



**UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA**

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA RESIDENCIAL: estratégias para promover conforto térmico nas habitações inseridas em zonas bioclimáticas do Paraná
ENERGY EFFICIENCY IN RESIDENTIAL ARCHITECTURE: Strategies to Promote Thermal Comfort in Houses Located in Bioclimatic Zones of Paraná

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil
Vinicius Augusto Bussola

Orientador(es):
Mestre. Pedro Santiago

Julho 2024

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA RESIDENCIAL: estratégias para
promover conforto térmico nas habitações inseridas em zonas bioclimáticas do Paraná
ENERGY EFFICIENCY IN RESIDENTIAL ARCHITECTURE: Strategies to Promote
Thermal Comfort in Houses Located in Bioclimatic Zones of Paraná

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil
Vinicius Augusto Bussola

Orientador(es):
Mestre. Pedro Santiago

Julho 2024

Dedico este trabalho de dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil primeiramente a Deus, por sempre me conduzir ao caminho da luz, me dando saúde e capacidade para alcançar meus objetivos. Aos meus pais, que estão presentes em toda a minha vida, nas minhas escolhas e decisões, e que participam constantemente do meu crescimento. E à minha esposa, pela paciência, ajuda e compreensão, e por me dar forças e encorajamento para sempre seguir em frente na busca de um futuro melhor.

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha sincera gratidão às seguintes pessoas pelo apoio e orientação inestimáveis ao longo deste projeto de pesquisa:

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Ms. Pedro Santiago, pelo apoio constante, conselhos perspicazes e encorajamento contínuo. Sua expertise e dedicação foram fundamentais para a conclusão deste estudo.

Agradeço também aos membros do corpo docente do Curso de Mestrado de Engenharia Civil da Universidade Fernando Pessoa, pelos comentários construtivos e suporte acadêmico. Suas contribuições enriqueceram significativamente minha pesquisa.

Finalmente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, especialmente aos meus pais e a minha esposa, pelo apoio incondicional e amor. Suas palavras de incentivo e compreensão foram fundamentais para a realização deste trabalho.

RESUMO

A eficiência energética em edificações residenciais é crucial não apenas para reduzir a demanda de energia, mas também para minimizar os impactos ambientais, melhorar o conforto térmico dos ocupantes, especialmente em um país com climas diversos como o Brasil. Este trabalho investiga as estratégias para promover conforto térmico em habitações localizadas nas zonas bioclimáticas do Paraná. A pesquisa identifica que muitas residências brasileiras não são projetadas de acordo com o clima local, levando a um aumento na utilização de equipamentos de aquecimento e resfriamento, o que nem sempre é financeiramente viável para todos. A dissertação realiza análise detalhada sobre os desafios e barreiras em que enfrenta para alcançar um bom desempenho térmico e eficiência energética, abrangendo a qualidade das habitações, normas vigentes, capacitação profissional, e estratégias principais para melhorar o desempenho térmico. Além da revisão bibliográfica, o estudo incorpora dados de simulações e estudos de caso práticos. Os resultados indicam que a desatualização das normas, a falta de capacitação dos profissionais e a necessidade de um maior investimento inicial são os principais obstáculos a serem superados para garantir habitações mais eficientes e confortáveis no Brasil.

Palavras-chave

Eficiência energética; conforto térmico; arquitetura residencial; zonas bioclimáticas do Paraná.

ABSTRACT

Energy efficiency in residential buildings is crucial both for reducing energy demand and for minimizing environmental impacts as well as improving the thermal comfort of its occupants, particularly in a country with a diverse climatic range such as Brazil. This work investigates strategies to promote thermal comfort in dwellings located in the bioclimatic zones of Paraná. The research identifies that a large number of Brazilian homes are not designed according to the local climate, leading to an increase in the use of heating and cooling devices, not always financially viable for everyone. The dissertation conducts a detailed analysis of the challenges and barriers faced in achieving good thermal performance and energy efficiency, addressing housing quality, current standards, professional training, and the main strategies for thermal performance improvement. Alongside the literature review, the study incorporates data from simulations and concrete case studies. The results indicate that the outdated standards, the lack of professional training and the need for greater initial investment are the main obstacles to overcome to ensure more efficient and comfortable housing in Brazil.

Keywords

Energy efficiency; thermal comfort; residential architecture; bioclimatic zones of Paraná.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZAÇÃO	3
I.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	3
I.1.1. Breve Histórico no Brasil.....	3
I.1.2. Eficiência Energética em Habitações no Brasil	6
I.1.2.1. Projeto CasaE.....	6
I.1.2.2. Casa Eficiente	7
I.1.2.3. Projeto Wirton Lira	8
I.1.2.4. Projeto Sobrados Novo Jardim.....	8
I.1.2.5. Minha Casa Mais Sustentável.....	9
I.1.3. Certificação Brasileira de Eficiência Energética	10
I.1.4. Exigências Humanas Para Conforto Térmico e sua Saúde	16
I.1.5. A Arquitetura, a Engenharia e Energias Renováveis	17
I.2. ESTRATÉGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
I.2.1. Estratégias Passivas	22
I.2.1.1. Ventilação.....	23
I.2.1.2. Incidência Solar.....	24
I.2.1.3. Áreas Verdes.....	25
I.2.2. Estratégias Ativas	27
I.2.2.1. Fontes Alternativas de Energia.....	28
I.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO PARANÁ	29
I.4. NORMAS BRASILEIRAS DE DESEMPENHO TÉRMICO	33
I.3.1. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho	33
I.3.2. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.....	36
I.3.2.1. Zonas Bioclimáticas Brasileiras.....	37
I.3.2.2. Zonas Bioclimáticas do Paraná	38
I.3.2.2.1. Zona Bioclimática 1	38
I.3.2.2.2. Zona Bioclimática 2	41
I.3.2.2.3. Zona Bioclimática 3	44
I.3.2.3. Carta Bioclimática	47
CAPÍTULO II. METODOLOGIA.....	49
II.1. MÉTODO E APLICAÇÃO	49
II.2. CASO DE ESTUDO.....	50

II.2.1.	Projeto.....	50
II.2.2.	Alvenaria	53
II.2.3.	Esquadrias	55
II.2.4.	Laje e Cobertura	56
II.3.	ESTRATÉGIAS PARA CONFORTO TÉRMICO	58
II.3.1.	Tipologia de Modelos e Suas Configurações.....	58
CAPÍTULO III.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
III.1.	EM CONFORMIDADE COM NBR 15575.....	68
III.1.1.	Zona Bioclimática 1.....	68
III.1.2.	Zona Bioclimática 2.....	69
III.1.3.	Zona Bioclimática 3.....	71
III.2.	EM CONFORMIDADE COM NBR 15220.....	72
III.2.1.	Aberturas.....	72
III.2.2.	Paredes Externas	73
III.2.3.	Cobertura	74
CONCLUSÃO.....		75
BIBLIOGRAFIA.....		81

FIGURAS

Figura 1 - Fotografia da CasaE.....	6
Figura 2 - Fotografia da Casa Eficiente.....	7
Figura 3 - Fotografia do Projeto Habitação Social Wirton Lira.....	8
Figura 4 - Fotografia do Projeto Sobrados Novo Jardim.....	9
Figura 5 - Modelo Geométrico do Projeto Minha Casa Mais Sustentável.....	9
Figura 6 - Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edificações	14
Figura 7 - Precipitação anual no Estado do Paraná.	29
Figura 8 - Umidade relativa do ar anual no Estado do Paraná.	30
Figura 9 - Temperatura mínima do ar anual no Estado do Paraná.	31
Figura 10 - Temperatura máxima do ar anual no Estado do Paraná.....	31
Figura 11 - Rosa dos Ventos.....	32
Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro.	37
Figura 13 - Zona e Carta bioclimáticas 1.	38
Figura 14 - Temperatura do ar – Curitiba.....	40
Figura 15 - Umidade do ar – Curitiba.....	40
Figura 16 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Curitiba.	41
Figura 17 - Zona e Carta bioclimáticas 2. NBR 15220-3 (2005).....	41
Figura 18 - Temperatura do ar – Ivaí.....	43
Figura 19 - Umidade do ar – Ivaí.....	43
Figura 20 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Ivaí.....	44
Figura 21 - Zona e Carta bioclimáticas 3.	44
Figura 22 - Temperatura do ar – Londrina.....	46
Figura 23 - Umidade do ar – Londrina.....	46
Figura 24 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Londrina.....	47
Figura 25 - Carta bioclimática adaptada.....	48
Figura 26 - Zonas climatizadas e ventiladas.....	50
Figura 27 - Planta Baixa: Habitação Unifamiliar.....	51
Figura 28 - Mapa diário de temperatura e consumo de energia.....	52
Figura 29 - Localização do projeto.....	53
Figura 30 - Camadas de alvenaria convencional.....	53
Figura 31 – Transmitância térmica da alvenaria convencional.....	54
Figura 32 - Camadas de alvenaria com cerâmica.....	54

Figura 33 – Transmitância térmica da alvenaria com cerâmica	55
Figura 34 - Painéis de janelas e portas de vidro	55
Figura 35 - Molduras de janelas e portas de vidro	56
Figura 36 - Camadas de cobertura em telha cerâmica.....	56
Figura 37 – Transmitância térmica da cobertura em telha cerâmica.....	57
Figura 38 - Camadas de laje convencional.....	57
Figura 39 – Transmitância térmica da laje convencional	57
Figura 40 - Mapa diário de temperatura e consumo de energia	58
Figura 41 - Configuração de laje com isolamento.....	59
Figura 42 – Transmitância térmica da laje com isolamento.....	59
Figura 43 - Configuração de cobertura com isolamento	59
Figura 44 – Transmitância térmica da cobertura com isolamento.....	60
Figura 45 - Configuração isolamento externo nas alvenarias.....	60
Figura 46 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento externo	61
Figura 47 - Configuração isolamento externo nas alvenarias com revestimento cerâmico	61
Figura 48 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento externo e revestimento cerâmico.....	62
Figura 49 - Configuração isolamento interno nas alvenarias	62
Figura 50 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno.....	63
Figura 51 - Configuração isolamento interno nas alvenarias com revestimento cerâmico	63
Figura 52 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e revestimento cerâmico.....	64
Figura 53 - Configuração isolamento interno e externo nas alvenarias	64
Figura 54 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e externo	65
Figura 55 - Configuração isolamento interno e externo nas alvenarias com revestimento cerâmico.....	65
Figura 56 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e externo e revestimento cerâmico.....	66

TABELAS

<i>Tabela 1 - Requisitos de desempenho no verão e inverno.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 2 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 1.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 3 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 2. NBR 15220-3 (2005)...</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 4 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 3. NBR 15220-3 (2005)...</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 5 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 1</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 6 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 1 ...</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 7 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 2</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 8 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 2 ...</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 9 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 3</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 10 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 3 .</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 11 - Área das aberturas e relação com a área total.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 12 - Valores de transmitância térmica das paredes.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 13 - Valores de transmitância térmica das lajes e coberturas.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 14 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 1</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 15 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 2</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 16 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 3</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 17 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 1</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 18 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 2</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 19 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 3</i>	<i>79</i>

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASBEA** - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
- ASHRAE** - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- BCSD** - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável
- BIM** - Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling)
- CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- ELETROSUL** - Eletrobras Sul Distribuição de Energia S.A.
- ELETROBRÁS** - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- ENEC** - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EPW** - Energy Plus Weather Data
- FSEC** - Florida Solar Energy Center
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IESVE** - Integrated Environmental Solutions Virtual Environment
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia
- IAPAR** - Instituto Agrônomico do Paraná
- MMA** - Ministério do Meio Ambiente
- NBR** - Norma Brasileira de Regulamentação
- PBE** - Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PROCEL** - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- RTQ-C** - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- RAC-C** - Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- SISNAMA** - Sistema Nacional do Meio Ambiente
- ST-EDIFICAÇÕES** - Secretaria Técnica de Edificações
- TMAX** - Temperatura Máxima
- TMIN** - Temperatura Mínima
- UFSC** - Universidade Federal de Santa Catarina
- VALOR R** - Valor de Resistência Térmica
- VALOR U** - Valor de Transmitância Térmica

INTRODUÇÃO

No contexto atual, a busca por soluções eficientes no uso de recursos energéticos tornou-se uma prioridade global. A eficiência energética surge como uma resposta fundamental para lidar com os desafios do crescente consumo de energia e das mudanças climáticas. Nesse sentido, a integração de estratégias arquitetônicas e de engenharia de energia renovável desempenha um papel crucial na concepção de edificações que sejam eficientes energeticamente e proporcionem conforto térmico e qualidade de vida aos seus ocupantes. Este trabalho propõe uma análise abrangente de estratégias aplicadas a edificações, explorando tanto abordagens passivas quanto as necessidades de energias ativas. O objetivo é investigar como essas estratégias podem ser implementadas de forma eficaz no contexto brasileiro, considerando as normatizações vigentes e as características do projeto arquitetônico. Além disso, o estudo incorpora o uso de simulações computacionais como ferramenta para avaliar o desempenho energético das estratégias propostas.

Esta pesquisa visa contribuir para uma compreensão aprofundada das estratégias aplicadas com foco nas realidades e normatizações brasileiras. Através da combinação de análises teóricas, simulações computacionais e reflexões práticas, busca-se fornecer conhecimentos valiosos e capazes de atender às demandas contemporâneas por conforto, saúde e responsabilidade ambiental.

A estrutura deste trabalho está organizada em três capítulos, os quais abrangem desde a contextualização do tema até a apresentação de resultados e conclusões.

No Capítulo 1, é apresentada a contextualização histórica da eficiência energética, destacando marcos importantes no Brasil, como o desenvolvimento da Certificação Brasileira de Eficiência Energética e as exigências relacionadas ao conforto térmico e à saúde dos ocupantes. Além disso, são discutidas as interseções entre arquitetura, engenharia e energias renováveis.

O Capítulo 2 apresenta a metodologia adotada no estudo, delineando as características do projeto arquitetônico e destacando a importância do contexto bioclimático local. Introduce-se também a simulação computacional como ferramenta essencial para a análise do desempenho energético das estratégias propostas. Ainda no mesmo capítulo é apresentado o estudo de caso com as aplicações dos elementos construtivos aplicados na alvenaria, esquadrias e cobertura, bem como a aplicação de isolamento térmico.

No Capítulo 3, são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações computacionais, com foco nos impactos das estratégias de eficiência energética na

redução do consumo de energia e no conforto térmico dos ocupantes. Esses resultados são de suma importância para discutir a parametrização e comparação entre os variados tipos de modelos realizados no estudo.

Por fim, são apresentadas as conclusões derivadas da análise realizada, incluindo considerações sobre a eficácia das estratégias abordadas, suas limitações e possíveis direções para pesquisas futuras.

CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZAÇÃO

I.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

I.1.1. Breve Histórico no Brasil

O advento da crise de energia ocorrido em 2001 foi o marco da promulgação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 que dispõe sobre a Política Nacional da Conservação e Uso Racional da Energia. (BRASIL .. , 2001a).

A partir disto, o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, veio para regulamentar esta Lei estabelecendo “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas.” (BRASIL, 2001b).

O Decreto criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética CGIEE e, especificamente para edificações, o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País – GT-Edificações – para regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil visando ao uso racional da energia elétrica. (BRASIL, 2001b)

Em 2005, o GT-Edificações gerou a Secretaria Técnica de Edificações – ST-Edificações – com intuito de discutir a parte técnica envolvendo os indicadores de eficiência energética. Desde 2003, o Procel (Eletrobrás) já havia lançado o programa Procel Edifica e através dele, organizou a estrutura necessária para viabilizar as exigências do Decreto. O Inmetro foi incluído no processo em 2005, através da Comissão Técnica – CT-Edificações, onde ocorre a discussão e a definição do processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE. (PROCEL, 2023).

O Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) e a Eletrobrás lançaram no ano de 2009, a Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos. O Conselho Empresarial para Desenvolvimento Sustentável (BCSD) define que eficiência energética envolve a redução do consumo de energia para níveis aceitáveis de conforto, qualidade do ar e outros requisitos ocupacionais, incluindo a energia utilizada de materiais para e na construção. (PROCEL, 2023).

Através de um uso racional da energia no edifício busca-se então, uma diminuição no consumo dos usos finais de iluminação, equipamentos, e aquecimento de água, junto à incorporação de fontes renováveis de energia. Edificações energeticamente mais

eficientes, somente são possíveis através de projetos que desde a sua concepção incluam critérios de eficiência energética.

O Grupo de Trabalho de Sustentabilidade da Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA, 2007) lista 10 itens de uso eficiente da energia:

1. Especificação de equipamentos com menor consumo e melhor eficiência possível na utilização do gás natural para todos os fins;
2. Automatização de transporte vertical com otimização de carga e menor consumo energético possível com a adoção de sistemas eficientes como o ADC, (antecipação de chamadas);
3. Iluminação de baixo consumo energético nas áreas comuns de uso contínuo, e iluminação “incandescente” com acionadores por sensor de presença nas áreas de uso esporádico ou intermitente. Este princípio, com maior tolerância, também é válido para as unidades privadas;
4. Planejamento do consumo energético e utilização de equipamentos para gerar energia em períodos de pico;
5. Melhor aproveitamento possível da iluminação natural, levando-se em conta a necessidade do seu controle;
6. Melhor condição de conforto térmico evitando a incidência da radiação solar direta através da adoção de soluções arquitetônicas tipo *brises-soleil*, venezianas, telas *thermo-screen* externas, prateleiras de luz, vidros especiais que dispensam o uso de brises;
7. Implementação e otimização de ventilação natural;
8. Adoção preferencial de acabamentos claros nas áreas de grande incidência de luz solar;
9. Tratamento das coberturas do edifício analisando a possibilidade de implementação de áreas verdes ou, caso esta solução não seja possível, utilizar pinturas reflexivas para diminuir a absorção de calor para o edifício;
10. Uso de soluções alternativas de produção de energia como a eólica ou a solar, de acordo com as condições locais. A indústria brasileira está se tornando cada vez mais forte na produção de equipamentos para estes fins, tornando viáveis estes projetos.

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica publicado pela Empresa de Pesquisa Energética, as edificações dos setores residencial, comercial e público continuam a representar uma significativa parcela do consumo de energia elétrica no

Brasil. Em 2022, esses setores foram responsáveis por aproximadamente 48,2% do consumo total de eletricidade no país, com o setor residencial consumindo 27%, o setor comercial 18,2%, e o setor público 3,0% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023a). A economia de eletricidade conseguida por meio da arquitetura bioclimática pode chegar a 30% em edificações já existentes (se passarem por readequação e modernização) e a 50% em prédios novos que contemplem essas tecnologias desde o projeto (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023b).

No caso de edifícios de escritórios, o uso de energia e a qualidade do ambiente interno devem ser considerados juntos. O uso de energia frequentemente é visto como um pré-requisito para obter condições de conforto, mas um projeto usando técnicas passivas e recursos naturais pode produzir um bom ambiente interno com custo energético muito baixo. Estudos europeus recentes demonstraram que não há correlação entre uso global de energia e conforto. (AMORIM, 2007).

A expressão “projeto bioclimático” foi criada somente na década de 1960, pelos irmãos Olgyay, procurando expressar a arquitetura que busca satisfazer as exigências de conforto através de técnicas e materiais disponíveis, de acordo com as condições climáticas do lugar (NEVES, 2006). A autora ainda cita que somente em 1975 foi obtida a inclusão da disciplina de conforto ambiental no currículo das escolas de arquitetura do país, o que demonstrou a importância dada ao tema a partir de então.

A questão da crise energética reforçou o debate sobre o assunto, levando inclusive à realização do “Seminário de Arquitetura Bioclimática”, ocorrido em 1983, no Rio de Janeiro, onde tópicos sobre a produção e conservação de energia foram incorporados à questão (TOLEDO, 1999 apud NEVES, 2006).

Os avanços tecnológicos na construção civil também são observados nos materiais de revestimento, onde é comum o uso de pastilhas ou pedras naturais. Além de aprimorar a estética das edificações, esses materiais contribuem para a eficiência energética ao oferecer melhor isolamento térmico e proteção contra intempéries. A presença desses revestimentos também é indicativa de um cuidado maior com a manutenção das fachadas e a proteção da edificação, especialmente ao considerar os condicionantes climáticos locais. Isso é particularmente relevante em regiões onde as condições climáticas podem acelerar o desgaste dos materiais de construção (TALAMINI, 2021).

Para Talamini (2021), a arquitetura bioclimática é um assunto intensamente debatido pelos estudiosos da área e valorizado na arquitetura que se propõe a aplicar suas estratégias, já que na maior parte do Brasil existem elementos climáticos favoráveis a

serem aproveitados na construção, como a abundância de luz solar e ventos predominantes, que podem ser utilizados para iluminação natural e ventilação cruzada, respectivamente. O condicionamento térmico por vias predominantemente passivas é algo possível e fortemente incentivado, tendo em vista os benefícios resultantes, como a redução do consumo energético e o aumento do conforto para os ocupantes.

1.1.2. Eficiência Energética em Habitações no Brasil

No Brasil, diversas iniciativas têm sido desenvolvidas para promover a eficiência energética em edificações, refletindo a preocupação crescente com a preservação ambiental e a redução do consumo de recursos naturais. Neste contexto, destacam-se exemplos de habitações energeticamente eficientes que servem como referência para o desenvolvimento de práticas construtivas mais conscientes.

1.1.2.1. Projeto CasaE

O projeto CasaE, desenvolvido pela BASF em São Paulo, exemplifica um modelo avançado de habitação energeticamente eficiente. Inaugurada em 2013, a CasaE, ilustrada na Figura 1, utiliza tecnologias inovadoras para reduzir significativamente o consumo de energia. Entre as principais estratégias adotadas estão o uso de materiais de isolamento térmico Neopor® e Elastopor®, que ajudam a manter a temperatura interna estável sem a necessidade de sistemas de climatização convencionais. Além disso, a casa incorpora painéis solares fotovoltaicos para geração de energia elétrica e sistemas de aquecimento solar para água, contribuindo para a sustentabilidade energética do projeto (BASF, 2023).

Figura 1 - Fotografia da CasaE



Nota. Copyright (BASF, 2023)

A modelagem energética da edificação (BEM) aplicada na CasaE demonstrou a eficácia dessas tecnologias na prática, resultando em uma redução significativa no consumo de

energia. Estudos mostram que a integração de soluções como iluminação e ventilação natural também desempenha um papel crucial na eficiência energética da casa, proporcionando não apenas economia de recursos, mas também um ambiente interno confortável e saudável para seus ocupantes (BASF, 2023).

1.1.2.2. Casa Eficiente

O projeto Casa Eficiente, apresentado na Figura 2, implementa estratégias bioclimáticas para melhorar o desempenho térmico da edificação, destacando a ventilação mecânica noturna e o uso de telhado verde. A ventilação mecânica noturna tem como objetivo reduzir a carga térmica acumulada durante o dia, aproveitando as temperaturas mais baixas da noite para resfriar o ambiente, o que diminui a necessidade de climatização artificial (LAMBERTS et al., 2010). O telhado verde, por sua vez, contribui para a redução da absorção de calor solar e melhora o isolamento térmico, ajudando a manter a temperatura interna estável e confortável.

Figura 2 - Fotografia da Casa Eficiente



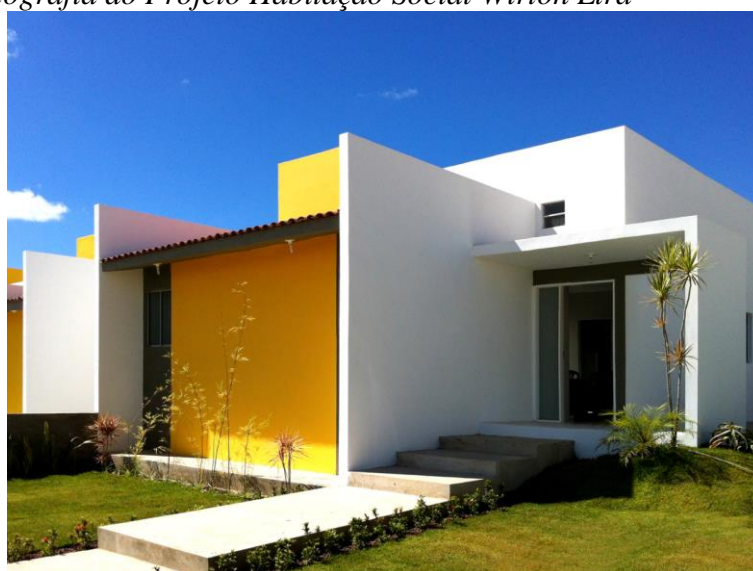
Nota. Tipos de cobertura empregadas: (1) metálica, (2) cerâmica e (3) telhado verde. Copyright (LAMBERTS et al., 2010)

O monitoramento da Casa Eficiente envolveu a instalação de sensores para medir temperatura, umidade e fluxos de calor, tanto em ambientes internos quanto externos. Os dados coletados indicaram que a combinação de inércia térmica, ventilação adequada e sombreamento resultou em condições internas confortáveis durante o verão e o inverno. No entanto, os autores identificaram a necessidade de algumas adaptações no projeto, relacionadas às posições das esquadrias, visando melhorar o desempenho da ventilação cruzada (LAMBERTS et al., 2010).

1.1.2.3. Projeto Wirton Lira

O Projeto Wirton Lira, situado em Caruaru, Pernambuco, é uma iniciativa significativa na área de habitação social, com foco na eficiência energética e no conforto dos moradores. Desenvolvido para oferecer moradias de qualidade para comunidades de baixa renda, o projeto de Wirton Lira, conforme Figura 3, adota estratégias para otimizar o consumo de energia e assegurar o conforto térmico. Entre as soluções implementadas estão a ventilação natural e a iluminação solar, que contribuem para a redução do consumo energético (JIRAU ARQUITETURA, 2019a).

Figura 3 - Fotografia do Projeto Habitação Social Wirton Lira



Nota. Copyright (JIRAU ARQUITETURA, 2019a)

A modelagem energética das edificações sugeriu diversas intervenções, como o ajuste das aberturas e o uso de elementos de sombreamento para minimizar o ganho de calor solar direto e melhorar a ventilação cruzada. Essas medidas resultaram em uma melhoria significativa no desempenho térmico das unidades habitacionais, proporcionando um ambiente interno mais confortável e reduzindo a dependência de sistemas de climatização artificial (Jirau Arquitetura, 2019a).

1.1.2.4. Projeto Sobrados Novo Jardim

Outro projeto de destaque é o Sobrados Novo Jardim, ilustrado na Figura 4, também localizado em Caruaru e desenvolvido pelo mesmo escritório. Este conjunto de habitações foi projetado com foco na sustentabilidade e na eficiência energética, incorporando diversas soluções arquitetônicas para otimizar o uso de recursos naturais. O projeto inclui

a orientação das edificações para aproveitamento máximo da ventilação e da iluminação natural. Essas estratégias resultaram em um ambiente interno mais confortável e em uma redução da necessidade de climatização artificial, comprovando a viabilidade de práticas construtivas sustentáveis em habitações populares (JIRAU ARQUITETURA, 2019b).

