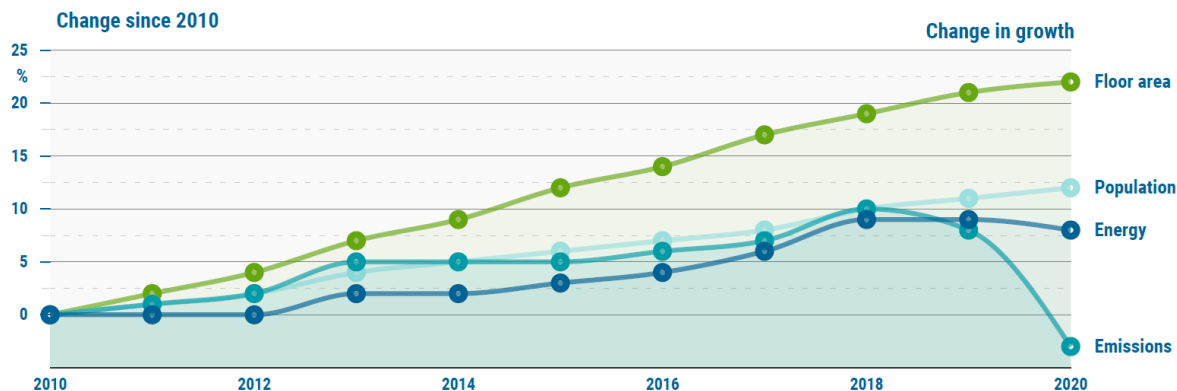


Fonte: UNEP (2021), adaptado pela autora.

Um marco para o setor foi o ano de 2020, no qual a pandemia do COVID-19 foi responsável por impactar fortemente a construção e operação dos edifícios. Conforme o 2021 Global Status Report for Buildings and Construction, elaborado pela UNEP, a taxa média de crescimento anual da construção caiu cerca de 4% no mundo inteiro, em relação aos níveis de 2019, e as emissões globais de CO<sub>2</sub> das operações de edifícios caíram 10%. Essa queda no crescimento do mercado decorreu principalmente dos profundos impactos da pandemia nas atividades de construção, incluindo os efeitos dos bloqueios na oferta de mão de obra, a demanda limitada por novas obras, a desaceleração nas compras públicas e privadas e as interrupções na cadeia de produção e fornecimento de materiais. Além dessa queda histórica, a pandemia também levou a uma mudança no modo como os edifícios existentes eram usados, já que houve uma transição rápida do trabalho presencial em instalações comerciais para o trabalho em ambientes improvisados dentro das próprias residências da população.

No gráfico 4, pode-se observar um impacto significativo no uso de energia e nas emissões dos edifícios em relação aos anos anteriores. Essas mudanças foram resultado das alterações nas atividades domésticas e no local de trabalho, no que diz respeito aos padrões de uso dos ambientes (como resfriamento e aquecimento), locomoção das pessoas, dentre outros.

**Gráfico 4 - Comportamento do uso de energia e emissões em edifícios em relação aos seus impulsionadores globais**



Fonte: UNEP (2021).

A partir dos dados apontados, observa-se que um dos setores mais estratégicos para o mercado da construção civil aprimorar suas ações alinhado à sustentabilidade é o residencial, e entender como a energia é utilizada no dia a dia das pessoas nesse local é essencial para analisar alternativas que promovam reduções no uso. Além disso, observou-se uma queda histórica no nível de emissões, em comparação com os anos anteriores, devido as consequências que a pandemia trouxe no dia a dia das pessoas, revelando que a mudança de comportamento da população é uma parte chave para a redução das demandas e níveis de emissões atuais.

No próximo item, será apresentado um embasamento teórico acerca do uso da água nas edificações.

#### 2.1.1.2 Uso de água

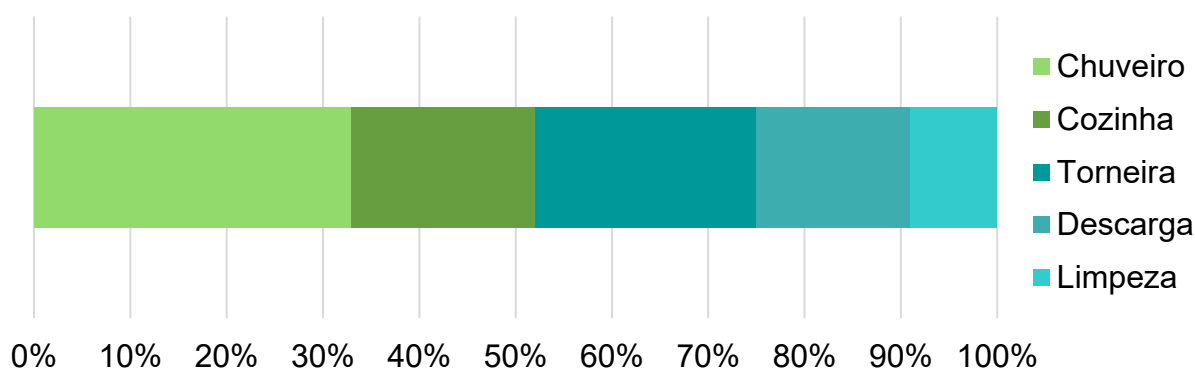
Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020, desenvolvido pela UNESCO, o uso mundial de água aumentou seis vezes nos últimos 100 anos e continua a crescer de forma constante, em razão do aumento populacional, do desenvolvimento econômico e da mudança nos padrões de consumo. O relatório ainda cita um estudo que concluiu que, no cenário atual, o mundo pode enfrentar um déficit hídrico global de 40% até 2030. E além do crescimento urbano e populacional, já ocorrem distúrbios climáticos, como a

alteração dos padrões de precipitação, resultantes das atividades humanas, que agravam ainda mais a disponibilidade de água.

Segundo a UNEP, os edifícios consomem 25% da água globalmente. Sabendo que a demanda de água será inevitavelmente intensificada frente ao crescimento urbano e populacional nas próximas décadas, e em conjunto com os distúrbios climáticos que irão reduzir a disponibilidade de água, serão necessárias ações urgentes de gestão que possibilitem a redução da demanda. Dentre essas ações nos edifícios, estão os programas de uso racional da água, mudanças comportamentais, e uso de equipamentos de baixo consumo.

Para entender como promover essas mudanças, é necessário compreender o comportamento da população no ambiente. Assim, pode-se observar os usos finais da água nos edifícios residenciais no gráfico 5.

**Gráfico 5 - Consumo de água residencial por uso final**



Fonte: EDGE IFC.

No gráfico 5, constata-se que os usos mais significativos de água são em chuveiros, em torneiras e na cozinha. Entendendo quais são os dispositivos que geram maior gasto, pode-se analisar alternativas que tragam mudanças significativas para promover reduções no uso. A partir disso, já é possível concluir que o chuveiro é um equipamento de grande impacto no dia a dia da população, visto que é um dos maiores responsáveis pelo uso de energia e o primeiro em questão de uso de água.

Entendendo o cenário do uso da água nas edificações, no item a seguir, será apresentado o panorama atual em relação ao uso de materiais na construção civil.

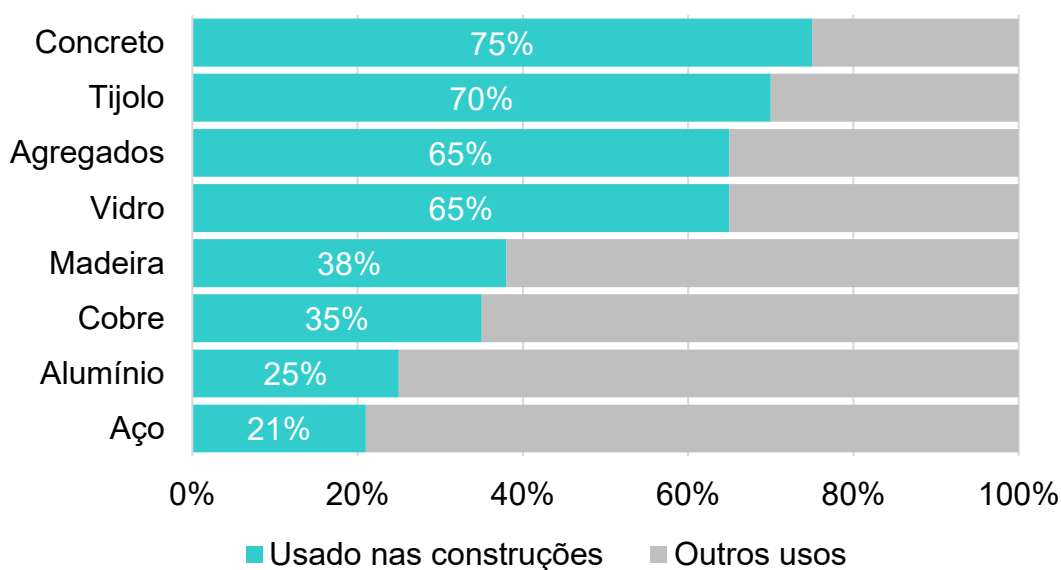
### 2.1.1.3 Uso de materiais

A indústria da construção civil consome 40% dos materiais naturais que entram na economia global (EDGE IFC). E de todos os materiais utilizados nas construções, apenas 3 deles – concreto, aço e alumínio – são responsáveis por 23% do total de emissões globais (Architecture 2030).

Segundo Roth e Garcias (2009), em consequência da alta demanda de materiais e da falta de consciência ecológica, ocorrem inúmeras ações no setor da construção civil que impactam negativamente o meio ambiente, desde a fase da extração da matéria-prima da natureza, fabricação dos materiais, construção das edificações até a disposição final de resíduos gerados, podendo ser entulhos da concepção ou da demolição da obra. Apesar da evolução lenta, a consciência ecológica na indústria da construção civil ainda é pouco significativa dada a urgência do cenário ambiental atual.

No gráfico 6, estão dispostos alguns dos principais materiais produzidos no setor construtivo no mundo, e a parcela de cada um deles que é utilizada nas obras civis.

**Gráfico 6 - Porcentagem de materiais usados na construção**



Fonte: EDGE IFC.

A partir dos dados apontados, observa-se que as ações desenvolvidas no setor construtivo, em todas as esferas, devem se tornar alinhadas com a sustentabilidade, analisando profundamente os impactos dos materiais ao meio ambiente antes de serem utilizados, e um dos meios para isso é o estudo do ciclo de vida. Entender os impactos de cada material é essencial para promover alternativas mais favoráveis para as construções.

No capítulo a seguir, será desenvolvido a fundamentação teórica acerca das características que tornam uma edificação sustentável.

## **2.2 Edificações projetadas a partir do ambiente**

Em 2021, o United States Green Building (USGBC), criador do sistema LEED (um protocolo de avaliação e certificação internacional de edifícios ecologicamente sustentáveis), divulgou dados que mostram que o Brasil ocupa a 7ª posição no ranking mundial de sustentabilidade. Mesmo assim, apenas 1% do que é construído no país se encaixa no conceito de sustentabilidade ambiental. Para entender o impacto desses números, primeiramente se deve entender o que é uma construção sustentável.

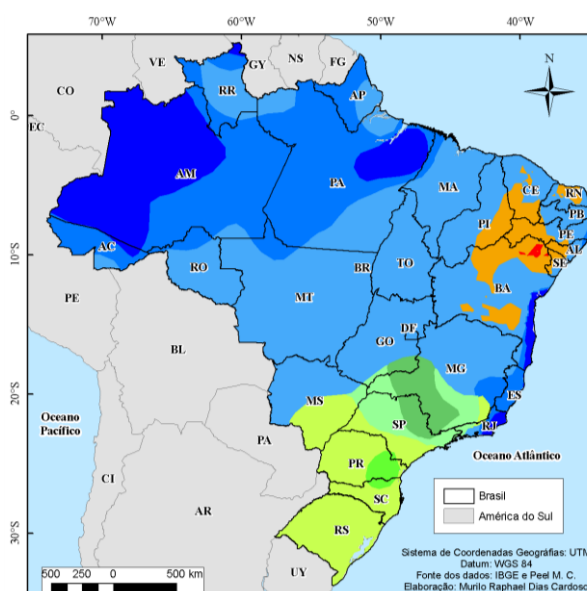
O relatório “Healthy Homes Barometer 2022”, elaborado pela VELUX, descreve que residências e locais de trabalho saudáveis e sustentáveis podem ser traduzidos em edifícios que respeitam os recursos naturais, otimizam o uso de energia e água, proporcionam um clima interno saudável e minimizam o impacto climático e ambiental. Mas como tornar essas características realidade em uma edificação? Para compreender essa questão, é necessário entender que o comportamento de um edifício ao longo da sua vida útil está diretamente ligado com o ambiente no qual ele está inserido, o qual será apresentado na próxima seção desse trabalho, visando embasar a análise a ser desenvolvida acerca das estratégias aplicáveis ao projeto em estudo.

## 2.2.1 Influências do clima na edificação

Segundo o EDGE IFC, as condições climáticas ditam o conforto térmico dos usuários, e edifícios que são projetados conforme o clima no qual estão inseridos possuem maior facilidade em atingir o máximo nível de conforto utilizando o mínimo de consumo de energia e custos da operação do edifício. Assim como o clima influencia como as pessoas se vestem, ela naturalmente determina a forma dos edifícios, ou seja, se o projeto deve incluir isolamento, janelas grandes ou pequenas, sombreamento, ventilação, altura do teto, sistemas de resfriamento ou aquecimento, dentre outros.

Assim, a primeira questão a ser avaliada ao iniciar um projeto é o clima local, que pode ser classificado de várias maneiras. Um dos sistemas mais utilizados mundialmente para classificação do clima é o de Köppen, que se baseia nas médias anuais e mensais de temperatura e precipitação com cinco grupos principais: tropical (A), árido (B), temperado (C), continental (D) e glacial (E), com classificação em subgrupos e tipos em cada um dos grupos. No Brasil, existem regiões do grupo A até C, e na região Sul, predominam os climas temperados, conforme a imagem 1.

**Imagem 1 – Classificação climática do Brasil conforme Köppen**



### Classificação Climática: Köppen

<span style="color: blue;">■</span> Af - Clima tropical úmido ou Clima Equatorial	<span style="color: lightgreen;">■</span> Cfa - Clima temperado úmido com Verão quente
<span style="color: blue;">■</span> Am - Clima de monção	<span style="color: lightgreen;">■</span> Cfb - Clima temperado úmido com Verão temperado
<span style="color: lightblue;">■</span> Aw - Clima Tropical com Estação seca no inverno	<span style="color: lightgreen;">■</span> Cwa - Clima temperado úmido com Inverno seco e Verão quente
<span style="color: orange;">■</span> BSh - Clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude	<span style="color: darkgreen;">■</span> Cwb - Clima temperado úmido com Inverno seco e Verão temperado
<span style="color: red;">■</span> BWh - Clima das regiões desérticas quentes de baixa latitude e altitude	

Fonte: <http://o-espetacular.blogspot.com/2013/01/analise-do-texto-climatologia-nocoas.html>

Além do clima, é necessário compreender o comportamento térmico de um edifício no ambiente em que se encontra. Segundo o EDGE IFC, um bom projeto deve buscar proporcionar um sistema térmico equilibrado, reduzindo as demandas de resfriamento e aquecimento por sistemas mecânicos ativos. E isso é possível analisando os ganhos e perdas de calor provocados por fatores internos (iluminação, equipamentos, corpos humanos, etc) e externos (calor provocado pelo sol, temperatura do ar externo, vento, etc). Em edifícios nos quais o sistema térmico não está naturalmente em equilíbrio, são necessários sistemas e tecnologias adicionais para aquecimento e/ou refrigeração, mas o ideal é que eles sejam considerados somente após examinar todas as alternativas de minimizar ou maximizar o ganho de calor solar.

As transferências de calor e ventilação natural em um edifício também variam de acordo com alguns fatores projetuais, apresentados pelo EDGE IFC:

- Relação de área de superfície para área de piso: para minimizar os ganhos de calor no verão e as perdas de calor no inverno por condução, o edifício deve ser projetado com a relação mais otimizada possível, ou seja, equilibrando a área de superfície e a área de piso, já que a primeira é diretamente proporcional com as transferências de calor, e a última é inversamente proporcional à iluminação e ventilação natural;
- Orientação solar do edifício e sua forma: impacta diretamente no ganho de calor, sombreamento, dentre outros, e para minimizar os ganhos é essencial minimizar as faces nas orientações leste e oeste, e além disso é conhecido que a face norte de um edifício receberá o sol mais direto se localizado no hemisfério Sul, então é necessário levar esse ponto em consideração no momento de projetar;
- Percentual de Abertura de Fachada (WWR ou PAF): obtido pela divisão da área de vidro pela área total de uma fachada. O calor flui através de uma janela de vidro simples mais de 10 vezes mais rápido do que através de uma parede bem isolada. Sendo assim, é essencial buscar o equilíbrio entre aberturas e paredes, de modo a atender os níveis mínimos de iluminação e ventilação sem prejudicar o desempenho térmico do edifício aumentando os

ganhos de calor solar. Também existem vidros com WWR reduzidos, que possibilitam aberturas maiores com o mesmo ganho de calor de aberturas menores com vidros convencionais;

- Isolamento de telhados e paredes: construções bem isoladas ajudam a reduzir necessidade de aquecimento e resfriamento, porque evita o fluxo de calor condutivo entre o exterior e o interior. E o bom isolamento depende do material aplicado, da espessura utilizada e alguns coeficientes, como o valor U (quanto menor, gera maior isolamento), Low-E (quanto menor, menos calor é irradiado), e SHGC (expressa como uma fração entre 0 e 1 que denota a fração de calor transmitida através do vidro via radiação);
- Dispositivos de sombreamento: os dispositivos de proteção solar externos apropriados podem ajudar a reduzir o ganho de calor solar durante os meses de verão e evitar o reflexo do sol. Dispositivos externos podem ser usados para cortar o sol alto do verão e deixar entrar o sol mais baixo do inverno. No hemisfério Sul, dispositivos horizontais são eficientes nas faces voltadas para o norte, e verticais nas faces leste e oeste.
- Refletividade da superfície (albedo): mede a refletividade de um acabamento de material para todo o espectro solar. Acabamentos externos altamente refletivos reduzem o ganho de calor em climas quentes, e geralmente os materiais de cores claras possuem alta refletividade. O Índice de Refletividade Solar (SRI) é outra medida para propriedades refletivas que também considera a emissividade, possibilitando que determinados materiais escuros também tenham um bom desempenho.

Assim, após a contextualização dos assuntos abordados, a próxima seção do presente trabalho apresenta soluções para promover a eficiência energética em uma edificação.

### 2.2.2 Eficiência energética

Segundo a UNEP, a eficiência energética de um edifício é determinada pela taxa na qual a energia é perdida através da estrutura física da edificação (sua envolvente) e a taxa na qual a energia é utilizada para satisfazer as necessidades energéticas e o conforto físico dos seus usuários. Esses dois fatores muitas vezes



estão intimamente relacionados, pois a estrutura física e o projeto de uma edificação, interagindo com o clima local, influenciam fortemente a escolha do sistema energético e a eficiência associada desse sistema. Ao considerar iniciativas para melhorar a eficiência energética dos edifícios, portanto, é importante ter em mente ambos os fatores.

Buscar a eficiência energética nas edificações proporciona um impacto não somente nos custos operacionais, mas também na redução dos impactos ambientais e melhoria da saúde dos usuários. Um estudo desenvolvido pela Escola de Saúde Pública de Harvard mostrou que a cada 1 dólar economizado em energia pelos edifícios com certificação verde estudados entre 2000 e 2016 no Brasil, 39 centavos de dólar foram economizados em benefícios para saúde e clima, sendo este um benefício econômico associado à prevenção das consequências negativas das mudanças climáticas aos habitantes (incluindo doenças, danos, mortes, hospitalizações, ataques de asma evitados pela exposição ao dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio e  $PM_{2,5}$ , assim como seus danos climáticos associados) (MacNaughton, 2018).

Compreendendo a relevância das construções sustentáveis e os benefícios que a economia de energia podem gerar além da redução dos custos, parte-se para o entendimento de quais variáveis podem ser trabalhadas em busca da eficiência energética, as quais serão abordadas a seguir.

No que diz respeito à iluminação, o EDGE IFC apresenta duas fontes: a luz natural e a artificial. A iluminação natural é a prática de iluminar um espaço usando a luz solar natural, e é um artifício conhecido por melhorar o humor e o desempenho no trabalho dos usuários. Porém, ela sofre impactos de muitos fatores: o clima que o edifício está inserido, sua localização e formato, orientação solar, área de janelas e sua localização na edificação, sistema de envidraçamento, profundidade dos espaços, localização dos móveis, refletância da superfície do espaço interno, dentre outras. A forma do edifício, por exemplo, possui um grande impacto na iluminação, pois aumentar o perímetro da edificação gera um aumento no acesso à luz do dia, mas uma configuração compacta desempenha melhor economia de energia, então os dois precisam ser equilibrados. Quando se fala em envidraçamento, a área envidraçada ideal para economizar energia é de cerca de 20-40% (variando com a orientação e o tipo de vidro). Exceder 50% de envidraçamento, mesmo utilizando vidros de alto

desempenho, resulta em baixo desempenho energético de uma edificação. Além disso, existem fatores adicionais que podem potencializar o acesso de um edifício à luz natural, como o uso de átrios ou claraboias, vidros de alta performance, sombreamento das aberturas, e composições diferenciadas para o telhado.

Já com relação à iluminação artificial, esta pode ser integrada com a luz natural par criar um sistema eficiente de iluminação no edifício. Para garantir a eficiência, as luminárias a serem utilizadas devem possuir boa propagação de luz, permitindo assim reduzir o número total de luminárias, as lâmpadas devem ser eficientes e com alta emissão de luz, e a iluminação no espaço interno pode ser maximizado por cores internas refletivas. Um ponto importante a ser ponderado é que toda lâmpada elétrica consome energia e produz luz e calor, mas a taxa de conversão de energia (watts) em saída de luz (lúmens) dita sua eficácia luminosa. Segundo a EDGE IFC, as lâmpadas incandescentes são as menos eficientes, produzindo menos de 10 lumens por watt (lm/w). As lâmpadas de sódio de baixa pressão apresentam a maior eficácia, em cerca de 150 lm/w , mas não possuem boa reprodução de cores, e os LEDs estão no meio com alta eficiência (em torno de 90 lm/w) e boa reprodução de cores.

Ainda, outra opção para a iluminação de uma residência é a integração de painéis fotovoltaicos. A tecnologia fotovoltaica usa energia solar para gerar eletricidade, e isso não só reduz as contas, mas também não gera emissões de carbono durante seu uso. E é fundamental que os painéis solares sejam considerados desde o início do processo de projeto, como parte integrante da estratégia energética do edifício, pois podem influenciar a orientação, a pegada, a forma e a estética da residência. Além disso, conforme o EDGE IFC, os sistemas solares fotovoltaicos precisam ser dimensionados de acordo com a eficiência do painel e a radiação solar esperada no local. Em relação à eficiência, no mercado existem três tipos principais de tecnologias fotovoltaicas disponíveis: filme fino, possuindo de 6 a 13% de eficiência, silício multicristalino, de 15 a 16,5%, e silício monocristalino, de 16 a 18%, sendo que a eficiência de um painel solar representa a capacidade de converter a luz solar em eletricidade. E a radiação solar varia muito de acordo com o local, pois depende da quantidade e do ângulo de luz solar. Os painéis planos funcionam melhor em regiões equatoriais, e os painéis inclinados funcionam melhor perto dos pólos norte e sul.