Figura 4 - Fotografia do Projeto Sobrados Novo Jardim

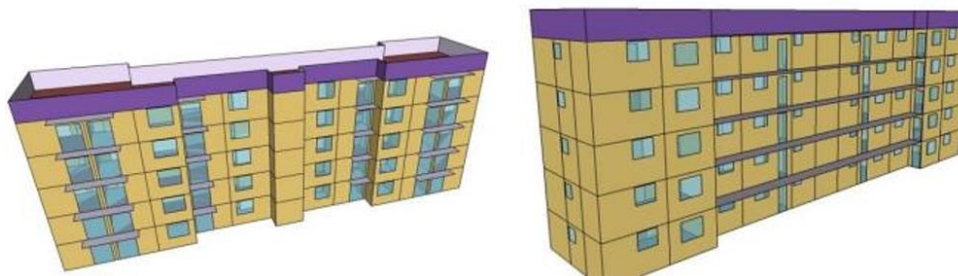


Nota. Copyright (JIRAU ARQUITETURA, 2019b)

1.1.2.5. Minha Casa Mais Sustentável

O projeto "Minha Casa Mais Sustentável" foi uma iniciativa direcionada ao desenvolvimento de habitações mais eficientes energeticamente dentro do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Localizado no bairro Catumbi, no Rio de Janeiro, este projeto, conforme Figura 5, envolveu a orientação otimizada dos blocos habitacionais para maximizar a ventilação natural e o aproveitamento da iluminação natural.

Figura 5 - Modelo Geométrico do Projeto Minha Casa Mais Sustentável



Nota. Copyright (SILVA et al., 2022)

De acordo com o estudo, a modelagem energética da edificação (BEM) sugeriu diversas soluções para melhorar a eficiência energética, como a orientação das fachadas para os ventos predominantes e a inclusão de varandas para sombreamento. Além disso, foram implementadas esquadrias maiores para melhorar a iluminação natural e um sistema de aquecimento solar para água (SILVA et al., 2022). Este projeto exemplifica como

soluções simples e eficazes podem ser aplicadas em habitações de interesse social para alcançar eficiência energética e conforto térmico.

1.1.3. Certificação Brasileira de Eficiência Energética

A ELETROSUL e a ELETROBRÁS, através do PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, em busca de soluções inovadoras e eficientes no âmbito da construção civil, visando o uso racional de energia, criaram em parceria com a UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina / LabEEE Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, um projeto de uma residência unifamiliar eficiente. (PROCEL, 2023).

A Casa Eficiente é sede do LMBEE (Laboratório de Monitoramento Bioclimático e Eficiência Energética), em Florianópolis – SC, responsável pelo desenvolvimento de pesquisas científicas destinadas a avaliar desempenho termo energético.

Conforme a Eletrosul (PROCEL, 2023), o projeto contempla:

- Melhor aproveitamento das condições climáticas locais; Sistemas e soluções integradas para eficiência energética e conforto térmico;
- Geração de energia fotovoltaica interligada a rede;
- Estratégias passivas de condicionamento de ar e aquecimento solar de água;
- Aproveitamento da água da chuva;
- Reuso de águas;
- Utilização de equipamentos que proporcionam baixo consumo de água;
- Prioridade no uso de materiais locais (renováveis ou de menor impacto ambiental);
- Projeto paisagístico privilegiando o uso de espécies nativas da Mata Atlântica em vias de extinção e o uso de espécies frutíferas;
- Aproveitamento da vegetação para criação de um microclima local agradável.

A Casa Eficiente foi projetada para se tornar uma vitrine de tecnologias de ponta de eficiência energética e conforto ambiental para edificações residenciais. E tornar-se uma referência nacional para a disseminação dos conceitos de eficiência energética, adequação climática e uso racional da água (PROCEL, 2023).

A Fundação Vanzolini lançou a Certificação ACQUA / HQE em 2008, um sistema de certificação ambiental de edifícios. Chamado de AQUA (Alta Qualidade Ambiental), o sistema é uma adaptação do sistema francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*) à

realidade brasileira. Inicialmente foi lançado no mercado o referencial para edifícios comerciais e escolas.

Conforme Cardoso e Araújo (2007), o Projeto Tecnologias para Construção Habitacional Mais Sustentável está em estudo e tem o objetivo de desenvolver soluções adequadas à realidade brasileira, para tornar a sua construção habitacional mais sustentável. O foco da pesquisa está nos conjuntos habitacionais unifamiliares de interesse social e na construção autogerida.

Este projeto foi desenvolvido a partir do convênio entre a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e a FUSP (Fundação da Universidade de São Paulo envolvendo pesquisadores de cinco universidades: POLI/USP, UNICAMP, UFG, UFSC e UFU; e três organizações: CEDIPLAC, Construtora Y. Takaoka e SINDUSCON (Sindicato da Indústria da Construção Civil) Florianópolis (ROMÉRO & REIS, 2012).

Um outro projeto de certificação nacional de eficiência seria o Projeto Habitação Mais Sustentável (ROMÉRO & REIS, 2012), apresentado à FINEP, no seu todo, possui as seguintes metas físicas:

1. Levantamento do Estado da arte (água, energia, energia solar, seleção de materiais, consumo de materiais e canteiro de obras);
2. Identificação de inovações tecnológicas necessárias;
3. Identificação de alternativas de políticas públicas;
4. Desenvolvimento de metodologia de avaliação da sustentabilidade de habitações;
5. Manuais de projeto, execução, uso e manutenção de habitações mais sustentáveis;
6. Manual simplificado para habitação mais sustentável autogerida.

O Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica – PROCEL - foi criado em dezembro de 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, e gerido por uma Secretaria Executiva subordinada à Eletrobrás. Em julho de 1991, o PROCEL foi transformado em Programa de Governo, tendo sua abrangência e responsabilidades ampliadas (PROCEL, 2023).

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi instituído em 2003 pela ELETROBRÁS/PROCEL e atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento (PROCEL, 2023).

O PROCEL promove o uso racional da energia elétrica em edificações desde o seu surgimento, sendo que, com a criação do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas

e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente (PROCEL, 2023).

Perrone et. al. (2015), explica o Plano de Ação do PROCEL EDIFICA, considerando 6 (seis) vertentes principais:

1. Capacitação - Capacitação de estudantes, professores, profissionais e laboratórios;
- Criação de disciplinas e cursos;
2. Tecnologia - Ampliar as possibilidades do mercado de materiais, técnicas, sistemas construtivos e equipamentos em projetos de Eficiência Energética em Edificações (EEE);
3. Disseminação - Divulgar os conceitos de Conforto Ambiental e EEE para arquitetos, projetistas e escritórios, por meio de entidades representativas do setor;
- Orientação técnica a Planos Diretores e Códigos de Obras;
4. Subsídio à Regulamentação - Regulamentação da Lei de Eficiência Energética, no que tange as edificações;
5. Habitações de interesse social - Pesquisa e projeto de unidades de demonstração, em especial para habitações de cunho social; - Parceria com a Caixa Econômica Federal;
6. Marketing e Suporte.

Desenvolvida em parceria pela Eletrobrás e pelo Inmetro, a etiqueta do Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) avalia o desempenho em consumo de energia de edificações em três níveis de eficiência: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar (PROCEL, 2023). Para receber a etiqueta, os edifícios são rigorosamente avaliados nesses aspectos.

Edifícios comerciais, de serviços e públicos são classificados como tais independentemente de serem públicos ou privados, desde que não tenham finalidade residencial ou industrial. Exemplos incluem escolas, instituições esportivas, hospitais, clínicas, lojas, bancos, escritórios e edifícios empresariais, bem como hotéis, motéis, resorts e pousadas (ROMÉRO & REIS, 2012).

Nesta vertente desenvolveu-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQC) e seus documentos complementares, como o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RACC), ambos publicados pelo Inmetro, e o Manual para aplicação do RTQ-C.

Além destas certificações e regulamentos, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C foi lançado no ano de 2009, ele especifica requisitos técnicos, bem como métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Por enquanto é de caráter voluntário para edificações novas e existentes e passará a ter caráter obrigatório para edificações novas em data ainda não definida. (ROMÉRO & REIS, 2012).

O RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas), instituído pela Portaria Inmetro n.º 372 de 2010, é um instrumento crucial na promoção da eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas no Brasil. Este regulamento aplica-se a edificações com área total útil mínima de 500 m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV (CARLO & LAMBERTS, 2010).

A avaliação da eficiência energética pode ser realizada por meio de dois métodos: o prescritivo e o de simulação. O método prescritivo é baseado na análise de simulações de casos limitados utilizando regressão, sendo adequado para edificações sem características complexas de envoltória. Já o método de simulação é recomendado para edificações com alta complexidade de envoltória, como vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento diferenciados por orientação (CARLO & LAMBERTS, 2010).

Os sistemas avaliados para determinar a eficiência energética incluem a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. "Os sistemas avaliados para determinar a eficiência energética de um edifício incluem a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar" (CARLO & LAMBERTS, 2010, p. 14). Cada um desses sistemas é classificado de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), baseado em critérios específicos que consideram a capacidade de isolamento térmico da envoltória, a eficiência das luminárias e a performance dos sistemas de condicionamento de ar (CARLO & LAMBERTS, 2010).

Para obter a classificação geral do edifício, as classificações individuais de cada sistema são ponderadas e combinadas: a envoltória contribui com 30%, o sistema de iluminação com 30% e o sistema de condicionamento de ar com 40% da classificação final. As pontuações atribuídas a cada sistema são então combinadas para formar a classificação final, que é apresentada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), exemplificado na Figura 6. Este procedimento assegura uma avaliação abrangente da

eficiência energética, refletindo a performance real dos diferentes componentes do edifício (CARLO & LAMBERTS, 2010).

Figura 6 - Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edificações



Nota. Copyright (LAMBERTS, R. et al., 2014)

Ainda conforme Carlo e Lamberts (2010), a classificação final, representada pela ENCE, pode ser obtida utilizando tanto o método prescritivo quanto o método de simulação, ou uma combinação de ambos. Edifícios que atendem aos critérios de desempenho mínimo especificados para cada sistema avaliado podem receber a ENCE Geral, demonstrando assim seu compromisso com a eficiência energética e a sustentabilidade.

Além disso, o RTQ-C utiliza equivalentes numéricos para avaliar cada sistema individual, atribuindo pontos de acordo com a eficiência. Para edifícios com áreas não condicionadas, é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas. Edifícios ventilados naturalmente podem receber a ENCE Geral se atenderem aos requisitos de conforto térmico (CARLO & LAMBERTS, 2010).

Um outro regulamento é o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RAC-C, que apresenta os métodos de avaliação, os procedimentos para submissão para avaliação, direito e deveres dos envolvidos, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento etc. (FILHO et al, 2018).

O objetivo é estabelecer critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos com foco na eficiência energética, para concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), atendendo ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). (FILHO et al, 2018).

Primeira etapa – Avaliação do Projeto – Etiquetagem: objetiva avaliar o nível de eficiência energética do edifício na fase de projeto, segundo os seguintes passos:

- 1º. O proprietário solicita a avaliação de projeto para concessão da ENCE de projeto com a entrega dos documentos necessários, ao laboratório de inspeção. Nesta etapa, o proprietário deve informar também qual o método a ser aplicado à edificação em questão;
- 2º. De posse da documentação, o laboratório de inspeção realiza uma avaliação da conformidade da documentação e/ou projetos arquitetônicos, elétrico, de condicionamento de ar e demais itens, pelo método prescritivo ou pela simulação;
- 3º. O proprietário assina o Termo de Ciência sobre o Entorno (Representa o interesse do proprietário em utilizar o sombreamento de edifícios vizinhos para obter nível de eficiência energética mais elevado em conformidade com as regras e procedimentos definidos no RAC-C), quando aplicável;
- 4º. O laboratório de inspeção informa ao proprietário a classificação do nível de eficiência alcançado, e é expedida uma ENCE de projeto;
- 5º. O laboratório de inspeção deve expedir a ENCE sob autorização do Inmetro, identificando a classificação do nível de eficiência energética.

Segunda etapa – Avaliação do Edifício – Inspeção: finalizada a obra e expedido o Alvará de Conclusão, o proprietário deve solicitar a confirmação da ENCE de projeto. Nesta etapa é verificado pelo laboratório de inspeção se os itens previstos no projeto, que levaram a classificar a edificação em determinado nível de eficiência energética, conforme o RTQ, estão em conformidade no edifício construído:

- 1º. O proprietário solicita a inspeção para expedição da ENCE, com a entrega dos documentos ao laboratório de inspeção;
- 2º. O laboratório de inspeção executa a inspeção do edifício visando o atendimento ao proposto em projeto na primeira etapa;
- 3º. Caso se confirme o nível de eficiência estabelecido em projeto, o proprietário deve assinar o Termo de Compromisso (Termo feito entre Inmetro e proprietário);
- 4º. O laboratório de inspeção deve expedir a ENCE sob autorização do Inmetro, com a classificação.

O processo de etiquetagem de edifícios construídos antes da publicação do RTQ deve também atender aos requisitos da primeira e segunda etapa, visando à obtenção da ENCE.

1.1.4. Exigências Humanas Para Conforto Térmico e sua Saúde

Os seres humanos vivem grande parte do tempo em ambientes fechados. Em vista disso, a qualidade de conforto térmico desses espaços tem grande influência na saúde e qualidade de vida das pessoas que os habitam. Conforto térmico é uma relação entre indivíduo e ambiente. (ASBEA, 2007).

O homem precisa liberar calor em quantidade suficiente para que sua temperatura interna se mantenha da ordem de 37°C - homeotérmica. Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico. Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais ou menos calor que o necessário para a manutenção homeoterma. (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Ainda segundo os autores, a pele é o principal órgão termorregulador do organismo humano e é através dela que se realizam as trocas de calor. Ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a camada subcutânea. Outro mecanismo de termorregulação é a transpiração ativa, que se faz por meio das glândulas sudoríparas. Os autores relatam que a vestimenta representa uma barreira para as trocas de calor e funcionam como isolante térmico. Também reduz a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo.

Pela norma ASHRAE 5558 como “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Uma pessoa está termicamente confortável, quando não sente calor nem frio. O conforto térmico está relacionado com as trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente, tais como:

- Convecção: troca de calor sensível entre a superfície do corpo (pele e roupa) e o ar ambiente;
- Radiação: troca de calor sensível entre a superfície do corpo (pele e roupa) e as superfícies envolventes (paredes, envidraçados, aquecedores etc.);
- Condução: troca de calor sensível entre a superfície do corpo e as superfícies em contato (INOCÊNCIO, 2012).

O conforto térmico depende de temperatura, pressão, vento, atividade vestuário individuais (atividade metabólica avaliada pelo valor médio das diferentes atividades exercidas durante um determinado intervalo de tempo), vestuário ambientais de temperatura (perdas menores quando a temperatura do ar é alta e vice-versa), umidade relativa do ar (quanto maior, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor), temperatura média da radiação e velocidade do ar.

Segundo Bogo et al, (1994), as recomendações para condições de conforto térmico são:

- Atividades leves (inverno): temperatura operativa entre 20°C e 24°C; umidade relativa do ar entre 30% e 70%.
- Atividades leves (verão): temperatura operativa entre 23°C e 26°C; umidade relativa entre 30% e 70%.

As condições de conforto térmico também devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biótipo, hábitos alimentares etc. (FROTA & SCHIFFER, 2001)

1.1.5. A Arquitetura, a Engenharia e Energias Renováveis

Cada clima exige conceitos diferentes quanto a isolamento, vegetação, iluminação e ventilação naturais, com o propósito de proporcionar bem-estar e saúde aos seus ocupantes. A vegetação, em particular, desempenha um papel crucial em várias funções, como fornecer sombra, influenciar o microclima local, atuar como barreira contra ventos e melhorar o isolamento acústico, reduzindo a propagação de ruídos externos para o interior da edificação. Devemos sempre ter em mente, no momento de iniciar um projeto, que os ocupantes passam horas em seus interiores, e esta fase é o embrião de um trabalho que deve ser muito bem elaborado, para que este objetivo seja alcançado. (QUEIROZ, 2016).

Quando o tema é eficiência energética, que tem como objetivo o uso racional de energia, por meio de estratégias de aquecimento e resfriamento passivos, não se pode deixar de mencionar, também, a importância do uso das energias renováveis nos sistemas de geração de energia limpa nas construções, como forma de mitigar os efeitos nocivos causados ao meio ambiente pela adoção de combustíveis fósseis para geração de energia. As energias renováveis, como o próprio nome diz, são sustentáveis e infinitas. Além disso, são limpas durante sua operação, ou seja, não causam danos significativos ao meio ambiente em termos de emissão de gases de efeito estufa. No entanto, é importante notar que a produção de componentes para energias renováveis, como painéis solares e turbinas

eólicas, pode gerar emissões e outros impactos ambientais. As energias renováveis são consideradas alternativas ao modelo energético tradicional tanto pela sua disponibilidade (presente e futura) garantida – diferentemente dos combustíveis fósseis que precisam de milhares de anos para se formar – quanto pelo seu menor impacto ambiental durante a operação. (QUEIROZ, 2016).

As edificações com consumo de energia zero estão ganhando cada vez mais espaço. Na Europa e nos EUA, a construção de Edifícios de Energia Quase Zero (NZEB), que são altamente eficientes em termos energéticos e utilizam energia proveniente de fontes renováveis, tem se tornado cada vez mais comum. Esses edifícios podem comprar energia da rede pública quando necessário e vender o excedente gerado. Para ser considerado um Edifício de Energia Zero (ZEB), é necessário que o edifício produza pelo menos a mesma quantidade de energia que consome ao longo de um ano, utilizando 100% de energia proveniente de fontes renováveis (INOCÊNCIO, 2012).

O conceito de Residência Zero de Energia, de acordo com o FSEC – Florida Solar Energy Center, é unir a melhor eficiência energética possível com os melhores recursos energéticos renováveis disponíveis, como forma de alcançar o Zero de Energia. No futuro, toda a energia consumida por uma família em atividades cotidianas como aquecer a água, usar eletrodomésticos e até mesmo recarregar um veículo elétrico, será fornecida pelo próprio edifício através de fontes renováveis. (INOCÊNCIO, 2012).

O tema da sustentabilidade adquiriu importância a partir da realização de importantes conferências mundiais como o Relatório Brundtland (1987), Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, durante a ECO-92 (1992), Agenda 21 (1992) e Rio +20 (2012), voltadas para a discussão da questão ambiental e visando beneficiar as pessoas e o ambiente, suprimindo tanto as necessidades das presentes gerações, como das futuras. Ainda nesse sentido, segundo a Lei 10.257 de 2001:

“Art. 2º – A política urbana tem por objeto ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais: I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações.” (BRASIL, 2001).

Criado pela Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, o IBAMA vinculado ao MMA, é o órgão responsável pela formulação, coordenação e execução da Política Nacional do

Meio Ambiente instituída pela Lei nº 6.938/1981, desenvolvendo diversas atividades para a preservação e conservação do patrimônio natural, exercendo o controle e a fiscalização sobre o uso dos recursos naturais.

A partir da Lei nº 6.938, criou-se SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental para dar maior suporte à gestão ambiental no país.

A questão ambiental discutida hoje é consequência dos problemas do impacto ambiental que temos sofrido, da crise energética e do uso indiscriminado dos recursos naturais. A preocupação com o conforto ambiental e consumo de energia têm incentivado a busca por ações estratégicas que diminuam a degradação e os desequilíbrios causados no meio ambiente. Entre os países pioneiros na implementação desse tema estão a Inglaterra, Alemanha e Holanda que, além de aplicarem programas governamentais incentivando práticas sustentáveis, países, na execução dessas medidas (AGOPYAN & JOHN, 2011). A difusão de uma nova forma de desenvolvimento econômico baseado no equilíbrio entre sustentabilidade econômica, social e ambiental tem como objetivo a adoção de práticas e processos produtivos que integrem o meio ambiente, adaptando-o para as necessidades de uso, produção e consumo humano (LENGEN, 2004).

Sobre a implementação de políticas em âmbito municipal, destaca-se o Plano Diretor como um instrumento de preservação dos bens ou áreas de referência urbana, previsto constitucionalmente e através do Estatuto da Cidade. É uma lei municipal que estabelece diretrizes para a adequada ocupação do município, determinando o que pode e o que não pode ser feito em cada parte dele, visando assegurar melhores condições de vida para a população.

Uma edificação sustentável busca integrar aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana com a preocupação principal de preservá-los para que os limites do planeta e a habitabilidade e a capacidade das gerações futuras não seja comprometida (ROAF et. al, 2009). Pretende-se, com isso, a introdução progressiva da sustentabilidade através da incorporação de conceitos e práticas que visem à harmonia entre ambiente natural e construído.

Edwards (2008) comenta que a construção sustentável emprega materiais e medidas tecnológicas que visam melhorar o uso dos recursos naturais e minimizar a poluição, proporcionando um melhor bem-estar para seus usuários. Além disso, busca integrar aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais, com a preocupação de preservá-los para não comprometer as gerações futuras (EDWARDS, 2008).

Durante décadas, engenheiros e construtoras privilegiaram a aplicação de sistemas em concreto e alvenaria, investindo pouco em novos métodos construtivos. A indústria da construção, da forma como é praticada no Brasil e em muitos países, provoca muitos impactos ambientais em todas as suas etapas, desde a extração das matérias-primas – que envolve técnicas como o uso de explosivos e a dragagem de rios para retirada de areia – até o transporte, que percorre distâncias cada vez maiores devido à escassez de alguns produtos (EDWARDS, 2008).

Além disso, as técnicas construtivas e a mão-de-obra pouco qualificada resultam em desperdício de material, tanto aquele que fica retido na obra quanto aquele que se transforma em entulho, entre outros problemas. A construção vem se constituindo, há muitos anos, como uma prática de projetos que raramente levam em consideração as características do local onde serão implantados, tais como: posição e implantação no terreno, iluminação natural, ventilação, vegetação natural local e características culturais locais (FROTA & SCHIFFER, 2003).

A atual preocupação ambiental tem obrigado os profissionais a rever os processos de produção de moradias, favorecendo o uso de fontes de energia renováveis menos agressivas ao meio ambiente. É necessário revisar o modelo atual para que a edificação deixe de ser uma atividade causadora de tanta degradação ambiental, adotando práticas sustentáveis. Além disso, o futuro praticamente nos obriga a mudar o jeito, o tipo e a maneira de construir; precisamos nos adaptar a novas ideias (FROTA & SCHIFFER, 2003).

A sustentabilidade na construção é um sistema que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras (ARAÚJO, 2008).

Construir uma casa com o menor impacto possível ao ambiente é o objetivo maior a ser alcançado e, para isso, é necessário seguir os princípios da edificação sustentável. Isso inclui a escolha de materiais de baixo impacto ambiental e a utilização de tecnologias que permitam à casa operar de forma a não prejudicar os recursos naturais, como água e energia (EDWARDS, 2008).

Para Ferreira e Amado (2009), a construção sustentável oferece a oportunidade de desenvolver processos construtivos que minimizem os impactos sobre o meio ambiente e seus recursos naturais, reduzam o consumo energético, e promovam a qualidade do conforto interior dos edifícios.

O autor também destaca que a qualidade dos materiais e serviços é fundamental para alcançar, manter e disseminar padrões de excelência nos processos das empresas. Também, a gestão de qualidade e a busca por melhoria contínua são pré-requisitos para sustentabilidade, pois estimulam a melhoria constante dos processos empresariais que estão ligados ao consumo de recursos naturais, produtividade, desperdício, durabilidade, entre outros.

Para Martins (2012), o projeto deve levar em consideração diversas variáveis para sua proposição, devendo levar em consideração as condições climáticas e topográficas do local, buscando o aproveitamento dos condicionantes naturais e assim, melhor eficiência energética, além de materiais e mão-de-obra locais, e o conhecimento ambiental do lote e seu entorno.

Segundo Martins (2012) a partir do estabelecimento das diretrizes do projeto, deve-se elaborar um programa que permita o desenvolvimento das atividades previstas e a composição arquitetônica com o máximo de flexibilidade, integrando os ambientes funcionais do sistema básico adotado, viabilizando seu potencial estético.

De acordo com Edwards (2008), a escolha de materiais ambientalmente corretos, de origem certificada, busca:

- Baixas emissões de CO₂;
- Materiais que propiciem menor geração de resíduos durante a fase de obra;
- Supressão de menores áreas de vegetação;
- O aproveitamento da água.

Destacamos também o cumprimento de normas de desempenho e segurança. O ciclo de vida de uma edificação divide-se em: Concepção; Planejamento e Projeto; Construção e Implantação; Uso e Ocupação; Requalificação, Desconstrução e Demolição.

As fases de concepção e planejamento têm menores custos e as maiores possibilidades de intervenção com foco na sustentabilidade. Durante a elaboração do projeto, buscam-se eliminar possíveis impactos negativos sociais e ambientais, que podem ser gerados pelo empreendimento. (LENGEN, 2004).

De acordo com Edwards (2008), o objetivo da busca da eficiência energética é reduzir o desperdício de energia nos edifícios. Um melhor aproveitamento das condições do local, como temperatura, ventilação, iluminação e topografia, pode ser alcançado pelo planejamento apropriado dos detalhes da edificação. Assim, os materiais escolhidos, o paisagismo, a orientação e a escolha da tipologia exercem grande influência sobre as

condições de conforto de um lugar. "A eficiência energética não só economiza energia, mas também reduz as emissões de carbono, o que é fundamental para combater as mudanças climáticas" (EDWARDS, 2008, p. 114). Portanto, a integração de soluções sustentáveis e eficientes no design de edificações é crucial para alcançar um equilíbrio entre conforto e sustentabilidade ambiental.

I.2. ESTRATÉGIAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

I.2.1. *Estratégias Passivas*

As necessidades de refrigeração de um edifício, durante o verão, podem ser reduzidas adotando estratégias "bioclimáticas", as quais podem ser aplicadas na fase de concepção do edifício:

1. Proteções solares nas janelas, paredes e cobertura, utilizando barreiras artificiais ou naturais;
2. Uma forte inércia térmica conjuntamente com uma sobre ventilação noturna;
3. Uma ventilação adequada (GANHÃO, 2011).

É também sempre necessário adotar soluções construtivas de inércia para que possa haver estabilidade da temperatura interior e, portanto, se minimizem situações de sobreaquecimento. A inércia é também essencial para um correto aproveitamento dos ganhos solares no inverno (GONÇALVES & GRAÇA, 2004).

Os autores também mencionam os sistemas destinados ao aquecimento passivo que podem ser caracterizados como aqueles que, fazendo parte integrante da estrutura construtiva, servem de coletores solares e acumuladores da energia solar e ainda de agente de distribuição da energia-calor por processos naturais de transferência. Comentam que existem dois elementos básicos de sistemas solares passivos destinados ao aquecimento a ter em conta:

1. Superfície envidraçada em fachadas voltadas à radiação solar;
2. Massa térmica para absorção, armazenamento e distribuição de calor.

Uma casa passiva combina alto nível de conforto com baixo consumo de energia. Componentes passivos como isolamento, orientação vantajosa, recuperação de calor e um envelope hermético são os elementos-chave que reduzem a necessidade de aquecimento/resfriamento ativo da casa. (OCHS et al., 2011).

Para Papst (1999), em condições quentes e secas, um edifício com inércia térmica será relativamente frio durante o dia e quente durante a noite. Mas em casos em que a mudança

da temperatura do ar é pequena, mas com radiação solar intensa, por exemplo em climas quentes e úmidos, uma edificação com inércia térmica pode ser uma desvantagem. Segundo Straten (1967 apud PAPST, 1999), isso ocorre porque a estrutura não pode resfriar o suficiente durante a noite para proporcionar conforto adequado para dormir ou condições de trabalho. Lembra também que:

“O desempenho térmico de uma edificação não é somente determinado pela massa das paredes, mas também pelo fluxo de calor proveniente da cobertura. Os benefícios derivados de uma parede com massa pesada podem ser desconsiderados pelos ganhos e perdas de uma cobertura não isolada.”
(STRAATEN 1967 apud PAPST, 1999).

A partir de uma análise entre medições de edificações residenciais e sistemas construtivos realizada por Andrade (1996 apud PAPST, 1999), observou-se que na abordagem indicada pela carta bioclimática de Givoni, o uso das estratégias de qualidade para resfriamento também é útil. Como se pode constatar pelos estudos e medições efetuadas, existe alguma controvérsia quanto à utilização de massa térmica para refrigeração em climas quentes e úmidos. Alguns pesquisadores afirmaram por meio de simulações de computador que o uso de massa térmica para esse clima não teve bons resultados, enquanto outros mostraram bons resultados usando o mesmo método.

Szokolay (1996 apud PAPST, 1999) realizou um estudo comparativo sobre o desempenho térmico de construções leves e pesadas em climas quentes e úmidos. Utilizando simulação, foram avaliados diversos parâmetros construtivos, como tipos de pisos, tetos, paredes, aberturas e características de absorção térmica. Os resultados indicaram que edificações pesadas, quando combinadas com isolamento adequado, sombreamento eficiente e ventilação apropriada, apresentaram um melhor desempenho térmico em comparação com construções leves. O estudo destaca a importância da inércia térmica, da orientação correta, do sombreamento e da ventilação para otimizar o conforto térmico em climas quentes e úmidos.

1.2.1.1. Ventilação

A ventilação natural é o deslocamento do ar através do edifício, através de aberturas, umas funcionando como entrada e outras, como saída. Assim, as aberturas para ventilação devem estar dimensionadas e posicionadas de modo a proporcionar um fluxo de ar adequado ao recinto. O fluxo de ar que entra ou sai do edifício depende da diferença de

pressão do ar entre os ambientes internos e externos, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, pelas obstruções internas e de uma série de implicações relativas à incidência do vento e forma do edifício. (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Pereira (2016) cita que a ventilação natural se apresenta como uma das formas de promover o resfriamento do interior dos edifícios, onde a forma mais usual de criar movimento de ar é abrir as janelas do edifício de forma a permitir que o ar puro penetre no interior substituindo o ar viciado. O autor ainda comenta que a circulação de ar no interior pode ser otimizada através da instalação de grelhas de ventilação nas portas para permitir a passagem do ar, com sistemas de regulação de caudal.

Exemplo disso é a escolha adequada da localização das aberturas em uma construção, visando a melhorar a ventilação cruzada, bem como a criação de dispositivos de sombreamento para evitar a penetração de radiação solar durante o verão e explorar sua entrada nos períodos frios, aquecendo passivamente os ambientes. (LENGEN, 2004).

Uma das principais funções de uma construção é a de atenuar as condições negativas e aproveitar os aspectos positivos oferecidos pela localização e pelo clima. Trata-se, portanto, de neutralizar as condições climáticas desfavoráveis e potencializar as favoráveis, tendo em vista o conforto dos usuários. (FRANÇA, 2013).

Para Vettorazzi et al. (2010) há estratégia do sistema de ventilação tanto para resfriamento da edificação, como aquecimento. Para arrefecer a edificação, a ventilação natural pode ser feita por efeito chaminé, massa térmica e por resfriamento evaporativo. Já para aquecimento, a ventilação pode ser realizada através do subsolo, parede trombe e passando por termo acumulador. Esses métodos podem ser utilizados gradualmente com relevância de sua intensidade para melhor agrado dos ocupantes e disponibilidade de cada sistema incorporado.

1.2.1.2. Incidência Solar

O sol providencia calor e luz e aproveitar sua energia ao máximo, contribui para a sustentabilidade. O sol é fonte de energia renovável, natural, limpa, disponível e infinita. Não emite gases de efeito estufa, que contribuem para o aumento da temperatura da terra, não gera resíduos e, em geral, substitui um combustível fóssil - poluente, caro e escasso (BRITO & SILVA, 2019).

Um edifício mal orientado não só é mais frio no inverno como mais quente no verão. Quando orientado de forma correta tem ganhos térmicos favoráveis, no verão com um

sistema de sombreamento eficaz, pode-se diminuir a radiação na fachada. Quando o edifício é orientado a nascente/poente, torna-se mais difícil de controlar os ganhos térmicos devido ao ângulo de incidência solar. (PINTO & DIAS, 2015).

Pinto e Dias (2015) recomendam a organização dos espaços interiores da edificação de acordo com a exposição solar. Eles sugerem que, na fachada contrária à radiação solar, sejam alocados os espaços de menor tempo de permanência, que funcionam como barreiras ou amortecedores de temperatura, como lavanderias, banheiros, garagens, comunicações verticais e corredores. Já os espaços de maior tempo de permanência, como quartos, salas e cozinhas, devem ser posicionados nas fachadas com maior exposição solar para melhor aproveitamento da luz e do calor natural.

É possível orientar as fachadas com maior eficiência utilizando cartas solares, que mostram a incidência solar direta ao longo do dia e do ano, identificando assim a necessidade de proteção solar ou abertura para entrada de calor em cada fachada. Esses gráficos permitem visualizar a distribuição das horas de radiação direta nas diferentes épocas do ano e horários do dia. Existem programas que integram dados de temperatura às cartas solares para algumas cidades brasileiras, facilitando a definição das estratégias necessárias ao projeto de proteções solares. (JOHN & PRADO, 2010).

A determinação gráfica de sombras é importante, principalmente em áreas urbanas, visto que em grande parte do dia os raios solares diretos podem ser barrados pelas construções vizinhas, modificando, portanto, o horário real de insolação. Não menos importante é a orientação das aberturas e dos elementos transparentes e translúcidos da construção, que permitem o contato com o exterior e a iluminação dos recintos. A proteção solar das aberturas por meio de “brise-soleil” ou quebra-sol é também um indispensável recurso para promover os controles térmicos naturais. (FROTA & SCHIFFER, 2001)

1.2.1.3. Áreas Verdes

As principais áreas verdes em moradias são jardins e terraço jardim. Os jardins, especialmente os internos, proporcionam melhoria na qualidade e circulação do ar. A preferência é por espécies locais, já adaptadas ao clima que, desse modo, consomem menos água. Os telhados verdes têm sido cada vez mais difundidos devido aos benefícios que oferecem. Eles possuem diversas denominações como telhado jardim, telhado verde, telhado ajardinado e telhado ecológico. Estes telhados fornecem diversos benefícios, tais como a redução da temperatura ambiente, melhor isolamento acústico e térmico, além de

fornecer um habitat para a fauna local. Além disso, também são uma ótima maneira de adicionar um toque de cor e beleza ao projeto. (FROTA & SCHIFFER, 2001).

As coberturas verdes são utilizadas para captar a água das chuvas, permitindo sua evaporação e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de água que chega às ruas. Isso colabora com o sistema de drenagem urbana e ajuda a mitigar enchentes. Conforme Afonso (2022), a retenção de água da chuva e o atraso dos picos de cheia são alguns dos benefícios dessas coberturas. Carbone et al. (2014) também destacam que as coberturas verdes podem ser usadas para gerir o escoamento das águas pluviais em ambientes urbanos.

Além disso, esses sistemas de cobertura proporcionam um melhor isolamento térmico, mantendo uma temperatura agradável dentro dos edifícios. Afonso (2022) descreve o uso de aglomerado de cortiça expandida em coberturas verdes, que desempenha simultaneamente a função de isolamento térmico e de camada de retenção de água. Este isolamento adicional resulta em uma menor necessidade de aquecimento no inverno e de resfriamento no verão, levando a economias significativas de energia.

Entre as diversas vantagens das coberturas verdes, destaca-se a redução da poluição do ar, uma vez que a vegetação absorve substâncias tóxicas e libera oxigênio. Conforme Afonso (2022), as coberturas verdes criam nichos de biodiversidade, capturam dióxido de carbono e produzem oxigênio, melhorando a qualidade do ar. Além disso, a vegetação pode acumular partículas transportadas pelo ar, eliminando-as da precipitação e atuando como um filtro para poluentes, nutrientes e metais presentes nas águas da chuva (W. Liu et al., 2019, apud Afonso, 2022).

Além dos benefícios mencionados, as coberturas verdes ajudam a mitigar o efeito de ilhas de calor urbanas. Afonso (2022) explica que a evapotranspiração proporciona efeitos de resfriamento, uma vez que este fenômeno de libertação de água ocorre através do solo, raízes, folhas e plantas.

Para reduzir a temperatura exterior, existem estratégias que aplicam áreas verdes no entorno das edificações, como:

1. Aumento da umidade relativa do ar com lagos, fontes e vegetação;
2. Utilização de plantas para sombreamento;
3. Redução do coeficiente de reflexão solar do ambiente, por exemplo, através da criação de espaços verdes;
4. Escolha de cores claras para as paredes exteriores (GANHÃO, 2011).

A colocação estratégica de vegetação pode contribuir significativamente para o sombreamento de vãos envidraçados e fachadas. De acordo com Ganhão (2011), a aplicação correta deste tipo de solução pode reduzir a necessidade de outros tipos de sombreamento, promovendo uma abordagem mais natural e eficiente para o controle térmico dos edifícios. Esta estratégia não apenas melhora o conforto térmico interno, mas também contribui para a eficiência energética ao diminuir a dependência de sistemas artificiais de sombreamento e climatização.

1.2.2. Estratégias Ativas

É possível manter os ambientes aquecidos por meio passivo e ativo. Para aquecer de forma passiva é preciso evitar as perdas de calor e incrementar ganhos térmicos conforme visto anteriormente. Quando não se faz suficiente esse ganho para manter os ambientes aquecidos é necessário atribuir aquecimento artificial, no caso, aquecimento ativo que pode partir desde lareiras até aparelhos de ar-condicionado. A fonte de energia para sistema de aquecimento ativo pode ser através de eletricidade, gás, óleo ou biomassa (carvão, madeira etc.).

O resfriamento dos ambientes também pode ser alcançado de maneira passiva e ativa. Gonçalves e Graça (2011) citam estratégias para refrigeração passiva, como ventilação natural, refrigeração pelo solo, refrigeração evaporativa e radiativa, que ajudam a reduzir a temperatura interna dos edifícios e diminuem a necessidade de climatização convencional. Quando essas técnicas não são suficientes, recorre-se aos sistemas ativos, como ar-condicionado e minicentraís split, cuja eficiência é avaliada por classificações do Inmetro (FRANÇA, 2013). A combinação dessas estratégias melhora o conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios.

Desta forma, deve-se apenas consultar os níveis de eficiência fornecidos nas etiquetas do Inmetro para cada um dos aparelhos instalados na edificação para posteriormente aplicar o resultado na equação geral do edifício (FRANÇA, 2013).

Já a eficiência de sistemas de condicionamento de ar como os centrais, que não são classificados pelo Inmetro, devem seguir prescrições definidas no texto do regulamento. Assim, a classificação do nível de eficiência destes sistemas é mais complexa, pois sua definição depende da verificação de um número de requisitos e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta acidentés (LAMBERTS et al., 2014).

1.2.2.1. Fontes Alternativas de Energia

O uso de fontes alternativas busca diminuir o consumo de energia elétrica por meio de geração e conservação renovável. Existem diversos tipos de sistema de geração e conservação com eficiência comprovada pelo proponente/fabricante, tais como painéis fotovoltaicos e gerador eólico, dentre outros.

Weber (2019) destaca a importância da energia solar fotovoltaica como uma fonte de geração de energia. Ele menciona que os sistemas representam um investimento financeiro significativo e contribuem para o desenvolvimento sustentável do país. A eficiência dessas tecnologias depende da adequação ao local de instalação, considerando a frequência da irradiação solar.

Almeida et al. (2016) reforçam que o sistema fotovoltaico é uma tecnologia em constante avanço, tanto no Brasil quanto no mundo. Eles afirmam que a busca pela diversificação da matriz energética, motivada pela redução das chuvas e pela necessidade de utilização de termelétricas, torna a energia solar fotovoltaica uma solução viável e sustentável. A utilização de células fotovoltaicas para a captação da luz solar e sua transformação em energia elétrica demonstra um potencial significativo para aplicações em diversos contextos, como, por exemplo, a iluminação pública.

A eletricidade proveniente da energia fotovoltaica vem duplicando sua capacidade instalada, desde 2003. A nível mundial, de acordo com o REN 2150 – Renewable Energy 39 Policy Network for the 21st Century, a capacidade de energia renovável instalada foi estimada em 1.230 GW, 7% acima de 2008 e responde por cerca de ¼ da energia produzida no mundo (estimada em 4.800 GW em 2009) e foi responsável pelo fornecimento de aproximadamente 18% da produção de energia global. (QUEIROZ, 2016).

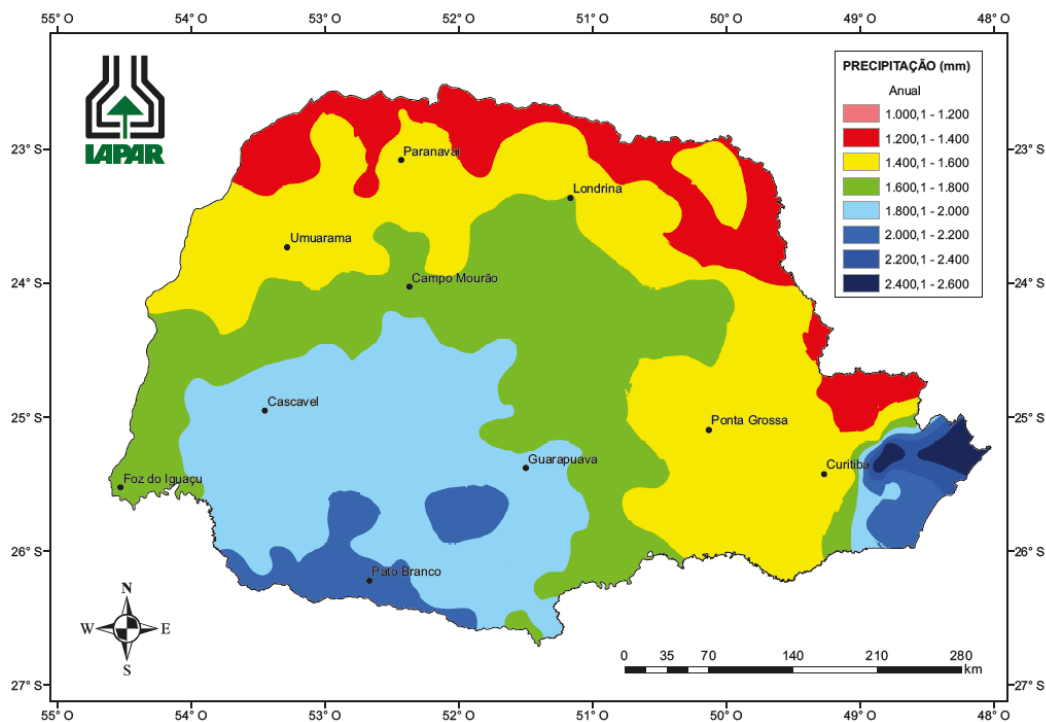
Já a energia eólica é obtida a partir do movimento das massas de ar que se deslocam de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão, com velocidades proporcionais ao gradiente de pressão (SAMPAIO & BATISTA, 2021). Essa energia é convertida em eletricidade por meio de aerogeradores, grandes turbinas instaladas em locais com ventos constantes e fortes, como nas regiões costeiras e áreas elevadas. A energia eólica é uma fonte renovável e limpa, amplamente distribuída globalmente, que não emite poluentes durante sua operação e, portanto, contribui para a redução do efeito estufa ao substituir fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis (SAMPAIO & BATISTA, 2021).

No Brasil, a energia eólica tem mostrado um crescimento significativo nos últimos anos. O país possui um grande potencial eólico, especialmente nas regiões Nordeste e Sul, devido à alta qualidade dos ventos (DA SILVA et al., 2021). Segundo dados da ABEEólica, a capacidade instalada de energia eólica no Brasil tem aumentado substancialmente, com várias usinas em operação e muitas outras em construção. Da Silva (2021) cita que o Plano Decenal de Expansão de Energia continuará crescendo na participação da energia eólica na matriz energética brasileira, ultrapassando as fontes térmicas até 2026, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica em termos de capacidade instalada (DA SILVA et al., 2021).

I.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO PARANÁ

A coleta dos dados climáticos foi realizada por meio de estações meteorológicas e pluviométricas sob a gestão do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2019). Esses dados foram coletados ao longo de um período significativo, permitindo uma compreensão abrangente das variações climáticas sazonais. Fatores climáticos específicos - como precipitação, umidade relativa do ar e temperaturas extremas - foram selecionados para uma análise precisa mostradas nas figuras 7, 8, 9 e 10 a seguir:

Figura 7 - Precipitação anual no Estado do Paraná.

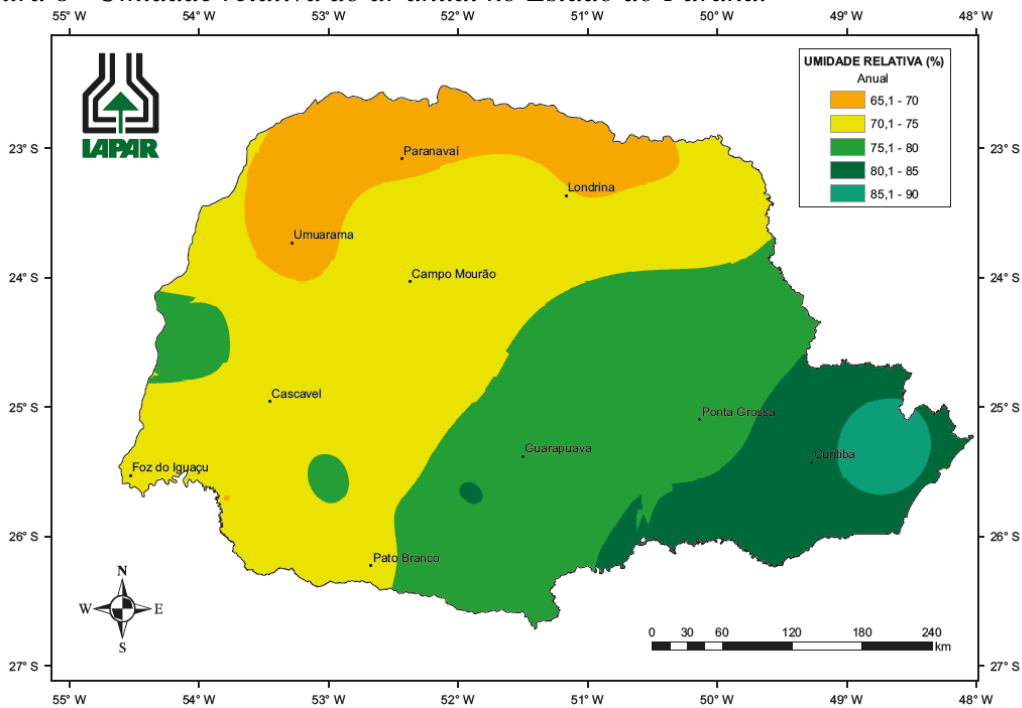


Nota. IAPAR (2019)

Minuzzi e Caramori (2011, p. 596, apud ELY et al., 2023) ressaltam que, desde meados do século XX, o Paraná apresenta uma tendência de aumento na quantidade de chuvas, principalmente, durante o verão e a primavera.

Ely (2019 apud ELY et al., 2023) também observou tendências positivas significativas da precipitação na região metropolitana de Curitiba, no centro, norte e sudeste do Paraná no verão, inverno e primavera, influenciadas pelas tendências positivas apresentadas pelos meses de janeiro, fevereiro, junho, julho e outubro.

Figura 8 - Umidade relativa do ar anual no Estado do Paraná.

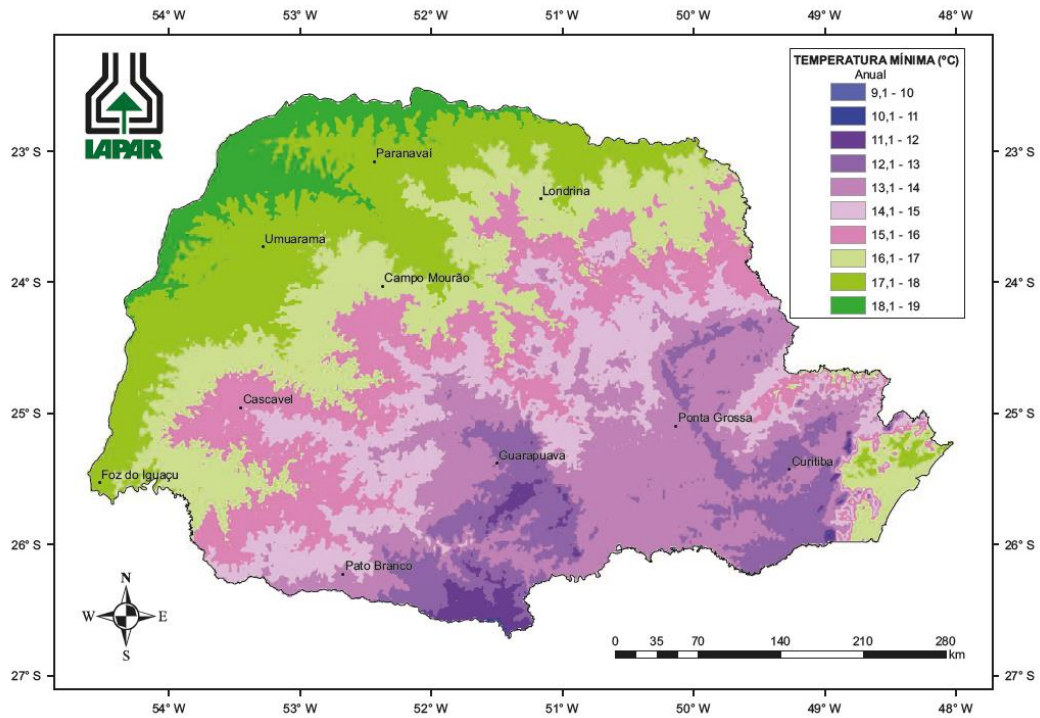


Nota. IAPAR (2019)

No contexto do conforto térmico, a umidade do ar representa uma variável crítica. Ela pode ser avaliada tanto em sua forma absoluta, medida em gramas por metro cúbico (g/m^3), quanto em sua forma relativa, expressa em porcentagem (%).

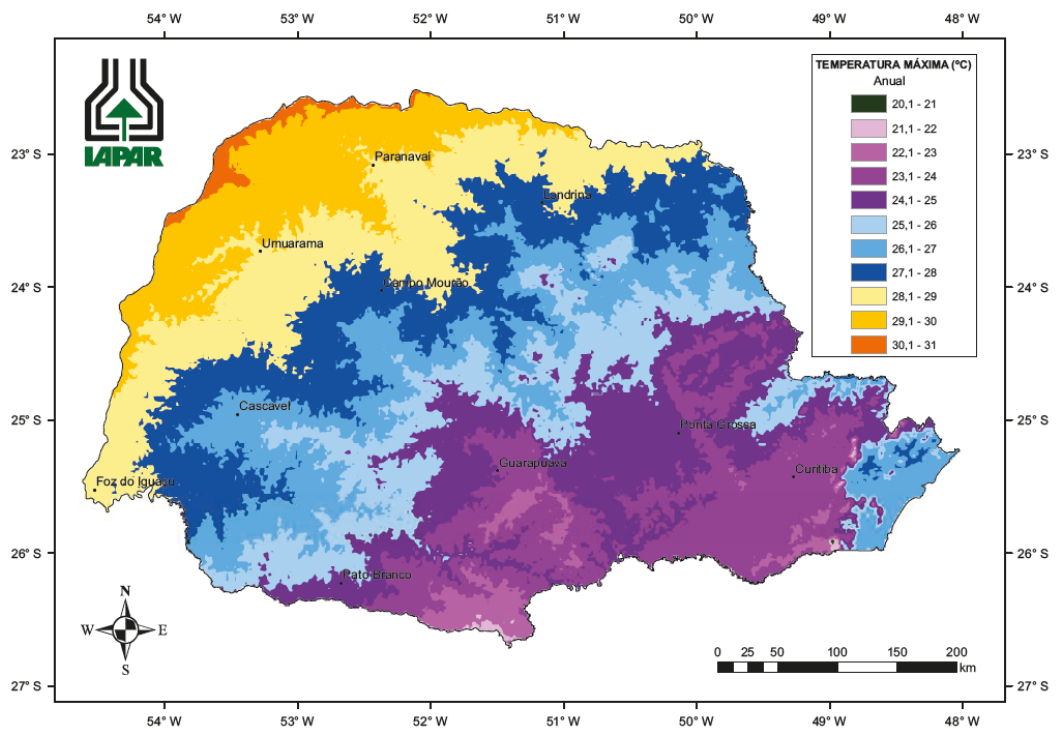
A umidade desempenha um papel fundamental na percepção do conforto térmico, influenciando diretamente a sensação térmica dos indivíduos em um determinado ambiente (FRANÇA, 2018). Flutuações na umidade podem impactar significativamente o bem-estar humano e a eficácia de sistemas de condicionamento de ar.

Figura 9 - Temperatura mínima do ar anual no Estado do Paraná.



Nota. IAPAR (2019)

Figura 10 - Temperatura máxima do ar anual no Estado do Paraná.



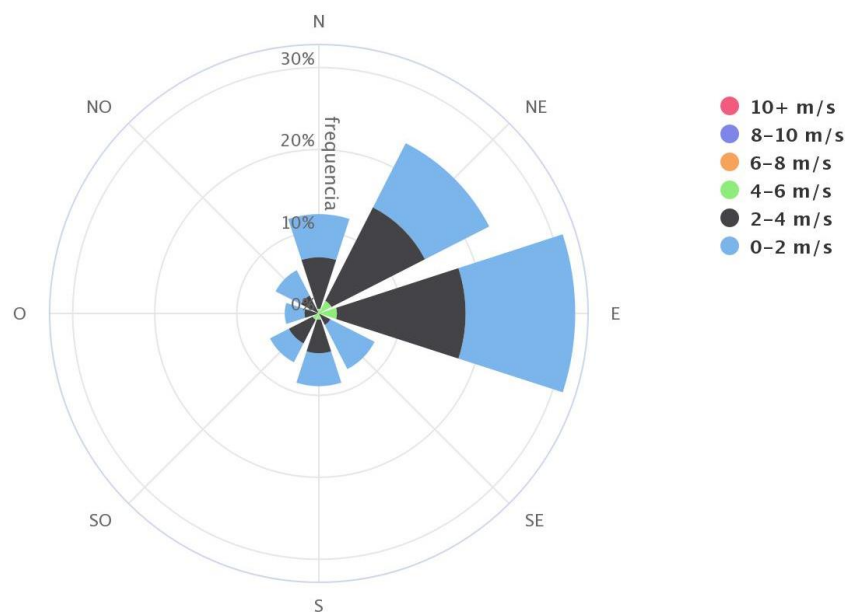
Nota. IAPAR (2019)

A temperatura, tanto do ar quanto das superfícies circundantes, é uma das principais determinantes do conforto térmico. Geralmente medida em graus Celsius (°C), a

temperatura afeta diretamente a sensação de calor ou frio experimentada pelas pessoas em um ambiente.