Quando se fala em sistemas e tecnologias para aquecimento, ventilação e ar condicionado dos edifícios (AVAC), a primeira solução cogitada para refrigeração geralmente é o ar condicionado. Porém, o EDGE IFC ressalta que existem muitas alternativas que proporcionam refrigeração com menor consumo de energia: a casa pode se manter fresca por meio de uma combinação de isolamento adequado, janelas e portas bem posicionadas, iluminação natural, sombreamento e ventilação, gerando o mínimo de consumo. Então, os sistemas AVAC não se resumem ao ar condicionado: tem-se os sistemas passivos, referentes àqueles que utilizam propriedades de materiais ou fenômenos naturais para proporcionar conforto; e os ativos, sistemas que usam peças mecânicas e elétricas movidas a energia. A ventilação natural, por exemplo, é um sistema passivo que usa o princípio do resfriamento evaporativo para promover o conforto térmico, e a solução mais prática e comum adotada na maior parte dos casos é a induzida por diferença de pressão pelo vento, que pode ser unilateral, cruzada com espaços simples ou duplos. Em relação aos sistemas ativos de ventilação, alguns exemplos são os ventiladores de teto, que aumentam o conforto térmico com a movimentação do ar e podem ser surpreendentemente satisfatórios no efeito de resfriamento, e também os sistemas de ar condicionado mecânicos, que funcionam por meio de convecção forçada e podem ser comparados por meio do coeficiente de desempenho (COP).

No Brasil, o tema da eficiência energética já é alvo de programas governamentais, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, que fornece informações sobre a eficiência dos equipamentos, possibilitando a escolha ao usuário para adquirir um produto mais eficiente na hora da compra, além de estimular a fabricação de produtos mais eficientes. Especificamente para eletricidade, existe o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o PROCEL.

Assim, após a contextualização dos assuntos abordados, a próxima seção desse trabalho apresenta soluções para promover a eficiência de água em uma edificação.

### 2.2.3 Eficiência de água

Os edifícios usam não apenas uma grande parte da energia global, mas também 25% da água disponível no mundo, e assim como a energia, a água é um recurso precioso e caro que deve ser conservado.

De acordo com o EDGE IFC, a maior parte da água que abastece as residências vem das chuvas que alimentam os rios e os aquíferos subterrâneos, logo é fundamental conhecer o comportamento das chuvas, que pode variar muito com base na localização. Portanto, a estratégia de gestão da água depende da local a ser analisado, mas é importante atentar que a precipitação não ser traduz necessariamente em maior quantidade de água disponível. Ainda, o EDGE IFC ressalta que apesar da precipitação mundial líquida não sofrer grandes variações ao longo dos anos, a tendência global é que as áreas úmidas fiquem cada vez mais úmidas e as áreas secas cada vez mais secas. Quando chove, as chuvas ficam mais fortes, mas são seguidas por períodos de seca mais longos, e grande parte do mundo já enfrentam seca extrema.

A partir desse cenário, entende-se que é fundamental desenvolver estratégias nas edificações que possam operar de modo mais eficiente. Primeiramente, a análise do uso de água projetado de um edifício pode ajudar a identificar onde a água pode ser melhor conservada e onde é possível economizar mais. O gráfico 5, apresentado na seção 2.1.1.2, traz o cenário de consumo de água em uma casa de padrão médio, no qual constata-se que os usos mais significativos de água são em chuveiros, em torneiras e na cozinha. Conhecendo o comportamento dos usuários nas residências, pode-se avaliar se algum dos usos da água pode ser reduzido ou substituído. Assim, a seguir, serão avaliadas algumas tecnologias que possibilitam a redução do uso de água nos edifícios.

Segundo o EDGE IFC, a água pode ser conservada de três maneiras principais: reduzir a demanda, reciclar a água ou coletar recursos naturais, opções que devem ser escolhidas com base na avaliação dos sistemas da edificação que consomem água, para identificar qual traz melhor benefício. Para redução da demanda, uma das opções e tecnologias existentes são as instalações hidráulicas de baixo fluxo, como torneiras, chuveiros, descargas e também acessórios como aeradores nas torneiras. É válido ressaltar que existe um equívoco geral de que o uso

de equipamentos de baixo fluxo resultam em uma experiência ruim para o usuário, visto que com a moderna tecnologia de aeração, mesmo as instalações de baixo fluxo não comprometem a sensação de plenitude do fluxo de água.

Em relação à reciclagem da água, existem dois sistemas que podem ser implementados em uma edificação, que são os sistemas de tratamento e reciclagem de água cinza e de água negra. Apesar de ambos os mecanismos não permitirem o uso da água para consumo, é possível substituir a água potável em determinados usos pela reciclada gerando economia. A água cinza consiste na água que desce pelo ralo de fontes como pias, banho e lavanderia (exceto resíduos sólidos de vasos sanitários), que pode ser reaproveitada para usos como irrigação, descarga de vasos sanitários, ou até mesmo para lavagem de roupas se houver um tratamento adequado. Porém, para seu funcionamento, exige a instalação de tubulação dupla dentro dos edifícios para transportar separadamente a água potável e a água cinza para abastecimento. Além disso, a tubulação para resíduos de águas cinzas é separada da tubulação para descarte de resíduos sanitários, agregando gastos na fase de construção. Já a água negra inclui a água cinza em conjunto com resíduos contaminantes biológicos, provenientes do vaso sanitário por exemplo, que tornam o tratamento mais complexo, exigindo um tratamento físico, químico ou biológico. Apesar disso, em comparação com a reciclagem de água cinza, a estrutura para a reciclagem de água negra é mais simples, já que todas as águas residuais podem ser transportadas por um único sistema de cano de esgoto, como de costume.

Por fim, pode-se utilizar da captação de recursos naturais, como a captação de águas pluviais ou poços artesianos, para gerar economia de água. Assim como a água reciclada, a água da chuva pode ser utilizada somente para usos não potáveis, e existem algumas maneiras de armazená-la no local: o método mais típico é o uso de tanques de armazenamento na superfície do terreno ou subterrâneo, mas também o EDGE IFC apresenta como solução utilizar tanques de armazenamento montados na parede permitindo a alimentação de água por gravidade para uso. Na questão projetual, o tamanho de um sistema deve ser estimado com base na precipitação local, volume de água necessário e porcentagem perdida na evaporação.

A partir da implementação de um ou mais sistemas para eficiência de água, pode-se impactar também no consumo de energia, pois a energia também é usada para aquecer água para uso doméstico e de serviço. Ou seja, um maior uso de água

quente gera um consumo maior de energia. Assim, quando opções eficientes como um chuveiro de baixo fluxo são implementadas, o consumo geral de energia também é reduzido. Pequenas economias em cada sistema podem somar uma quantia substancial de redução em ambos os consumos.

Após a contextualização dos assuntos abordados, a próxima seção do presente trabalho apresenta soluções para promover a eficiência de energia incorporada em materiais.

#### 2.2.4 Eficiência de energia incorporada dos materiais

No que diz respeito ao impacto ambiental dos materiais de construção, surgem 4 conceitos fundamentais: energia incorporada e operacional, e carbono incorporado e operacional, definidos no quadro 1.

**Quadro 1 - Definições de energia e carbono incorporado e operacional**

CONCEITO	DEFINIÇÃO
Energia incorporada	Energia consumida na produção e vida útil de um material
Energia operacional	Energia consumida à vida útil de um edifício
Carbono incorporado	Emissões de gases de efeito estufa associadas na produção e vida útil de um material
Carbono operacional	Emissões de gases de efeito estufa associadas à vida útil de um edifício

Fonte: adaptado de EDGE IFC.

As seções 2.1.1.1 e 2.2.2, nas quais foram abordados os usos da energia e eficiência energética de um edifício, referiram-se à energia operacional ao longo de sua vida útil. Porém, a medida em que se aplicam soluções para diminuir o consumo de energia em um edifício, a importância relativa da energia incorporada aumenta. Assim, embora a economia de energia operacional seja importante, a energia incorporada também desempenha um papel crítico. É importante analisar os métodos construtivos utilizados e a zona climática na qual a obra está inserida, pois a proporção entre energia incorporada e operacional também varia com base nesses fatores.

Cada etapa no processo de criação de materiais utiliza energia e gera emissões de carbono. Ao contrário das emissões operacionais, que podem ser reduzidas ao longo do tempo com melhorias de energia do edifício e com o uso de energia renovável, as emissões de carbono incorporadas são inalteráveis assim que um edifício é construído. Isso se deve ao fato que a energia e o carbono incorporado estão associadas ao ciclo de vida dos materiais utilizados na construção, então a partir do momento que um material com grande representatividade de energia e carbono é utilizado, não é possível removê-lo ou alterá-lo. E o processo de fabricação de um produto de construção é responsável pela maior proporção de energia incorporada e emissões associadas ao seu ciclo de vida. Assim, a escolha de quais materiais utilizar e sua quantidade é um ponto crucial para reduzir as emissões de carbono e energia associadas.

Alguns materiais comumente utilizados na construção podem ser surpreendentemente intensivos em energia e/ou carbono incorporado. Elementos de construção, como fundações, armações e outras formas de superestrutura, geralmente representam a maior contribuição, principalmente devido aos grandes volumes de material que usam e os materiais com grandes cargas incorporadas de energia e/ou carbono, como aço, concreto e alvenaria. Tijolos de barro, por exemplo, são normalmente queimados em forno e têm alta energia incorporada e emissões associadas. Os blocos de concreto, no entanto, possuem baixa energia incorporada e alto potencial de uso de agregados reciclados e substitutos do cimento. O revestimento de aço inoxidável também se apresenta como uma boa opção, pois requer uma quantidade menor de material e o aço é fabricado com 95% de conteúdo reciclado. Além de elementos de superestrutura, as fachadas também podem contribuir significativamente se utilizarem grandes quantidades de alumínio e vidro, ambos com processos de produção intensivos em carbono.

A partir disso, entende-se a relevância de reduzir a energia incorporada dos materiais e suas emissões de carbono associadas, as quais segundo o EDGE IFC podem ser manipuladas por meio de três maneiras principais: reutilizar componentes de construção existentes ou provenientes de demolição ou reciclagem, utilizar a localidade da edificação como fonte de materiais, e selecionar materiais com baixo impacto ambiental incluindo a otimização de materiais e sequestro de carbono. A reutilização de componentes de construção existentes ou provenientes de demolição

ou reciclagem dá nova vida aos materiais existentes e reduz a demanda por novos recursos. Materiais como madeira e concreto podem ser recuperados e reutilizados, assim como componentes menores como esquadrias e tijolos. Além disso, a própria área do local pode ser utilizada como fonte de materiais para a construção, como blocos de terra comprimidos provenientes do solo extraído, pedra, areia, madeira, concreto reciclado para agregados e produtos agrícolas como bambu ou fardos de palha. O uso de materiais extraídos do local reduz o desperdício de energia no transporte. E por fim, materiais com baixo impacto ambiental podem ser utilizados, porém é essencial analisar opções práticas e realistas para o local onde o projeto está inserido e de acordo com os materiais disponíveis, bem como o tamanho e escala do edifício. Uma escolha estratégica é utilizar alternativas para reduzir ou substituir os elementos da construção com maior impacto ambiental, quando possível, como cimento, aço, alumínio e vidro. Ademais, de acordo com o Conselho Mundial de Construção Verde (WorldGBC, 2019), alguns materiais possuem a capacidade de absorver carbono da atmosfera durante certos estágio de seu ciclo de vida, como produtos madeireiros e outros biomateriais como bambu e cânhamo, que capturam e armazenam carbono durante seu crescimento, conhecido como carbono biogênico. O uso de madeira de fontes sustentáveis certificadas, onde são aplicadas as melhores práticas de manejo florestal, tem o potencial de contribuir significativamente para os esforços de descarbonização, assim como a reutilização ou reciclagem desse material, pois isso prolonga o período de armazenamento do carbono biogênico.

Já existem algumas bases de dados nas quais é possível ter acesso ao ciclo de vida de materiais, seus impactos, e como promover redução de energia e carbono incorporados. Um desses projetos é a Paleta de Materiais Inteligentes de Carbono (Carbon Smart Materials Palett), desenvolvido pela Architecture 2030, na qual reúne atributos e especificações de diversos materiais para promover reduções de carbono incorporadas no ambiente construído, identificando as principais características que contribuem para o impacto de carbono incorporado de um material e oferecendo diretrizes e opções para redução das emissões. O projeto foi desenvolvido para apoiar e complementar as Avaliações do Ciclo de Vida (LCAs) e as Declarações de Produtos Ambientais (EPDs).

Para concluir o embasamento teórico do trabalho em estudo, a próxima seção apresenta uma contextualização sobre o *déficit* habitacional no Brasil, assim como



programas já existentes que promovem o acesso da população à habitação social, o interesse da população de Marechal Cândido Rondon aos programas, e soluções sustentáveis que já vêm sendo implementadas.

### **2.3 Habitação social no Brasil**

O *déficit* habitacional compõe uma das mais graves dificuldades enfrentadas pela sociedade brasileira atualmente, e um dos principais desafios no desenvolvimento urbano do país consiste em oferecer moradias de baixo custo e com qualidade para famílias de baixa e média renda.

Segundo a Fundação João Pinheiro (2021), o *déficit* habitacional no Brasil, ou seja, a quantidade de moradias incapazes de atender o direito de acesso a um conjunto de serviços habitacionais que sejam pelo menos básicos à população, era de aproximadamente 5,9 milhões em 2019. E destas, 25,2% são habitações consideradas precárias para se viver, como domicílios improvisados ou rústicos, sendo que 94% delas são utilizados por pessoas com renda domiciliar de até 3 salários mínimos. Já a quantidade de residências que apresentam algum tipo de inadequação chega próximo a 24,9 milhões, incluindo carências de infraestrutura urbana, como falta de abastecimento de água, de esgoto, de energia elétrica, de coleta de lixo, além de outras características da própria edificação, como o armazenamento inadequado de água, ausência de banheiro exclusivo, cobertura e pisos inadequados, dentre outros.

Na questão de dados do local em estudo, uma pesquisa realizada pela Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR) mostra que em Marechal Cândido Rondon, existiam 3.873 pessoas cadastradas com interesse em habitações de interesse social em 2019, ou seja, mais de 7% do número de habitantes estimado pelo IBGE. Destas, 1.025 pessoas possuíam a faixa de renda de até 1 salário mínimo, 1.473 de 1 a 2 salários mínimos, e 501 de 2 a 3 salários mínimos, totalizando 77% dos cadastrados com renda domiciliar de até 3 salários mínimos.

Sabendo desse contexto, já existem alguns programas e serviços desenvolvidos no país com o objetivo de progredir a situação habitacional no país, dentre eles o Programa Casa Verde e Amarela promovido pelo Governo Federal, e o Programa Casa Fácil criado pelo CREA-PR. O Programa Casa Fácil é uma iniciativa

criada em 1989, voltada à construção de moradias populares com até 70 metros quadrados para famílias com renda limitada a 3 salários mínimos, e em Marechal Cândido Rondon, o programa está sob responsabilidade da Associação Regional de Engenheiros e Arquitetos (AREA - MCR).

Existem algumas soluções sustentáveis já adotadas no programa Casa Verde e Amarela. A iniciativa, originada em 2009 e aplicada em 2012, consiste na instalação de sistemas de aquecimento solar (SAS) para água em todas as casas unifamiliares, como uma solução para reduzir o consumo do chuveiro elétrico nas habitações sociais, equipamento visto no decorrer do referencial teórico como um dos maiores responsáveis pelo uso de energia e o primeiro em questão de uso de água. Além disso, o sistema se tornou opcional para as regiões Norte e Nordeste por conta do hábito da população em não utilizarem aquecimento de água para banho, o que gerava mais conforto porém não implicava em economia de energia, e se manteve obrigatório nas demais regiões, podendo ser substituído por sistemas de microgeração de energia via sistemas fotovoltaicos. Ainda, de acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a especificação mínima do programa deve passar a considerar aspectos de adaptação climática, conforto térmico e eficiência energética na operação, para evitar futuras instalações de sistemas de ar condicionado em habitações desconfortáveis. As principais áreas de atuação são: janelas e esquadrias, materiais construtivos, refletância da cobertura, iluminação eficiente e ventiladores.

Por mais que exista um cenário de progresso em direção às edificações sustentáveis, os programas existentes ainda têm um longo percurso para contemplar um projeto completo com estratégias bioclimáticas eficazes, que viabilizam o conforto ambiental das habitações nos diversos climas do país para melhorar a qualidade de vida das famílias que usufruíram delas. Para que a aplicação de estratégias bioclimáticas seja efetiva, é essencial analisar o clima local para entender como potencializar os resultados dessas soluções, a fim de trazer mudanças significativas em relação à qualidade de vida e à redução dos impactos ambientais. Além disso, para maximizar os benefícios de uma construção sustentável, é necessário guiar as decisões de desenvolvimento desde o início da concepção do projeto, e não somente incluir tecnologias verdes em uma instalação já projetada.

Partindo do exposto, espera-se contribuir com o desenvolvimento da sustentabilidade e habitação social no país por meio do estudo em questão,

impactando tanto a qualidade de vida das famílias de baixa renda de Marechal Cândido Rondon quanto a efetividade dos projetos habitacionais em maximizar os benefícios das estratégias bioclimáticas, buscando permanecer dentro de um orçamento padrão. Assim, na seção a seguir, serão expostas as etapas necessárias para o alcance dos objetivos gerais e específicos, o objeto em estudo, assim como as ferramentas e metodologias a serem utilizadas para o desenvolvimento do estudo.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para cumprir o objetivo do presente trabalho, serão realizadas consultas aos órgãos públicos e profissionais relacionados ao projeto a ser estudado, pesquisas bibliográficas para embasamento de informações e dados, e utilização de programas e plataformas de terceiros, assim como as normativas, para obtenção dos dados e verificações de conformidade do projeto.

#### **3.1 Etapas do desenvolvimento do trabalho**

Para alcançar os objetivos propostos no presente trabalho, o desenvolvimento do estudo será realizado de acordo com as etapas a seguir.

1. Fazer o levantamento dos dados técnico-construtivos do projeto de residência popular Casa Fácil;
2. Definir estratégias bioclimáticas mais favoráveis ao clima local por meio das ferramentas ProjetEEE, Analysis Bio, Analysis ABC, ZBBR e Climate Consultant;
3. Avaliar o desempenho do projeto original para cada estratégia bioclimática definida, a partir das normativas, metodologias e softwares existentes;
4. Propor melhorias para o projeto original com base nos resultados obtidos, a fim de aprimorar o seu desempenho e conforto aos usuários;
5. Remodelar o projeto de residência popular Casa Fácil com a aplicação das estratégias no programa Revit.

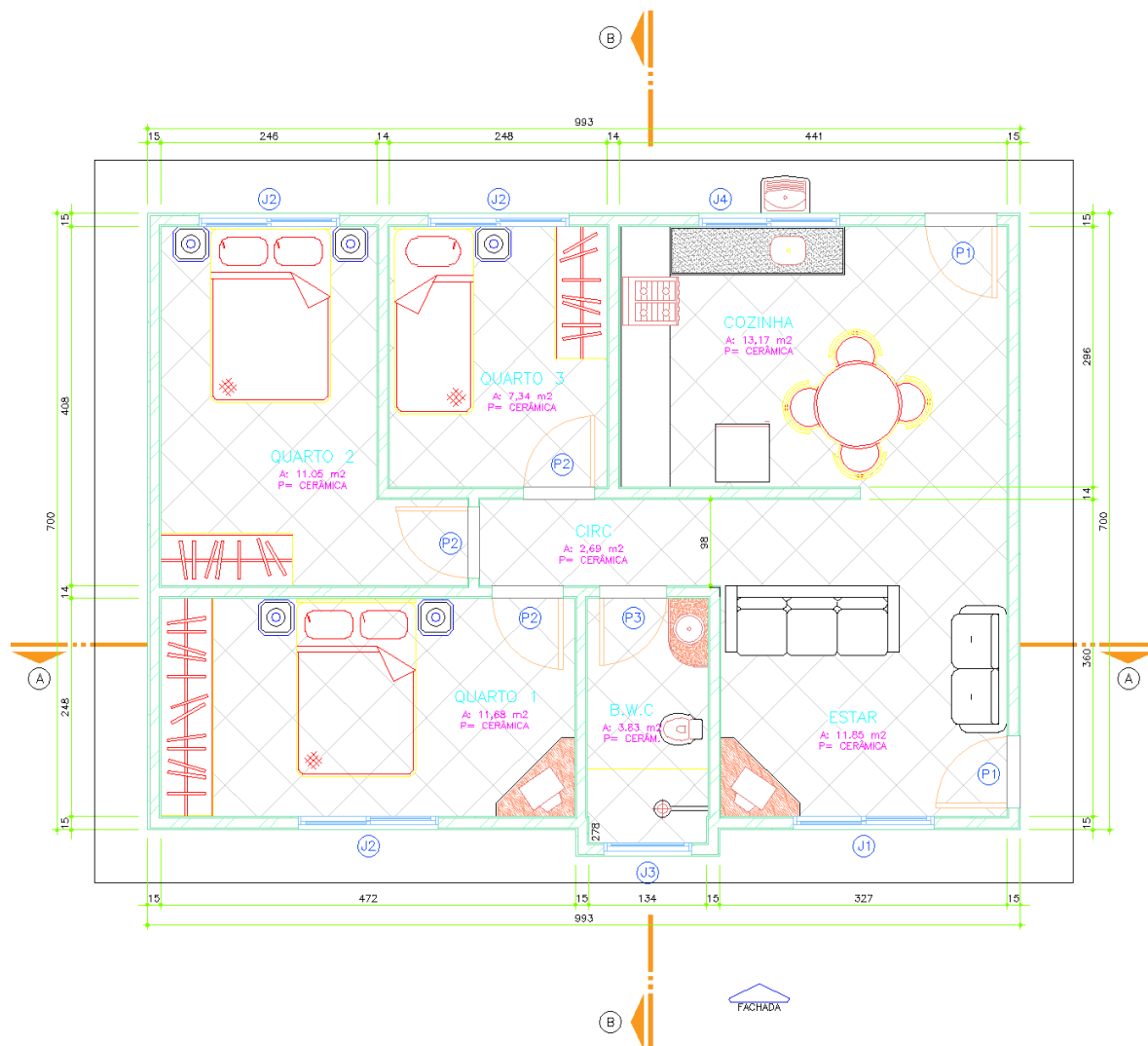
Para a realização da primeira etapa, dispõe-se do objeto de estudo, apresentado a seguir.

#### **3.2 Objeto de estudo – O projeto do programa Casa Fácil**

Um dos modelos fornecidos para a execução das residências do programa Casa Fácil em Marechal Cândido Rondon possui 70 m<sup>2</sup>, e a planta baixa, planta de

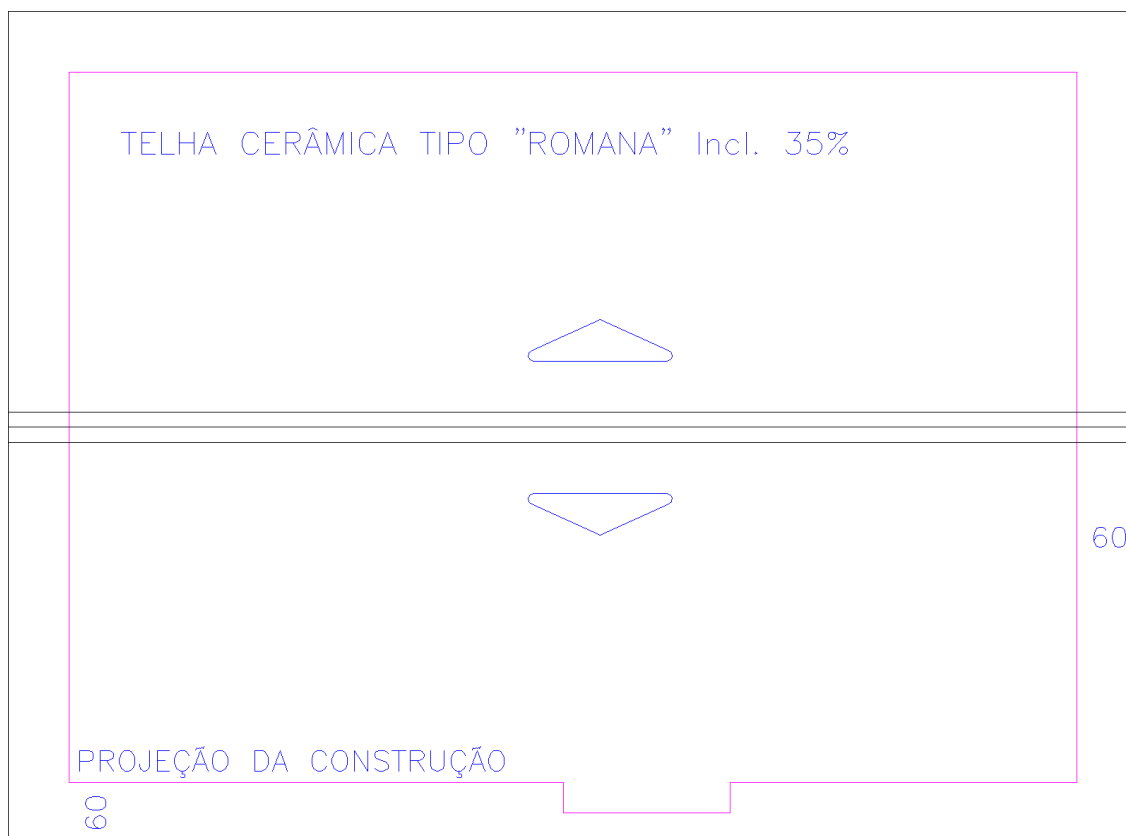
cobertura, fachada e planta de implantação podem ser visualizadas respectivamente nas imagens 2 a 5.

**Imagem 2 – Representação da planta baixa da residência em estudo**



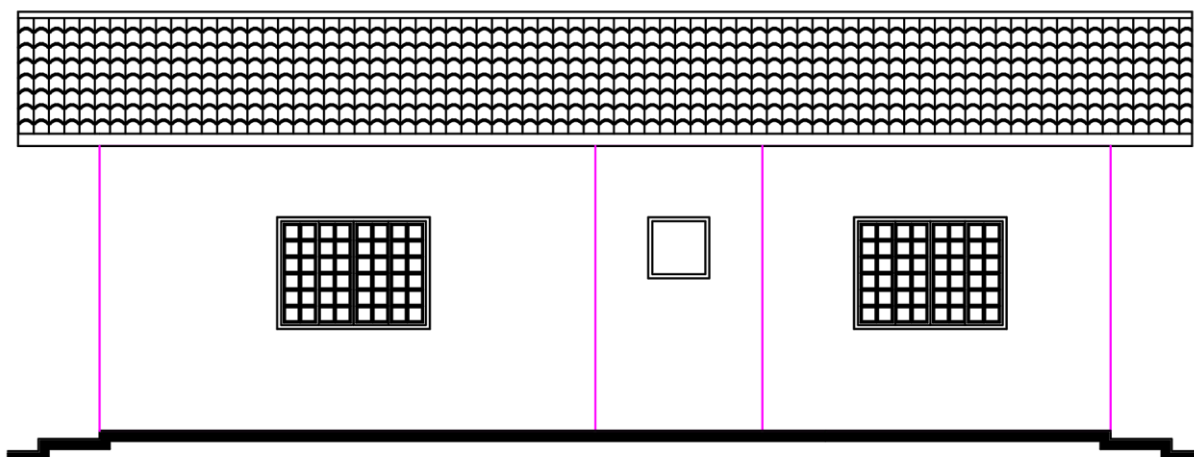
**Fonte: Projeto residencial do Programa Casa Fácil, fornecido pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR).**

**Imagem 3 – Representação da planta de cobertura da residência em estudo**



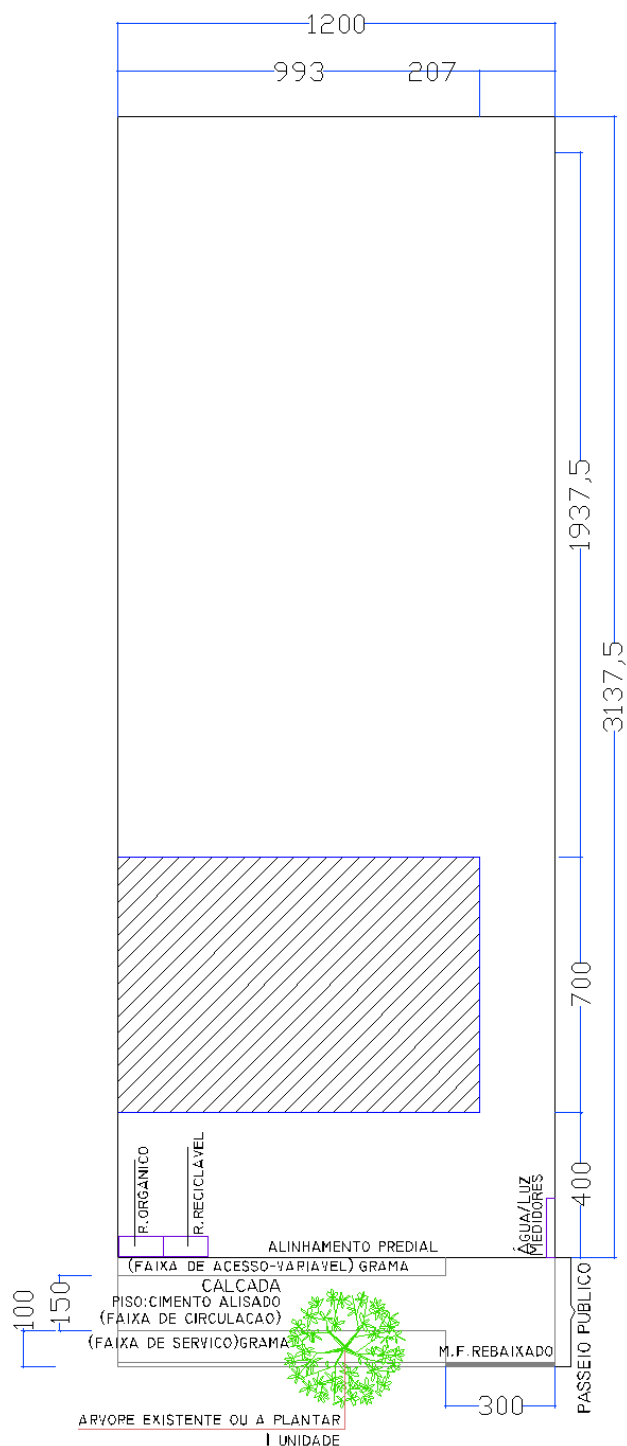
**Fonte: Projeto residencial do Programa Casa Fácil, fornecido pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR).**

**Imagem 4 – Representação da fachada da residência em estudo**



**Fonte: Projeto residencial do Programa Casa Fácil, fornecido pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR).**

Imagem 5 – Representação da planta de implantação do projeto em estudo



Rua \_\_\_\_\_

## Implantação

Esc. 1/250

Fonte: Projeto residencial do Programa Casa Fácil, fornecido pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR).

### 3.2.1 Características do projeto

De acordo com os dados fornecidos pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR), o projeto residencial em estudo possui 70 m<sup>2</sup> de área total, contendo sala de estar, cozinha, um banheiro, três quartos e uma lavanderia externa, cujas áreas úteis constam na tabela 1.

**Tabela 1 – Área útil dos ambientes do projeto em estudo**

AMBIENTE	ÁREA ÚTIL
Sala de estar	11,85 m <sup>2</sup>
Cozinha	13,17 m <sup>2</sup>
Quarto 3	7,34 m <sup>2</sup>
Quarto 2	11,05 m <sup>2</sup>
Quarto 1	11,68 m <sup>2</sup>
Banheiro	3,83 m <sup>2</sup>
Circulação	2,69 m <sup>2</sup>
Lavanderia	- <sup>1</sup>

Fonte: elaborado pela autora.

O sistema construtivo utilizado é o de alvenaria de vedação, a partir de blocos cerâmicos de 6 furos com tamanho 11,5x14x24 cm assentados na menor dimensão para o fechamento das paredes, e estrutura composta por vigas e pilares de concreto. Para as paredes externas, o revestimento externo da alvenaria é realizado com argamassa a uma espessura de 2,5 cm e o interno de 1,5 cm, e as paredes internas 1,5 cm dos dois lados. Todos os ambientes possuem acabamento cerâmico para o piso, assim como para as paredes internas das áreas molhadas (banheiro e cozinha). As demais paredes internas e externas são revestidas com pintura. O projeto não possui laje estrutural, sendo utilizado somente forro do tipo PVC ou gesso, e possui um pé direito de 2,80 metros. O telhado consiste em uma estrutura de 2 águas

---

<sup>1</sup> A área da lavanderia não foi considerada pois ela se encontra externa à residência



simples, constituída por tesouras, terças, caibros e ripas de madeira, com altura de cumeeira de 4,30 metros, e a telha comumente utilizada é a de barro tipo romana, com inclinação de 35%. Com relação às aberturas (portas e janelas), pode-se observar suas respectivas informações na tabela 2.

**Tabela 2 – Dados das aberturas do projeto**

CONV.	TIPO	MATERIAL	SISTEMA	DIMENSÕES (larg. x alt.)	QUANTIDADE	PEITORIL
J1	Janela	Metálico	Correr	150x120	1	90
J2	Janela	Metálico com veneziana	Correr	150x120	3	90
J3	Janela	Metálico	Basculante	100x60	1	150
J4	Janela	Metálico	Basculante	160x80	1	130
P1	Porta	Metálico	Girar	80x210	2	-
P2	Porta	Madeira lisa	Girar	80x210	3	-
P3	Porta	Madeira lisa	Girar	70x210	1	-

**Fonte: Projeto residencial do Programa Casa Fácil, adaptado pela autora.**

Quanto à iluminação, a residência é alimentada por energia elétrica provida pela concessionária local, e os dispositivos elétricos que geram consumo de energia na edificação são: lâmpadas incandescentes, chuveiro elétrico, geladeira, e televisão. O fornecimento de água também é realizado pela concessionária local, e os dispositivos hidrossanitários que geram consumo de água na edificação são: chuveiro elétrico, torneiras (lavatório do banheiro, cozinha e tanque) e bacia sanitária com válvula de descarga.

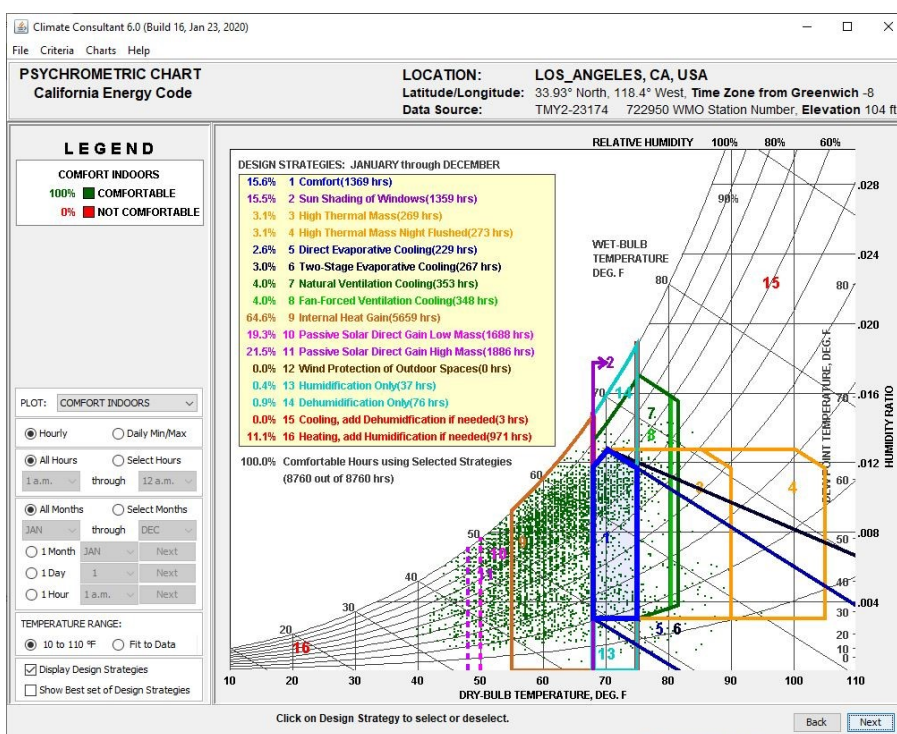
O projeto não inclui sistemas de geração de energia, aquecimento de água, ventilação/resfriamento (como ar condicionado ou ventilador de teto), captação de águas pluviais e reaproveitamento de águas cinzas ou negras.

### 3.3 Ferramentas utilizadas

Para o desenvolvimento do proposto, serão utilizadas as seguintes ferramentas: ProjeetEEE, Analysis Bio, Analysis ABC, ZBBR, Climate Consultant, Revit e Analysis SOL-AR.

O programa Climate Consultant foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE), e é baseado em gráficos que auxiliam no entendimento do clima local. O programa utiliza dados climáticos anuais de 8.760 horas que são disponibilizados gratuitamente pelo DOE, de milhares de estações meteorológicas em todo o mundo, e traduz esses dados brutos em dezenas de exibições gráficas. O objetivo do programa é ajudar os usuários a criar edifícios mais eficientes em termos energéticos e mais sustentáveis, cada um dos quais é exclusivamente adequado ao seu local específico no planeta. A imagem 6 apresenta a Carta Psicrométrica de uma cidade qualquer para ilustração, sendo que os pontos no gráfico representam a temperatura e a umidade de cada uma das horas ao longo do ano, e as zonas do gráfico refletem estratégias diferentes de projeto. A partir da porcentagem de horas que se enquadram em cada uma das 16 zonas, concebe-se uma ideia relativa das estratégias mais eficazes de aquecimento ou resfriamento passivo. O Climate Consultant analisa a distribuição desses dados psicrométricos em cada zona de estratégias, e cria uma lista exclusiva de diretrizes de projeto para um determinado local. O software será utilizado para análise de variáveis do clima local e também para a definição das melhores estratégias bioclimáticas para o projeto em estudo.

Imagem 6 – Interface da Carta Psicrométrica do Climate Consultant.



Fonte: <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>.

O ProjetEE consiste em uma plataforma do Ministério do Meio Ambiente em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que agrupa soluções para um projeto de edifício eficiente. A ferramenta apresenta dados de caracterização climática de 400 cidades brasileiras, com indicação das estratégias de projeto mais apropriadas a cada região (conforme imagem 7) e detalhamentos da aplicação prática destas estratégias. Além disso, também possui um acervo de dados das propriedades térmicas de uma variedade de componentes construtivos, assim como uma ferramenta de cálculo de transmitância térmica de componentes, e informações sobre funcionamento e aplicabilidade de equipamentos de condicionamento de ar, iluminação e de geração distribuída.

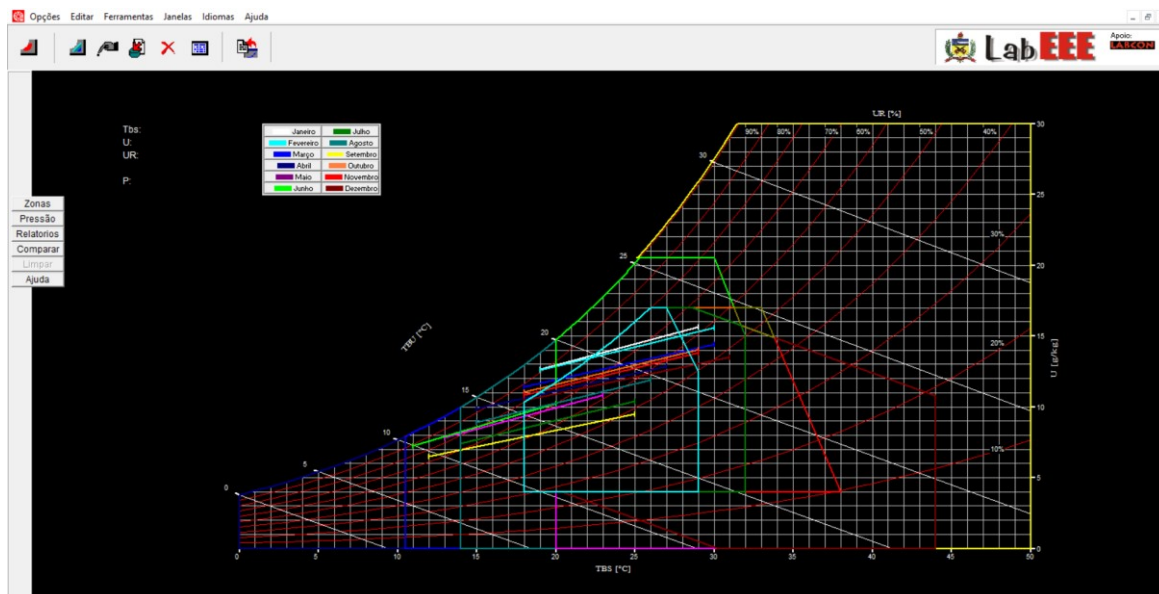
**Imagem 7 – Interface da seção de estratégias bioclimáticas do ProjetEEE**



**Fonte: print screen da interface da seção de estratégias bioclimáticas do ProjeteEE.**

O Analysis Bio é um software desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), a fim de auxiliar no processo de adequação de edificações ao clima local. A partir das características climáticas da cidade, o programa gera a carta psicrométrica (conforme imagem 8) e fornece dados de aplicabilidade das estratégias bioclimáticas, e é possível adicionar manualmente os dados de temperatura, umidade e pressão caso não houver o local a ser analisado disponível no software para obter as estratégias.

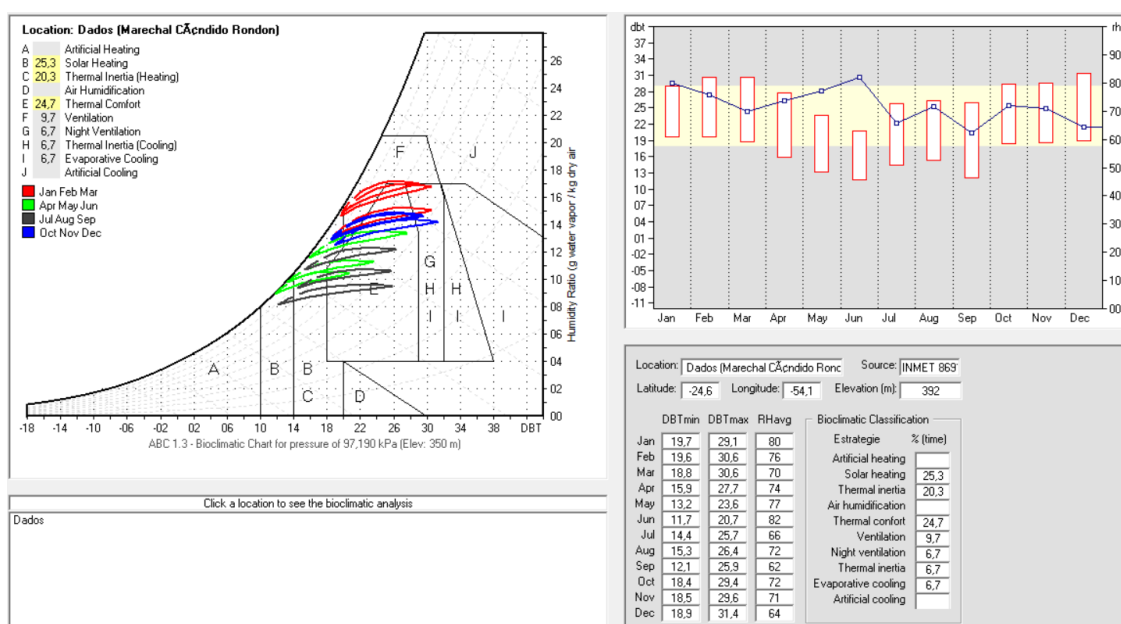
Imagem 8 - Interface da seção da carta psicrométrica do Analysis Bio



Fonte: print screen da seção da carta psicrométrica do Analysis Bio.

O Analysis ABC também é um software baseado em cartas bioclimáticas, como mostra a imagem 9, e assim como o Analysis Bio, o programa gera as porcentagens de relevância de cada estratégia bioclimática com os dados climáticos do local em estudo, sendo eles a temperatura e a umidade.

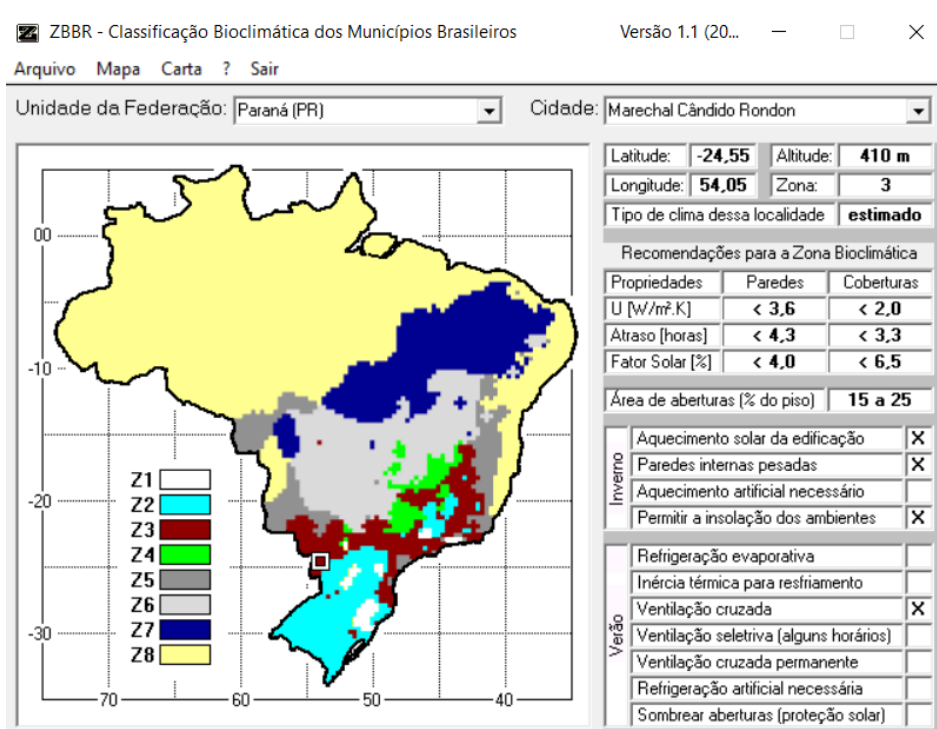
Imagem 9 - Interface do software Analysis ABC



Fonte: print screen da interface do software Analysis ABC.