Mudanças na temperatura podem ser percebidas de forma imediata e podem influenciar o desempenho humano, o humor e a saúde (FRANÇA, 2018). Portanto, o controle adequado da temperatura é essencial para garantir condições ambientais confortáveis e produtivas. A Figura 11 apresenta a Rosa dos Ventos, ferramenta importante para compreender a dinâmica dos ventos e sua influência no conforto térmico, evidenciando a relevância do planejamento bioclimático.

Figura 11 - Rosa dos Ventos.



Nota. PROJETEEEE (2019)

A velocidade do vento é outro fator importante a ser considerado no contexto do conforto térmico. Expressa em metros por segundo (m/s), quilômetros por hora (km/h), nós ou pés, a velocidade do vento desempenha um papel crucial na troca de calor entre o corpo humano e o ambiente circundante. Ventos fortes podem aumentar a perda de calor corporal em condições frias, enquanto ventos suaves podem proporcionar alívio em ambientes quentes (FRANÇA, 2018). Portanto, o controle adequado da velocidade do vento é essencial para otimizar o conforto térmico em diferentes cenários e contextos.

As estratégias de eficiência energética baseadas na rosa dos ventos envolvem a orientação da construção conforme direção dos ventos, posicionamento estratégico de aberturas para ventilação, ventilação cruzada, telhados projetados para extrair ar quente, paisagismo para proteção dos ventos, sombreamento direcionado, criação de espaços externos

confortáveis, uso de energia eólica, isolamento térmico e vidros eficientes, e controle de infiltração de ar.

I.4. NORMAS BRASILEIRAS DE DESEMPENHO TÉRMICO

I.3.1. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho

O conforto térmico é um dos aspectos mais importantes a serem considerados na construção de edificações, pois afeta diretamente a qualidade de vida e o bem-estar dos usuários. A norma NBR 15575 (2013) apresenta critérios para a avaliação do desempenho térmico de edificações habitacionais, visando garantir o conforto térmico dos usuários em diferentes condições climáticas.

A norma estabelece requisitos mínimos para isolamento térmico, vedação de vãos e proteção solar, além de critérios para avaliação da temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do ar, entre outros parâmetros. Também define limites para a transferência de calor entre o ambiente interno e externo, a fim de proporcionar um ambiente agradável e saudável para os usuários (ABNT. NBR 15575, 2013).

Para garantir o cumprimento da norma, é necessário realizar simulações computacionais e ensaios em laboratório para avaliar o desempenho térmico do edifício. É fundamental que os projetos sejam elaborados considerando as condições climáticas locais, de modo a assegurar o conforto térmico em todas as épocas do ano.

Além do conforto térmico, a NBR 15575 (2013) também estabelece critérios para avaliação do desempenho acústico, luminoso, de segurança estrutural, de estanqueidade e de durabilidade das edificações habitacionais. Esses critérios visam garantir a qualidade e o desempenho das edificações, garantindo a segurança e o conforto dos usuários.

A norma é dividida em seis partes, cada uma abordando um aspecto específico do desempenho das edificações habitacionais, sendo elas:

- Parte 1 - Requisitos Gerais;
- Parte 2 - Requisitos para os Sistemas Estruturais;
- Parte 3 - Requisitos para os Sistemas de pisos;
- Parte 4 - Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas;
- Parte 5 - Requisitos para os Sistemas de Coberturas; e
- Parte 6 - Requisitos para os Sistemas Hidrossanitários.

A NBR 15575 (2013) se faz obrigatória para edificações habitacionais no Brasil, sendo exigida pelos órgãos reguladores e fiscalizadores para garantir a qualidade e o desempenho das edificações. Além disso, a norma é uma referência importante para arquitetos, engenheiros e demais profissionais envolvidos na construção de edificações habitacionais, confiantes para o aprimoramento do setor da construção civil no país.

De acordo com a NBR 15575 (2013) - Parte 1: Requisitos Gerais, nos itens 11.3 e 11.4, são estabelecidos requisitos de desempenho tanto para o verão quanto para o inverno. No verão, o objetivo é apresentar condições térmicas internas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, durante o dia típico de projeto. Isso implica que o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. Por sua vez, no inverno, o objetivo é proporcionar condições térmicas internas melhores que as do ambiente externo. Nesse caso, os valores mínimos diários da temperatura do ar interior desses recintos devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C. Esses requisitos são essenciais para garantir o conforto térmico dos ocupantes durante todo o ano, conforme exemplificado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Requisitos de desempenho no verão e inverno.

Nível de Desempenho	Critérios	
Mínimo de Verão	Zonas 1 a 7: $T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	Zonas 8: $T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
Mínimo de Inverno	Zonas 1 a 5: $T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	Zonas 6 a 8: Não pode ser verificada

Nota. NBR 15575-3 (2013) adaptada pelo autor

Na parte 4 da norma NBR 15575 (2013), em sua seção sobre desempenho térmico, é estabelecido requisitos e critérios para a verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico das vedações verticais externas. Segundo a norma, esses sistemas podem ser avaliados inicialmente mediante um procedimento simplificado de análise. Caso não atendam aos critérios estabelecidos nesse procedimento, é necessário aplicar o procedimento de simulação do desempenho térmico, levando em consideração as condições de ventilação e sombreamento, com taxas específicas de renovação de ar por hora no ambiente e a proteção das aberturas contra a radiação solar.

Além disso, são estabelecidos requisitos específicos para adequação das paredes externas, abrangendo a transmitância e capacidade térmica, cujos valores devem proporcionar pelo menos o desempenho térmico mínimo para cada zona bioclimática. A norma define

métodos de avaliação para esses critérios, inclusive considerando materiais isolantes térmicos, e estabelece níveis mínimos de desempenho para aceitação.

Com relação às aberturas para ventilação, a norma determina que ambientes de permanência prolongada, como salas e dormitórios, devem ter aberturas adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes, observando a legislação específica do local da obra ou, na ausência desta, os valores indicados na norma. Métodos de avaliação são definidos para verificar a conformidade com os critérios estabelecidos, e são determinados níveis mínimos de desempenho para aceitação.

Essas diretrizes são fundamentais para assegurar o conforto térmico e a qualidade das habitações, proporcionando ambientes saudáveis e adequados para os usuários.

As simulações computacionais e ensaios fornecem informações específicas sobre as condições térmicas da edificação e auxiliam no projeto e na otimização dos sistemas de aquecimento e resfriamento. Elas permitem prever e avaliar o comportamento térmico em diferentes condições climáticas, considerando variáveis como geometria do edifício, materiais de construção, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação, entre outros. Além disso, permite simular o uso real do edifício e os padrões de ocupação ao longo do tempo.

Existem diversos softwares de simulação computacional disponíveis, como o EnergyPlus, IESVE, DesignBuilder, Revit, Archicad, entre outros. Essas ferramentas permitem a criação de modelos virtuais do edifício, com inserção de dados detalhados, como características construtivas, informações climáticas locais, sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) e uso previsto do edifício. A partir dessas informações, as simulações computacionais podem fornecer resultados como temperaturas internas, consumo de energia, necessidades de aquecimento e resfriamento, conforto térmico dos ocupantes, entre outros parâmetros relevantes.

Além das simulações computacionais, a NBR 15575 (2013) também prevê a obtenção de ensaios para avaliar o desempenho térmico de edifícios. Esses ensaios envolvem a medição de parâmetros como a transmitância térmica (valor U) das paredes, coberturas e janelas, a proteção da inércia térmica dos materiais, a medição do fator solar das esquadrias, entre outros. Esses ensaios são realizados em laboratórios solicitados e seguem normas específicas, como a NBR 15220.

1.3.2. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220-1 (2005) estabelece critérios abrangentes para o isolamento térmico, transmitância térmica, resistência térmica e outros parâmetros, visando reduzir as perdas ou ganhos excessivos de calor na envoltória das edificações.

Esses critérios são fundamentais para garantir a eficiência energética e o conforto térmico dos ocupantes. A norma define valores máximos para a condutividade térmica dos materiais, bem como critérios para aspectos como inércia térmica e capacidade térmica, buscando garantir um ambiente confortável e estável termicamente.

A NBR 15220-3 (2005) estabelece requisitos para a eficiência dos equipamentos de ar-condicionado, como resfriadores de ar e unidades de tratamento de ar, além de sistemas de distribuição de ar, com o objetivo de promover a eficiência energética e o conforto térmico dos ocupantes das edificações.

Os critérios para eficiência energética desses sistemas são baseados em parâmetros como a eficiência do equipamento em diferentes condições de operação e o consumo de energia elétrica. Além disso, a norma define requisitos para a qualidade do ar interior, incluindo critérios para filtragem do ar e manutenção de níveis de temperatura.

Já a NBR 15220-4 (2005) é caracterizada por definir critérios, procedimentos de medição e cálculos relacionados ao desempenho térmico das edificações. Esses incluem determinar a transmitância térmica (valor U) das paredes, coberturas, pisos e janelas, bem como a resistência térmica (valor R) desses elementos. A norma também aborda a avaliação das trocas de calor nas edificações, como perdas de calor através da envoltória, ganhos solares e ventilação, garantindo assim a eficiência energética da edificação e identificando áreas de melhoria. A interpretação dos resultados e a apresentação dos dados obtidos também são tratadas na NBR, garantindo uma comunicação clara e compreensível sobre o desempenho térmico das edificações.

Além dos cálculos para transmitância térmica e resistência térmica, a NBR 15220-4 (2005) também pode fornecer cálculo para determinar outras grandezas relacionadas ao desempenho térmico, como a carga térmica da edificação, levando em consideração as perdas e ganhos de calor, bem como a ventilação.

É importante seguir as fórmulas, métodos e procedimentos pela NBR 15220-4 (2005) para realizar o cálculo de maneira precisa e consistente, incluindo o uso de unidades de medida corretas e os valores adequados para as propriedades térmicas dos materiais envolvidos.

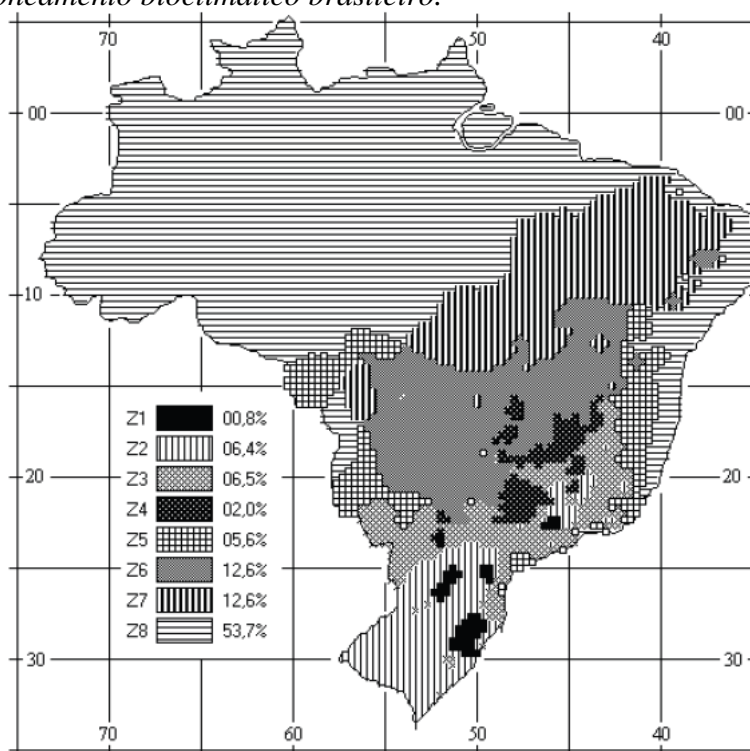
1.3.2.1. Zonas Bioclimáticas Brasileiras

O primeiro zoneamento bioclimático de caráter normativo para o Brasil é apresentado em 2003, como parte da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que entra em vigor em 2005 (MARTINS et al., 2012). Dentro do contexto da NBR 15220-3, essa abordagem assume um papel ainda mais crucial ao dividir o país em oito distintas regiões climáticas. Tal classificação é essencial para guiar os profissionais da construção civil na escolha de estratégias construtivas e sistemas de condicionamento térmico que se harmonizem com as peculiaridades térmicas próprias de cada área.

A metodologia utilizada na definição do atual zoneamento bioclimático brasileiro baseia-se nos desvios da zona de conforto adaptada do diagrama psicrométrico proposto por Givoni (1992 apud MARTINS et al., 2012). Os autores mencionam que a metodologia empregada para a classificação das cidades brasileiras utilizou dados das normais climatológicas divulgadas pelo INMET para 330 cidades. Essa classificação também foi usada para estimar, através de interpolação, o clima das demais cidades.

As zonas bioclimáticas, conforme Figura 12 abaixo, desempenham um papel fundamental no campo do planejamento e do projeto de edificações, uma vez que levam em consideração as características climáticas específicas de cada região.

Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Nota. NBR 15220-3 (2005)

No contexto do estado do Paraná, há a presença de três zonas bioclimáticas distintas, sendo que cada uma é definida por uma combinação singular de fatores climáticos, como temperatura, umidade e radiação solar. Essas zonas constituem a base sobre a qual as estratégias de projeto são desenvolvidas, visando proporcionar conforto térmico e eficiência energética nas edificações locais.

Os capítulos subsequentes buscam aprofundar a compreensão das três zonas bioclimáticas que abrangem o território paranaense.

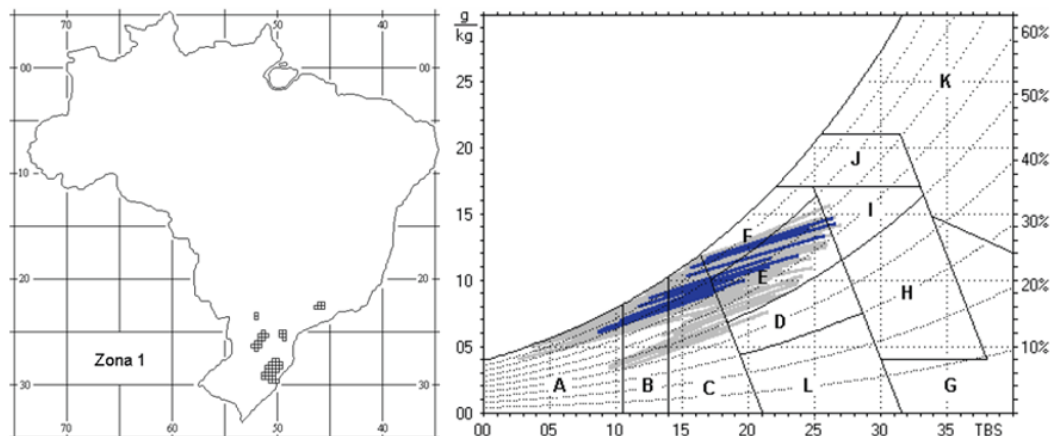
1.3.2.2. Zonas Bioclimáticas do Paraná

Cada zona de estudo possui sua característica bioclimática, conforme NBR 15220-3. Desta maneira, o projeto passará por modelagem energética com as mesmas condições construtivas por essas 3 zonas que são caracterizadas por 3 cidades distintas no estado do Paraná, sendo Curitiba, Ivaí e Londrina.

1.3.2.2.1. Zona Bioclimática 1

A Zona Bioclimática 1 correspondendo às características climáticas de cidades como Curitiba, que será a cidade exemplar para aplicação do projeto. Curitiba é a capital do Paraná e está situada no planalto paranaense, no leste do estado, possui estratégias construtivas específicas e essenciais para otimizar o conforto térmico e a eficiência energética. A carta bioclimática, apresentada na Figura 13, desta zona, segundo a NBR 15220-3, aponta temperaturas internas para a Zona de Conforto Térmico (E) entre 17°C e 27°C.

Figura 13 - Zona e Carta bioclimáticas 1.



Nota. NBR 15220-3 (2005)

As diretrizes detalhadas da NBR 15220-3 são adaptadas na tabela 2 a seguir e delineiam as estratégias específicas para a zona bioclimática 1.

Tabela 2 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 1.

ZONA BIOCLIMÁTICA 1		
Tamanho aberturas	Médias (15% < A < 25%)	
Sombreamento abertura	Sombrear aberturas	
Paredes externas	Parede Leve	$U \leq 3,0W/m^2.K$
		$\phi \leq 4,3h$
		$FS \leq 5,0\%$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2W/m^2.K$
		$\phi \leq 3,3h$
		$FS \leq 6,5\%$
Estratégia de condicionamento passivo inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)	
Estratégia de condicionamento passivo verão	Não possui	
Cidade exemplo	Curitiba, Paraná	

Nota. NBR 15220-3 (2005) adaptada pelo autor

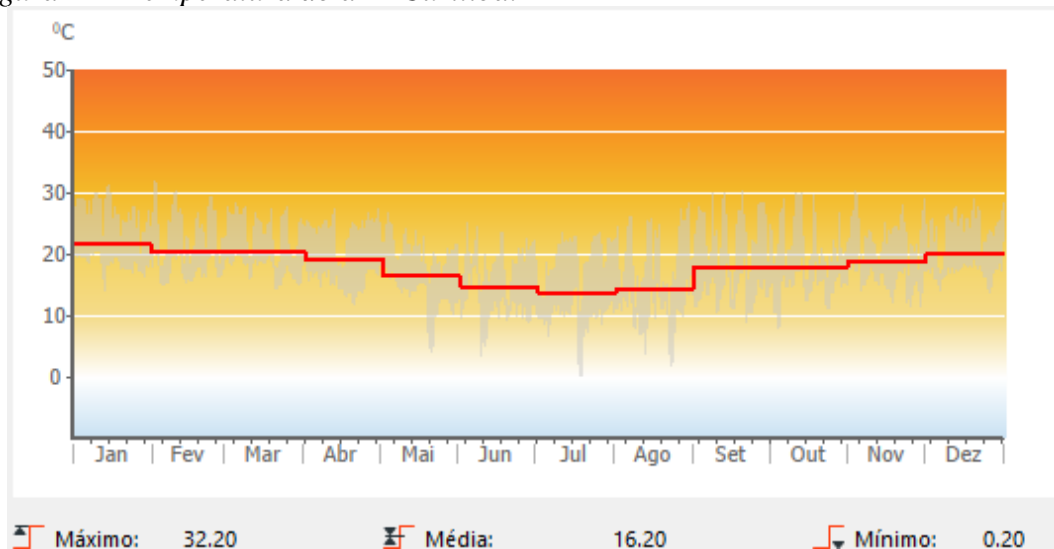
As aberturas permitem entrada controlada de luz solar durante os períodos frios, desta maneira, busca-se maximizar o aproveitamento da energia solar para aquecimento interno. A escolha cuidadosa do tamanho, orientação e localização das aberturas é de extrema importância para atingir o equilíbrio entre iluminação natural e eficiência térmica.

Nas vedações externas, a opção por paredes leves e coberturas isoladas leves tem um papel crucial na minimização das perdas térmicas. Essa abordagem limita as trocas indesejadas de calor entre o interior e o exterior da edificação, contribuindo para o conforto térmico e a economia de energia.

As estratégias de condicionamento térmico passivo nesta zona são definidas pelo aquecimento solar da edificação envolvendo a utilização da energia solar disponível para elevar a temperatura interna na estação de inverno. Além disso, a adoção de vedações internas pesadas, com alta inércia térmica, contribui para o controle eficaz da temperatura ao longo do dia. Contudo, é importante reconhecer que o condicionamento passivo pode ser insuficiente durante os períodos de muito frio, podendo ser necessárias considerações adicionais por meio de energia ativa.

Em seguida, na Figura 14, é possível verificar a intensidade das temperaturas diárias ao longo do ano para Curitiba.

Figura 14 - Temperatura do ar – Curitiba.

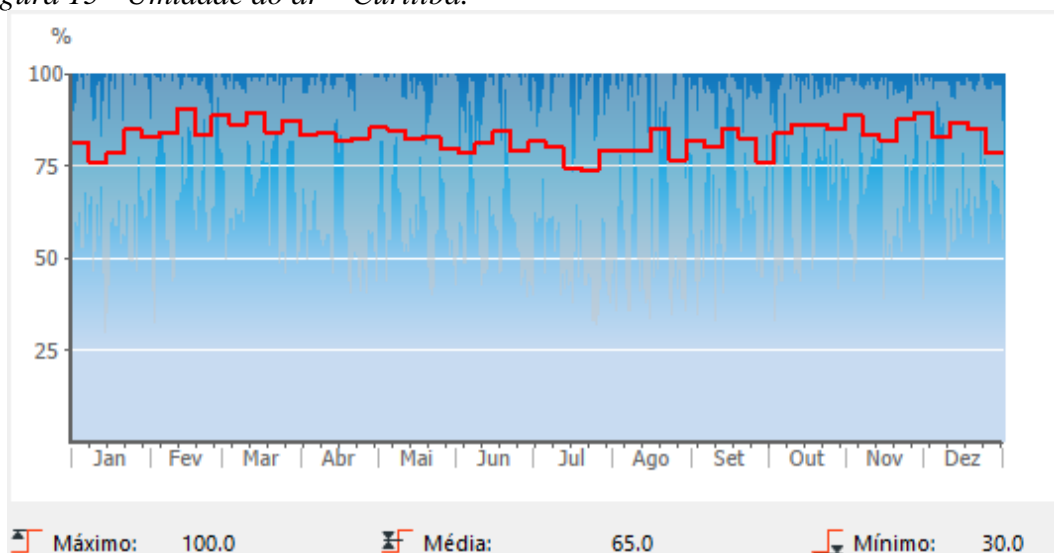


Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Enquanto nos meses de verão, as máximas ocorrem na faixa de 30°C, o inverno pode ser mais rigoroso com temperaturas baixas podendo alcançar próximo a 0°C.

A umidade relativa do ar em Curitiba, conforme Figura 15, tem leves variações ao longo do ano, como é possível verificar na imagem a seguir com o gráfico configurado sua análise semanalmente. Também é possível verificar médias mais altas durante o verão, e médias mais baixas durante o inverno, obtendo uma média anual de 65% de umidade.

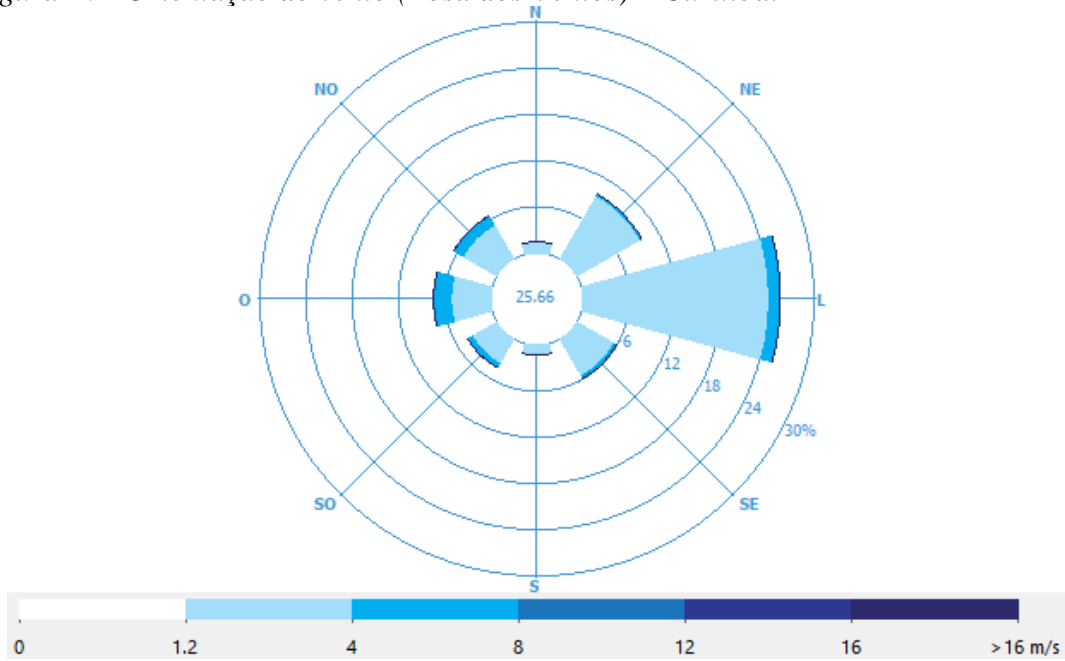
Figura 15 - Umidade do ar – Curitiba.



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

E, por fim, na cidade de Curitiba, caracterizada pela Zona Bioclimática 1, os ventos predominantes vêm do Leste, ilustrado na Figura 16. Enquanto isso, as regiões Norte e Sul têm ventos de baixíssima intensidade.

Figura 16 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Curitiba.

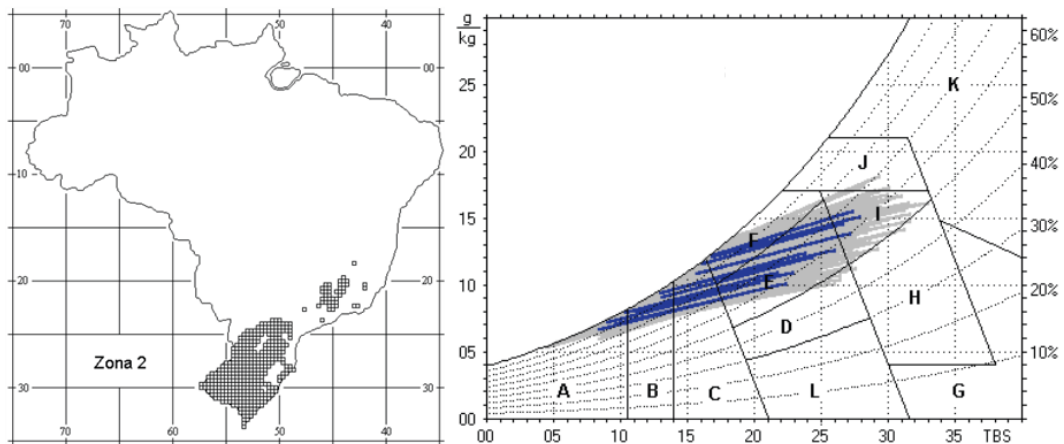


Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

1.3.2.2.2. Zona Bioclimática 2

A Zona Bioclimática 2, é caracterizada por regiões do sul do país. Para este estudo, a zona bioclimática se exemplifica por cidades como Ivaí, município localizado na região centro-sul do estado do Paraná. Assim como na zona bioclimática 1, a zona bioclimática 2, apresentado na Figura 17, também possui temperaturas internas para a Zona de Conforto Térmico (E) entre 17°C e 27°C.