O programa Zoneamento Bioclimático do Brasil (ZBBR), desenvolvido pela UFSCar, mostra a classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3. A imagem 10 representa a interface do software.

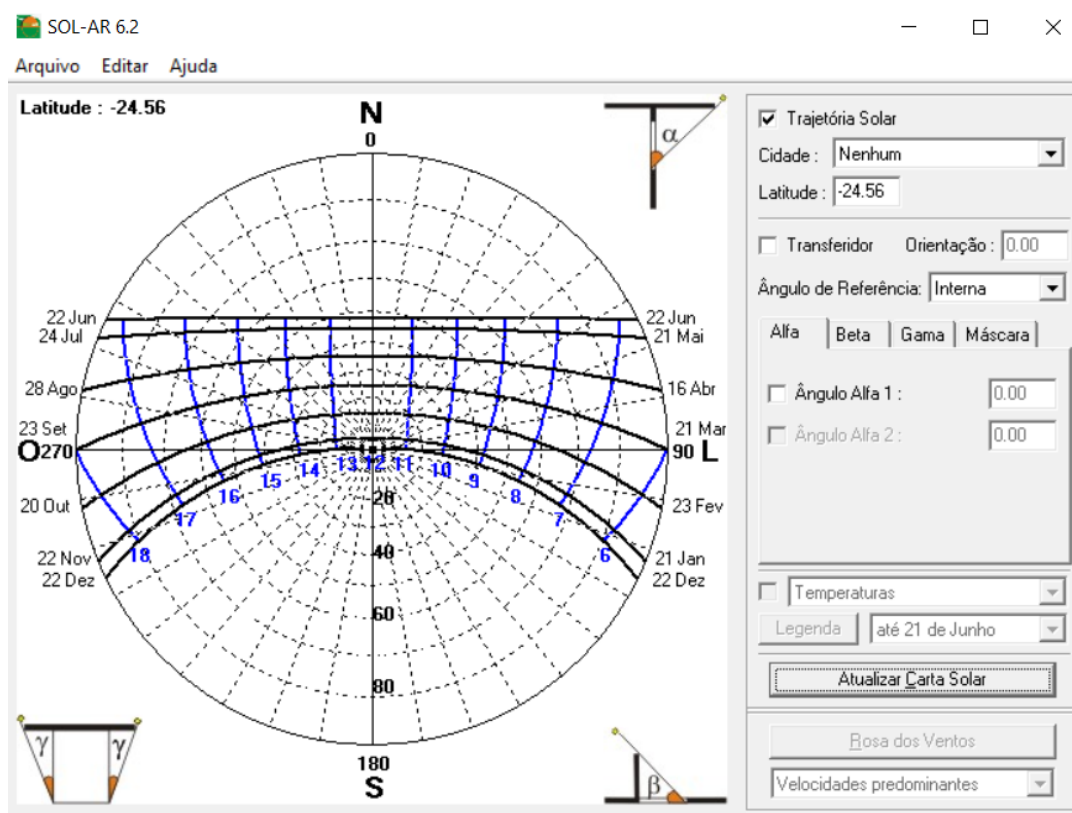
**Imagem 10 - Interface do software ZBBR**



Fonte: *print screen* da interface do software ZBBR.

O Analysis SOL-AR é um programa desenvolvido pelo LabEEE, que permite a obtenção da carta solar de qualquer latitude, auxiliando na visualização gráfica dos ângulos da projeção solar desejada. A imagem 11 mostra a interface do software, com a carta solar de Marechal Cândido Rondon. Essa ferramenta será utilizada para embasar as verificações de sombreamento do projeto.

**Imagem 11 – Interface do software Analysis SOL-AR com a carta solar de Marechal Cândido Rondon**

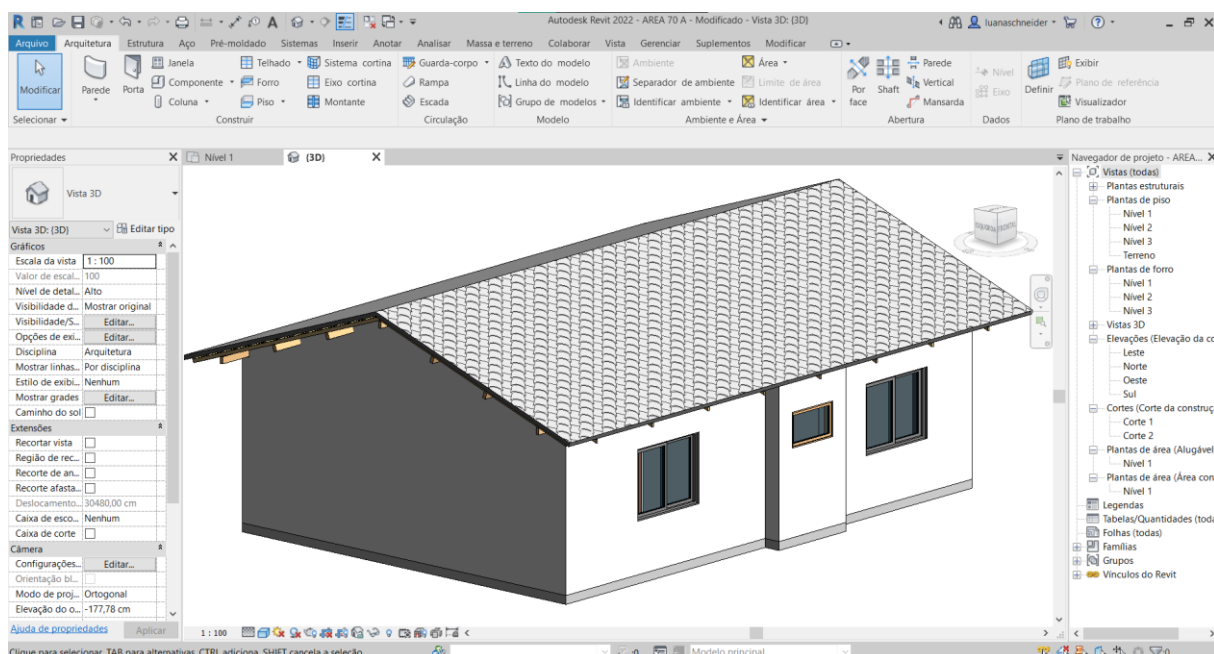


**Fonte: print screen da interface do software Analysis SOL-AR.**

Por fim, o Revit, software BIM para arquitetura, urbanismo, engenharia e design desenvolvido pela Autodesk, cuja interface se encontra na imagem 12, será utilizado para remodelar o projeto Casa Fácil com a aplicação das estratégias projetuais, a fim de concretizar as soluções propostas em um projeto final.



Imagem 12 – Interface do software Revit



Fonte: *print screen* da interface do software Revit.

### 3.4 Métodos de avaliação de desempenho

As edificações habitacionais devem apresentar características que atendam às exigências de desempenho térmico, fundamentado conforme a zona bioclimática na qual a edificação se encontra, definida na NBR 15220-3. Para avaliar a adequação da habitação ao desempenho térmico, existem dois procedimentos definidos pela NBR 15575-1:

1. Procedimento 1 – **Simplificado (normativo)**: atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional (ABNT, 2013).
2. Procedimento 2 – **Medição (informativo)**: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-1, por meio da

realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no método simplificado (normativo) (ABNT, 2013).

Para a avaliação do desempenho térmico do projeto em estudo, será utilizado o procedimento 1 – simplificado (normativo), e em caso de desempenho insatisfatório, serão propostas soluções por meio de estimativas matemáticas, a serem examinadas em trabalhos futuros pelo método da simulação computacional. Para a avaliação de desempenho de ventilação, serão utilizadas as diretrizes construtivas da NBR 15220-3 e NBR 15575-4, o método de cálculo de ventilação unilateral por ação dos ventos proposto por Lamberts et al. (2016), e o método simplificado de cálculo de ventilação cruzada por ação dos ventos proposto pelo Building Research Establishment - BRE (UK). Por fim, para avaliação do sombreamento da edificação, também serão utilizadas as diretrizes construtivas da NBR 15220-3, e o software Analysis SOL-AR para análise da carta solar de Marechal Cândido Rondon.

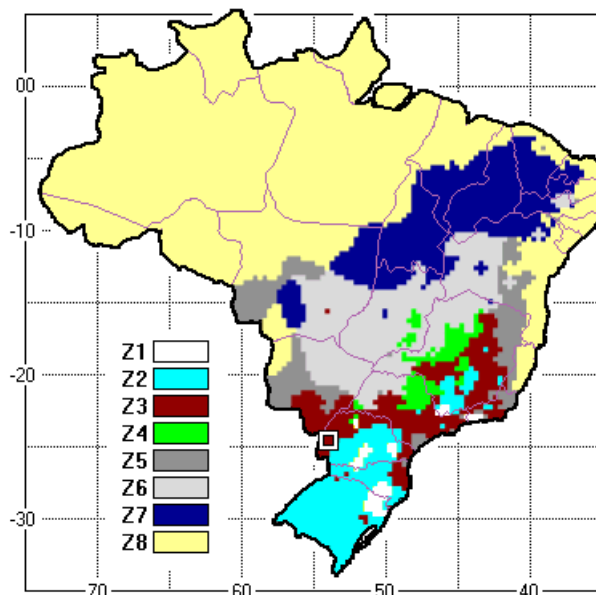
#### 3.4.1 Diretrizes construtivas para habitação no Brasil

A ABNT NBR 15520, de 2005, trata do desempenho térmico de edificações, e no presente estudo serão utilizadas a parte 2, que apresenta os métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, e a parte 3, que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. Tais recomendações são voltadas ao tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso), proteção das aberturas, vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada), e estratégias de condicionamento térmico passivo. O objetivo de tais recomendações técnico-construtivas é a otimização do desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (ABNT, 2005).

A cidade de Marechal Cândido Rondon está localizada na latitude 24.56° Sul e 54.06° Oeste, pertencente à zona bioclimática 3, conforme imagem 13.



Imagem 13 - Zonas bioclimáticas do Brasil e de Marechal Cândido Rondon



Fonte: ZBBR.

Assim, as diretrizes construtivas recomendadas pela normativa para essas características climáticas são:

- Aberturas para ventilação: as aberturas devem ser médias, ou seja, de 15% a 25% da área de piso do ambiente analisado;
- Sombreamento de aberturas: deve-se permitir que o sol adentre a edificação durante o inverno;
- Vedações externas: as paredes externas devem ser do tipo leve refletora, e a cobertura do tipo leve isolada, ou seja, devem atender às exigências da tabela 3.
- Estratégias para condicionamento térmico passivo: para o verão, recomenda-se a ventilação cruzada, permitindo a circulação de vento pelos ambientes, e para o inverno o aquecimento solar e inércia térmica da edificação, com aproveitamento da radiação solar por meio de aquecimento direto e indireto.

**Tabela 3 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissível para a zona bioclimática 3**

Vedações externas	Transmitância térmica - U (W/m <sup>2</sup> .K)	Atraso térmico – φ (horas)	Fator solar – FS (%)
Parede (leve refletora)	≤ 3,60	≤ 4,3	≤ 4,0
Cobertura (leve isolada)	≤ 2,00	≤ 3,3	≤ 6,5

Fonte: adaptado de NBR 15220-3.

Para a verificação de conformidade da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar do projeto, serão utilizados os dados e métodos apresentados na parte 2 da NBR 15220, descritos a seguir.

Segundo a NBR 15220-2, a transmitância térmica (U) de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme expressão 1.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

Os valores de resistência térmica são preferencialmente obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados. Caso não haja valores medidos, a resistência térmica R de um componente com camadas homogêneas ou heterogêneas deve ser calculado conforme expressões da normativa.

A determinação de atraso térmico de um componente heterogêneo é feita através da expressão 2.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad (2)$$

Sendo:

- $R_t$ : resistência térmica de superfície a superfície do componente
- $B_1$ : dado pela expressão 3
- $B_2$ : dado pela expressão 4

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{C_T - C_{T_{ext}}}{R_t} \quad (3)$$

Sendo:

- $C_T$ : capacidade térmica total do componente
- $C_{T_{ext}}$ : capacidade térmica da camada externa do componente

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \cdot R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \quad (4)$$

Sendo:

- Índice *ext*: última camada do componente (junto à face externa)
- Considerar  $B_2$  nulo caso seja negativo

O fator de ganho solar de elementos opacos é dado pela expressão 5.

$$FS = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad (5)$$

Sendo:

- $U$ : transmitância térmica do componente
- $\alpha$ : absorptância à radiação solar da face externa, dada pela tabela 4
- $FS$ : fator solar de elementos opacos, em porcentagem

**Tabela 4 - Absortância para radiação solar para componentes do projeto em estudo**

Tipo de superfície	$\alpha$
Telha de barro	0,80
Reboco claro	0,50
Pintura: Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
“Alumínio”	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: adaptado de NBR 15220-3.

Os valores de condutividade térmica, densidade de massa aparente e calor específico dos materiais presentes no projeto para os cálculos das propriedades térmicas se encontram na tabela 5.

**Tabela 5 – Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente dos materiais do projeto**

					(continua)
Material	Espessura (cm)	$\lambda$ (W/m.K)	$c$ (J/kg.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	
Argamassa de emboço ou assentamento	De acordo com o projeto	1,15	1,00	2000	
Tijolos ou telhas de barro/cerâmicas	De acordo com o projeto	0,90	0,92	1600	

**Tabela 6 – Condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente dos materiais do projeto**

Material	Espessura (cm)	$\lambda$ (W/m.K)	(conclusão)	
			c (J/kg.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Placas de fibrocimento	0,80	0,95	0,84	1900
PVC	1,00	0,20	0,96	1300
Madeira	1,00	0,15	1,34	600

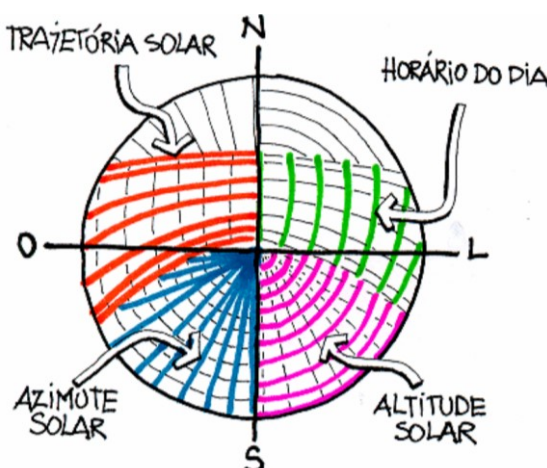
Fonte: adaptado de NBR 15220-2 e Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (LabEEE).

### 3.4.2 Geometria solar

Na região Sul do Brasil, a utilização da geometria solar ao projetar uma edificação é fundamental devido ao clima marcado por estações bem definidas, com verões quentes e invernos rigorosos, gerando uma necessidade de sombreamento no verão e incidência solar direta no inverno. Quando a radiação direta não é desejada no ambiente, utilizam-se proteções solares, e para aplicar essa estratégia no projeto de modo eficiente, é importante conhecer a trajetória solar durante o ano no local de estudo.

A ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento do projeto será a carta solar gerada pelo software Analysis SOL-AR, e as informações que podem ser lidas no diagrama são a trajetória solar, hora do dia, azimute e altura solar, e número de horas de sol, conforme imagem 14.

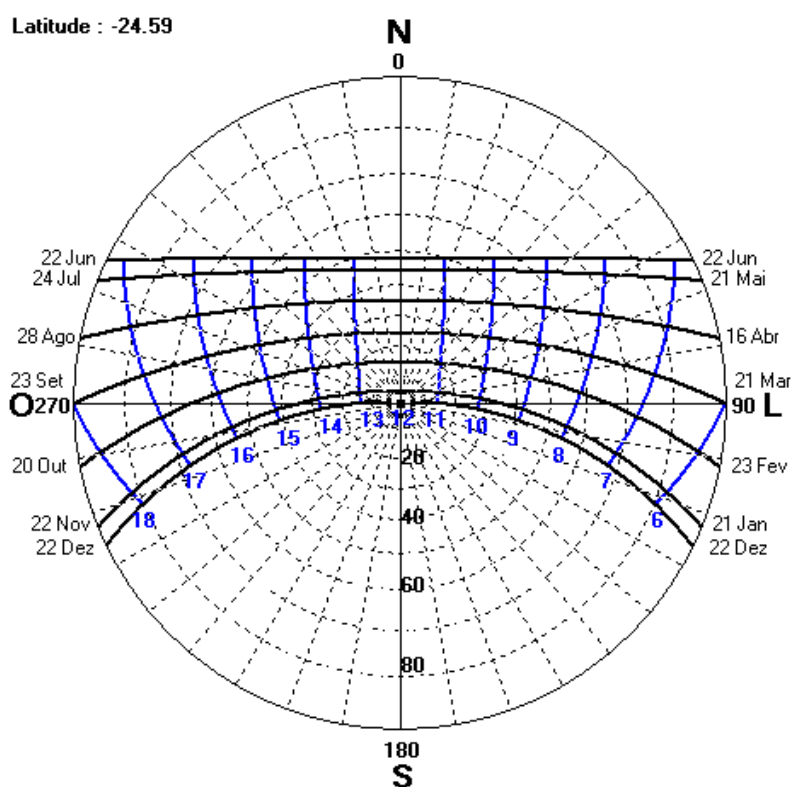
**Imagem 14 - Informações contidas na carta solar**



Fonte: Lamberts et al. (2016).

A imagem 15 apresenta a carta solar para a latitude  $24,56^\circ$  Sul, correspondendo à latitude da cidade em estudo. Nele, é possível observar que no verão, o sol nasce antes das 6h da manhã, e se põe após às 18h da tarde, e no inverno, o sol nasce próximo das 7h da manhã e se põe após às 17h da tarde. No verão, é desejável que haja sombreamento dos ambientes nos horários de altas temperaturas, e no inverno é desejável que o sol adentre aos ambientes.

**Imagem 15 – Carta solar da cidade de Marechal Cândido Rondon**

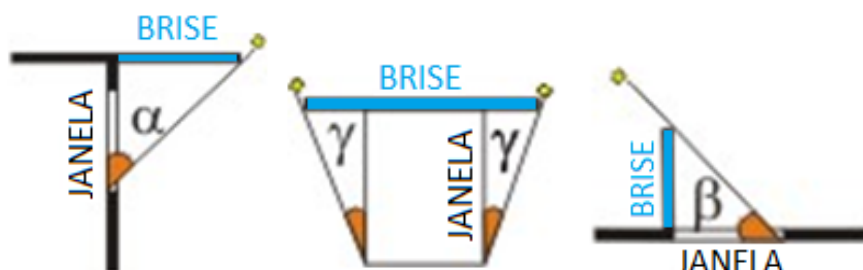


Fonte: Analysis SOL-AR.

Para gerar sombreamento, pode-se projetar brises (horizontais ou verticais), e cada um é responsável por gerar um tipo de mascaramento. Os brises horizontais impedem a entrada de raios solares de acordo com a altitude solar, e o traçado de sombreamento proporcionado por esse brise é determinado em função do ângulo alfa ( $\alpha$ ). Já os brises verticais impedem a entrada de raios solares através do ângulo do azimute solar, cujo traçado é determinado em função do ângulo beta ( $\beta$ ). As projeções laterais de sombreamento gerados pelos brises horizontais ou verticais é determinado pelo ângulo gama ( $\gamma$ ). Os ângulos são representados na imagem 16, e no SOL-AR, é

possível traçar uma máscara de sombra a partir desses ângulos para visualizar o período de horas de sombreamento que o brise proporciona.

**Imagem 16 – Representação dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  dos elementos de sombreamento**



Fonte: adaptado de Analysis SOL-AR.


O dimensionamento dos brises é feito por trigonometria com base nos ângulos obtidos na carta solar.

### 3.4.3 Ventilação




Para o zoneamento bioclimático em estudo, a NBR 15220-3 recomenda que a área útil das aberturas do projeto para ventilação representem de 15 a 25% da área de piso do ambiente. Para avaliar esse critério na projeto, é necessário se atentar que a área útil de ventilação pode ser diferente da área total da janela. A área útil pode ser definida como a área efetiva de ventilação quando a janela está aberta (Lamberts et al., 2016), e os diferentes tipos de abertura de janela com suas respectivas áreas úteis são apresentadas na tabela 6.

**Tabela 7 - Área útil de ventilação conforme os diferentes tipos de aberturas**

(continua)

Representação	Tipo janela	Inclinação	% área útil ventilação
	Gilhotina	-	50,00%

**Tabela 8 - Área útil de ventilação conforme os diferentes tipos de aberturas (conclusão)**

Representação	Tipo janela	Inclinação	% área útil ventilação
	Correr	-	50,00%
	Abrir	-	100,00%
	Basculante	0° (fechada)	0,00%
		30°	13,00%
		45°	30,00%
		60°	50,00%
		90° (abertura total)	100,00%

Fonte: elaborado pela autora e imagens de Lamberts et al. (2016).

Para as janelas do tipo basculante, será considerado o modelo da imagem 17, sendo a última folha fixa e as demais deslizantes, com estimativa de 50% de área útil.

**Imagem 17 - Janela tipo basculante do projeto em estudo**



Fonte: Magazine Luiza.

Além da abertura para ventilação, outro critério a ser verificado é a taxa de renovação de ar, e os métodos utilizados serão o de ventilação unilateral por ação dos ventos proposto por Lamberts et al. (2016), e o método simplificado de ventilação cruzada proposto pelo Building Research Establishment - BRE (UK).

Para o desenvolvimento dos cálculos, é necessário conhecer a intensidade e direção predominante do vento do local em estudo, informações que serão obtidas com as normais climatológicas do INMET. A velocidade do vento medida pelas organizações meteorológicas é coletada a 10 metros de altura, assim se deve corrigir a velocidade para a altura de interesse, a ser obtida por meio da expressão 6.

$$V_z = V_{10} \cdot K \cdot Z^a \quad (6)$$

Sendo:

- $V_z$ : velocidade do vento na altura  $Z$  de interesse (m/s)
- $V_{10}$ : velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s)
- $Z$ : altura de cumeeira para edificações de até dois andares ou a altura da janela para edificações mais altas (m)
- $K$  e  $a$ : são funções da localização da edificação e podem ser obtidos na tabela X.

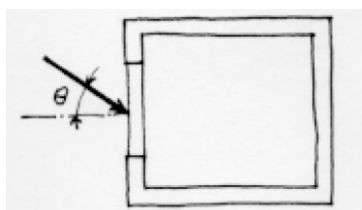
**Tabela 9 - Coeficientes  $K$  e  $a$**

Localização do edifício	$K$	$a$
Campo aberto plano	0,68	0,17
Campo com algumas barreiras	0,52	0,20
Ambiente urbano	0,40	0,25
Centro da cidade	0,31	0,33

Fonte: Lamberts et al. (2016).

No método proposto por Lamberts et al. (2016) para ventilação unilateral, a direção predominante do vento será utilizada para obter o ângulo de incidência do vento na fachada como demonstra a imagem 18, e a partir disso, calcular a velocidade normal do vento, conforme expressão 7.

**Imagem 18 – Ângulo de incidência do vento para ventilação unilateral**



Fonte: Lamberts et al. (2016).



$$V_{normal} = V_{\hat{angulo}} \cdot \cos \theta \quad (7)$$

Sendo:

- $V_{\hat{angulo}}$ : velocidade do vento na direção predominante na fachada (m/s)
- $V_{normal}$ : velocidade normal do vento na fachada (m/s)
- $\theta$ : ângulo de incidência do vento na fachada (graus)

Com a determinação da velocidade normal do vento, parte-se para o cálculo do fluxo de ar do ambiente, conforme expressão 8 para ventilação unilateral, e em sequência o cálculo das trocas de ar por hora, conforme expressão 9.

$$q = 0,025 \cdot A \cdot V_{normal} \quad (8)$$

Sendo:

- $q$ : fluxo de ar no ambiente (m<sup>3</sup>/s)
- $A$ : área útil da abertura (m<sup>2</sup>)
- $V_{normal}$ : velocidade normal do vento na fachada (m/s)

$$Q = \frac{q \cdot 3600}{vol} \quad (9)$$

Sendo:

- $Q$ : trocas de ar no ambiente (trocas de ar por hora)
- $q$ : fluxo de ar no ambiente (m<sup>3</sup>/s)
- $vol$ : volume do ambiente ventilado (m<sup>3</sup>)

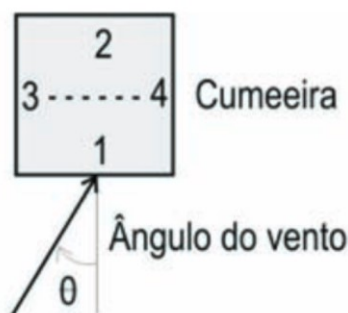
No método proposto pelo Building Research Establishment (BRE) para ventilação cruzada, a direção predominante do vento será utilizada para obter a diferença entre os coeficientes de pressão  $\Delta C_p$ , que é definido pela expressão 10, a partir do tipo de exposição da fachada (que será utilizada do tipo exposta) e o ângulo de incidência do vento na fachada, como demonstra a imagem 19 e tabela 8.

$$\Delta C_p = C_{pe} - C_{ps} \quad (10)$$

Sendo:

- $\Delta C_p$ : diferença entre os coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída de vento
- $C_{pe}$ : coeficiente de pressão na abertura de entrada, definido pelas tabelas 8 e 9
- $C_{ps}$ : coeficiente de pressão na abertura de saída, definido pelas tabelas 8 e 9

Imagem 19 - Ângulo de incidência do vento para ventilação cruzada



Fonte: PROCEL (2010).

Tabela 10 – Coeficiente de pressão para situação de fachada exposta

Local	Ângulo do vento (θ) – fachada exposta							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Fachada 1	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35
Fachada 2	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4
Fachada 3	-0,5	0,35	0,7	0,35	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4
Fachada 4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	0,35	0,7	0,35

Fonte: PROCEL (2010).

Em seguida, determina-se a área equivalente das aberturas para ventilação, conforme expressão 11.

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2} \quad (11)$$

Sendo:

- $A_w$ : área equivalente das aberturas para ventilação
- $A_1$  e  $A_2$ : área das aberturas de entrada do vento
- $A_3$  e  $A_4$ : área das aberturas de saída do vento

Posteriormente, calcula-se a velocidade normal do vento, conforme expressão 7, e por fim, o fluxo de ar do ambiente e as trocas de ar por hora, respectivamente com as expressões 9 e 12.

$$q = C_d \cdot A_w \cdot V_{normal} \cdot \sqrt{\Delta C_p} \quad (12)$$

Sendo:

- $q$ : fluxo de ar no ambiente ( $m^3/s$ )
- $C_d$ : coeficiente de descarga, a ser adotado o valor de 0,65
- $A_w$ : área equivalente das aberturas para ventilação ( $m^2$ )

- $V_{normal}$ : velocidade normal do vento na fachada (m/s)
- $\Delta C_p$ : diferença entre os coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída de vento

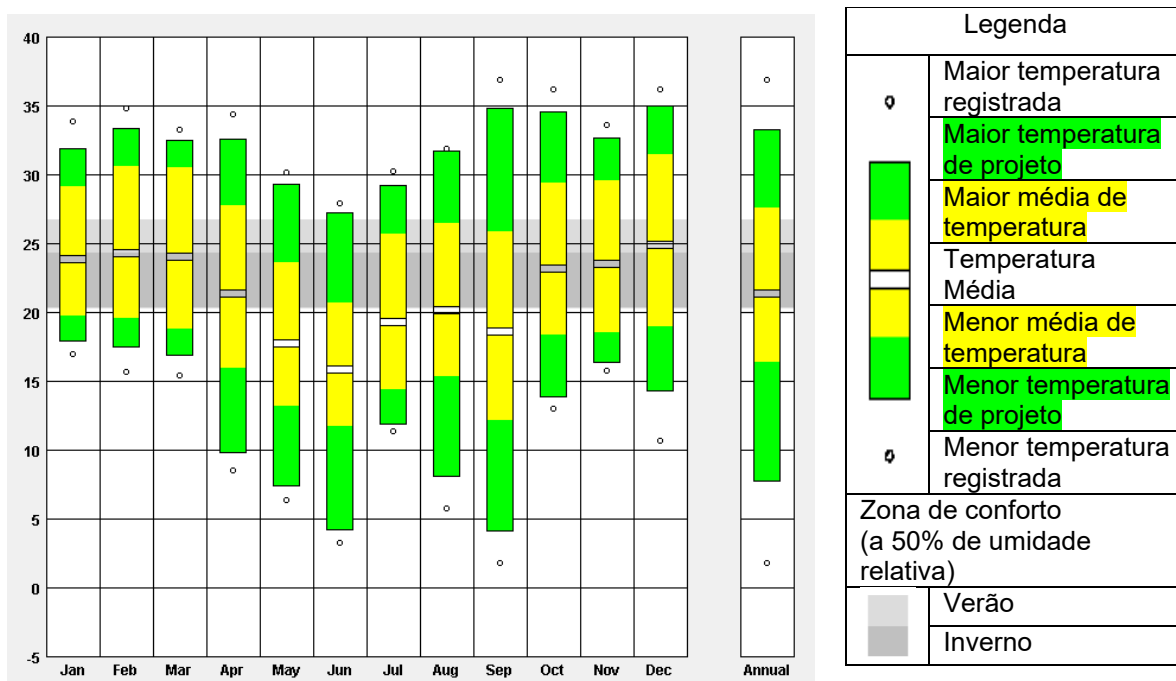
O valor a ser utilizado como referência tanto para ventilação cruzada quanto unilateral, é a troca de ar por hora para residências recomendada pela ASHRAE 55, que é de 5 a 20 trocas por hora.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter um aprofundamento na análise climática para a definição das estratégias e medidas bioclimáticas a serem aplicadas no projeto, utilizou-se como referência os resultados obtidos na plataforma ProjeTEEE, Climate Consultant, Analysis Bio, e Analysis ABC, expostos a seguir.

A variação de temperatura da cidade em estudo, apresentada no gráfico 7, evidencia que os 3 primeiros meses do ano possuem uma variação de temperatura similar, gerando um certo desconforto por frio, e um grau um pouco maior de desconforto por calor. Já os meses de outono e inverno apresentam um desconforto bastante considerável por frio, com percentuais muito maiores que os observados no desconforto por calor no verão. Por fim, os últimos meses do ano voltam a ter uma variação parecida de desconforto tanto por calor quanto por frio, como vista nos primeiros meses do ano.

**Gráfico 7 – Variação de temperatura (°C) em Marechal Cândido Rondon**



Fonte: Climate Consultant.

Assim, evidencia-se que a cidade em estudo possui maior desconforto por frio do que por calor durante o ano. É possível observar esse fato principalmente no período de maio a setembro, no qual as temperaturas ficam em sua maioria abaixo da zona de conforto e há uma grande amplitude térmica, demonstrando que as estratégias bioclimáticas devem ser voltadas principalmente ao aquecimento. Já durante o período de outubro a abril, as temperaturas médias se encontram dentro da zona de conforto, e as variações de temperatura acima e abaixo da zona de conforto se tornam próximas.

A partir dos dados apresentados pelo ProjetEEE e Analysis Bio, pode-se visualizar as porcentagens de conforto e desconforto ao longo das estações do ano, conforme apresentado nas tabelas 9 e 10.

**Tabela 11 - Dados de conforto obtidos a partir do ProjetEEE**

ProjetEEE	Verão			Outono			Inverno			Primavera			
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
Desconforto	Frio (%)	13,00			56,00			64,00			28,00		
	Calor (%)	50,00			12,00			8,00%			28,00		
	Total (%)	63,00			68,00			72,00			56,00		
Conforto	Total (%)	37,00			32,00			28,00			44,00		

Fonte: elaborado pela autora.

**Tabela 12 - Dados de conforto obtidos a partir do Analysis Bio**

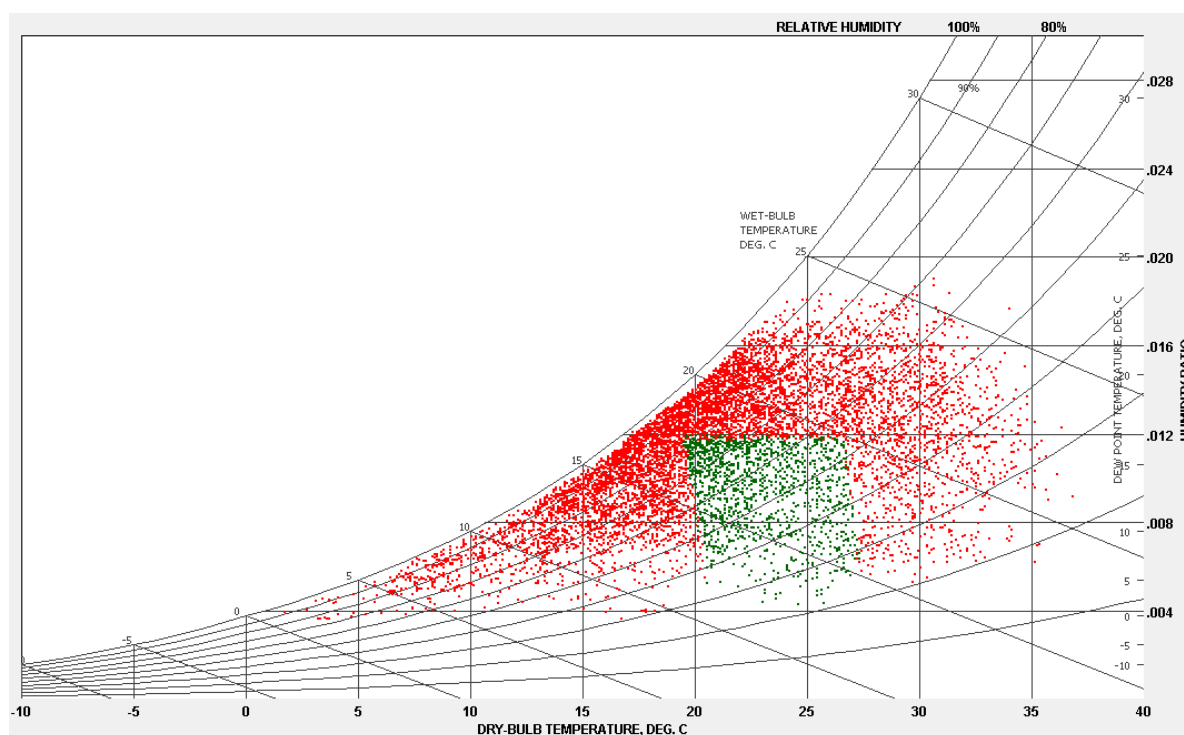
Analysis Bio	Verão			Outono			Inverno			Primavera			
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
Desconforto	Total (%)	19,64	47,01	48,26	34,07	30,85	50,00	77,78	36,36	27,27	46,15	20,52	16,19
	Média (%)	38,30			38,31			47,14			27,62		
Conforto	Total (%)	80,36	52,99	51,74	65,93	69,15	50,00	22,22	63,64	72,73	53,85	79,48	83,81
	Média (%)	61,70			61,69			52,86			72,38		

Fonte: elaborado pela autora.

A partir das tabelas 9 e 10, pode-se visualizar que o software Analysis Bio apresentou porcentagens de conforto maiores que o ProjetEEE, porém ambos indicaram que o período de outono e inverno possui, em média, as menores porcentagens de conforto. Ou seja, confirma-se o que foi afirmado com a análise do gráfico 7, em que a aplicação de estratégias bioclimáticas voltadas para o aquecimento se faz mais primordial para proporcionar maior conforto no projeto. Além disso, ambos os softwares evidenciam que as porcentagens de conforto não variam consideravelmente ao longo do ano. Assim, vê-se que a aplicação de estratégias bioclimáticas para resfriamento também se tornam importantes, principalmente para os meses com altas temperaturas.

Para definição das estratégias bioclimáticas, serão analisadas a carta de Givoni da cidade em estudo, que é apresentada no gráfico 8, e também as estratégias recomendadas pelas plataformas ProjetEEE, Climate Consultant, Analysis Bio e Analysis ABC.

**Gráfico 8 - Carta de Givoni de Marechal Cândido Rondon**

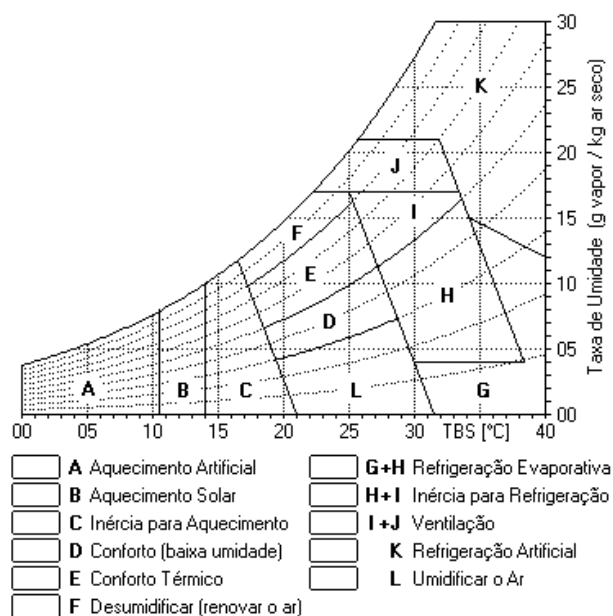


**Fonte: Climate Consultant.**

A carta de Givoni apresentada no gráfico 8 dispõe dos dados de 8760 horas do ano da cidade de Marechal Cândido Rondon, originados da estação do INMET 869160

WMO. Os pontos verdes do gráfico estão localizados na zona de conforto, e as horas em desconforto estão concentradas nas zonas B, C, F, I e J, conforme imagem 20.

**Imagem 20 – Esquema da carta bioclimática de Givoni**



Fonte: ZBBR.

Assim, a partir da carta de Givoni, as estratégias bioclimáticas aplicáveis à cidade em estudo são: aquecimento solar, inércia térmica para aquecimento, desumidificação, e ventilação natural.

Para fins de comparação da precisão dos resultados, as estratégias apontadas pelos demais softwares se encontram na tabela 11, divididas por estação do ano, e 12, divididas por horário.

**Tabela 13 - Estratégias bioclimáticas por estação apontadas pelo ProjetEEE, Climate Consultant, Analysis Bio, ZBBR e Analysis ABC**

(continua)

ESTAÇÃO DO ANO	ProjetEEE	Climate Consultant	Analysis Bio	ZBBR	Analysis ABC
Verão	ventilação natural sombreamento inércia térmica para aquecimento	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna Ventilação natural	ventilação Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica	Ventilação cruzada	-

**Tabela 14 - Estratégias bioclimáticas por estação apontadas pelo ProjetEEE, Climate Consultant, Analysis Bio, ZBBR e Analysis ABC**

					(conclusão)
ESTAÇÃO DO ANO	ProjetEEE	Climate Consultant	Analysis Bio	ZBBR	Analysis ABC
Outono	inércia térmica para aquecimento ventilação natural aquecimento solar passivo	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna	Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo Aquecimento solar passivo ventilação	-	-
Inverno	inércia térmica para aquecimento solar passivo ventilação natural	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna	Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Aquecimento solar passivo	Aquecimento solar Paredes internas pesadas Insolação	-
Primavera	inércia térmica para aquecimento ventilação natural sombreamento	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna	Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Aquecimento solar passivo Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	-	-
Anual	inércia térmica para aquecimento ventilação natural sombreamento	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna	-	-	Aquecimento solar Inércia térmica para aquecimento Ventilação

Fonte: elaborado pela autora.

**Tabela 15 - Estratégias bioclimáticas por horário apontadas pelo ProjetEEE e Climate Consultant**

			(continua)
HORÁRIO	ProjetEEE	Climate Consultant	
00h - 06h	inércia térmica para aquecimento ventilação natural aquecimento solar passivo	Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica	
06h - 12h	inércia térmica para aquecimento ventilação natural sombreamento	Sombreamento de aberturas Alta massa térmica com ventilação noturna	
12h - 18h	sombreamento ventilação natural resfriamento evaporativo	Sombreamento de aberturas Alta massa térmica com ventilação noturna Ventilação natural	



**Tabela 16 - Estratégias bioclimáticas por horário apontadas pelo ProjetEEE e Climate Consultant**

		(conclusão)
18h - 00h	inércia térmica para aquecimento ventilação natural aquecimento solar passivo	Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna Ventilação natural
Todos	inércia térmica para aquecimento ventilação natural sombreamento	Sombreamento de aberturas Aquecimento solar passivo / Alta inércia térmica Alta massa térmica com ventilação noturna

**Fonte: elaborado pela autora.**

Analisando as tabelas 11 e 12, observa-se que as estratégias bioclimáticas que foram mais indicadas pelos softwares foram a inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo, ventilação natural e sombreamento. É possível concluir que as estratégias condizem com as diretrizes definidas pela NBR para a zona bioclimática em estudo, e os princípios de cada estratégia definida serão utilizados para verificar o atendimento do projeto aos requisitos e critérios das normativas e propor melhorias ao projeto, visando o bom desempenho térmico e conforto dos usuários.

#### **4.1 Condições para análise do projeto original**

O projeto Casa Fácil é utilizado em todo o território paranaense, e por conta disso não há definição acerca da orientação na implantação e edificações no entorno da construção. Sendo assim, foram definidas as condições detalhadas no quadro 2 para o desenvolvimento do estudo.

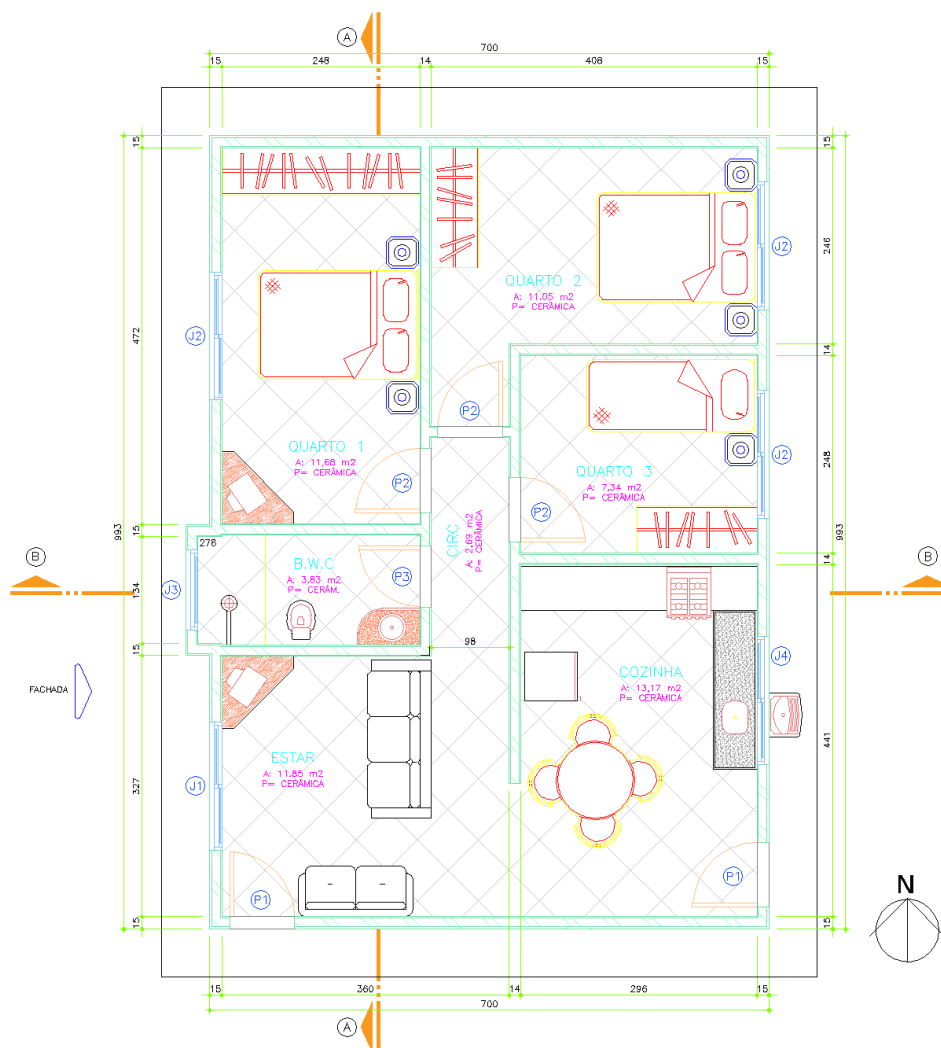
Quadro 2 - Condições definidas para análise do projeto

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO	DETALHAMENTO
Orientação solar	O projeto será posicionado a fim de apresentar a condição mais crítica do ponto de vista térmico.	Conforme a NBR 15.575-1, as condições críticas do ponto de vista térmico se apresentam quando: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verão: o projeto deve possuir pelo menos uma janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte.</li> <li>• Inverno: o projeto deve possuir pelo menos uma janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul;</li> </ul>
Obstruções no entorno	Para a análise do projeto, deve-se considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento.	
Obstrução por elementos construtivos previstos na edificação	Os elementos construtivos previstos em projeto devem ser consideradas na análise, como dispositivos de sombreamento (para-sóis, marquises, beirais, etc)	

Fonte: adaptado de NBR 15.575-1.