Figura 17 - Zona e Carta bioclimáticas 2. NBR 15220-3 (2005)



Nota. NBR 15220-3 (2005)

As estratégias de aberturas, vedações e condicionamento térmico passivo apresentam distinções fundamentais para lidar com as mudanças climáticas. Essas estratégias serão detalhadas na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 2. NBR 15220-3 (2005)

ZONA BIOCLIMÁTICA 2		
Tamanho aberturas	Médias ($15\% < A < 25\%$)	
Sombreamento abertura	Sombrear aberturas	
Paredes externas	Parede Leve	$U \leq 3,0\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$
		$\phi \leq 4,3\text{h}$
		$FS \leq 5,0\%$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$
		$\phi \leq 3,3\text{h}$
		$FS \leq 6,5\%$
Estratégia de condicionamento passivo inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)	
Estratégia de condicionamento passivo verão	Ventilação cruzada	
Cidade exemplo	Ivaí, Paraná	

Nota. NBR 15220-3 (2005) adaptada pelo autor

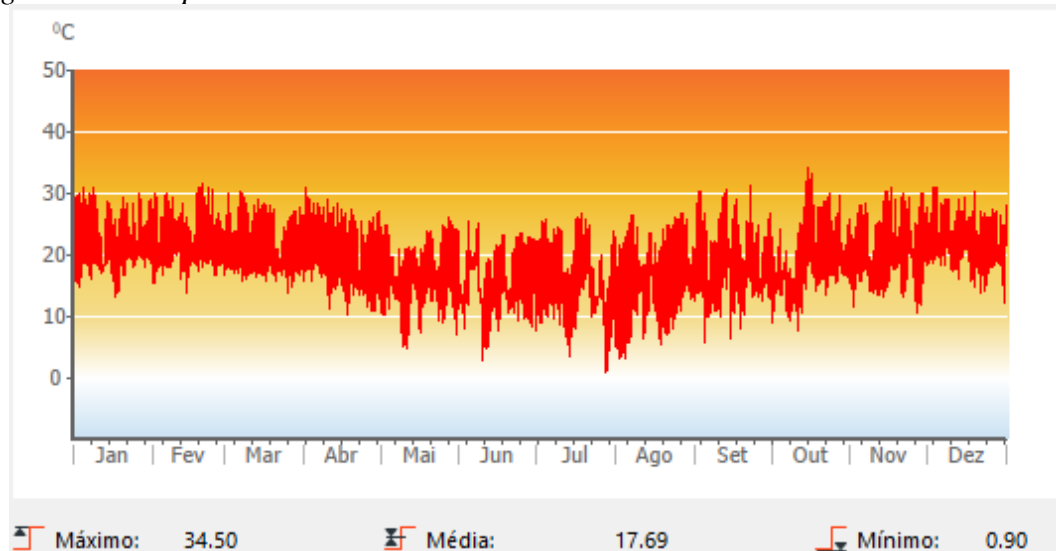
Similar à Zona Bioclimática 1, a entrada controlada de luz solar durante os períodos frios é enfatizada. No entanto, nesta zona, o objetivo é otimizar o desempenho térmico, buscando um equilíbrio entre iluminação natural e eficiência térmica.

A preferência por paredes leves e coberturas isoladas leves é uma estratégia que se mantém, visando minimizar perdas excessivas de calor e assegurar o conforto térmico interno.

Nesta zona, a ventilação cruzada emerge como uma estratégia proeminente para controlar a temperatura interna. Isso permite a circulação de ar fresco através das aberturas, regulando o ambiente interno. O aquecimento solar e vedações internas pesadas também continuam a ser estratégias essenciais para atender às demandas térmicas.

A temperatura anual da região, conforme Figura 18, é possível identificar os dados diários com temperaturas podendo chegar acima de 30°C em períodos de calor, e vários dias na estação de inverno próximos à temperatura de 0°C , conforme imagem a seguir.

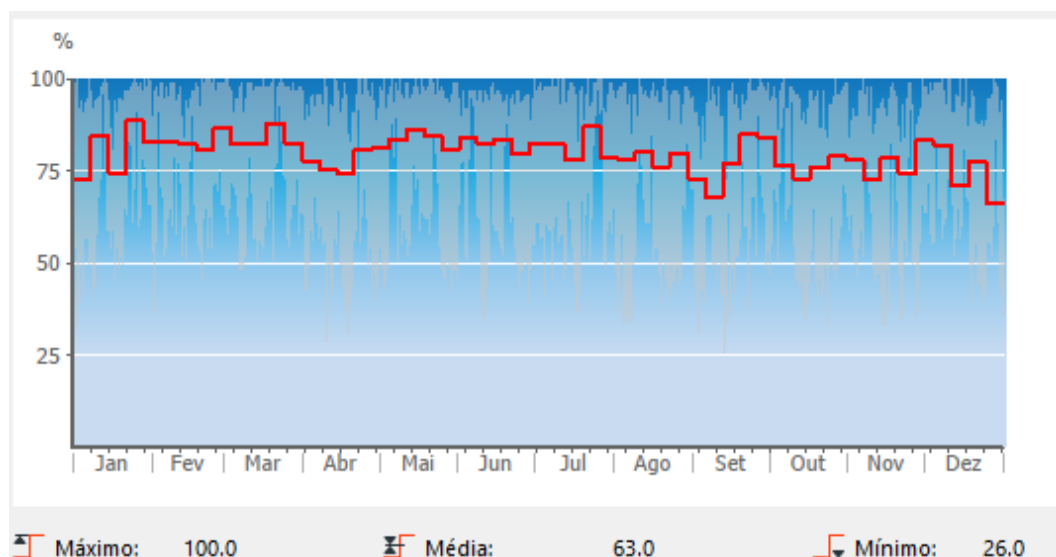
Figura 18 - Temperatura do ar – Ivaí



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Conforme ilustrado na Figura 19, a umidade relativa do ar em Ivaí apresenta uma média anual de 63%. Durante os períodos mais frios, observa-se uma maior constância nos níveis de umidade, enquanto no verão ocorrem oscilações mais acentuadas.

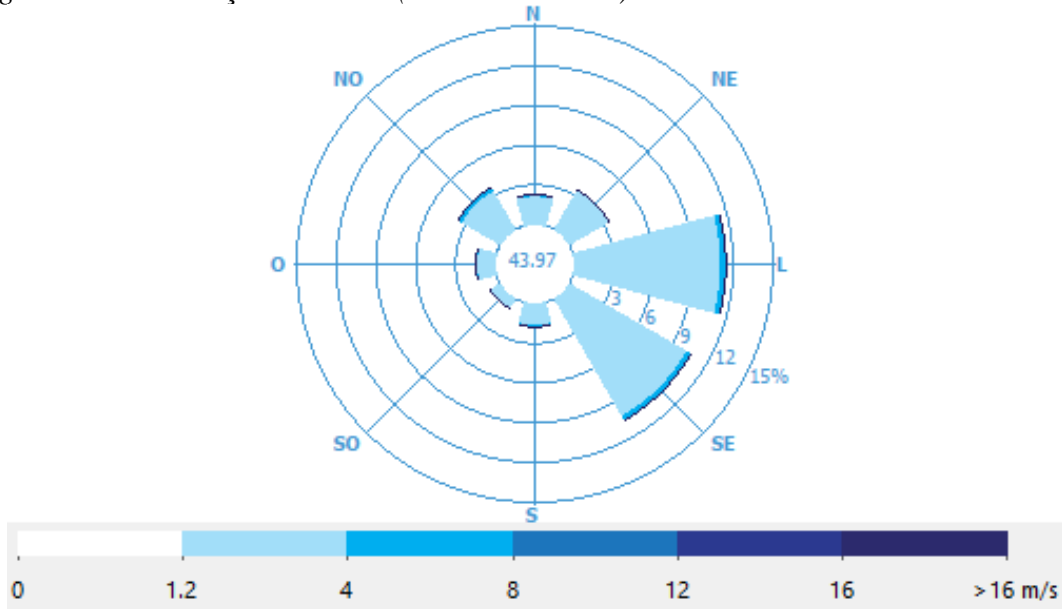
Figura 19 - Umidade do ar – Ivaí



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Por fim, na cidade de Ivaí, localizada na Zona Bioclimática 2, os ventos predominantes são provenientes das direções Leste e Sudeste, enquanto nas demais orientações apresentam baixa intensidade. A Figura 20 ilustra a Rosa dos Ventos dessa região, destacando as principais orientações e intensidades dos ventos registrados.

Figura 20 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Ivaí

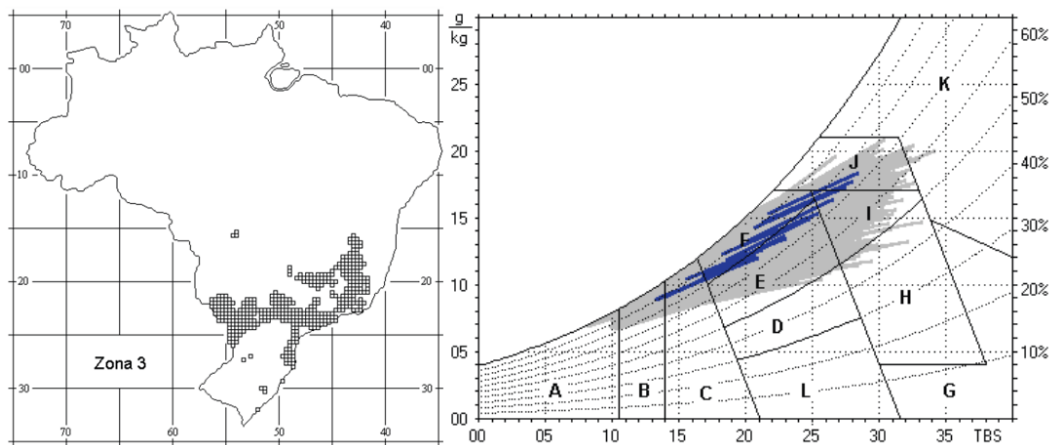


Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

1.3.2.2.3. Zona Bioclimática 3

Na Zona Bioclimática 3, destacam-se cidades como Londrina, situada na região norte do estado do Paraná. A carta bioclimática dessa zona, ilustrada na Figura 21, apresenta temperaturas internas compatíveis com a Zona de Conforto Térmico (E), variando entre 17°C e 27°C, conforme observado nas demais zonas analisadas anteriormente.

Figura 21 - Zona e Carta bioclimáticas 3.



Nota. NBR 15220-3 (2005)

As táticas relacionadas a aberturas, vedações e condicionamento térmico passivo são determinantes para a região e possuem algumas semelhanças nas estratégias comparadas às outras zonas bioclimáticas. As diretrizes dessas estratégias podem ser encontradas na tabela 4 a seguir, adaptada conforme informações retiradas da NBR 15220-3.

Tabela 4 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 3. NBR 15220-3 (2005)

ZONA BIOCLIMÁTICA 3		
Tamanho aberturas	Médias (15% < A < 25%)	
Sombreamento abertura	Sombrear aberturas	
Paredes externas	Leve refletor ^a	$U \leq 3,6\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$
		$\phi \leq 4,3\text{h}$
		$\text{FS} \leq 4,0\%$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$
		$\phi \leq 3,3\text{h}$
		$\text{FS} \leq 6,5\%$
Estratégia de condicionamento passivo inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)	
Estratégia de condicionamento passivo verão	Ventilação cruzada	
Cidade exemplo	Londrina, Paraná	

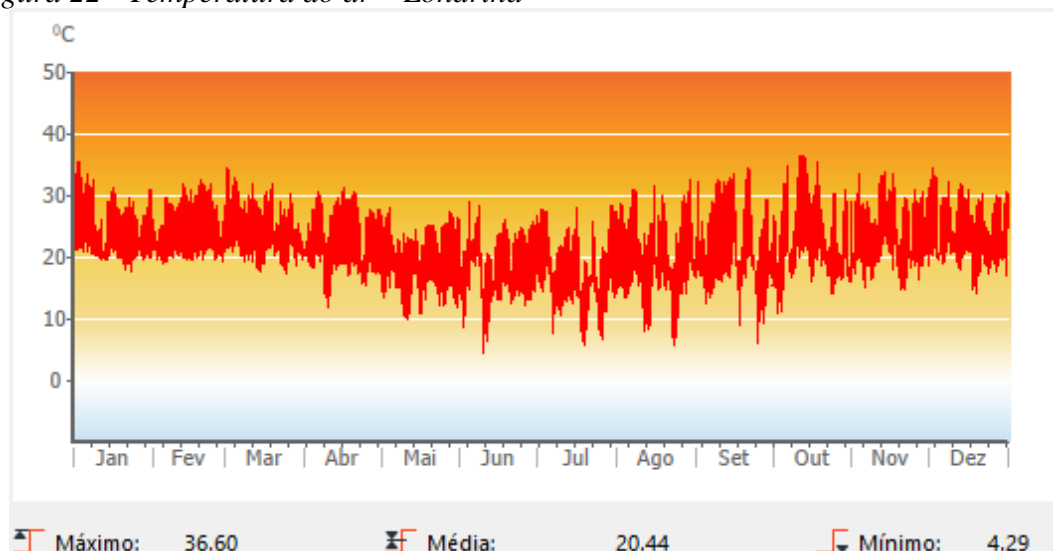
Nota. NBR 15220-3 (2005) adaptada pelo autor

Como nas zonas anteriores, a entrada solar controlada é fundamental para manter o conforto térmico interno. A regulagem cuidadosa da entrada de luz solar visa alcançar um equilíbrio entre aquecimento e resfriamento.

A adoção de paredes leves com características refletoras e coberturas leves e isoladas mantém-se como uma estratégia eficaz para reduzir perdas térmicas excessivas e assegurar o conforto térmico no interior das edificações. A ênfase na ventilação cruzada, similar às diretrizes aplicadas nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2, continua sendo essencial para o controle da temperatura interna. Além disso, o aquecimento solar desponta como uma solução crucial para atender às demandas térmicas específicas da região.

Conforme Figura 22, o comportamento das temperaturas do ar em Londrina, observa-se que, apesar das temperaturas predominantemente amenas, os valores diários frequentemente ultrapassam os 30°C, podendo atingir até 36,60°C em dias mais quentes. Em contrapartida, durante o inverno, as temperaturas mínimas podem se aproximar de 4°C, destacando a amplitude térmica característica da região.

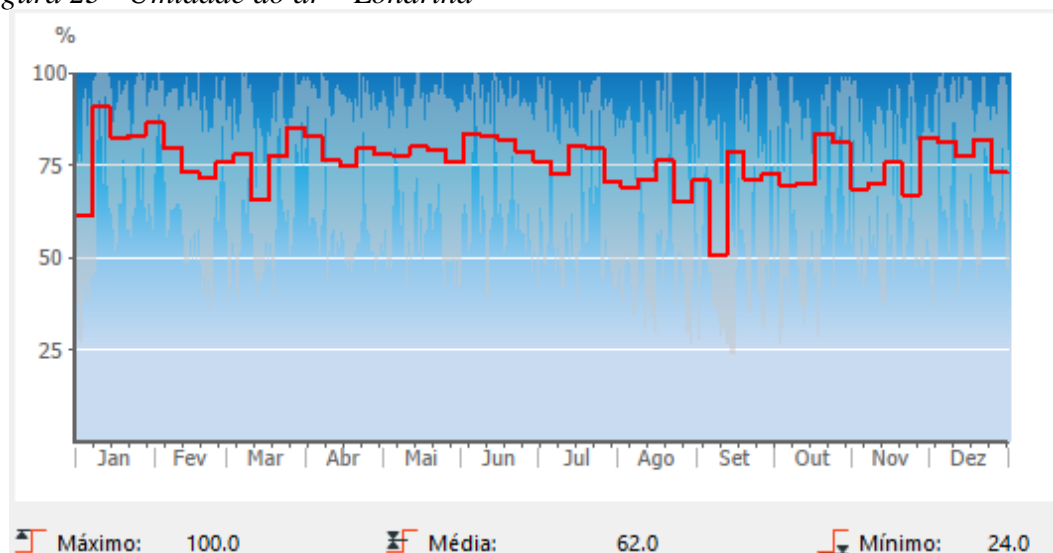
Figura 22 - Temperatura do ar – Londrina



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

A umidade do ar em Londrina apresenta uma média anual de 62%, sendo marcada por consideráveis oscilações em períodos próximos às mudanças de estação. Essas variações são influenciadas por ciclos de chuva intensa, que elevam a umidade relativa do ar a 100%, e por períodos de estiagem, que reduzem a umidade mínima a 24%. Essas flutuações são ilustradas na Figura 23, que apresenta os dados de umidade do ar em Londrina ao longo do ano.

Figura 23 - Umidade do ar – Londrina

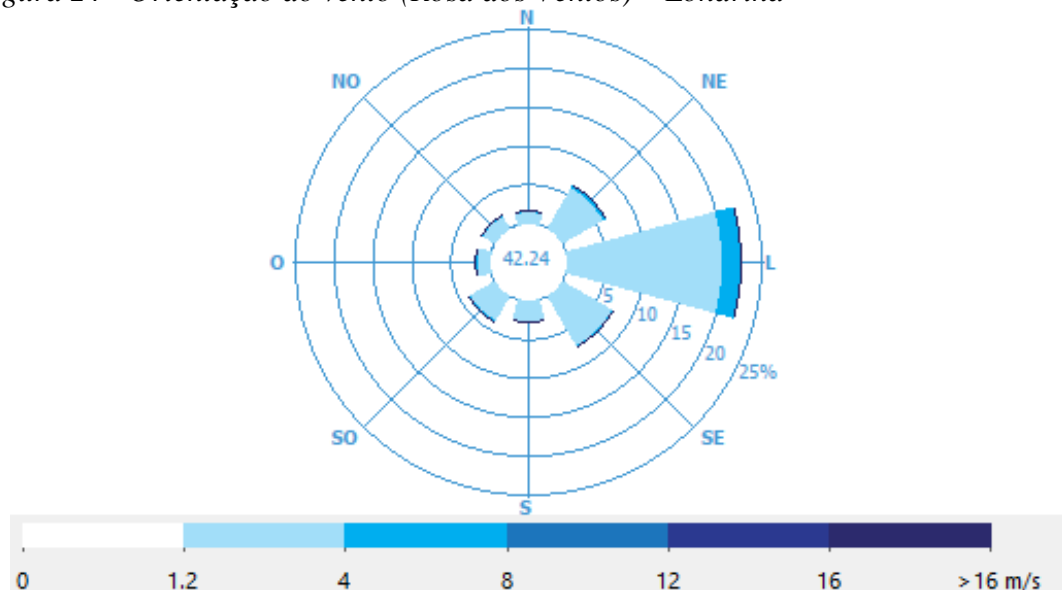


Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

E, por fim, na cidade de Londrina, caracterizada pela Zona Bioclimática 3, os ventos prevaletentes vêm do Leste, e pequena predominância para Nordeste e Sudoeste. Em outras orientações, os ventos apresentam baixa intensidade, conforme Figura 24, que

apresenta a orientação dos ventos na forma de uma Rosa dos Ventos específica para a região.

Figura 24 - Orientação do vento (Rosa dos Ventos) – Londrina



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

1.3.2.3. Carta Bioclimática

O método de classificação dos bioclimas descrito na NBR 15220-3 (2005) baseia-se em uma carta bioclimática adaptada da proposta de Givoni (1992). Essa carta delinea zonas que correspondem a diferentes estratégias de projeto arquitetônico, com o objetivo de otimizar o conforto térmico e a eficiência energética das edificações.

Cada zona deste gráfico é identificada por uma letra, representando uma estratégia específica:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)

B – Zona de aquecimento solar da edificação

C – Zona de massa térmica para aquecimento

D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)

E – Zona de conforto térmico

F – Zona de desumidificação (renovação do ar)

G + H – Zona de resfriamento evaporativo

H + I – Zona de massa térmica de refrigeração

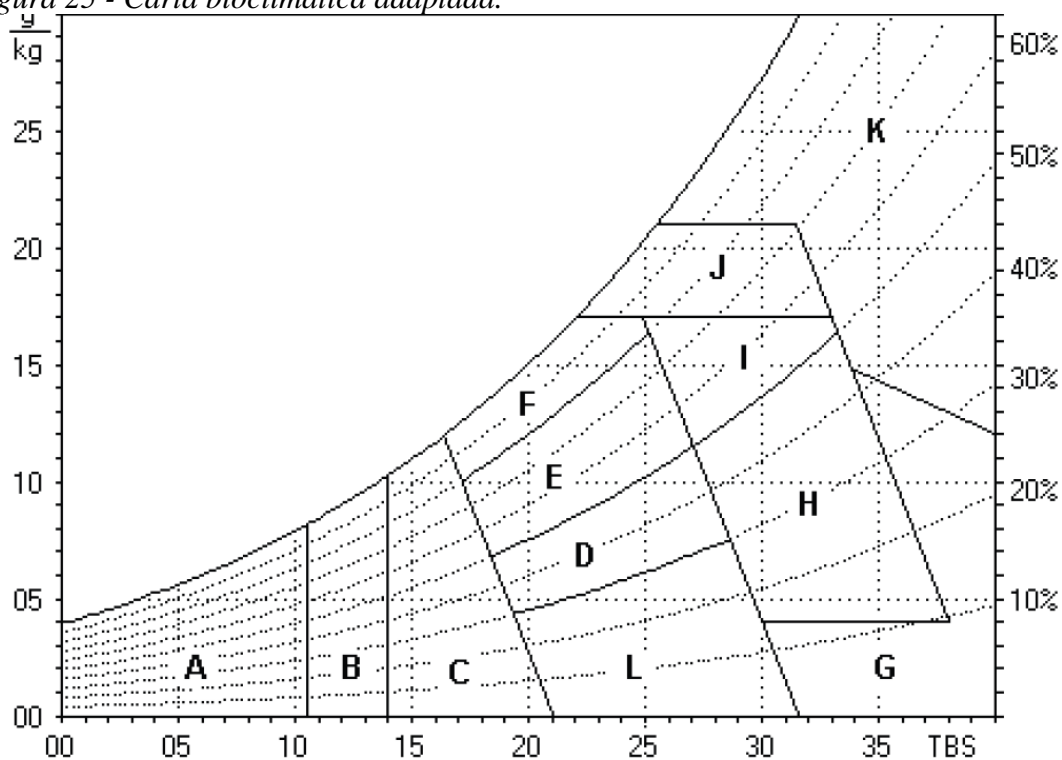
I + J – Zona de ventilação

K – Zona de refrigeração artificial

L – Zona de umidificação do ar

Essas zonas são estabelecidas com base nos dados mensais de temperatura e umidade do ar, representados graficamente em uma reta. A linha nesse gráfico é determinada pelas médias mensais de temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax) e umidade relativa (UR), plotadas nos eixos horizontal e vertical. Cada ponto na reta corresponde a um mês específico do ano, com a temperatura média (Tmed) sendo calculada como a média entre Tmin e Tmax para cada mês. Essa linha é então ajustada de acordo com esses pontos, permitindo uma visualização das variações climáticas ao longo do ano. A Figura 25, apresentada a seguir, ilustra uma carta bioclimática adaptada, destacando esses aspectos (LAMBERTS et al., 2014).

Figura 25 - Carta bioclimática adaptada.



Nota. NBR 15220-3 (2005)

Segundo a ABNT NBR 15220-3 (2005), a interpretação da carta bioclimática exige o cálculo das horas atribuídas a cada estratégia ao longo do ano. Por exemplo, conforme Lamberts et al., (2014), a região identificada como C na carta representa a utilização da massa térmica para aquecimento, enquanto a região D indica o conforto térmico. Essas informações são obtidas ao considerar a linha que representa um dia médio do mês, conforme descrito por Givoni (1992).

Assim, a aplicação desse método proporciona uma compreensão holística das condições climáticas locais e orienta as decisões de projeto visando o conforto e a eficiência energética das edificações.

CAPÍTULO II. METODOLOGIA

II.1. MÉTODO E APLICAÇÃO

O estudo inicia com a criação de um projeto habitacional modelo, destinado a servir de referência para futuras construções. Este projeto adota características convencionais de construção predominantes na região, com padrões comuns de acabamentos e práticas construtivas tradicionais, aplicáveis a projetos futuros alinhados às necessidades locais. Assim, será possível estabelecer uma referência para uma casa popular, facilitando a aplicação de práticas construtivas tradicionais e ajustando-se às particularidades de cada localidade.

Este projeto será modelado utilizando o software ArchiCAD, versão 26. As configurações detalhadas sobre a modelagem energética no ArchiCAD são apresentadas no estudo de caso, incluindo a inserção da localização do projeto, dados climáticos, materiais utilizados e diversos outros fatores essenciais para uma simulação energética computacional adequada. As cidades escolhidas estão inseridas nas zonas bioclimáticas do estado do Paraná, e os dados bioclimáticos são extraídos de arquivos EPW disponíveis no site [Climate.OneBuilding.Org.](https://climate.onebuilding.org/) (2024).

A escolha meticulosa dos materiais para alvenaria, esquadrias e cobertura segue os padrões habituais da região, alinhando-se integralmente às práticas amplamente adotadas. Destaca-se, de maneira imperativa, a importância intrínseca da integração fluida desses componentes, visando não apenas a eficiência funcional, mas também a adaptação coerente às particularidades da região em estudo. Esta discussão serve como preparação para o próximo capítulo, onde serão apresentados detalhadamente os materiais selecionados para cada um desses elementos.

Com os relatórios de modelagem energética realizados, será possível analisar e comparar os métodos construtivos aplicados, destacando aqueles que melhor atendem aos requisitos normativos e proporcionam conforto térmico aos ocupantes. Este processo de comparação permitirá identificar as estratégias mais eficazes em termos de eficiência energética, contribuindo para a criação de edificações mais eficientes e confortáveis.

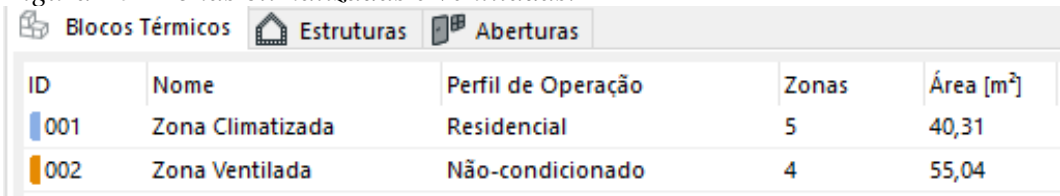
II.2. CASO DE ESTUDO

II.2.1. Projeto

O projeto residencial possui uma área construída de aproximadamente 50m², composta por uma sala com cozinha, dois quartos (sendo um deles suíte, com banheiro privativo), circulação e banheiro social, totalizando aproximadamente 40m² de área útil. A área de serviço e a garagem são ambientes externos e, portanto, não serão considerados para os objetivos deste trabalho.