Ou seja, o projeto será posicionado conforme imagem 21, com a fachada voltada para a face Oeste. Os elementos construtivos existentes no projeto que serão considerados serão os beirais do telhado, e demais possíveis obstruções no entorno serão desconsideradas.

**Imagem 21 - Orientação solar para análise do projeto**



Fonte: adaptado do Projeto residencial do Programa Casa Fácil, fornecido pela Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Marechal Cândido Rondon (AREA-MCR).

## 4.2 Desempenho térmico do projeto

O desempenho térmico do projeto será analisado conforme as exigências da ABNT NBR 15575-4, ABNT NBR 15575-5, ABNT 15220 e ASHRAE 55. Para que haja inércia térmica para aquecimento e aquecimento passivo no projeto, é essencial que as propriedades térmicas do envelope da edificação atendam as exigências das normativas. Assim, foi verificado se as paredes externas e a cobertura atendem aos requisitos de transmitância térmica ( $U$ ), atraso térmico ( $\varphi$ ), fator solar ( $FS$ ) e capacidade térmica  $C_T$ , conforme o método simplificado disposto na ABNT NBR 15220-2 (2003).

#### 4.2.1 Sistema de vedações verticais externas

Os componentes das paredes externas considerados para o cálculo, conforme projeto, se encontram abaixo, e os resultados de transmitância térmica (U), atraso térmico ( $\varphi$ ), fator solar (FS) obtidos se encontram na tabela 13.

**Tabela 17 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar das vedações conforme a norma e do projeto em estudo**

COMPOSIÇÃO PAREDES EXTERNAS	– PROPRIEDADE	NBR 15.220-3	Calculado	Aceitabilidade
Argamassa externa (e = 2,5 cm)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	≤ 3,6	3,0	Sim
	$\varphi$ (h)	≤ 4,3	3,9	Sim
Bloco cerâmico (11,5 x 14 x 24 cm) (assentado na menor dimensão)	FS (%)	≤ 4,0	-	O FS será ≤ 4,0 desde que
	Argamassa interna (e = 1,5 cm)			$\alpha \leq 0,33$

Fonte: elaborado pela autora.

Seguindo as diretrizes da normativa, a transmitância térmica (U) e o atraso térmico ( $\varphi$ ) apresentaram valores aceitáveis. Como não há recomendações acerca da cor de revestimento externo para as paredes no projeto, o fator solar (FS) apresentará valor aceitável caso o revestimento possuir uma absorvidade à radiação solar ( $\alpha$ ) menor que igual ou menor que 0,33%, ou seja, caso a pintura aplicada na face externa seja de cor clara (branca a amarela), conforme tabela 4.

#### 4.2.2 Sistema de cobertura

Os componentes da cobertura considerados para o cálculo, conforme projeto, se encontram abaixo, e os resultados de transmitância térmica (U), atraso térmico ( $\varphi$ ), fator solar (FS) obtidos se encontram na tabela 14.

**Tabela 18 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar da cobertura conforme a norma e do projeto em estudo**

COMPOSIÇÃO COBERTURA	– PROPRIEDADE	NBR 15.220-3	Calculado	Aceitabilidade
Telha cerâmica de barro (e = 1 cm)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	≤ 2,0	2,1	Não
	$\varphi$ (h)	≤ 3,3	1,2	Sim
Camada de ar (e > 5 cm)	FS (%)	≤ 6,5	6,7	Não
Forro em PVC (e = 1 cm)				

Fonte: elaborado pela autora.

Seguindo as diretrizes da normativa, a transmitância térmica (U) e o fator solar (FS) estão acima dos valores recomendados, mas o atraso térmico ( $\varphi$ ) apresentou valor aceitável. Para que seja possível obter as características desejadas de U e FS, algumas possíveis composições para a cobertura são apresentadas na tabela 15.

**Tabela 19 - Possíveis composições de cobertura recomendadas para o projeto conforme a normativa**

(continua)

COMPOSIÇÃO COBERTURA	– PROPRIEDADE	NBR 15.220-3	Calculado	Aceitabilidade
Telha cerâmica de barro (e = 1 cm) ( $\alpha = 0,8$ )	U (W/m <sup>2</sup> .K)	≤ 2,0	2,0	Sim
	$\varphi$ (h)	≤ 3,3	1,0	Sim
Camada de ar (e > 5 cm)	FS (%)	≤ 6,5	6,4	Sim
Forro em madeira (e = 1 cm)				

**Tabela 20 - Possíveis composições de cobertura recomendadas para o projeto conforme a normativa**

				(conclusão)
Telha em fibrocimento (e = 0,8 cm) ( $\alpha = 0,4$ )	U ( $W/m^2.K$ )	$\leq 2,0$	2,0	Sim
	$\varphi$ (h)	$\leq 3,3$	1,0	Sim
Camada de ar (e > 5 cm)	FS (%)	$\leq 6,5$	3,2	Sim
	Forro em madeira (e = 1 cm)			

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, conclui-se que a composição das paredes externas atendem aos requisitos da normativa, e com a aplicação de uma das composições propostas de cobertura, o envelope da edificação será constituído por materiais que propiciam uma boa inércia térmica e consequentemente um bom aquecimento solar passivo.

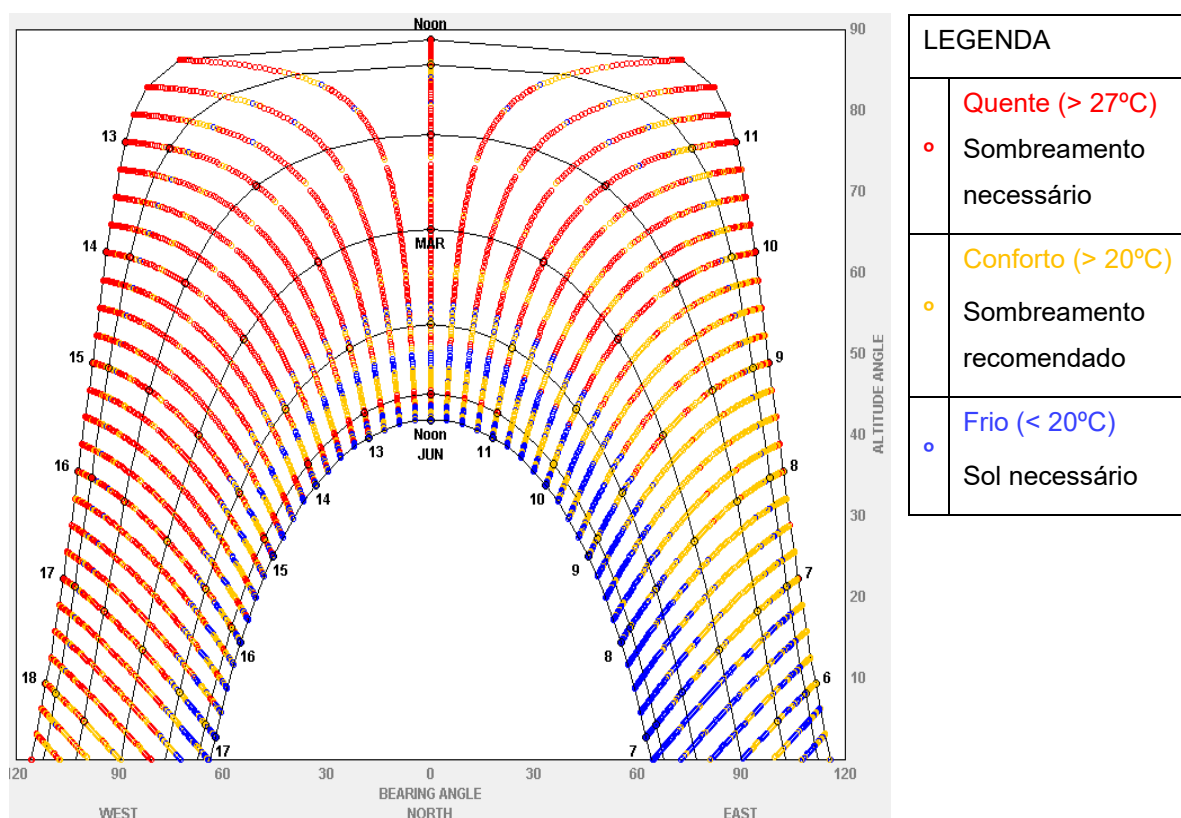
### 4.3 Sombreamento das aberturas

A estratégia de inércia térmica para aquecimento foi a estratégia mais demandada para o projeto em estudo, conforme análise feita, para proporcionar maior conforto nos meses de outono e inverno. Porém, deve-se ter cuidado ao utilizá-la, pois a inércia térmica pode provocar elevado desconforto térmico interno no período do verão. Assim, como há aberturas na fachada Oeste e Leste, deve-se minimizar os ganhos solares através de sombreamento no período diurno.

Desta forma, torna-se imprescindível propor um mecanismo de sombreamento para as aberturas, de modo a evitar que os horários com altas temperaturas gere incidência solar direta no interior da edificação durante o verão, e permitir a incidência solar direta nos períodos de inverno, para promover aquecimento.

Portanto, para definir os horários em que se faz necessário o sombreamento, tem-se a orientação solar na cidade de Marechal Cândido Rondon nos meses de dezembro a junho no gráfico 9.

Gráfico 9 - Orientação solar nos meses de dezembro a junho

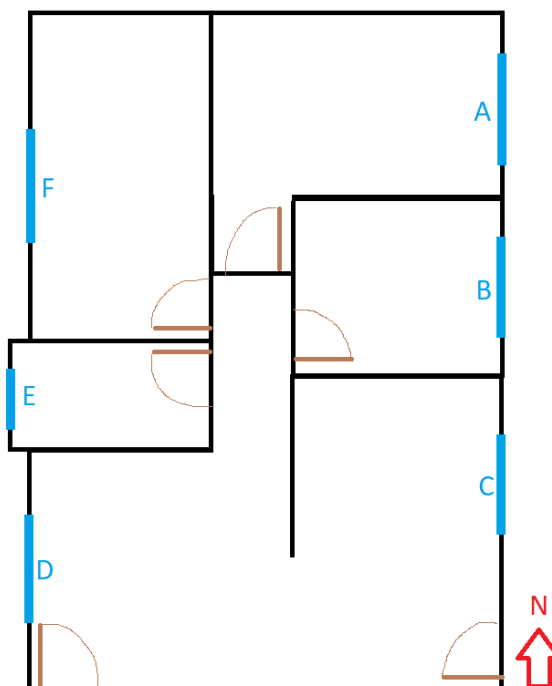


Fonte: Climate Consultant.

No gráfico 9, observa-se que no período de verão (dezembro a março), deve-se sombrear as aberturas a partir das 10h da manhã até às 17h da tarde. Já no inverno, é importante que haja incidência solar direta nos horários de maiores temperaturas para gerar aquecimento direto e indireto para a edificação.

Para fins de identificação ao longo dos cálculos, as aberturas foram nomeadas de A a F, conforme imagem 22. Sabendo dos horários que demandam sombreamento, e que a edificação possui beiral de 60 cm no telhado que gera sombra, a situação de sombreamento de cada abertura foi mensurada com o auxílio do software Analysis SOL-AR e apresentada na tabela 16.

Imagem 22 - Nomenclatura das aberturas do projeto em estudo para cálculo de sombreamento



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 21 - Condição de sombreamento das aberturas do projeto em estudo

Janela	Orientação no projeto	Comprimento beiral que gera sombreamento (cm)	Ângulo alfa (graus)	Situação de sombreamento	Aceitabilidade
A	Leste	60	18	Permite entrada de sol até as 11h no verão e inverno	Não
B	Leste	60	18	Permite entrada de sol até as 11h no verão e inverno	Não
C	Leste	60	22	Permite entrada de sol até 10h no verão e 11h inverno	Parcial
D	Oeste	60	60	Permite entrada de sol a partir 13h no inverno e verão	Não
E	Oeste	30	30	Permite entrada de sol a partir 13h no inverno e verão	Não
F	Oeste	60	60	Permite entrada de sol a partir 13h no inverno e verão	Não

Fonte: elaborado pela autora.



Seguindo as necessidades do projeto, as aberturas não estão adequadas às exigências de sombreamento para permitir um bom conforto térmico, principalmente as aberturas localizadas na fachada Oeste. Nessa orientação, o beiral existente no projeto permite uma boa incidência solar no período de inverno, porém geram um alto desconforto térmico no verão por não gerar sombreamento nos horários de altas temperaturas. Já na fachada Leste, na qual há menos horários de altas temperaturas, o cenário é menos crítico, porém no verão ainda pode gerar desconforto pela falta de sombreamento. Pelo fato da fachada Norte estar localizada na divisória de terreno, não é possível alocar aberturas para essa orientação, gerando impossibilidade de retirar algumas aberturas das fachadas Leste e Oeste. Sendo assim, para que seja possível obter o sombreamento desejado, algumas possíveis soluções são:

- A. Aumentar a largura dos beirais já existentes do telhado;
- B. Modificar a estrutura do telhado para telhado embutido, retirando os beirais do telhado e adicionando beirais e brises nas aberturas;
- C. Uso de árvores caducas para gerar sombreamento nas faces Leste e Oeste.

Com a implementação da solução A, pode-se atingir o cenário de sombreamento disposto na tabela 17.

**Tabela 22 - Situação de sombreamento com a solução A**

Janela	Solução	Ângulo alfa (graus)	Impacto
A	Aumentar beiral para 90 cm	25	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e das 11h às 12h no inverno
B	Aumentar beiral para 90 cm	25	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e das 11h às 12h no inverno
C	Aumentar beiral para 90 cm	31	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e das 11h às 12h no inverno
D	Aumentar beiral para 90 cm e adicionar brise horizontal	70	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e bloqueia das 12h às 13h no inverno
E	Aumentar beiral para 60 cm e adicionar brise horizontal	70	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e bloqueia das 12h às 13h no inverno
F	Aumentar beiral p/ 90 cm e adicionar brise horizontal	70	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e bloqueia das 12h às 13h no inverno

Fonte: elaborado pela autora.

A solução A é a que gera a menor quantidade de alterações no projeto original e permite gerar sombreamento nos horários mais quentes durante o verão, porém gera sombreamento em alguns horários de alta temperatura no inverno, o que não é tão vantajoso quanto a solução ideal de haver incidência solar nesses períodos. Apesar disso, se mostra uma solução eficaz por permitir incidência solar na maior parte da tarde no inverno, e bloquear a entrada de sol nos horários quentes no verão.

Com a implementação da solução B, o aproveitamento de sol durante o inverno poderia ser maximizado, atingindo o cenário de sombreamento disposto na tabela 18.

**Tabela 23 - Situação de sombreamento com a solução B**

Janela	Solução	Alfa (graus)	Gama direito (graus)	Gama esquerdo (graus)	Beta (graus)	Impacto
A	Adicionar brise horizontal	25	0	25	0	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e permite em todos os horários no inverno
B	Adicionar brise horizontal	25	0	25	0	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e permite em todos os horários no inverno
C	Adicionar brise horizontal	25	0	25	0	Bloqueia sol das 10h às 12h no verão e permite em todos os horários no inverno
D	Adicionar brise horizontal	70	25	40	0	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e permite em todos os horários no inverno
E	Adicionar brise horizontal	70	25	40	0	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e permite em todos os horários no inverno
F	Adicionar brise horizontal	70	25	40	0	Bloqueia sol das 12h às 17h no verão e permite em todos os horários no inverno

Fonte: elaborado pela autora.

A solução B promove um melhor aproveitamento da incidência solar no inverno, porém demanda uma modificação considerável no projeto. Caso a solução B fosse aplicada, o dimensionamento dos brises horizontais necessários para cada abertura nessa solução estão dispostos na tabela 19.

**Tabela 24 - Dimensionamento de brises nas aberturas do projeto**

Abertura		Brise			Lamelas <sup>1</sup>		
Janela	Tipo	Comprimento brise (cm)	Largura direita (cm)	Largura esquerda (cm)	Qtd lamelas	Comprimento (cm)	Distância entre lamelas (cm)
A	J2	56,0	0,0	56,0	5	11,2	24,0
B	J2	56,0	0,0	56,0	5	11,2	24,0
C	J4	37,3	0,0	37,3	3	12,4	26,7
D	J1	329,7	56,0	100,7	30	11,0	4,0
E	J3	164,8	28,0	50,3	15	11,0	4,0
F	J2	329,7	56,0	100,7	30	11,0	4,0

<sup>1</sup>para beirais avantajados, pode-se dividir em lamelas.

**Fonte: elaborado pela autora.**

Para a análise da solução C, faz-se necessário realizar uma simulação computacional, a ser sugerida para trabalhos futuros.

Por fim, a partir da análise de sombreamento, conclui-se que as janelas A, B e C precisam de proteção solar frontal, e a melhor opção seria aproveitar o beiral já existente no telhado, ampliando-o para maximizar o período de sombreamento. Para as janelas D, E e F, os beirais do telhado não seriam suficientes para sombrear, necessitando de outras soluções, como vegetação caduca, brise horizontal ou até mesmo venezianas, que impedissem a entrada indesejada de sol. Uma outra opção para a janela D seria orientar a abertura na direção sul, necessitando protegê-la apenas nos períodos de início e fim do dia no período quente.

## 4.4 Ventilação natural

### 4.4.1 Aberturas para ventilação

Para que haja ventilação natural apropriada nos ambientes, a NBR 15.220-3 define diretrizes para as aberturas do projeto conforme a zona bioclimática. Para a zona 3, é recomendado que as aberturas representem uma área útil de 15% a 25%

da área de piso do ambiente. A partir da área útil de cada abertura, obteve-se a área de ventilação das aberturas do projeto, conforme tabela 20.

**Tabela 25 - Área útil das aberturas do projeto**

Ambiente	Tipo de janela	Área bruta (m <sup>2</sup> )	Área útil (m <sup>2</sup> )	Área de piso (m <sup>2</sup> )	% área útil / piso	Área de abertura NBR 15%<A<25% (m <sup>2</sup> )	Aceitabilidade
Sala de estar	Correr	1,8	0,9	11,85	7,6	1,78	Não
Cozinha	Basculante	1,28	0,64	13,17	4,9	1,98	Não
Quarto 1	Correr	1,8	0,9	7,34	12,3	1,10	Não
Quarto 2	Correr	1,8	0,9	11,05	8,1	1,66	Não
Quarto 3	Correr	1,8	0,9	11,68	7,7	1,75	Não
BWC	Basculante	0,6	0,3	3,83	7,8	0,57	Não

Fonte: elaborado pela autora.

As aberturas apresentaram total desconformidade com a área recomendada pela NBR para ventilação. Seguindo as necessidades da normativa, as janelas da sala de estar e todos os quartos estariam dentro das diretrizes propostas caso fossem do tipo abrir ou camarão (com 100% da área da abertura). Caso pudesse ser garantido que a janela do banheiro seja do tipo basculante com toda a sua área bruta disponível para abertura, ela também estaria de acordo com as diretrizes. Por fim, a cozinha foi o ambiente que apresentou menos da metade da área útil recomendada, gerando a necessidade de acrescentar uma janela tipo J4 na fachada Sul e ambas serem janelas com 100% da sua área bruta disponível para abertura.

#### 4.4.2 Taxa de renovação de ar

De acordo com o ASHRAE 55, a taxa de renovação do ar recomendada para residências é de 5 a 20 trocas de ar por hora. Assim, considerando que a ventilação ocorre por ação dos ventos, foi utilizado o método de cálculo de ventilação unilateral por ação dos ventos proposto por Lamberts et al. (2016), e o método simplificado de

cálculo de ventilação cruzada por ação dos ventos proposto pelo Building Research Establishment - BRE (UK).

Primeiramente, é necessário conhecer a intensidade anual e a direção predominante dos ventos para a cidade em estudo. Na falta de dados climáticos para a cidade onde se encontra a edificação, a NBR 15.575 recomenda utilizar os dados de uma cidade próxima com características semelhantes, que se encontre na mesma Zona Bioclimática Brasileira. Dessa forma, devido à falta de dados dos ventos para Marechal Cândido Rondon, a verificação foi realizada considerando a cidade de Guaíra, também pertencente à zona bioclimática 3. Assim, a partir das normais climatológicas do INMET (1981-2010) para a cidade de Guaíra, obteve-se que a intensidade anual do vento é de 2,1 m/s, e a direção predominante do vento é a nordeste (NE).

A partir desses dados, calculou-se a correção da velocidade do vento para a altura de interesse, considerando os seguintes critérios: altura de cumeeira ( $Z$ ) igual a 4,30 metros, e localização do edifício em ambiente urbano. Conforme equação 6, obteve-se uma velocidade de vento de  $V_{4,3} = 1,21$  m/s.

Para determinar a taxa de renovação de ar em cada ambiente, fez-se necessário identificar quais ambientes possuem ventilação unilateral e cruzada. Considerando o pior cenário de ventilação, no qual as portas internas dos ambientes se encontram fechadas e somente as janelas abertas, tem-se que a sala de estar e cozinha atuam como um ambiente integrado, gerando ventilação cruzada, os quartos 2 e 3 apresentam ventilação unilateral, e o quarto 1 e banheiro não apresentam ventilação relevante, pelo fato das suas aberturas estarem voltadas para a região de vento à sotavento.

Para o cálculo das trocas de vento no caso de ventilação unilateral, é necessário identificar o ângulo de incidência do vento na fachada. Como a direção predominante do vento é noroeste, o ângulo de incidência na fachada Leste da edificação é de  $45^\circ$ . Dotado da velocidade do vento a 4,30 metros, do ângulo de incidência do vento, e da área útil das aberturas conforme tabela 20, calculou-se as trocas de ar dos quartos 2 e 3 seguindo as equações 7 a 9, conforme tabela 21.

Tabela 26 - Taxa de renovação de ar para quarto 2 e 3 do projeto em estudo

Ambiente	Volume interno ambiente (m <sup>3</sup> )	Área útil janela (m <sup>2</sup> )	Ângulo incidência do vento (graus)	Velocidade normal do vento (m/s)	Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	Trocas de ar por hora
Quarto 2	30,94	0,9	45	0,86	0,01924	2,2
Quarto 3	32,70	0,9	45	0,86	0,01924	2,1

Fonte: elaborado pela autora.

Para a sala de estar e cozinha, que recebem ventilação cruzada, primeiramente se calcula a área equivalente ( $A_w$ ), conforme equação 11. Da tabela 20, pode-se obter as áreas úteis de entrada ( $A_e$ ) e saída ( $A_s$ ), sendo  $A_e = 0,64$  e  $A_s = 0,9$ , resultando em  $A_w = 0,52$ . Após o cálculo da área equivalente, determinou-se a diferença entre os coeficientes de pressão de entrada ( $C_{pe}$ ) e saída ( $C_{ps}$ ). Para o cálculo de  $\Delta C_p$ , primeiramente foi feito a identificação do ângulo de incidência do vento na fachada, conforme indicação apresentada na imagem 19. Sabendo que não há obstruções no entorno, e que o ângulo de incidência na fachada Leste é de  $315^\circ$ , obteve-se  $C_{pe} = 0,35$  e  $C_{ps} = -0,4$  segundo a tabela 8, resultado em um  $\Delta C_p = 0,75$ . Por fim, determinou-se a taxa de renovação de ar para a sala de estar e cozinha, conforme tabela 22.