Os ambientes internos da residência são definidos como zonas climatizadas, pois podem ser ventilados naturalmente, utilizando energia passiva de refrigeração, além de poderem ser climatizados por meio de energia ativa. Por outro lado, os espaços entre a cobertura e a laje são designados como zonas unicamente ventiladas, sem a necessidade de condicionamento específico para refrigeração ativa, conforme ilustrado na Figura 26 abaixo.

Figura 26 - Zonas climatizadas e ventiladas.

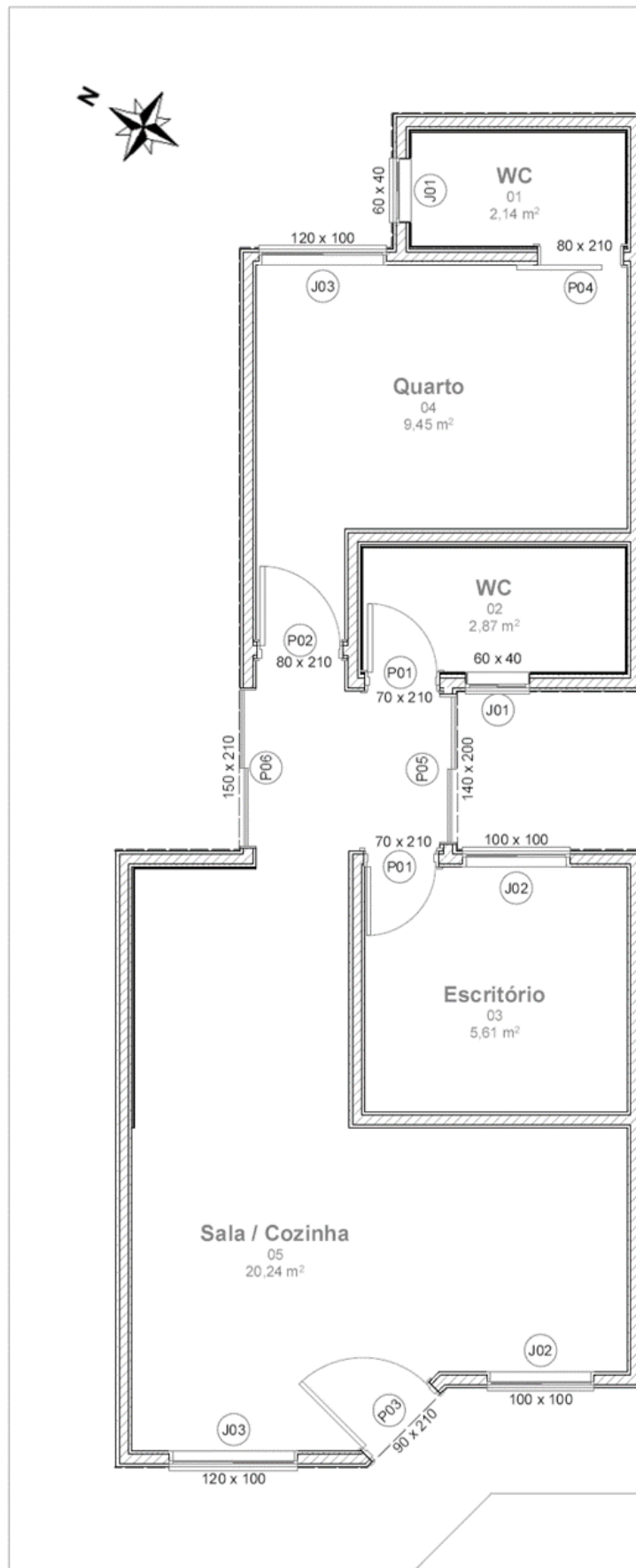


ID	Nome	Perfil de Operação	Zonas	Área [m ²]
001	Zona Climatizada	Residencial	5	40,31
002	Zona Ventilada	Não-condicionado	4	55,04

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

A ventilação natural é favorecida pela disposição das janelas em todos os ambientes principais. A planta apresentada na Figura 27, mostra a presença de várias janelas, permitindo a entrada de luz natural e a circulação de ar, o que é essencial para manter o conforto térmico e reduzir a dependência de sistemas de climatização artificial. A orientação das janelas e portas também é projetada para maximizar a ventilação cruzada, um aspecto importante em estratégias de resfriamento passivo.

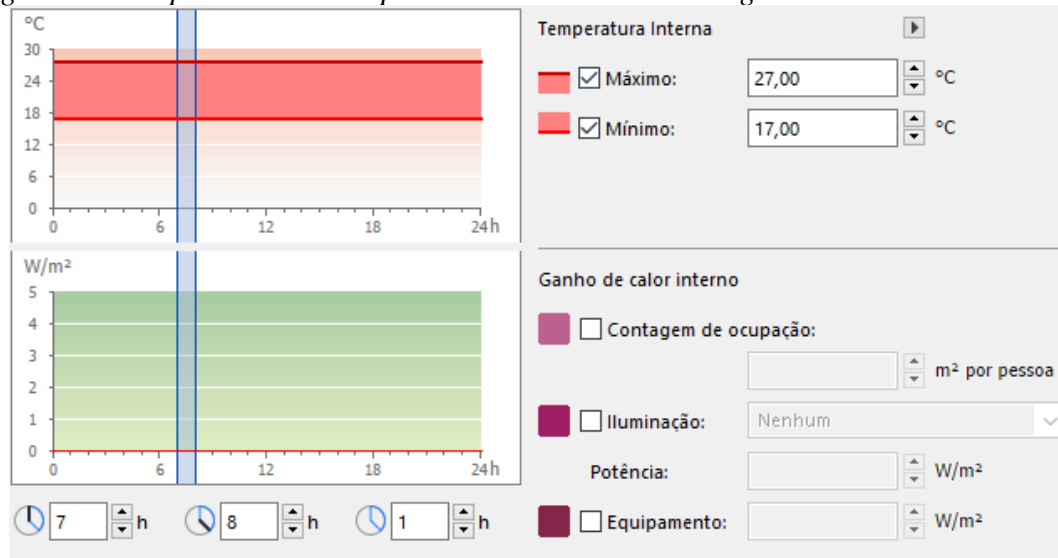
Figura 27 - Planta Baixa: Habitação Unifamiliar



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Para as configurações de temperaturas confortáveis dos ambientes internos, conforme cartas bioclimáticas de cada região e a média diária de consumo de energia para residências, os valores ilustrados na figura 28 abaixo são inseridos para o modelo em questão.

Figura 28 - Mapa diário de temperatura e consumo de energia



Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Feito isso, o próximo passo se faz na configuração dos dados climáticos para cada região de estudo. Esses dados climáticos possuem a extensão em “. EPW” (Energy Plus Weather Data) e são importados para o software ArchiCAD para realização da modelagem energética. Os arquivos utilizados para a modelagem foram descarregados no site da Climate.OneBuilding.Org. (2024) em versões mais atualizadas (EPW de Londrina ano de 2021, EPW de Curitiba e Ivaí ano de 2022).

Juntamente com o passo anterior são inseridas as definições de localização com o intuito de identificar cada zona de estudo. É importante apresentar os dados de latitude, longitude e altitude da região em que está sendo aplicada a modelagem, observado em Figura 29 a seguir.

Figura 29 - Localização do projeto

LOCALIZAÇÃO DO PROJETO

Nome do Projeto: ZB 1 - Curitiba Editar...

Endereço Completo do Terreno: Curitiba Paraná Brasil Editar...

Latitude: 25° 25' 48,0000" S ▶ 📄 📄

Longitude: 49° 16' 12,0000" O ▶

Fuso Horário (UTC): (UTC-03:00) Brasília ▶

Altitude (Nível do Mar): 924,00 ▶ m

Mostrar no Google Maps... ℹ

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Com isso, o arquivo encontra-se programado para iniciar a simulação energética a qual serão apresentados relatórios e comparativos dos resultados nas discussões deste trabalho.

II.2.2. Alvenaria

No contexto da construção convencional, a alvenaria é adotada pelo uso de tijolos cerâmicos com medidas de 9x14x19cm e, a união desses tijolos são feitos mediante argamassa de cimento e areia. O revestimento das alvenarias é composto por reboco em argamassa (cimento, areia e cal) de 3cm nas duas faces (interna e externa). Sua transmitância térmica possui valor U: 1,00 W/m².K. Essas informações são possíveis serem verificadas nas figuras 30 e 31 abaixo.

Figura 30 - Camadas de alvenaria convencional

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA					
<input checked="" type="checkbox"/>	Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/>	Caneta Linha	Tipo	ℹ
<input checked="" type="checkbox"/>	Externa/Topo: Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco	1			0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Tijolo - Cerâmico	1			0,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco	1			0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Interna/Base: Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 31 – Transmitância térmica da alvenaria convencional

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Em áreas úmidas como banheiros e cozinha, conforme apresentado em Figura 32 e 33, o revestimento interno é acrescido de azulejo cerâmico fixado em argamassa colante sobre o reboco, e a sua transmitância térmica possui valor U: 0,98 W/m².K.

Figura 32 - Camadas de alvenaria com cerâmica

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta	Linha	Tipo	U
Externa/Topo: Linha Contínua	1	—		
Reboco	1	—		0,03
Linha Contínua	1	—		
Tijolo - Cerâmico	1	—		0,09
Linha Contínua	1	—		
Reboco	1	—		0,03
Linha Contínua	1	—		
Argamassa Colante	1	—		0,01
Linha Contínua	1	—		
Cerâmica	1	—		0,01
Linha Contínua	1	—		

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 33 – Transmitância térmica da alvenaria com cerâmica

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Argamassa Cola...	0,01	1,0000	1800,00	1000,00
Cerâmica	0,01	1,5000	2000,00	900,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Sendo os dois tipos de alvenarias convencionais utilizados na região, com suas espessuras propriamente apresentadas, a próxima etapa se faz na apresentação das esquadrias mais utilizadas para construções residenciais da região de estudo.

II.2.3. Esquadrias

Quanto às aberturas, ilustradas nas Figuras 34 e 35, são utilizadas janelas com perfis metálicos e vidros simples. As portas externas seguem o mesmo padrão em vidro e perfis metálicos, outras são utilizados batentes e painel em madeira. As esquadrias em vidro são de envidraçado simples nítido e sem qualquer tipo de proteção solar aplicado, e sua moldura em alumínio básico. As portas de madeira não recebem nenhum tipo de especificações dentro do software, por não serem translucidas, não afetam na modelagem energética com relação à passagem de luz.

Figura 34 - Painéis de janelas e portas de vidro

Tipo	Valor U[W/m²K]	TST %	DST %
Envidraçado - simples			
Nítido	5,8000	87,0000	76,0000
Colorido	5,8000	64,0000	52,0000
Envidraçado - duplo - básico			
Envidraçado - duplo - standard			
Envidraçado - duplo - premium			
Envidraçado - triplo			
Policarbonato			
Acrílico			
Fibra de vidro - composta			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 35 - Molduras de janelas e portas de vidro

Tipo	Valor U[W/m²K]	Valor-psi...	Infiltração [l/sm]
▶ Moldura - madeira			
▶ Moldura - plástico			
▼ Moldura - metal			
Aço - básica	7,2500	0,6100	2,6900
Alumínio - básica	3,8200	0,3400	1,3800
Alumínio - standard	2,4200	0,1800	0,6700
Alumínio - premium	1,8600	0,1300	0,2300
Alumínio - definitiva	0,7800	0,1000	0,0800
▶ Porta de entrada			
▶ Porta de garagem			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Portanto, para esquadrias internas, como acesso aos quartos e banheiros, estas serão utilizadas em painéis de madeira. Em seguida, se faz necessário definir os elementos de cobertura.

II.2.4. Laje e Cobertura

Para a cobertura, apresentada nas Figuras 36, 37, 38 e 39, se faz a utilização de telhados com inclinações tradicionalmente projetadas para facilitar o escoamento eficiente da água da chuva. Estes são compostos por telhas cerâmicas travadas em trama e estrutura de tesouras em madeira garantindo a sua inclinação. Além disso, é relevante destacar que a edificação também possui laje forro composta por lajotas cerâmicas com espessura de 8cm coberto por uma camada de concreto com aproximadamente 4cm de espessura.

Figura 36 - Camadas de cobertura em telha cerâmica

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA			
	Caneta	Linha	Tipo
<input checked="" type="checkbox"/> Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/>	152	
<input checked="" type="checkbox"/> Externa/Topo: Linha Contínua			
<input checked="" type="checkbox"/> Telha - Cobertura	<input checked="" type="checkbox"/>	152	0,03
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua		152	
<input checked="" type="checkbox"/> Volume de Ar	<input type="checkbox"/>	159	0,03
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua		142	
<input checked="" type="checkbox"/> Madeiramento - Estrutural	<input checked="" type="checkbox"/>	154	0,05
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua		142	

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 37 – Transmitância térmica da cobertura em telha cerâmica

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Conductividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Telha - Cobertura	0,03	1,0000	2000,00	800,00
Volume de Ar	0,03	0,1500	1,20	1008,00
Madeiramento ...	0,05	0,1800	700,00	1600,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: 1.54 W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 38 - Camadas de laje convencional

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

<input checked="" type="checkbox"/> Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/> Caneta	Linha	Tipo	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Externa/Topo: Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Concreto, Moldado in loco	1			0,04
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Tijolo - Cerâmico	1			0,08
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 39 – Transmitância térmica da laje convencional

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Conductividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Concreto, Mold...	0,04	2,3000	2300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,08	0,1210	648,00	920,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: 1.09 W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Finalizando a descrição de laje e cobertura, a próxima etapa explorará a disposição interna do projeto residencial, oferecendo insights mais detalhados sobre suas características com relação aos espaços internos, áreas e ambientes.

II.3. ESTRATÉGIAS PARA CONFORTO TÉRMICO

II.3.1. Tipologia de Modelos e Suas Configurações

Neste momento, é delineada a abordagem adotada para avaliar diferentes estratégias visando o conforto térmico do projeto deste trabalho. A análise é conduzida por meio de relatórios específicos extraídos do software utilizado, cada um representando sua configuração. Com isso, é possível verificar o desempenho térmico em cada cenário e identificar as estratégias mais eficazes dentre elas.

As estratégias aplicadas somam um total de 16 tipologias diferentes, sendo a primeira sem qualquer aplicação de material com isolamento térmico, ou seja, a “baseline” do projeto onde representa o sistema antes da implementação de quaisquer medidas de melhorias de conforto e, outras quinze contendo uma ou mais aplicações de isolamento térmico nas alvenarias, cobertura e esquadrias que são apresentadas a seguir:

1 - Configuração Baseline (Sem Isolamento): Nesta estratégia, não é aplicado nenhum tipo de isolamento. A modelagem energética deste modelo é realizada utilizando as configurações iniciais do projeto relacionadas à alvenaria, cobertura e esquadrias.

2 - Inclusão de Proteção Solar nas Esquadrias: A modelagem energética para esta estratégia será realizada exclusivamente com o isolamento nas esquadrias de vidro, incorporando proteção solar de 80%, conforme ilustrado na Figura 40 abaixo.

Figura 40 - Mapa diário de temperatura e consumo de energia

Tipo	Orientação	Sombreamento	Análise Solar
Porta	Noroeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Porta	Sudeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Nordeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Sudoeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Nordeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Sudoeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Sudoeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído
Janela	Noroeste	Proteção Solar 80%	✓ Concluído

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

3 - Isolamento Cobertura e Laje: Para esta configuração, as Figuras 41, 42, 43 e 44 mostram a modelagem energética focada apenas no isolamento das lajes e cobertura, avaliando seu impacto no conforto térmico.

Figura 41 - Configuração de laje com isolamento

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA					
<input checked="" type="checkbox"/>	Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/>	Caneta Linha	Tipo	\pm
<input checked="" type="checkbox"/>	Externa/Topo: Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Isolamento - Plástico Rígido	1			0,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Concreto, Moldado in loco	1			0,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/>	Tijolo - Cerâmico	1			0,08
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 42 – Transmitância térmica da laje com isolamento

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m ³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Isolamento - Pl...	0,04	0,0320	28,00	1450,00
Concreto, Mold...	0,04	2,3000	2300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,08	0,1210	648,00	920,00

Coefficiente de transferência de calor externo:	<input type="text" value="8,29"/>	W/m ² K	Valor U: <input type="text" value="0.46 W/m<sup>2</sup>K"/>
Coefficiente de transferência de calor interno:	<input type="text" value="8,29"/>	W/m ² K	
Efeito ponte térmica:	<input type="text" value="0,00"/>	W/m ² K	

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 43 - Configuração de cobertura com isolamento

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA					
<input checked="" type="checkbox"/>	Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/>	Caneta Linha	Tipo	\pm
<input checked="" type="checkbox"/>	Externa/Topo: Linha Contínua	152			
<input checked="" type="checkbox"/>	Telha - Cobertura	152			0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	152			
<input checked="" type="checkbox"/>	Isolamento - Corte Térmico	152			0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	152			
<input checked="" type="checkbox"/>	Volume de Ar	159			0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	142			
<input checked="" type="checkbox"/>	Madeiramento - Estrutural	154			0,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	142			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 44 – Transmitância térmica da cobertura com isolamento

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Telha - Cobertura	0,03	1,0000	2000,00	800,00
Isolamento - Co...	0,03	0,0380	14,50	1030,00
Volume de Ar	0,03	0,1500	1,20	1008,00
Madeiramento ...	0,05	0,1800	700,00	1600,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: 0.69 W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

4 - Isolamento Externo nas Alvenarias: A modelagem energética nesta estratégia considerará o isolamento aplicado na parte exterior da alvenaria, visando reduzir a transferência de calor pelas paredes exteriores, conforme é ilustrado nas Figuras 45, 46, 47 e 48.

Figura 45 - Configuração isolamento externo nas alvenarias

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta	Linha	Tipo	U
Externa/Topo: Linha Contínua	1			
Reboco	1			0,03
Linha Contínua	1			
Isolamento - Plástico Rígido	1			0,01
Linha Contínua	1			
Tijolo - Cerâmico	1			0,09
Linha Contínua	1			
Reboco	1			0,03
Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 46 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento externo

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00

Coefficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coefficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 47 - Configuração isolamento externo nas alvenarias com revestimento cerâmico

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta	Linha	Tipo	±
<input checked="" type="checkbox"/> Externa/Topo: Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Reboco	1			0,03
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Isolamento - Plástico Rígido	1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Tijolo - Cerâmico	1			0,09
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Reboco	1			0,02
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa Colante	1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmica	1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 48 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento externo e revestimento cerâmico

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m ³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Reboco	0,02	0,5700	1300,00	1000,00
Argamassa Cola...	0,01	1,0000	1800,00	1000,00
Cerâmica	0,01	1,5000	2000,00	900,00

Coefficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coefficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

5 - Isolamento Interno nas Alvenarias: Nesta configuração, a modelagem energética se concentrará no isolamento aplicado na parte inferior da alvenaria, buscando melhorar a resistência térmica das paredes internas da edificação.

As próximas configurações, serão realizadas modelagens energéticas com combinações entre os isolamentos, sendo assim, compondo novas análises de comparativos entre as estratégias. Sendo elas representadas nas Figuras 49, 50, 51 e 52.

Figura 49 - Configuração isolamento interno nas alvenarias

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta	Linha	Tipo	Esp.
Externa/Topo: Linha Contínua	1			
Reboco	1			0,03
Linha Contínua	1			
Tijolo - Cerâmico	1			0,09
Linha Contínua	1			
Isolamento - Plástico Rígido	1			0,01
Linha Contínua	1			
Reboco	1			0,03
Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 50 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00

Coeficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coeficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 51 - Configuração isolamento interno nas alvenarias com revestimento cerâmico

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta Linha	Tipo	U
Externa/Topo: Linha Contínua	1		
Reboco	1		0,03
Linha Contínua	1		
Tijolo - Cerâmico	1		0,09
Linha Contínua	1		
Isolamento - Plástico Rígido	1		0,01
Linha Contínua	1		
Reboco	1		0,02
Linha Contínua	1		
Argamassa Colante	1		0,01
Linha Contínua	1		
Cerâmica	1		0,01
Linha Contínua	1		

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 52 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e revestimento cerâmico

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Reboco	0,02	0,5700	1300,00	1000,00
Argamassa Cola...	0,01	1,0000	1800,00	1000,00
Cerâmica	0,01	1,5000	2000,00	900,00

Coefficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coefficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

- 6 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Cobertura e Laje;
- 7 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Isolamento Externo nas Alvenarias;
- 8 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Isolamento Interno nas Alvenarias;
- 9 - Combinação de Isolamento Cobertura e Laje com Isolamento Externo nas Alvenarias;
- 10 - Combinação de Isolamento Cobertura e Laje com Isolamento Interno nas Alvenarias;
- 11 - Combinação de Isolamento Externo nas Alvenarias com Isolamento Interno nas Alvenarias são apresentadas nas Figuras 53, 54, 55 e 56;

Figura 53 - Configuração isolamento interno e externo nas alvenarias

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

<input checked="" type="checkbox"/>	Camada e Separador	<input checked="" type="checkbox"/>	Caneta	Linha	Tipo	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Externa/Topo: Linha Contínua	1		■		
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco	1		■		0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1		■		
<input checked="" type="checkbox"/>	Isolamento - Plástico Rígido	1		■		0,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1		■		
<input checked="" type="checkbox"/>	Tijolo - Cerâmico	1		■		0,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1		■		
<input checked="" type="checkbox"/>	Isolamento - Plástico Rígido	1		■		0,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1		■		
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco	1		■		0,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Linha Contínua	1		■		

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 54 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e externo

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00

Coefficiente de transferência de calor externo: W/m²K

Coefficiente de transferência de calor interno: W/m²K

Efeito ponte térmica: W/m²K

Valor U: W/m²K

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 55 - Configuração isolamento interno e externo nas alvenarias com revestimento cerâmico

EDITAR CAMADA E ESTRUTURA DE LINHA

Camada e Separador	Caneta	Linha	Tipo	Espessura
<input checked="" type="checkbox"/> Externa/Topo: Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Reboco	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,03
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Isolamento - Plástico Rígido	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Tijolo - Cerâmico	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,09
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Isolamento - Plástico Rígido	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Reboco	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,02
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Argamassa Colante	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			
<input checked="" type="checkbox"/> Cerâmica	<input checked="" type="checkbox"/> 1			0,01
<input checked="" type="checkbox"/> Linha Contínua	1			

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

Figura 56 – Transmitância térmica da alvenaria com isolamento interno e externo e revestimento cerâmico

Atribuir propriedades físicas para cada camada composta:

Nome de Camada	Espessura	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m ³]	Capacidade de calor [J/kgK]
Reboco	0,03	0,5700	1300,00	1000,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Tijolo - Cerâmico	0,09	0,1210	648,00	920,00
Isolamento - Pl...	0,01	0,0320	28,00	1450,00
Reboco	0,02	0,5700	1300,00	1000,00
Argamassa Cola...	0,01	1,0000	1800,00	1000,00
Cerâmica	0,01	1,5000	2000,00	900,00

Coefficiente de transferência de calor externo:	<input type="text" value="29,30"/>	W/m ² K	Valor U: 0.61 W/m²K
Coefficiente de transferência de calor interno:	<input type="text" value="8,29"/>	W/m ² K	
Efeito ponte térmica:	<input type="text" value="0,00"/>	W/m ² K	

Nota. Extraído do software ArchiCAD (versão 26) pelo autor

12 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Cobertura e Laje, Isolamento Externo nas Alvenarias;

13 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Cobertura e Laje, Isolamento Interno nas Alvenarias;

14 - Combinação de Isolamento e Proteção Solar nas Esquadrias com Isolamento Externo nas Alvenarias, Isolamento Interno nas Alvenarias;

15 - Combinação de Isolamento Cobertura e Laje com Isolamento Externo nas Alvenarias, Isolamento Interno nas Alvenarias;

16 - Combinação de Isolamento Proteção Solar nas Esquadrias com Isolamento Cobertura e Laje, Isolamento Externo nas Alvenarias, Isolamento Interno nas Alvenarias.

Cada estratégia é detalhadamente analisada, considerando a variação de temperatura interna. Essa abordagem permitirá uma compreensão mais aprofundada do desempenho de cada estratégia, contribuindo para a identificação das mais eficazes.

Ao consolidar os resultados, serão apresentadas conclusões específicas para cada estratégia, ressaltando aquelas que se destacam ao criar um ambiente termicamente mais confortável. As recomendações finais serão baseadas nas conclusões, oferecendo insights práticos para a aplicação dessas estratégias em diferentes contextos construtivos e climáticos promovendo uma compreensão abrangente das estratégias mais eficazes para o conforto térmico em edificações habitacionais da região em estudo.

Sendo assim, foram delineadas as características do projeto habitacional, seguido pela exploração das zonas bioclimáticas do Paraná e das estratégias de isolamento térmico e proteção solar. Essas informações serão fundamentais para as análises e discussões do

próximo capítulo, onde serão apresentadas as temperaturas dos ambientes internos obtidas por meio das modelagens energéticas durante os períodos de mudanças climáticas sazonais (21 de março, 21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro).

CAPÍTULO III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos e os relatórios alcançados a partir das modelagens energéticas aplicadas nas 16 tipologias de projeto. Serão expostas análises das estratégias passivas adotadas, considerando as características do projeto e as condições climáticas específicas do Paraná, já apresentadas no estudo de caso. Além disso, serão discutidas as implicações dessas estratégias para o conforto térmico dos ocupantes e para o consumo de energia das edificações.

III.1. EM CONFORMIDADE COM NBR 15575

Como já visto, a norma define que, no verão, a temperatura interna máxima ($T_{i,máx.}$) deve ser menor ou igual à temperatura externa máxima ($T_{e,máx.}$) nas zonas bioclimáticas de estudo, e para o inverno, as mesmas zonas bioclimáticas devem manter a temperatura interna mínima ($T_{i,mín.}$) maior ou igual à temperatura externa mínima ($T_{e,mín.}$) acrescida de 3°C.

III.1.1. Zona Bioclimática 1

Na zona bioclimática 1, representada pela cidade de Curitiba, as temperaturas exteriores de cada período sazonal foram extraídas do software conforme apresentadas abaixo na Tabela 5, considerando as temperaturas do mês de junho para o inverno ($T_{e,mín.}=10,20^{\circ}\text{C}$) e a temperatura do mês de dezembro para o verão ($T_{e,máx.}=27,80^{\circ}\text{C}$).

Tabela 5 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 1

TEMPERATURAS EXTERIORES											
21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
14,60 °C	16,30 °C	17,90 °C	10,20 °C	12,71 °C	15,60 °C	12,50 °C	20,42 °C	26,70 °C	18,20 °C	21,42 °C	27,80 °C

Nota. Elaborada pelo autor

São verificadas as temperaturas interiores de inverno, tendo a estratégia 15 (combinação de isolamento cobertura e laje com isolamento externo nas alvenarias, isolamento interno nas alvenarias) o melhor desempenho para este período com 11,52°C (acréscimo de 1,32°C da temperatura do exterior). Porém, ainda insuficiente para atender aos critérios da norma de 3°C a mais que a temperatura exterior.