Tabela 27 - Taxa de renovação de ar para sala de estar e cozinha do projeto em estudo

Ambiente	Volume interno ambiente (m <sup>3</sup> )	Área equivalente $A_w$ (m <sup>2</sup> )	$\Delta C_p$	Fluxo de ar (m <sup>3</sup> /h)	Trocas de ar por hora
Sala de estar	70,06	0,52	0,75	0,35514	18,2
Cozinha					

Fonte: elaborado pela autora.

Dispondo das taxas de renovação de ar em cada ambiente, comparou-se com os valores recomendados pelo ASHRAE 55 para residências, conforme tabela 23.

**Tabela 28 - Taxa de renovação de ar do projeto em estudo**

Ambiente	Tipo de ventilação	Trocas de ar / hora calculada	Aceitabilidade
Sala de estar Cozinha	Cruzada	18,2	Sim
Quarto 1	Unilateral	-	Não
Quarto 2	Unilateral	2,2	Não
Quarto 3	Unilateral	2,1	Não
BWC	Unilateral	-	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Para os quartos 2 e 3, adotar a solução proposta para a verificação da abertura para ventilação, que seria alterar a janela para do tipo abrir ou camarão (com 100% de abertura) já atenderia em conjunto o critério de taxa de renovação de ar, resultando em 5 trocas de ar por hora. Para o ambiente integrado da sala de estar e cozinha, caso fosse implementada a solução de inserção de uma janela na fachada Sul com 100% de abertura, o fluxo de ar não sofreria alterações já que ambas as aberturas de saída seriam idênticas e o coeficiente de pressão é o mesmo para ambas as fachadas, mantendo o valor de taxa dentro do intervalo recomendado. Porém o quarto 1 e o banheiro se encontram em situação crítica no pior caso de ventilação, por estarem localizados no lado Oeste onde há vento à sotavento. Assim, recomenda-se o emprego de grades de ventilação ou janela acima da porta do banheiro e na parede divisória do quarto 1 com o quarto 2, para permitir a ventilação cruzada no período noturno para esses ambientes, e outra solução seria a utilização de abertura no telhado para captação de vento, além de também permitir a entrada de luz durante o dia que maximiza a inércia térmica em componentes internos da residência.

#### 4.5 Resumo dos resultados e discussão

Partindo do fato que o local em estudo pertence ao clima temperado úmido com verão quente (Cfa, conforme a classificação de Köppen), e pertence à Zona Bioclimática 3, a cidade de Marechal Cândido Rondon possui estações do ano bem definidas, marcada por um verão com altas temperaturas, gerando desconforto por calor, e inverno com frios intensos, gerando grande desconforto por frio. Dessa forma,

as estratégias bioclimáticas aplicáveis ao local visam promover uma boa ventilação e sombreamento no verão, e principalmente ganhos de calor solar para a edificação no inverno.

A partir das diretrizes construtivas para a zona bioclimática, foi possível analisar a conformidade do projeto e propor soluções para melhorar o conforto dos usuários, conforme quadro 3.

**Quadro 3 - Tabela resumo das diretrizes construtivas, resultados do projeto e alterações necessárias**

ZONA BIOCLIMÁTICA 3			PROJETO CASA FÁCIL			ALTERAÇÕES		
INÉRCIA TÉRMICA	Paredes externas	Leve refletora	$U \leq 3,6 \text{ W/m}^2\text{.K}$	Paredes externas	$U = 3,0 \text{ W/m}^2\text{.K}$	INÉRCIA TÉRMICA	Paredes externas	-
			$\varphi \leq 4,3\text{h}$		$\varphi = 3,9\text{h}$			
			$FS \leq 4,0\%$		$FS \leq 4,0\%$ se $\alpha \geq 0,33$			
	Cobertura	Leve isolada	$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{.K}$	$U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{.K}$	Cobertura		-	Cobertura
$\varphi \leq 3,3\text{h}$			$\varphi = 1,2\text{h}$					
$FS \leq 6,5\%$			$FS = 6,7\%$					
SOMBREAMENTO	Permitir sol no inverno		SOMBREAMENTO	Recebe sol no verão e inverno		SOMBREAMENTO	Bloquear entrada de sol no verão	
VENTILAÇÃO	Aberturas para ventilação	Médias $15\% < A < 25\%$	VENTILAÇÃO	Aberturas para ventilação	Sala de estar (A = 7,6%)	VENTILAÇÃO	Aberturas para ventilação	Aumentar área útil de todos os ambientes
	Taxa de renovação de ar	De 5 a 20 trocas por hora			Cozinha (A = 4,9%)			
					Quarto 1 (A = 12,3%)			
					Quarto 2 (A = 8,1%)			
					Quarto 3 (A = 7,7%)			
					BWC (A = 7,8%)			
			Sala de estar e cozinha (19,8 trocas/h)	Taxa de renovação de ar	-	Taxa de renovação de ar	Aumentar taxa de renovação de ar em todos os quartos e BWC	
			Quarto 1 (sem trocas)					
			Quarto 2 (2,4 trocas/h)					
			Quarto 3 (2,3 trocas/h)					
			BWC (sem trocas)					

Fonte: elaborado pela autora.

Assim, para que a edificação em análise atenda as diretrizes construtivas da NBR 15220 e NBR 15575, é necessário modificar algumas de suas características originais:

1. Alterar as características térmicas da cobertura, em busca de reduzir a transmitância térmica e fator solar, e as características desejadas podem ser alcançadas substituindo o forro de PVC por forro de madeira, ou substituindo a telha cerâmica por telha de fibrocimento;
2. Sombreamento de todas as aberturas nos períodos críticos de verão, e o sombreamento pode ser alcançado aumentando o comprimento do beiral



existente do telhado de 60 cm para 90 cm em todos os lados da edificação, ou alterando o tipo de telhado para telhado embutido sem beiral, e atribuir componentes de sombreamento nas aberturas (brises horizontais, venesianas ou árvores caducas), conforme dimensionado na tabela 19;

3. Alterar as características de suas aberturas para permitir a ventilação, sendo que as diretrizes podem ser atingidas alterando todas as janelas de todos os ambientes para tipo abrir, camarão ou basculante que proporcione 100% de abertura útil, adicionando uma janela na face Sul do ambiente integrado da sala de estar e cozinha, e adicionando grades de ventilação na parede entre o quarto 1 e 2 e na parede entre o banheiro e corredor, para permitir ventilação cruzada ou aberturas no telhado para captação de vento para o quarto 1 e banheiro.

Como consequência da aplicação das soluções propostas, o conforto dos usuários na residência será potencializado, garantindo uma melhor qualidade de vida às pessoas que utilizam a residência. Para visualização das soluções propostas, o projeto com as estratégias implementadas se encontra nos apêndices 01 e 02.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da análise climática com o auxílio dos softwares propostos, foi possível avaliar as características locais e quais as estratégias bioclimáticas mais relevantes para serem aplicadas no projeto. A partir disso, os critérios de desempenho relacionados às estratégias foram avaliados no projeto original, a fim de verificar o nível de aceitabilidade do projeto e assim propor soluções de melhoria para o conforto interno dos usuários na edificação. Por fim, o projeto foi remodelado com a aplicação das soluções propostas, e como consequência disso, o conforto dos usuários na residência será potencializado, garantindo uma melhor qualidade de vida às pessoas que utilizam a residência.

Para trabalhos futuros, o estudo realizado pode ser complementado por meio de simulações computacionais para uma melhor precisão do impacto das mudanças no projeto, e por meio da realização de um estudo considerando a locação exata do projeto no terreno e as obstruções no seu entorno, para gerar resultados mais próximos da realidade. Além disso, é relevante realizar uma análise do projeto observando todas as orientações solares na locação, para que o projeto possa ter o melhor aproveitamento possível e ser construído de acordo com as soluções mais aplicáveis para cada orientação.

O alcance da presente pesquisa é amplo, possibilitando atingir os setores de infraestrutura das associações envolvidas em relação à adoção das estratégias nos projetos de habitação social, assim como construtoras e escritórios de engenharia e arquitetura para ampliar a aplicação em outras obras da região. Além disso, pode-se contribuir com o programa Casa Fácil, caso for possível adotar o projeto em estudo como oficial para os programas de habitação social, e buscar certificações ambientais caso for do interesse público desenvolver moradias às famílias de baixa renda com certificação de sustentabilidade.

A construção sustentável tange uma tomada de ações decisivas para assegurar o equilíbrio entre proteger o meio ambiente, viabilizar o crescimento econômico com inclusão social e promover a justiça ambiental, que se faz mais urgente aos menos favorecidos em condições precárias de habitabilidade. Assim, a pesquisa foi um meio potencializador desse equilíbrio, buscando soluções melhores para a construção civil e a qualidade de vida de pessoas de baixa renda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A/S, VELUX. **Healthy Homes Barometer 2022**. 7. ed. Hørsholm: Sune Tobias Grollov, 2022. p. 1 - 40.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Norma 02-135: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro. 2004

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

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15575: Edifícios Habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho**. 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. (1992). **ASHRAE 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta.

ARCHITECTURE 2030. **Why the building sector?**. Disponível em: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ARCHITECTURE 2030. **Carbon Smart Materials Palette**. Disponível em: <https://materialpalette.org/palette/>. Acesso em: 29 abr. 2022.

BRE - Building Research Establishment. **Principles of Natural Ventilation**. BRE Digest, n 210. BRE, Garston, 1978.

CBCS; PNUMA; AMBIENTE, Ministério do. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**: Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável. 1. ed., 2014. p. 1-95.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO PARANÁ (COHAPAR). **PLANO ESTADUAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL DO PARANÁ – PEHIS-PR**: Necessidades Habitacionais do Paraná. 2019. Disponível em: [https://www.cohapar.pr.gov.br/sites/cohapar/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/pehis\\_2019\\_resultados\\_07\\_2020.pdf](https://www.cohapar.pr.gov.br/sites/cohapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/pehis_2019_resultados_07_2020.pdf). Acesso em: 06 jun. 2022.

CREA-PR. **Programa Casa Fácil**. Disponível em: <https://casafacil.crea-pr.org.br/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

EDGE IFC. Disponível em: <https://edgebuildings.com/>. Acesso em: 07 abr. 2022.

ELETROBRAS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial – 2019**. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 05 abr. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Deficit habitacional no Brasil: 2016 - 2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021. 169 p. Relatório.

GOVERNO FEDERAL. Ministério do Meio Ambiente. **ProjetEEE: Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee>. Acesso em: 14 jun. 2022.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho Térmico de Edificações.** 7. ed. Florianópolis: [s. n.], 2016. 239 p. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf). Acesso em: 26 ago. 2022.

LAMBERTS, Roberto et al. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas.** 4. ed. Florianópolis: [s. n.], 2010. 13 p. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo\\_caixa\\_v4.PDF](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo_caixa_v4.PDF). Acesso em: 19 set. 2022.

LOCKWOOD, Charles. Building the Green Way. **Harvard Business Review**, jun./2006. Disponível em: <https://hbr.org/2006/06/building-the-green-way>. Acesso em: 21 mar. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MACNAUGHTON, P., et al. Energy savings, emission reductions, and health co-benefits of the green building movement. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology** v. 28, p. 307–318 (2018). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41370-017-0014-9>. Acesso em: 04 jun. 2022.

PROCEL EDIFICA - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Ventilação Natural em Edificações.** Rio de Janeiro, 2010. Acesso em: 14 de novembro de 2022.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, [S. l.], v. 7, n. 13, p. 111–128, 2011. DOI: 10.21527/2237-6453.2009.13.111-128. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169>. Acesso em: 29 abr. 2022.

UNITED NATIONS, **2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.** Nairobi.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). **World Population Prospects 2019: Highlights.** ST/ESA/SER.A/423.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). **World Urbanization Prospects 2018: Highlights.** (ST/ESA/SER.A/421).

UNITED NATIONS, **The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible.** UNESCO, Paris.

VERDINEZ, Deisy. **USGBC announces Top 10 Countries and Regions for LEED in 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.usgbc.org/articles/usgbc-announces-top-10-countries-and-regions-leed-2021>. Acesso em: 10 maio 2022.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL (WorldGBC). **Bringing embodied carbon upfront**: coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. 2019. Disponível em: <https://www.worldgbc.org/news-media/WorldGBC-embodied-carbon-report-published>. Acesso em: 29 abr. 2022.

## **APÊNDICES**

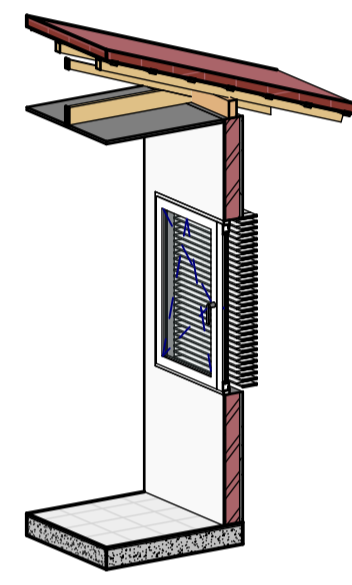
- 01 – Projeto Casa Fácil com as estratégias bioclimáticas implementadas
- 02 – Imagens 3D do Projeto Casa Fácil com as estratégias implementadas



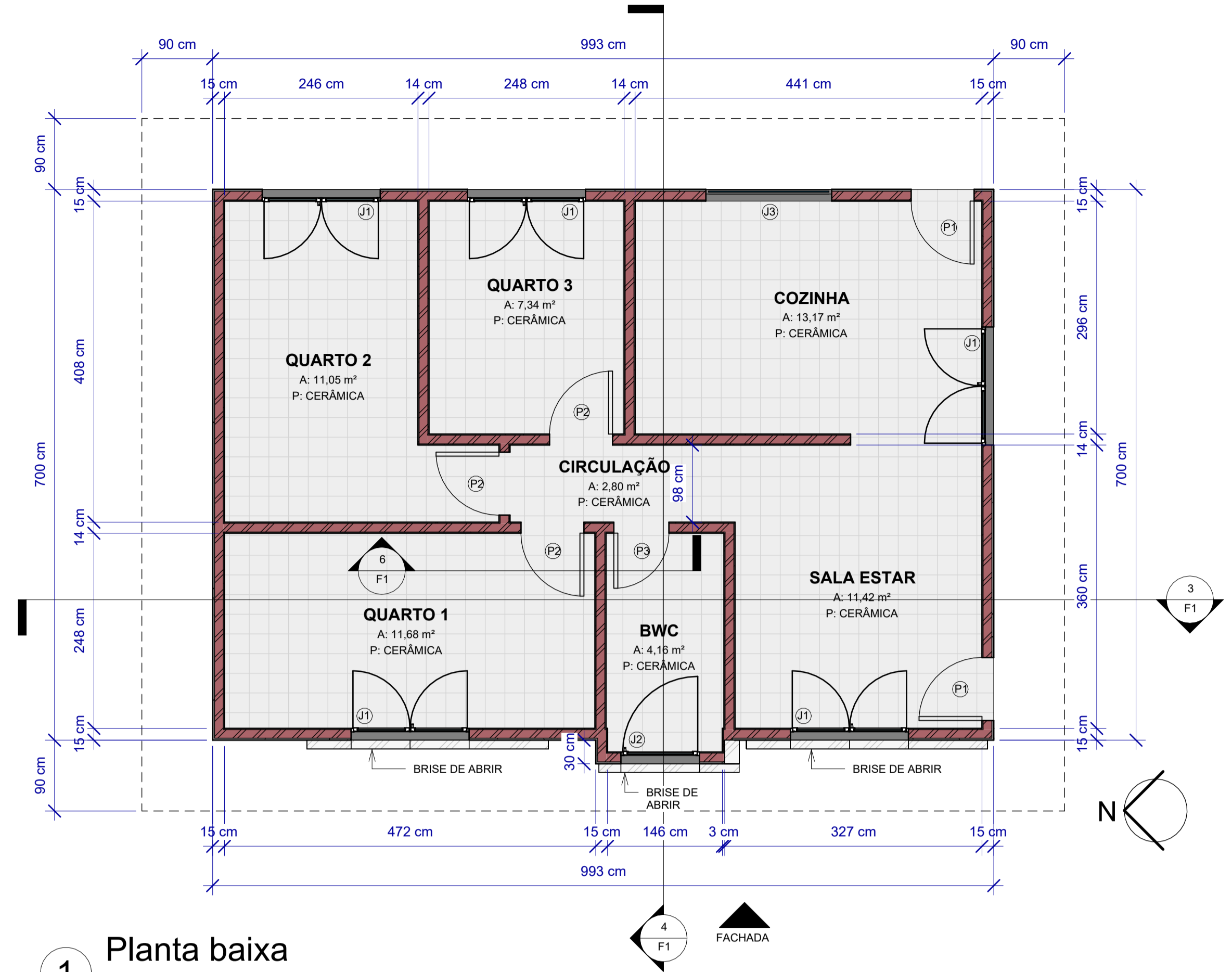
Modelo exemplo de janela de abrir com brise para quarto 1 e sala de estar



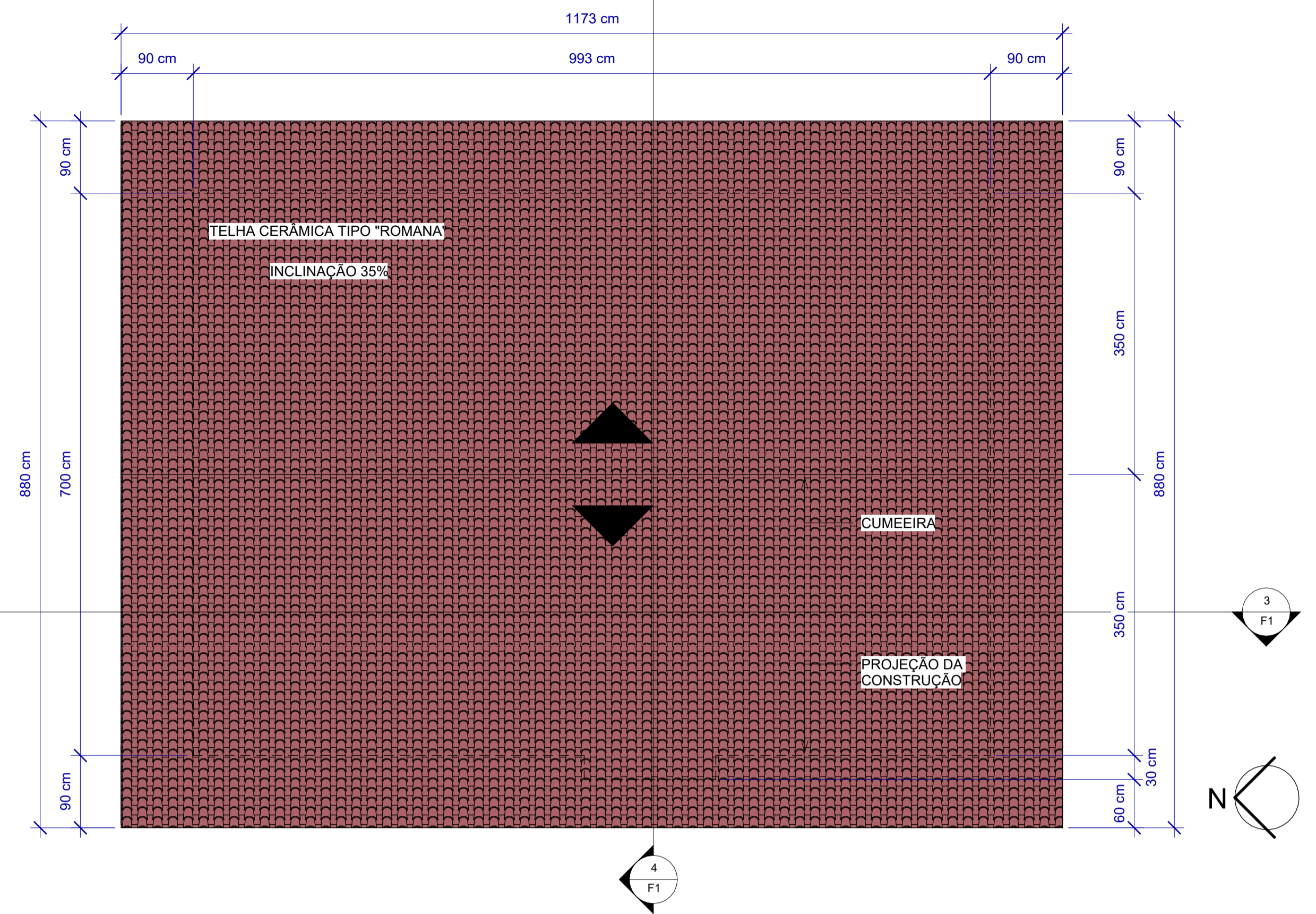
Fonte: Roma Esquadrias  
(<https://www.romapvc.com.br/esquadrias/brises-de-aluminio/brise-de-aluminio-vertical/brise-de-aluminio-para-fachadas-campinas>)



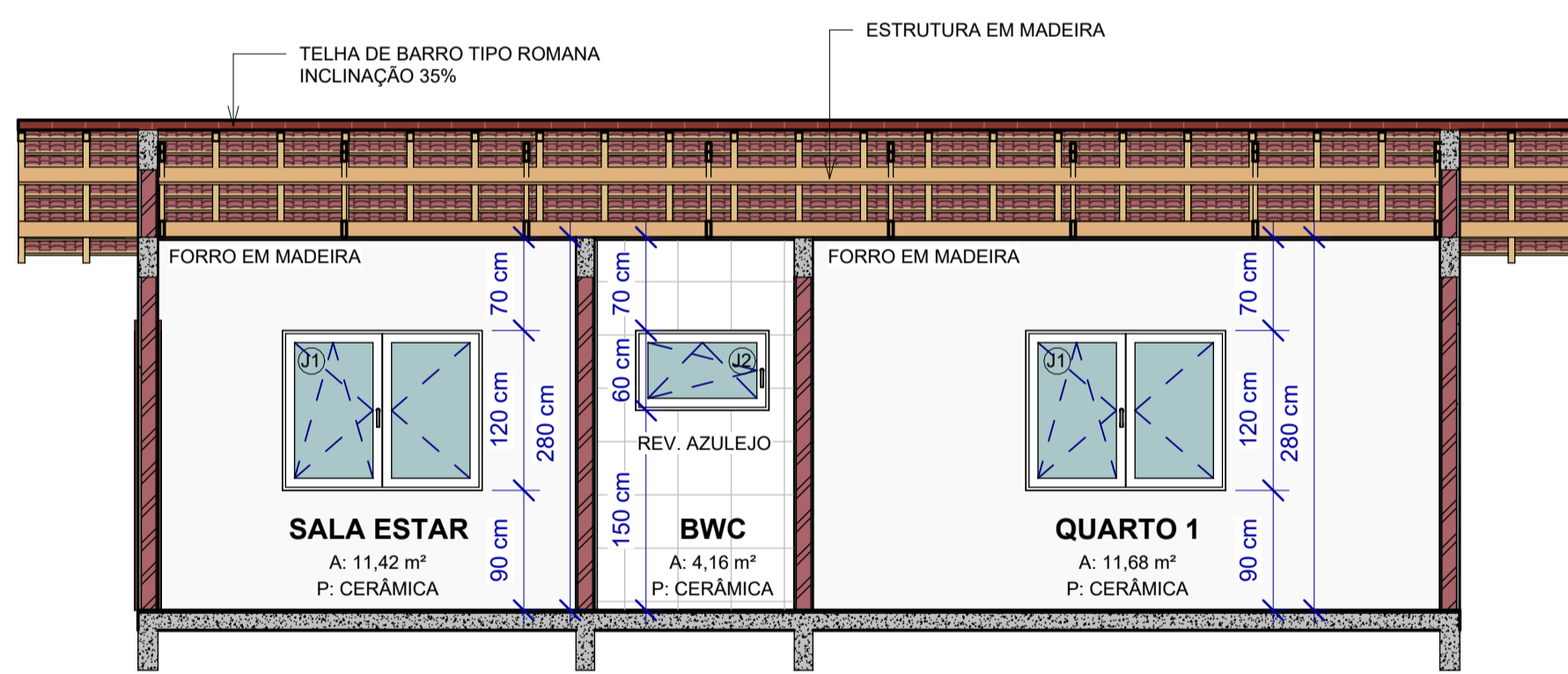
12 Vista 3D 3



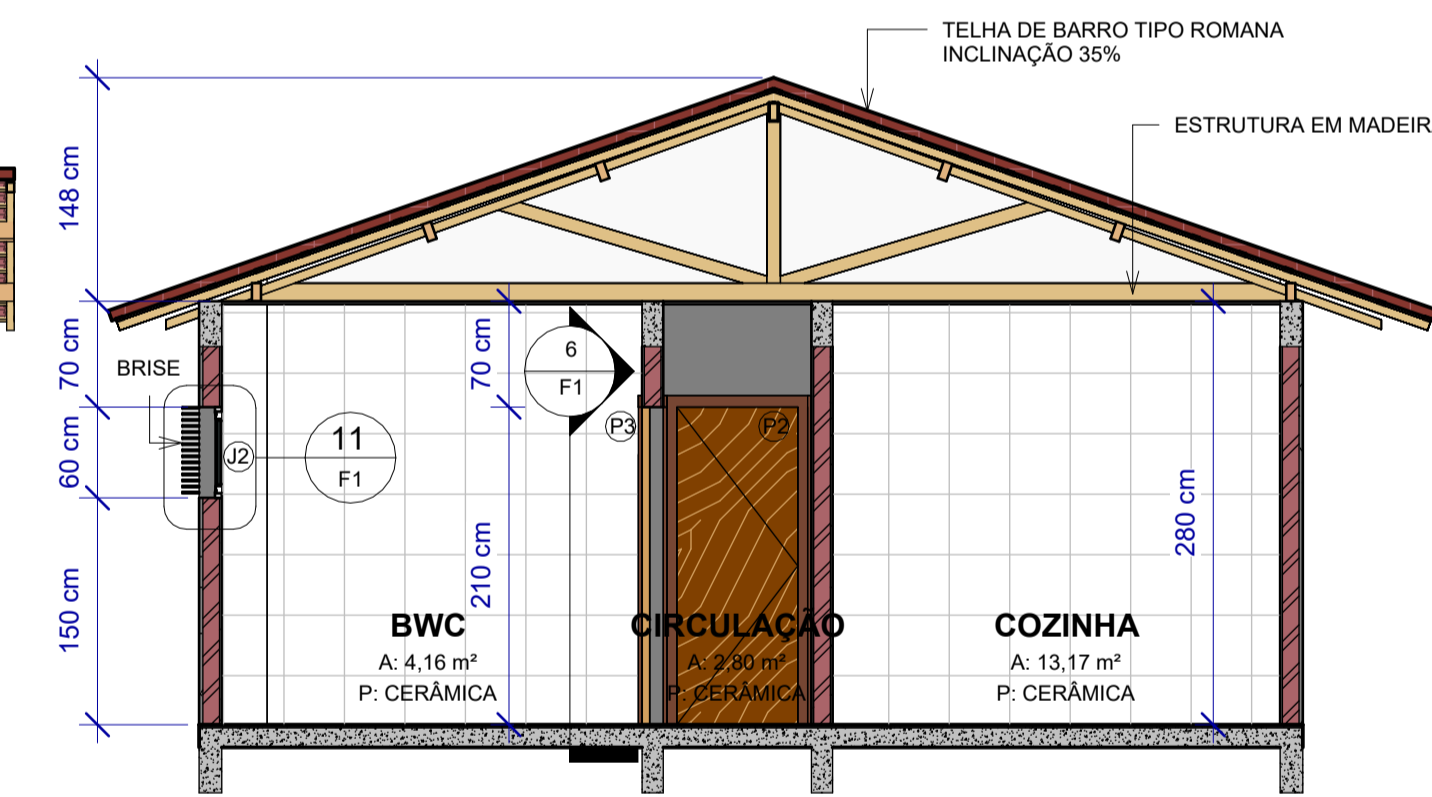
1 Planta baixa  
1 : 50



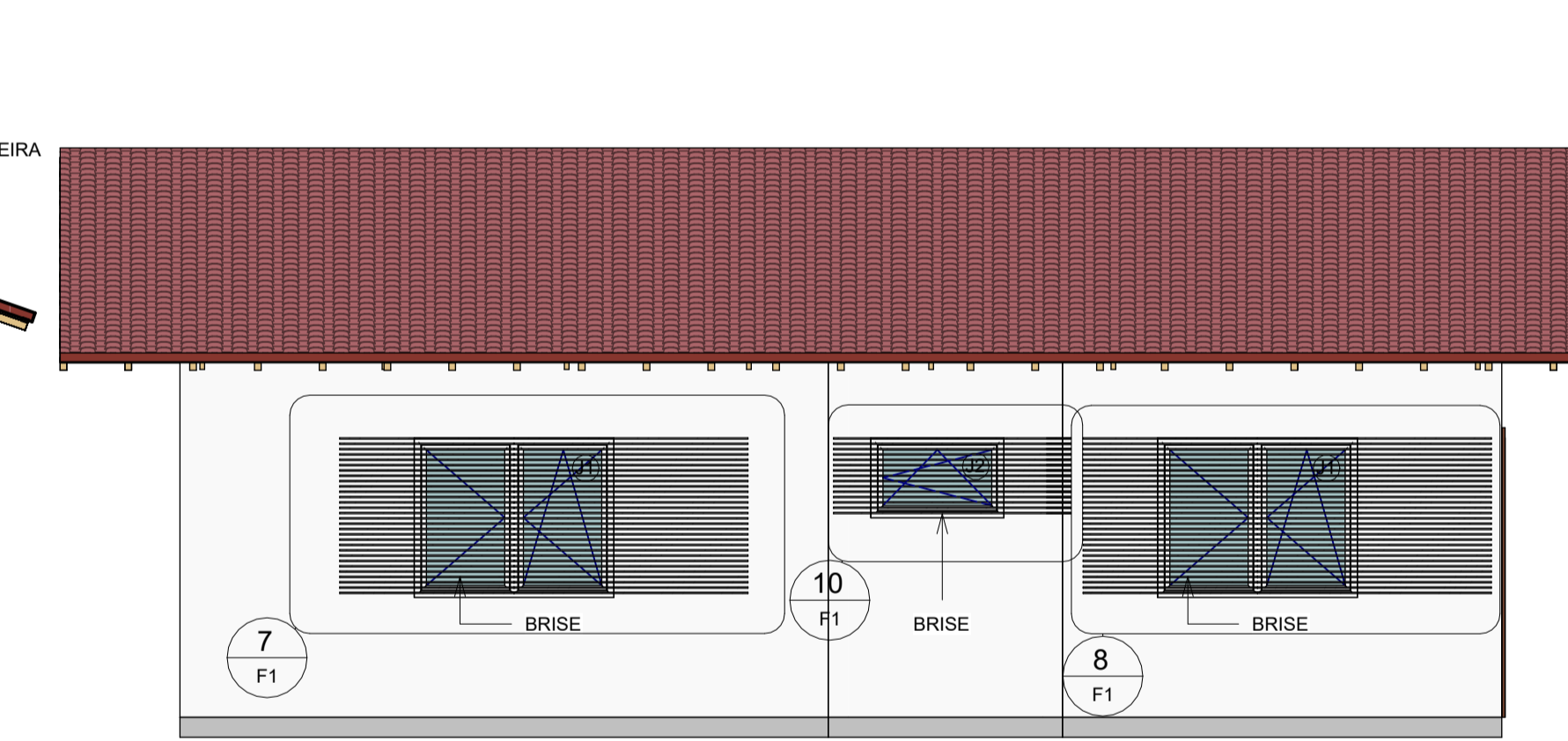
2 Planta de cobertura  
1 : 50



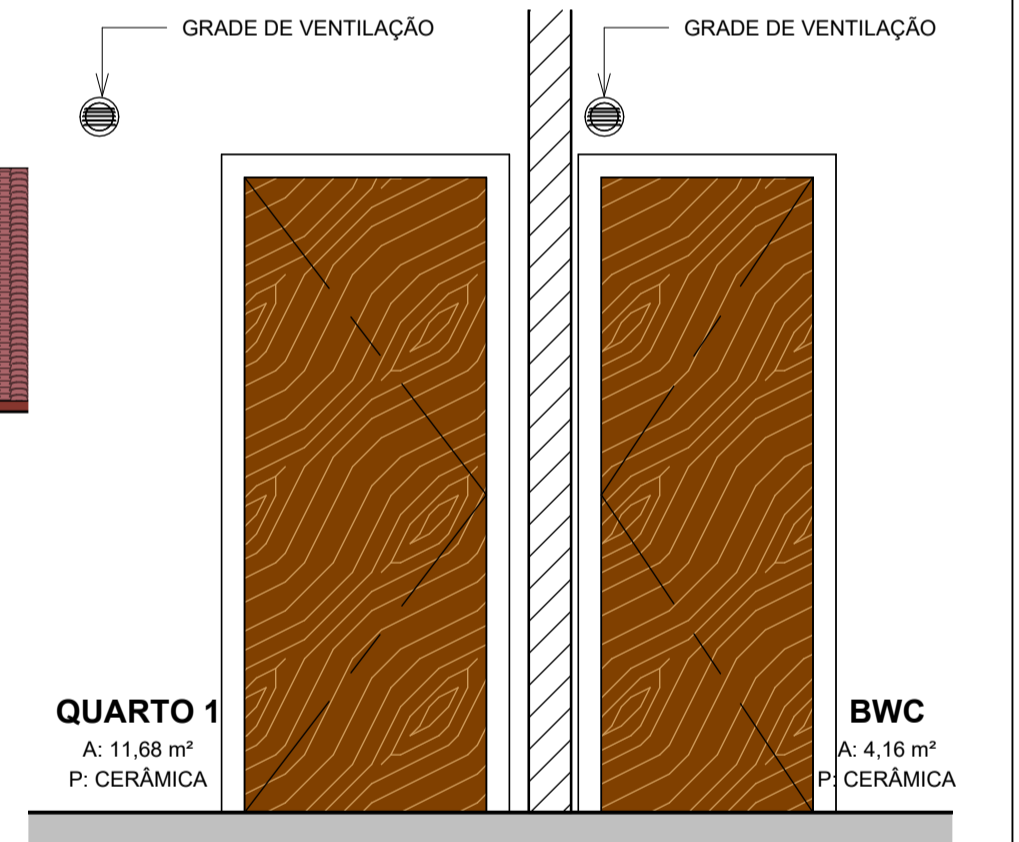
3 Corte 2  
1 : 50



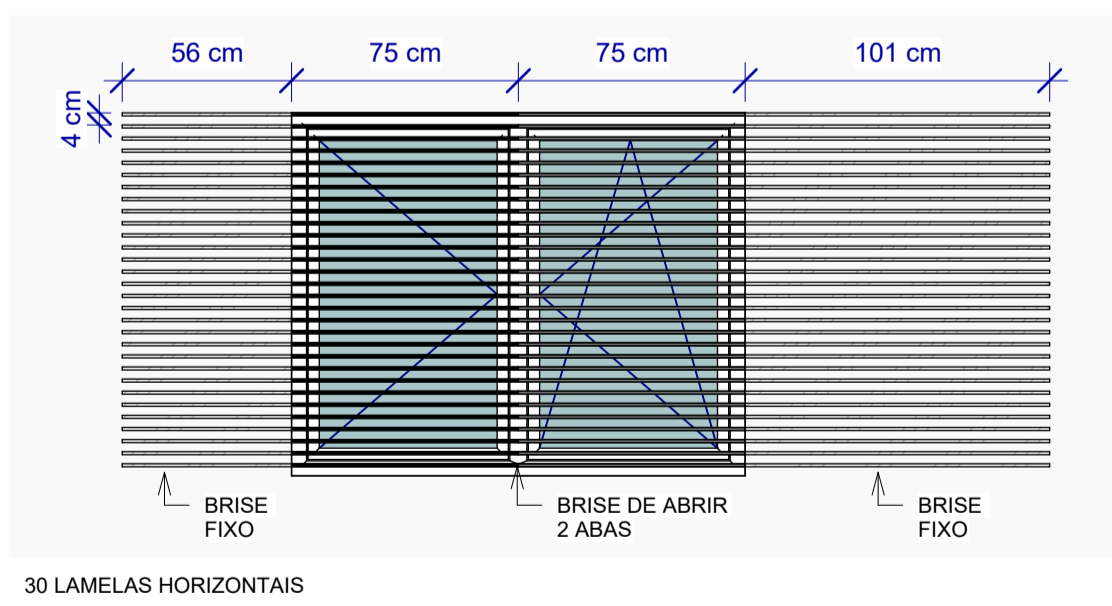
4 Corte 1  
1 : 50



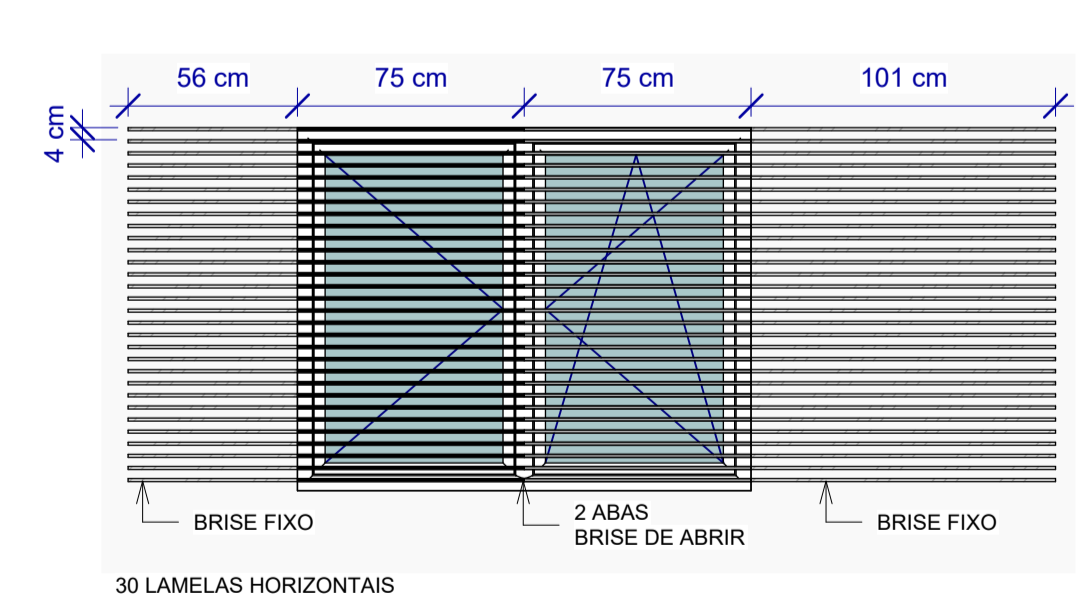
5 Fachada  
1 : 50



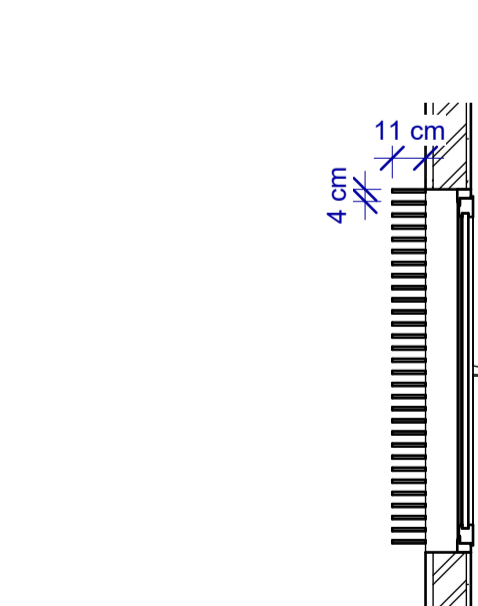
6 Grades de ventilação  
1 : 25



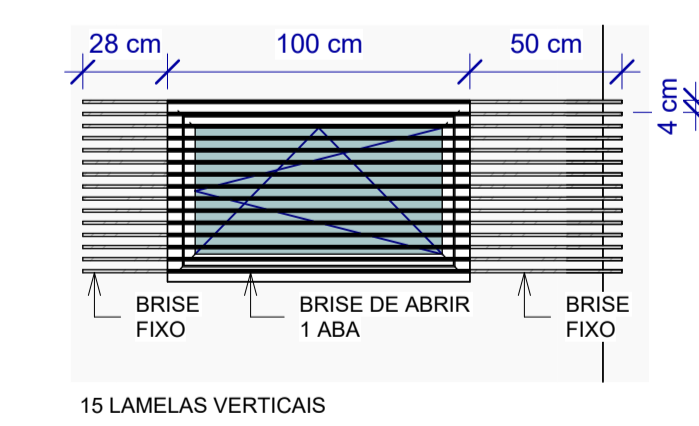
7 Janela quarto 1 - vista frontal  
1 : 25



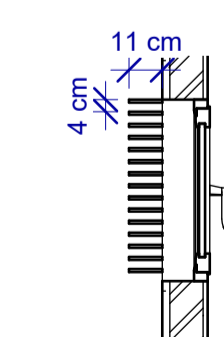
8 Janela sala estar - vista frontal  
1 : 25



9 Janela quarto 1 e sala - corte  
1 : 25



10 Janela BWC - vista frontal  
1 : 25



11 Janela BWC - corte  
1 : 25

Tabela de janela				
Marca de tipo	Largura	Altura	Altura do peitoril	Contagem
J1	150 cm	120 cm	90 cm	5
J2	100 cm	60 cm	150 cm	1
J3	160 cm	80 cm	130 cm	1

Tabela de porta			
Marca de tipo	Largura	Altura	Contagem
P1	80 cm	210 cm	2
P2	80 cm	210 cm	3
P3	70 cm	210 cm	1



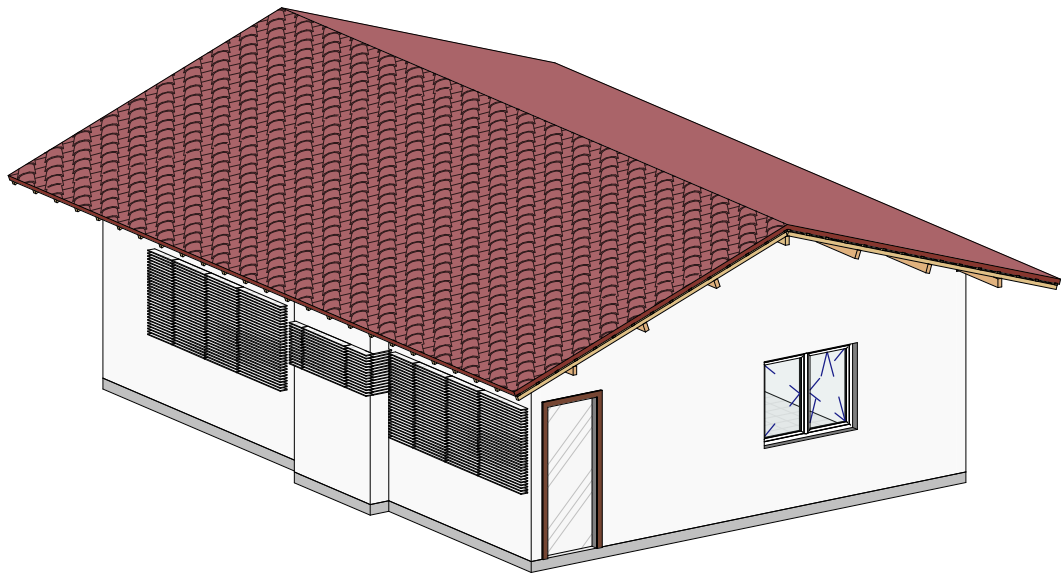
Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Civil

Desenhadas por Luana C. Schneider

Projeto Casa Fácil com estratégias bioclimáticas

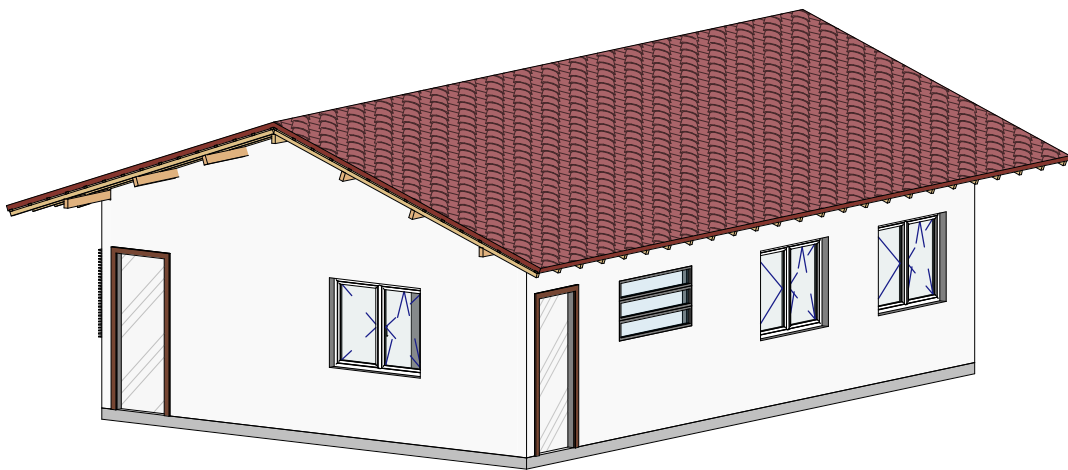
Data 01/12/2022  
Escala Como indicado





1

Vista 3D 1



2

Vista 3D 2



Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Civil

Desenhadas por

Luana C. Schneider

Projeto Casa Fácil com estratégias bioclimáticas

Data

01/12/2022

Escala

02

02