Para o período de verão, várias estratégias atendem ao critério da norma, mas a que se destaca é a estratégia 16 (combinação de isolamento proteção solar nas esquadrias com isolamento na cobertura e laje, isolamento externo nas alvenarias, isolamento interno nas

alvenarias), pois possui melhor eficiência de controle de temperatura e atende aos critérios da norma reduzindo a temperatura interna até 1,25°C com relação à temperatura externa. Também é observado, para esta zona bioclimática 1, que o isolamento de proteção solar nas esquadrias é uma estratégia indispensável para o controle de temperatura interna da edificação e a proteção no exterior da alvenaria se faz mais eficiente que a proteção no interior da alvenaria. No geral, todas as estratégias que possuem a proteção de isolamento nas esquadrias obtiveram resultados semelhantes, mas, conforme observado na Tabela 6, a estratégia com melhor conforto térmico apresentado é a de número 16 com as combinações de proteção nas esquadrias, laje e cobertura, alvenaria interna e externa, ao qual obtém a menor diferença entre as temperaturas mínimas e máximas do ano, sendo esta diferença entre as temperaturas com o valor de 15,22°C (média entre as temperaturas de 20,62°C).

Tabela 6 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 1

TEMPERATURAS INTERIORES												
21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro			
mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	
1	20,44 °C	21,86 °C	23,93 °C	10,96 °C	12,50 °C	14,27 °C	24,69 °C	28,32 °C	31,35 °C	24,21 °C	27,42 °C	30,63 °C
2	19,61 °C	20,98 °C	22,51 °C	10,89 °C	12,45 °C	14,23 °C	22,43 °C	25,56 °C	27,71 °C	23,00 °C	25,36 °C	27,63 °C
3	20,38 °C	21,82 °C	23,81 °C	11,05 °C	12,60 °C	14,37 °C	24,38 °C	28,10 °C	31,19 °C	23,92 °C	27,12 °C	30,40 °C
4	20,74 °C	22,13 °C	24,14 °C	11,33 °C	12,73 °C	14,33 °C	24,68 °C	28,16 °C	31,03 °C	24,35 °C	27,33 °C	30,36 °C
5	20,58 °C	21,95 °C	23,99 °C	11,10 °C	12,61 °C	14,33 °C	24,60 °C	28,23 °C	31,21 °C	24,23 °C	27,36 °C	30,53 °C
6	19,44 °C	20,85 °C	22,26 °C	10,98 °C	12,54 °C	14,34 °C	21,97 °C	25,19 °C	27,42 °C	22,59 °C	24,93 °C	27,26 °C
7	19,87 °C	21,07 °C	22,53 °C	11,22 °C	12,65 °C	14,27 °C	22,19 °C	25,17 °C	27,20 °C	22,97 °C	25,09 °C	27,18 °C
8	19,67 °C	20,98 °C	22,44 °C	11,02 °C	12,55 °C	14,28 °C	22,14 °C	25,25 °C	27,31 °C	22,91 °C	25,13 °C	27,29 °C
9	20,71 °C	22,10 °C	24,01 °C	11,46 °C	12,87 °C	14,48 °C	24,34 °C	27,91 °C	30,89 °C	24,03 °C	27,01 °C	30,12 °C
10	20,52 °C	21,92 °C	23,86 °C	11,21 °C	12,73 °C	14,46 °C	24,27 °C	27,99 °C	31,06 °C	23,91 °C	27,04 °C	30,28 °C
11	20,74 °C	22,15 °C	24,13 °C	11,37 °C	12,79 °C	14,39 °C	24,57 °C	28,12 °C	31,03 °C	24,33 °C	27,30 °C	30,36 °C
12	19,67 °C	20,94 °C	22,24 °C	11,33 °C	12,77 °C	14,42 °C	21,68 °C	24,77 °C	26,88 °C	22,51 °C	24,62 °C	26,78 °C
13	19,48 °C	20,86 °C	22,16 °C	11,12 °C	12,66 °C	14,42 °C	21,63 °C	24,83 °C	26,98 °C	22,45 °C	24,65 °C	26,88 °C
14	19,84 °C	21,05 °C	22,44 °C	11,26 °C	12,70 °C	14,33 °C	21,96 °C	24,98 °C	26,98 °C	22,87 °C	24,94 °C	26,99 °C
15	20,72 °C	22,12 °C	24,00 °C	11,52 °C	12,93 °C	14,55 °C	24,21 °C	27,86 °C	30,87 °C	23,98 °C	26,96 °C	30,10 °C
16	19,63 °C	20,94 °C	22,20 °C	11,39 °C	12,84 °C	14,49 °C	21,40 °C	24,53 °C	26,61 °C	22,38 °C	24,43 °C	26,55 °C

17,00 °C Temperatura mínima de conforto

27,00 °C Temperatura máxima de conforto

Nota. Elaborada pelo autor

III.1.2. Zona Bioclimática 2

Na zona bioclimática 2, representada por Ivaí, as temperaturas exteriores de junho (Te,mín.=11,20°C) e dezembro (Te,máx.=27,10°C) foram analisadas conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 2

TEMPERATURAS EXTERIORES											
21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
15,90 °C	18,81 °C	21,20 °C	11,20 °C	14,38 °C	20,50 °C	14,70 °C	18,69 °C	25,80 °C	17,00 °C	21,16 °C	27,10 °C

Nota. Elaborada pelo autor

Durante o inverno, a estratégia mais eficaz foi a combinação de isolamento de cobertura e laje com isolamento externo e interno nas alvenarias (estratégia 15), resultando em uma temperatura interna mínima de 12,63°C, um aumento de 1,43°C em relação à temperatura externa. No entanto, isso ainda não atende ao critério de um acréscimo de 3°C.

Para o verão, assim como no inverno, nenhuma das estratégias foram capazes de atender aos critérios da de desempenho (NBR-15575), porém, as estratégias que apresentaram maiores eficiências em controle de temperatura interna foram as que possuem proteção solar, em destaque a combinação de isolamento e proteção solar nas esquadrias, cobertura, laje, isolamento externo e interno nas alvenarias (estratégia 16) ao elevar a temperatura interna em apenas 0,63°C da externa.

O isolamento e a proteção solar nas esquadrias são cruciais nesta zona bioclimática. Conforme Tabela 8, a estratégia 16 mostrou a menor variação anual de temperatura interna, com uma diferença de 15,20°C e uma média de 21,67°C, destacando-se como a mais eficaz.

Tabela 8 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 2

TEMPERATURAS INTERIORES												
	21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
1	23,51 °C	25,46 °C	28,81 °C	12,23 °C	15,77 °C	21,20 °C	19,55 °C	24,07 °C	30,20 °C	25,27 °C	28,79 °C	33,36 °C
2	22,14 °C	23,37 °C	25,97 °C	12,18 °C	15,73 °C	21,17 °C	18,60 °C	22,16 °C	26,12 °C	23,63 °C	26,19 °C	29,15 °C
3	23,41 °C	25,33 °C	28,58 °C	12,29 °C	15,84 °C	21,31 °C	19,40 °C	23,93 °C	30,14 °C	24,86 °C	28,41 °C	33,03 °C
4	23,74 °C	25,61 °C	28,63 °C	12,52 °C	15,82 °C	20,88 °C	19,78 °C	24,00 °C	29,82 °C	25,50 °C	28,76 °C	33,03 °C
5	23,57 °C	25,50 °C	28,72 °C	12,32 °C	15,80 °C	21,16 °C	19,61 °C	24,06 °C	30,17 °C	25,33 °C	28,76 °C	33,25 °C
6	21,93 °C	23,12 °C	25,56 °C	12,23 °C	15,79 °C	21,28 °C	18,37 °C	21,92 °C	25,92 °C	23,11 °C	25,63 °C	28,64 °C
7	22,19 °C	23,29 °C	25,55 °C	12,43 °C	15,75 °C	20,84 °C	18,70 °C	21,95 °C	25,58 °C	23,69 °C	25,93 °C	28,60 °C
8	22,06 °C	23,22 °C	25,64 °C	12,25 °C	15,75 °C	21,13 °C	18,59 °C	21,99 °C	25,78 °C	23,57 °C	25,92 °C	28,71 °C
9	23,64 °C	25,47 °C	28,40 °C	12,61 °C	15,92 °C	21,03 °C	19,62 °C	23,86 °C	29,77 °C	25,04 °C	28,35 °C	32,68 °C
10	23,47 °C	25,36 °C	28,49 °C	12,39 °C	15,88 °C	21,31 °C	19,45 °C	23,92 °C	30,12 °C	24,88 °C	28,35 °C	32,89 °C
11	23,74 °C	25,60 °C	28,58 °C	12,53 °C	15,85 °C	20,96 °C	19,78 °C	24,02 °C	29,94 °C	25,48 °C	28,75 °C	33,04 °C
12	21,92 °C	23,01 °C	25,12 °C	12,50 °C	15,83 °C	20,98 °C	18,47 °C	21,71 °C	25,38 °C	23,09 °C	25,33 °C	28,04 °C
13	21,80 °C	22,97 °C	25,21 °C	12,32 °C	15,83 °C	21,26 °C	18,35 °C	21,75 °C	25,58 °C	22,98 °C	25,33 °C	28,15 °C
14	22,09 °C	23,16 °C	25,33 °C	12,44 °C	15,77 °C	20,91 °C	18,66 °C	21,86 °C	25,43 °C	23,60 °C	25,76 °C	28,35 °C
15	23,63 °C	25,45 °C	28,34 °C	12,63 °C	15,96 °C	21,17 °C	19,61 °C	23,87 °C	29,88 °C	24,99 °C	28,31 °C	32,66 °C
16	21,77 °C	22,88 °C	24,87 °C	12,53 °C	15,87 °C	21,11 °C	18,41 °C	21,61 °C	25,21 °C	22,96 °C	25,12 °C	27,73 °C

17,00 °C Temperatura mínima de conforto

27,00 °C Temperatura máxima de conforto

Nota. Elaborada pelo autor

III.1.3. Zona Bioclimática 3

Em Londrina, na zona bioclimática 3, as temperaturas exteriores de junho ($T_{e,mín.}=12,50^{\circ}\text{C}$) e dezembro ($T_{e,máx.}=30,30^{\circ}\text{C}$), apresentadas na Tabela 9, foram utilizadas para análise.

Tabela 9 – Temperaturas exteriores da zona bioclimática 3

TEMPERATURAS EXTERIORES											
21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
20,80 °C	23,28 °C	25,60 °C	12,50 °C	16,27 °C	22,20 °C	20,00 °C	26,30 °C	34,70 °C	17,80 °C	23,54 °C	30,30 °C

Nota. Elaborada pelo autor

No inverno, todas as estratégias atenderam aos critérios da norma, porém a estratégia que obteve um maior aumento de temperatura no inverno foi a combinação de isolamento cobertura e laje com isolamento externo nas alvenarias (estratégia 9), atingindo uma temperatura interna mínima de $16,50^{\circ}\text{C}$, um aumento de $4,00^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura externa.

No verão, a combinação de isolamento e proteção solar nas esquadrias, cobertura, laje, isolamento externo e interno nas alvenarias (estratégia 16) foi a mais eficaz, reduzindo a temperatura interna em $0,86^{\circ}\text{C}$ abaixo da externa, atendendo ao critério normativo.

Nessa zona bioclimática, o uso de isolamento e proteção solar nas esquadrias também se fez essencial para controlar a temperatura interna. As estratégias que incluíram essas medidas foram as mais eficazes, em destaque a estratégia 16 pela menor variação anual de temperatura interna, com uma diferença de $15,89^{\circ}\text{C}$ e uma média de $25,18^{\circ}\text{C}$, como mostra a Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Temperaturas interiores da edificação inserida na zona bioclimática 3

TEMPERATURAS INTERIORES												
21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro			
mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.	
1	26,34 °C	28,31 °C	30,35 °C	16,19 °C	20,38 °C	26,40 °C	27,45 °C	32,47 °C	38,81 °C	26,50 °C	30,39 °C	34,32 °C
2	24,99 °C	26,35 °C	27,49 °C	16,05 °C	19,48 °C	23,42 °C	25,74 °C	29,38 °C	33,46 °C	25,00 °C	27,97 °C	30,79 °C
3	26,21 °C	28,22 °C	30,31 °C	16,19 °C	20,39 °C	26,53 °C	27,23 °C	32,28 °C	38,70 °C	26,00 °C	29,93 °C	33,91 °C
4	26,65 °C	28,47 °C	30,36 °C	16,49 °C	20,40 °C	26,15 °C	27,50 °C	32,25 °C	38,34 °C	26,74 °C	30,38 °C	34,07 °C
5	26,42 °C	28,35 °C	30,38 °C	16,24 °C	20,38 °C	26,42 °C	27,46 °C	32,43 °C	38,76 °C	26,58 °C	30,39 °C	34,24 °C
6	24,72 °C	26,11 °C	27,30 °C	16,02 °C	19,45 °C	23,31 °C	25,38 °C	29,02 °C	33,15 °C	24,35 °C	27,35 °C	30,22 °C
7	25,08 °C	26,29 °C	27,28 °C	16,31 °C	19,49 °C	23,08 °C	25,58 °C	28,92 °C	32,73 °C	25,03 °C	27,75 °C	30,32 °C
8	24,93 °C	26,21 °C	27,28 °C	16,08 °C	19,46 °C	23,24 °C	25,59 °C	29,07 °C	33,00 °C	24,93 °C	27,76 °C	30,43 °C
9	26,51 °C	28,37 °C	30,32 °C	16,50 °C	20,44 °C	26,32 °C	27,25 °C	32,03 °C	38,23 °C	26,18 °C	29,87 °C	33,63 °C
10	26,28 °C	28,25 °C	30,35 °C	16,24 °C	20,41 °C	26,59 °C	27,22 °C	32,21 °C	38,65 °C	26,02 °C	29,87 °C	33,79 °C
11	26,64 °C	28,47 °C	30,39 °C	16,46 °C	20,41 °C	26,29 °C	27,50 °C	32,28 °C	38,48 °C	26,74 °C	30,39 °C	34,10 °C
12	24,77 °C	26,02 °C	27,08 °C	16,28 °C	19,51 °C	23,10 °C	25,17 °C	28,53 °C	32,39 °C	24,31 °C	27,06 °C	29,69 °C
13	24,63 °C	25,95 °C	27,07 °C	16,05 °C	19,45 °C	23,24 °C	25,19 °C	28,67 °C	32,65 °C	24,21 °C	27,07 °C	29,80 °C
14	24,99 °C	26,17 °C	27,14 °C	16,27 °C	19,47 °C	22,95 °C	25,48 °C	28,76 °C	32,52 °C	24,94 °C	27,60 °C	30,12 °C
15	26,50 °C	28,36 °C	30,37 °C	16,48 °C	20,45 °C	26,47 °C	27,21 °C	32,04 °C	38,35 °C	26,14 °C	29,83 °C	33,61 °C
16	24,67 °C	25,88 °C	26,92 °C	16,25 °C	19,46 °C	22,98 °C	25,02 °C	28,33 °C	32,14 °C	24,17 °C	26,86 °C	29,44 °C

17,00 °C Temperatura mínima de conforto

27,00 °C Temperatura máxima de conforto

Nota. Elaborada pelo autor

III.2. EM CONFORMIDADE COM NBR 15220

A NBR 15220 regulamenta o desempenho térmico de edificações visando o conforto dos ocupantes, estabelece critérios detalhados para isolamento térmico, como apresentado neste trabalho. Esses critérios garantem um ambiente interno confortável, tanto no verão quanto no inverno.

III.2.1. Aberturas

O tamanho das aberturas é classificado como médio para todas as zonas bioclimáticas de estudo, com uma área entre 15% e 25% da superfície total. No caso em estudo, conforme apresentado na tabela 11 a seguir, a área total da edificação é de 40,31 m², com uma área total de janelas de 7,68 m², correspondendo a 19,05% da área total.

Tabela 11 - Área das aberturas e relação com a área total

	AREA	JANELA		AREA JANELAS
WC SUÍTE	2,14	0,6	0,4	0,24
SUÍTE	9,45	1,2	1	1,2
WC	2,87	0,6	0,4	0,24
CIRCULAÇÃO	0	1,4	2	2,8
ESCRITÓRIO	5,61	1	1	1
SALA/COZINHA	20,24	2,2	1	2,2
TOTAIS	40,31			7,68

Nota. Elaborada pelo autor

A análise das aberturas na edificação indica uma distribuição estratégica das janelas para maximizar a entrada de luz natural e a ventilação, alinhando-se com as diretrizes da NBR 15220. Com uma porcentagem de aberturas médias, a edificação beneficia-se de um balanço adequado entre iluminação natural e proteção contra o ganho excessivo de calor no verão, além de permitir aquecimento solar passivo no inverno, essencial para as estratégias de conforto térmico da região.

A inclusão de sombreamento nas aberturas, como recomendado pela norma, é crucial para a eficiência térmica, reduzindo a carga térmica no verão e melhorando o desempenho energético da edificação. Com paredes externas e coberturas levemente isoladas, a edificação mantém um bom nível de isolamento térmico, contribuindo para a manutenção de temperaturas internas confortáveis durante todo o ano.

III.2.2. Paredes Externas

As paredes externas são especificadas como leves para as zonas bioclimáticas 1 e 2, e leve refletora para a zona bioclimática 3, com um valor máximo de transmitância térmica de $\leq 3,0 \text{ W/m}^2$ e $\leq 3,0 \text{ W/m}^2$, respectivamente.

As simulações de desempenho térmico indicam que a combinação de diferentes tipos de isolamento (interno, externo e com revestimento cerâmico) reduz significativamente a transmitância térmica das paredes, melhorando o conforto térmico interno. A alvenaria convencional apresenta o maior valor de transmitância térmica ($1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$), enquanto a combinação de isolamento interno e externo com revestimento cerâmico reduz esse valor para $0.61 \text{ W/m}^2\text{K}$, porém, todas atendem aos critérios estabelecidos pela norma. Na Tabela 12 a seguir, são apresentados os valores de transmitância térmica (valor U) das diferentes configurações de paredes utilizadas no projeto de estudo de caso deste trabalho.

Tabela 12 - Valores de transmitância térmica das paredes

DESCRIÇÃO	VALOR U (W/M ² K)
Alvenaria convencional	1.00
Alvenaria com cerâmica	0.98
Alvenaria com isolamento externo	0.76
Alvenaria com isolamento externo e revestimento cerâmico	0.76
Alvenaria com isolamento interno	0.76
Alvenaria com isolamento interno e revestimento cerâmico	0.76
Alvenaria com isolamento interno e externo	0.61
Alvenaria com isolamento interno e externo e revestimento cerâmico	0.61

Nota. Elaborada pelo autor

O uso de revestimentos cerâmicos em conjunto com isolamentos interno e externo resulta em uma melhor performance térmica. Essas configurações atendem aos requisitos da NBR 15220 para transmitância térmica, contribuindo para a eficiência energética das edificações nas zonas bioclimáticas estudadas.

III.2.3. Cobertura

Em termos de coberturas, todas as zonas bioclimáticas em estudo são consideradas coberturas tipo leves e isoladas, com uma transmitância térmica menor ou igual a 2 W/m². Esta configuração é eficaz para minimizar as perdas de calor durante o inverno e reduzir o ganho de calor durante o verão.

A análise das diferentes configurações de coberturas revela que a utilização de isolamento reduz significativamente os valores de transmitância térmica. Por exemplo, a cobertura em telha cerâmica apresenta um valor U de 1.54 W/m²K, enquanto a cobertura com isolamento reduz esse valor para 0.69 W/m²K. Da mesma forma, a laje convencional possui um valor U de 1.09 W/m²K, que é reduzido para 0.46 W/m²K quando o isolamento é aplicado. Contudo, pode ser observado na Tabela 13 que todas as estratégias de isolamento na cobertura foram atendidas pelo critério estabelecido em norma.

Tabela 13 - Valores de transmitância térmica das lajes e coberturas

DESCRIÇÃO	VALOR U (W/M ² K)
Cobertura em telha cerâmica	1.54
Cobertura com isolamento	0.69
Laje convencional	1.09
Laje com isolamento	0.46

Nota. Elaborada pelo autor

CONCLUSÃO

Neste estudo, foram analisadas e discutidas diversas estratégias de eficiência energética aplicadas ao projeto habitacional modelo, considerando as diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 15575 e NBR 15220. As simulações de desempenho térmico realizadas para diferentes configurações de alvenarias, esquadrias e coberturas demonstraram a importância de um planejamento meticuloso na escolha de materiais e técnicas construtivas. Para facilitar a análise e compreensão das diversas estratégias de isolamento e proteção solar aplicadas nas alvenarias e coberturas das edificações estudadas, foi adotada uma nomenclatura abreviada:

- Configuração Base sem isolamento foi designada como CB (Configuração Base);
- Proteção Solar foi abreviada como OS (Proteção Solar);
- Isolamento de Cobertura e Laje foi identificado como ICL (Isolamento de Cobertura e Laje);
- Isolamento Externo nas Alvenarias foi denominado IEA (Isolamento Externo nas Alvenarias);
- Isolamento Interno nas Alvenarias foi denominado IIA (Isolamento Interno nas Alvenarias).






As combinações dessas estratégias também foram abreviadas de forma a refletir claramente suas composições, como PS + ICL para a combinação de proteção solar com isolamento de cobertura e laje, e PS + ICL + IEA + IIA para a combinação de todas as estratégias.

Com base nas nomenclaturas adotadas para as estratégias de isolamento e proteção solar, a análise das temperaturas interiores para os dias 21 de junho (inverno) e 21 de dezembro (verão) nas três zonas bioclimáticas revela importantes conclusões sobre a eficácia de cada combinação. Na primeira zona bioclimática (Curitiba), a configuração base (CB) apresentou a maior variação de temperatura, com as mínimas no inverno sendo de 10,96°C e as máximas no verão atingindo 30,63°C. As estratégias que incluem proteção solar (PS) e isolamento (ICL, IEA, IIA) demonstraram variações significativas nas temperaturas interiores. Observa-se que, na Tabela 14, a combinação PS + ICL + IEA + IIA destacou-se como a mais eficiente, mantendo as temperaturas dentro dos limites confortáveis e atendendo às exigências da NBR 15575.

Tabela 14 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 1

ZONA BIOCLIMÁTICA 1 - CURITIBA	21 de junho			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
	10,20 °C	12,71 °C	15,60 °C	18,20 °C	21,42 °C	27,80 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
C.B.	10,96 °C	12,50 °C	14,27 °C	24,21 °C	27,42 °C	30,63 °C
P.S.	10,89 °C	12,45 °C	14,23 °C	23,00 °C	25,36 °C	27,63 °C
I.C.L.	11,05 °C	12,60 °C	14,37 °C	23,92 °C	27,12 °C	30,40 °C
I.E.A.	11,33 °C	12,73 °C	14,33 °C	24,35 °C	27,33 °C	30,36 °C
I.I.A.	11,10 °C	12,61 °C	14,33 °C	24,23 °C	27,36 °C	30,53 °C
P.S. + I.C.L.	10,98 °C	12,54 °C	14,34 °C	22,59 °C	24,93 °C	27,26 °C
P.S. + I.E.A.	11,22 °C	12,65 °C	14,27 °C	22,97 °C	25,09 °C	27,18 °C
P.S. + I.I.A.	11,02 °C	12,55 °C	14,28 °C	22,91 °C	25,13 °C	27,29 °C
I.C.L. + I.E.A.	11,46 °C	12,87 °C	14,48 °C	24,03 °C	27,01 °C	30,12 °C
I.C.L. + I.I.A.	11,21 °C	12,73 °C	14,46 °C	23,91 °C	27,04 °C	30,28 °C
I.E.A. + I.I.A.	11,37 °C	12,79 °C	14,39 °C	24,33 °C	27,30 °C	30,36 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A.	11,33 °C	12,77 °C	14,42 °C	22,51 °C	24,62 °C	26,78 °C
P.S. + I.C.L. + I.I.A.	11,12 °C	12,66 °C	14,42 °C	22,45 °C	24,65 °C	26,88 °C
P.S. + I.E.A. + I.I.A.	11,26 °C	12,70 °C	14,33 °C	22,87 °C	24,94 °C	26,99 °C
I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	11,52 °C	12,93 °C	14,55 °C	23,98 °C	26,96 °C	30,10 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	11,39 °C	12,84 °C	14,49 °C	22,38 °C	24,43 °C	26,55 °C

LEGENDA

	INVERNO
	VERÃO
	Melhor estratégia
	Não atende a NBR 15575
	Atende a NBR 15575




Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15575

Na segunda zona bioclimática (Ivaí), as temperaturas mínimas no inverno foram de 12,53°C e máximas de 33,36°C para a configuração base. As estratégias de combinação, como PS + ICL + IEA + IIA observado na Tabela 15, foram eficazes em equilibrar as temperaturas internas, mantendo-as dentro dos limites confortáveis e atendendo aos requisitos da NBR 15575, tanto no inverno quanto no verão.

Tabela 15 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 2

ZONA BIOCLIMÁTICA 2 - IVAÍ	21 de junho			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
	11,20 °C	14,38 °C	20,50 °C	17,00 °C	21,16 °C	27,10 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
C.B.	12,23 °C	15,77 °C	21,20 °C	25,27 °C	28,79 °C	33,36 °C
P.S.	12,18 °C	15,73 °C	21,17 °C	23,63 °C	26,19 °C	29,15 °C
I.C.L.	12,29 °C	15,84 °C	21,31 °C	24,86 °C	28,41 °C	33,03 °C
I.E.A.	12,52 °C	15,82 °C	20,88 °C	25,50 °C	28,76 °C	33,03 °C
I.I.A.	12,32 °C	15,80 °C	21,16 °C	25,33 °C	28,76 °C	33,25 °C
P.S. + I.C.L.	12,23 °C	15,79 °C	21,28 °C	23,11 °C	25,63 °C	28,64 °C
P.S. + I.E.A.	12,43 °C	15,75 °C	20,84 °C	23,69 °C	25,93 °C	28,60 °C
P.S. + I.I.A.	12,25 °C	15,75 °C	21,13 °C	23,57 °C	25,92 °C	28,71 °C
I.C.L. + I.E.A.	12,61 °C	15,92 °C	21,03 °C	25,04 °C	28,35 °C	32,68 °C
I.C.L. + I.I.A.	12,39 °C	15,88 °C	21,31 °C	24,88 °C	28,35 °C	32,89 °C
I.E.A. + I.I.A.	12,53 °C	15,85 °C	20,96 °C	25,48 °C	28,75 °C	33,04 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A.	12,50 °C	15,83 °C	20,98 °C	23,09 °C	25,33 °C	28,04 °C
P.S. + I.C.L. + I.I.A.	12,32 °C	15,83 °C	21,26 °C	22,98 °C	25,33 °C	28,15 °C
P.S. + I.E.A. + I.I.A.	12,44 °C	15,77 °C	20,91 °C	23,60 °C	25,76 °C	28,35 °C
I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	12,63 °C	18,96 °C	21,17 °C	24,99 °C	28,31 °C	32,66 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	12,53 °C	15,87 °C	21,11 °C	22,96 °C	25,12 °C	27,73 °C

LEGENDA

	INVERNO
	VERÃO
	Melhor estratégia
	Não atende a NBR 15575
	Atende a NBR 15575

Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15575

Na terceira zona bioclimática (Londrina), a configuração base apresentou temperaturas mínimas de 16,19°C no inverno e máximas de 34,32°C no verão. As estratégias combinadas, conforme observado na Tabela 16 a seguir, especialmente PS + ICL + IEA + IIA, mostraram um desempenho superior atendendo às exigências da NBR 15575 e proporcionando um conforto térmico ideal durante todo o ano.

Tabela 16 - Temperaturas Internas - Verão e Inverno - Zona Bioclimática 3

ZONA BIOCLIMÁTICA 3 - LONDRINA	21 de junho			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
	12,50 °C	16,27 °C	22,20 °C	17,80 °C	23,54 °C	30,30 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES					
	mín.	méd.	máx.	mín.	méd.	máx.
C.B.	16,19 °C	20,38 °C	26,40 °C	26,50 °C	30,39 °C	34,32 °C
P.S.	16,05 °C	19,48 °C	23,42 °C	25,00 °C	27,97 °C	30,79 °C
I.C.L.	16,19 °C	20,39 °C	26,53 °C	26,00 °C	29,93 °C	33,91 °C
I.E.A.	16,49 °C	20,40 °C	26,15 °C	26,74 °C	30,38 °C	34,07 °C
I.I.A.	16,24 °C	20,38 °C	26,42 °C	26,58 °C	30,39 °C	34,24 °C
P.S. + I.C.L.	16,02 °C	19,45 °C	23,31 °C	24,35 °C	27,35 °C	30,22 °C
P.S. + I.E.A.	16,31 °C	19,49 °C	23,08 °C	25,03 °C	27,75 °C	30,32 °C
P.S. + I.I.A.	16,08 °C	19,46 °C	23,24 °C	24,93 °C	27,76 °C	30,43 °C
I.C.L. + I.E.A.	16,50 °C	20,44 °C	26,32 °C	26,18 °C	29,87 °C	33,63 °C
I.C.L. + I.I.A.	16,24 °C	20,41 °C	26,59 °C	26,02 °C	29,87 °C	33,79 °C
I.E.A. + I.I.A.	16,46 °C	20,41 °C	26,29 °C	26,74 °C	30,39 °C	34,10 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A.	16,28 °C	19,51 °C	23,10 °C	24,31 °C	27,06 °C	29,69 °C
P.S. + I.C.L. + I.I.A.	16,05 °C	19,45 °C	23,24 °C	24,21 °C	27,07 °C	29,80 °C
P.S. + I.E.A. + I.I.A.	16,27 °C	19,47 °C	22,95 °C	24,94 °C	27,60 °C	30,12 °C
I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	16,48 °C	20,45 °C	26,47 °C	26,14 °C	29,83 °C	33,61 °C
P.S. + I.C.L. + I.E.A. + I.I.A.	16,25 °C	19,46 °C	22,98 °C	24,17 °C	26,86 °C	29,44 °C

LEGENDA

INVERNO

VERÃO

Melhor estratégia

Não atende a NBR 15575

Atende a NBR 15575

Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15575

A análise das estratégias de isolamento e proteção solar ao longo de todo o ano, dividida em quatro datas representativas (21 de março, 21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro), nas três zonas bioclimáticas, revela variações significativas na eficácia de cada combinação em relação à NBR 15220, que estabelece temperaturas de conforto entre 17°C e 27°C.

Na primeira zona bioclimática (Curitiba), a configuração base (CB) apresentou desafios para manter as temperaturas dentro do intervalo de conforto estabelecido pela NBR 15220. Em 21 de março, a configuração base conseguiu manter temperaturas mínimas adequadas. No entanto, em 21 de setembro e 21 de dezembro, apenas as temperaturas mínimas estiveram dentro do critério estabelecido pela norma. No inverno (21 de junho), as temperaturas mínimas e máximas ficaram abaixo de 17°C, e no verão (21 de dezembro), as máximas superaram os 27°C. As estratégias que incluíram proteção solar destacaram-se sobre as demais, especialmente a combinação PS + ICL + IEA + IIA, que manteve a menor variação de temperatura dentro do intervalo de conforto durante quase todo o ano, apresentando dificuldades apenas no inverno. Mesmo assim, observa-se na

Tabela 17 que essa combinação conseguiu minimizar os extremos de temperatura melhor do que outras estratégias, embora não tenha sido completamente eficaz no período mais crítico do inverno.

Tabela 17 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 1

ZONA BIOCLIMÁTICA 1 - CURITIBA	21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
	14,60 °C	16,30 °C	17,90 °C	10,20 °C	12,71 °C	15,60 °C	12,50 °C	20,42 °C	26,70 °C	18,20 °C	21,42 °C	27,80 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
C.B.	20,44 °C	21,86 °C	23,93 °C	10,96 °C	12,50 °C	14,27 °C	24,69 °C	28,32 °C	31,35 °C	24,21 °C	27,42 °C	30,63 °C
P.S.	19,61 °C	20,98 °C	22,51 °C	10,89 °C	12,45 °C	14,23 °C	22,43 °C	25,56 °C	27,71 °C	23,00 °C	25,36 °C	27,63 °C
I.C.L.	20,38 °C	21,82 °C	23,81 °C	11,05 °C	12,60 °C	14,37 °C	24,38 °C	28,10 °C	31,19 °C	23,92 °C	27,12 °C	30,40 °C
I.E.A.	20,74 °C	22,13 °C	24,14 °C	11,33 °C	12,73 °C	14,33 °C	24,68 °C	28,16 °C	31,03 °C	24,35 °C	27,33 °C	30,36 °C
I.I.A.	20,58 °C	21,95 °C	23,99 °C	11,10 °C	12,61 °C	14,33 °C	24,60 °C	28,23 °C	31,21 °C	24,23 °C	27,36 °C	30,53 °C
P.S.+I.C.L.	19,44 °C	20,85 °C	22,26 °C	10,98 °C	12,54 °C	14,34 °C	21,97 °C	25,19 °C	27,42 °C	22,59 °C	24,93 °C	27,26 °C
P.S.+I.E.A.	19,87 °C	21,07 °C	22,53 °C	11,22 °C	12,65 °C	14,27 °C	22,19 °C	25,17 °C	27,20 °C	22,97 °C	25,09 °C	27,18 °C
P.S.+I.I.A.	19,67 °C	20,98 °C	22,44 °C	11,02 °C	12,55 °C	14,28 °C	22,14 °C	25,25 °C	27,31 °C	22,91 °C	25,13 °C	27,29 °C
I.C.L.+I.E.A.	20,71 °C	22,10 °C	24,01 °C	11,46 °C	12,87 °C	14,48 °C	24,34 °C	27,91 °C	30,89 °C	24,03 °C	27,01 °C	30,12 °C
I.C.L.+I.I.A.	20,52 °C	21,92 °C	23,86 °C	11,21 °C	12,73 °C	14,46 °C	24,27 °C	27,99 °C	31,06 °C	23,91 °C	27,04 °C	30,28 °C
I.E.A.+I.I.A.	20,74 °C	22,15 °C	24,13 °C	11,37 °C	12,79 °C	14,39 °C	24,57 °C	28,12 °C	31,03 °C	24,33 °C	27,30 °C	30,36 °C
P.S.+I.C.L.+I.E.A.	19,67 °C	20,94 °C	22,24 °C	11,33 °C	12,77 °C	14,42 °C	21,68 °C	24,77 °C	26,88 °C	22,51 °C	24,62 °C	26,78 °C
P.S.+I.C.L.+I.I.A.	19,48 °C	20,86 °C	22,16 °C	11,12 °C	12,66 °C	14,42 °C	21,63 °C	24,83 °C	26,98 °C	22,45 °C	24,65 °C	26,88 °C
P.S.+I.E.A.+I.I.A.	19,84 °C	21,05 °C	22,44 °C	11,26 °C	12,70 °C	14,33 °C	21,96 °C	24,98 °C	26,98 °C	22,87 °C	24,94 °C	26,99 °C
I.C.L.+I.E.A.+I.I.A.	20,72 °C	22,12 °C	24,00 °C	11,52 °C	12,93 °C	14,55 °C	24,21 °C	27,86 °C	30,87 °C	23,98 °C	26,96 °C	30,10 °C
P.S.+I.C.L.+I.E.A.+I.I.A.	19,63 °C	20,94 °C	22,20 °C	11,39 °C	12,84 °C	14,49 °C	21,40 °C	24,53 °C	26,61 °C	22,38 °C	24,43 °C	26,55 °C

x,xxx °C Não atende a NBR 15220
 x,xx °C Atende a NBR 15220

Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15220

Na segunda zona bioclimática (Ivaí), a configuração base apresentou desafios para manter as temperaturas dentro do intervalo de conforto estabelecido pela NBR 15220. Nos dias 21 de março, 21 de setembro e 21 de dezembro, a configuração base não conseguiu manter as temperaturas máximas dentro dos limites. No dia 21 de junho, as temperaturas mínimas ficaram abaixo do critério estabelecido pela norma. A proteção solar destacou-se novamente em relação às estratégias que não possuem esse tipo de isolamento. Contudo, a combinação PS + ICL + IEA + IIA, apresentada na Tabela 18, continuou sendo a estratégia que melhor minimizou os extremos de temperatura, embora não tenha conseguido atingir os limites de critérios da NBR 15220 para a temperatura mínima do inverno (21 de junho) e máxima do verão (21 de dezembro).

Tabela 18 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 2

ZONA BIOCLIMÁTICA 2 - IVAÍ	21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
	15,90 °C	18,81 °C	21,20 °C	11,20 °C	14,38 °C	20,50 °C	14,70 °C	18,69 °C	25,80 °C	17,00 °C	21,16 °C	27,10 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
C.B.	23,51 °C	25,46 °C	28,81 °C	12,23 °C	15,77 °C	21,20 °C	19,55 °C	24,07 °C	30,20 °C	25,27 °C	28,79 °C	33,36 °C
P.S.	22,14 °C	23,37 °C	25,97 °C	12,18 °C	15,73 °C	21,17 °C	18,60 °C	22,16 °C	26,12 °C	23,63 °C	26,19 °C	29,15 °C
I.C.L.	23,41 °C	25,33 °C	28,58 °C	12,29 °C	15,84 °C	21,31 °C	19,40 °C	23,93 °C	30,14 °C	24,86 °C	28,41 °C	33,03 °C
I.E.A.	23,74 °C	25,61 °C	28,63 °C	12,52 °C	15,82 °C	20,88 °C	19,78 °C	24,00 °C	29,82 °C	25,50 °C	28,76 °C	33,03 °C
I.I.A.	23,57 °C	25,50 °C	28,72 °C	12,32 °C	15,80 °C	21,16 °C	19,61 °C	24,06 °C	30,17 °C	25,33 °C	28,76 °C	33,25 °C
P.S.+I.C.L.	21,93 °C	23,12 °C	25,56 °C	12,23 °C	15,79 °C	21,28 °C	18,37 °C	21,92 °C	25,92 °C	23,11 °C	25,63 °C	28,64 °C
P.S.+I.E.A.	22,19 °C	23,29 °C	25,55 °C	12,43 °C	15,75 °C	20,84 °C	18,70 °C	21,95 °C	25,58 °C	23,69 °C	25,93 °C	28,60 °C
P.S.+I.I.A.	22,06 °C	23,22 °C	25,64 °C	12,25 °C	15,75 °C	21,13 °C	18,59 °C	21,99 °C	25,78 °C	23,57 °C	25,92 °C	28,71 °C
I.C.L.+I.E.A.	23,64 °C	25,47 °C	28,40 °C	12,61 °C	15,92 °C	21,03 °C	19,62 °C	23,86 °C	29,77 °C	25,04 °C	28,35 °C	32,68 °C
I.C.L.+I.I.A.	23,47 °C	25,36 °C	28,49 °C	12,39 °C	15,88 °C	21,31 °C	19,45 °C	23,92 °C	30,12 °C	24,88 °C	28,35 °C	32,89 °C
I.E.A.+I.I.A.	23,74 °C	25,60 °C	28,58 °C	12,53 °C	15,85 °C	20,96 °C	19,78 °C	24,02 °C	29,94 °C	25,48 °C	28,75 °C	33,04 °C
P.S.+I.C.L.+I.E.A.	21,92 °C	23,01 °C	25,12 °C	12,50 °C	15,83 °C	20,98 °C	18,47 °C	21,71 °C	25,38 °C	23,09 °C	25,33 °C	28,04 °C
P.S.+I.C.L.+I.I.A.	21,80 °C	22,97 °C	25,21 °C	12,32 °C	15,83 °C	21,26 °C	18,35 °C	21,75 °C	25,58 °C	22,98 °C	25,33 °C	28,15 °C
P.S.+I.E.A.+I.I.A.	22,09 °C	23,16 °C	25,33 °C	12,44 °C	15,77 °C	20,91 °C	18,66 °C	21,86 °C	25,43 °C	23,60 °C	25,76 °C	28,35 °C
I.C.L.+I.E.A.+I.I.A.	23,63 °C	25,45 °C	28,34 °C	12,63 °C	15,96 °C	21,17 °C	19,61 °C	23,87 °C	29,88 °C	24,99 °C	28,31 °C	32,66 °C
P.S.+I.C.L.+I.E.A.+I.I.A.	21,77 °C	22,88 °C	24,87 °C	12,53 °C	15,87 °C	21,11 °C	18,41 °C	21,61 °C	25,21 °C	22,96 °C	25,12 °C	27,73 °C

x,xxx °C Não atende a NBR 15220
 x,xx °C Atende a NBR 15220

Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15220

Na terceira zona bioclimática (Londrina), a configuração base continuou sendo insuficiente para manter as temperaturas dentro do intervalo de conforto da NBR 15220 ao longo do ano. Para o período de 21 de março a estratégia PS + ICL + IEA + IIA foi a única estratégia que conseguiu manter as temperaturas interiores dentro dos limites de conforto térmico estabelecidos pela NBR 15220. Conforme Tabela 19, para os demais períodos, a mesma estratégia manteve temperaturas com variações menores dentre todas as estratégias com mínima de 16,25°C para o mês de junho e máxima de 32,14°C para o mês de setembro.

Tabela 19 - Temperaturas Internas - Conforto Térmico - Zona Bioclimática 3

ZONA BIOLIMÁTICA 3 - LONDRINA	21 de março			21 de junho			21 de setembro			21 de dezembro		
	TEMPERATURAS EXTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
	20,80 °C	23,28 °C	25,60 °C	12,50 °C	16,27 °C	22,20 °C	20,00 °C	26,30 °C	34,70 °C	17,80 °C	23,54 °C	30,30 °C
ESTRATÉGIAS APLICADAS	TEMPERATURAS INTERIORES											
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
	C.B.	26,34 °C	28,31 °C	30,35 °C	16,19 °C	20,38 °C	26,40 °C	27,45 °C	32,47 °C	38,81 °C	26,50 °C	30,39 °C
P.S.	24,99 °C	26,35 °C	27,49 °C	16,05 °C	19,48 °C	23,42 °C	25,74 °C	29,38 °C	33,46 °C	25,00 °C	27,97 °C	30,79 °C
ICL	26,21 °C	28,22 °C	30,31 °C	16,19 °C	20,39 °C	26,53 °C	27,23 °C	32,28 °C	38,70 °C	26,00 °C	29,93 °C	33,91 °C
IEA	26,65 °C	28,47 °C	30,36 °C	16,49 °C	20,40 °C	26,15 °C	27,50 °C	32,25 °C	38,34 °C	26,74 °C	30,38 °C	34,07 °C
IIA	26,42 °C	28,35 °C	30,38 °C	16,24 °C	20,38 °C	26,42 °C	27,46 °C	32,43 °C	38,76 °C	26,58 °C	30,39 °C	34,24 °C
P.S.+ICL	24,72 °C	26,11 °C	27,30 °C	16,02 °C	19,45 °C	23,31 °C	25,38 °C	29,02 °C	33,15 °C	24,35 °C	27,35 °C	30,22 °C
P.S.+IEA	25,08 °C	26,29 °C	27,28 °C	16,31 °C	19,49 °C	23,08 °C	25,58 °C	28,92 °C	32,73 °C	25,03 °C	27,75 °C	30,32 °C
P.S.+IIA	24,93 °C	26,21 °C	27,28 °C	16,08 °C	19,46 °C	23,24 °C	25,59 °C	29,07 °C	33,00 °C	24,93 °C	27,76 °C	30,43 °C
ICL+IEA	26,51 °C	28,37 °C	30,32 °C	16,50 °C	20,44 °C	26,32 °C	27,25 °C	32,03 °C	38,23 °C	26,18 °C	29,87 °C	33,63 °C
ICL+IIA	26,28 °C	28,25 °C	30,35 °C	16,24 °C	20,41 °C	26,59 °C	27,22 °C	32,21 °C	38,65 °C	26,02 °C	29,87 °C	33,79 °C
IEA+IIA	26,64 °C	28,47 °C	30,39 °C	16,46 °C	20,41 °C	26,29 °C	27,50 °C	32,28 °C	38,48 °C	26,74 °C	30,39 °C	34,10 °C
P.S.+ICL+IEA	24,77 °C	26,02 °C	27,08 °C	16,28 °C	19,51 °C	23,10 °C	25,17 °C	28,53 °C	32,39 °C	24,31 °C	27,06 °C	29,69 °C
P.S.+ICL+IIA	24,63 °C	25,95 °C	27,07 °C	16,05 °C	19,45 °C	23,24 °C	25,19 °C	28,67 °C	32,65 °C	24,21 °C	27,07 °C	29,80 °C
P.S.+IEA+IIA	24,99 °C	26,17 °C	27,14 °C	16,27 °C	19,47 °C	22,95 °C	25,48 °C	28,76 °C	32,52 °C	24,94 °C	27,60 °C	30,12 °C
ICL+IEA+IIA	26,50 °C	28,36 °C	30,37 °C	16,48 °C	20,45 °C	26,47 °C	27,21 °C	32,04 °C	38,35 °C	26,14 °C	29,83 °C	33,61 °C
P.S.+ICL+IEA+IIA	24,67 °C	25,88 °C	26,92 °C	16,25 °C	19,46 °C	22,98 °C	25,02 °C	28,33 °C	32,14 °C	24,17 °C	26,86 °C	29,44 °C

x,xx °C Não atende a NBR 15220

x,xx °C Atende a NBR 15220

Nota. Elaborada pelo autor para verificação dos requisitos mínimos para a NBR15220

A adoção das estratégias de construção apresentadas é fundamental para enfrentar os desafios do conforto térmico e da eficiência energética em edificações habitacionais. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento na área de sistemas de energia passiva, destacando a importância de estratégias integradas, como a proteção solar (PS), o isolamento de cobertura e laje (ICL), o isolamento externo nas alvenarias (IEA) e o isolamento interno nas alvenarias (IIA). A combinação de PS + ICL + IEA + IIA mostrou o melhor desempenho em diversas condições climáticas. Esta combinação se destacou por manter a menor variação de temperatura interna, atendendo aos critérios de conforto térmico estabelecidos pelas normas abordadas neste trabalho. A disseminação do conhecimento e a capacitação dos profissionais da construção civil são cruciais para a implementação bem-sucedida dessas estratégias em larga escala. Futuras pesquisas podem ser realizadas para aprimorar essas combinações, com o objetivo de melhorar a proteção e o isolamento na construção, aumentando o conforto térmico e atendendo aos critérios estabelecidos nas normas para a temperatura de conforto. Além disso, podem ser investigadas outras orientações de projeto, focando na verificação de melhorias adicionais

na eficiência energética, como o aproveitamento da iluminação natural e a ventilação cruzada. Essas pesquisas também podem explorar a integração de sistemas passivos e ativos, visando atender melhor às exigências das normas NBR 15575 e NBR 15220, e garantindo conforto térmico e eficiência energética em diversas condições climáticas.

BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR 15220. (2005). Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15220. (2005). Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15220. (2005). Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15575. (2013). Edificações habitacionais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AFONSO, R. D. F. (2022). Avaliação do comportamento térmico de uma cobertura verde em contexto real (Dissertação de mestrado). Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. Repositório da Universidade de Coimbra.

AGOPYAN, V. & JOHN V. M. (2011). O desafio da sustentabilidade na construção civil. São Paulo: Blucher.

ALMEIDA, E., et al. (2022). Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Artigo científico. Recuperado de <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>

AMORIM, C. N. D. (2005). Avaliação ambiental para edifícios aeroportuários: elaboração de indicadores ambientais. Revista de Avaliação Ambiental, 10(5), 2007.

ARAÚJO, M. A. (2008). A moderna construção sustentável. São Paulo: IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Econômica.

ASBEA. (2007). Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes. São Paulo: Prata Desing.

BASF. (2023). CasaE - BASF. Recuperado de <https://www.basf.com/br/pt/we-create-chemistry/creating-chemistry-magazine/resources-environment-and-climate/casae.html>

BOGO, A., et al. (1994). Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Florianópolis: UFSC.

BRASIL. (2001a). Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: Senado Federal.

BRASIL. (2001b). Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 20.dez.2001.

BRITO, M. C., & SILVA, J. A. (2019). Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. *Revista de Ciências da Universidade de Lisboa*, 10(2), 101-120.

CARBONE, M., GAROFALO, G., NIGRO, G., & PIRO, P. (2014). A conceptual model for predicting hydraulic behaviour of a green roof. *Procedia Engineering*, 70, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.030>

CARDOSO, F. F., & ARAUJO, V. M. (2007). Levantamento do Estado da Arte – Canteiro de Obras – Tecnologias para construção habitacional mais sustentável – Projeto FINEP 2386/04. São Paulo: FINEP.

CARLO, J. C., & LAMBERTS, R. (2010). Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, 10(2), 7-26.

CLIMATE DATA ORG. (2021). Climate Campo Mourão. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/campo-mourao-43688/>. Acesso em: 21 abril 2023.

DA SILVA, S. S. F., RAMALHO, Â. M. C., ALVES, A. C., SOUSA, C. M., & SILVA, A. S. L. (2021). Energia eólica e complementaridade energética: Estratégia e desafio para o desenvolvimento sustentável. *Qualitas Revista Eletrônica*, 19(3), 53-72.

EDWARDS, B. (2008). *Guia Básico para a Sustentabilidade*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

ELY, D. F., CASTRO, A. K., SILVA, B. T., & MANGILI, F. B. (2023). Variabilidade Espaço-Temporal Dos Extremos De Precipitação, Da Escala Regional Para A Local. *Geographia Opportuno Tempore Universidade Estadual de Londrina*, 9, 24-38.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2023a). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023: ano base 2022*. Rio de Janeiro: EPE.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2023b). *Balço Energético Nacional 2023: ano base 2022*. Rio de Janeiro: EPE.

FERREIRA, D. M., & AMADO, R. F. (2009). Levantamento e análise de indicadores de sustentabilidade ecológica para propostas urbanísticas. In *CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA AUGM. 2009*.

FILHO, A. L. F., KNISS, C. T. & AGUIAR A. O. (2018). Eficiência energética com base nos critérios PROCEL: Estudo de caso em edifício público. *Holos*, 7, 2-25.

FRANÇA, F. J. G. (2013). A importância do uso da iluminação natural como diretriz nos projetos de arquitetura. *Revista on-line IPOG ESPECIALIZE*, 5(1), 1-21.

FRANÇA, L. F. (2018). *Singular e plural: Estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura bioclimática, eficiência energética e experiência espacial do usuário (Dissertação de mestrado)*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

FROTA, A. B., & SCHIFFER, S. R. (2001). *Manual de Conforto Térmico (5ª ed.)*. São Paulo: Studio Nobel.

FROTA, A., & SCHIFFER, S. R. (2003). Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. São Paulo: Studio Nobel.

GANHÃO, A. M. G. D. (2011). Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação (Tese de doutorado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

GIVONI, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Building*, 18, 37-54.

GONÇALVES, H., & GRAÇA, J. (2004). Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Lisboa: Centro de Eficiência Energética.

IAPAR. (2019). Instituto Agrônomo Do Paraná: Atlas climático do estado do Paraná. Londrina: IAPAR.

INOCÊNCIO, D. A. S. (2012). Construção e Arquitectura Sustentáveis em Cabo Verde: Estudo de Estratégias de Projecto Sustentável (Dissertação de mestrado). Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde.

JIRAU ARQUITETURA. (2019a, julho 19). Habitação Social Wirton Lira. ArchDaily. https://www.archdaily.com.br/br/920210/habitacao-social-wirton-lira-jirau-arquitetura?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects

JIRAU ARQUITETURA. (2019b, junho 19). Sobrados Novo Jardim. ArchDaily. https://www.archdaily.com.br/br/918663/sobrados-novo-jardim-jirau-arquitetura?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects

JOHN, V., & PRADO, R. (2010). Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica.

LAMBERTS, R., OLIVEIRA, M. E., & MOTA, J. R. (2010). Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico (Vol. 1). Universidade Federal de Santa Catarina / LabEEE.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., & PEREIRA, F. O. R. (2014). Eficiência energética na arquitetura (4ª ed.). Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel.

LENGEN, J. V. (2004). Tibá, Tecnologia Intuitiva e Bio Arquitetura, Bason sanitário seco. *Revista de Arquitetura Sustentável*, 4(3), 23-35.

MARTINS, T. A. L., BITTENCOURT, L. S., & KRAUSE, C. M. L. B. (2012). Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: Reflexões sobre o semiárido nordestino. *Ambiente Construído*, 12(2), 59-75.

MARTINS, T. V. (2012). Habitação ecoeficiente para o Vila Viva (Monografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

NEVES, L. D. (2006). Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.

OCHS, F., PEPPER, S., SCHNIEDERS, J., PFLUGER, R., JANETTI, M. B., & FEIST, W. (2011). Monitoring and simulation of a passive house with innovative solar heat pump system. In ISES Solar World Congress, Kassel, Alemanha.

PAPST, A. (1999). Uso de Inércia térmica no clima subtropical: Estudo de caso em Florianópolis – SC (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

PEREIRA, A. M. (2016). Eficiência Energética em Edifícios Históricos – Caso de Estudo da Câmara Municipal. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

PINTO, A., & DIAS, B. (2015). Aquecimento solar passivo: ganhos diretos, indiretos e isolados. *Revista Arquitectura Lusíada*, 7(1), 77-92.

PROCEL (2023). Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. PROCEL SELO: Eficiência Energética em Equipamentos. Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID={A84BD56D-D750-477C-8E20-2BF2D94B4EE2}>. Acesso em: 13 jul. 2024.

PROJETEEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. (2019). Dados Climáticos Do Município De Maringá. Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=PR+-+Maring%C3%A1&id_cidade=bra_pr_maringa.ap.868990_try.1991. Acesso em: 11 de set. 2019.

QUEIROZ, N. T. (2016). Construções sustentáveis na Engenharia Civil e a responsabilidade socioambiental. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 3(6), 255-263.

ROAF, S., CRICHTON, D., & NICOL, F. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change*. Oxford: Architectural Press.

ROMÉRO, M. A., & REIS, L. B. (2012). *Eficiência energética em edifícios*. Barueri: Manole. Série Sustentabilidade. ISBN: 978-85-204-3079-8.

SAMPAIO, K. R. A., & BATISTA, V. (2021). O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, 10(1), e57710112107.

SILVA, A. C. P. S., et al. (2022). Digitalização e eficiência energética no setor de edificações no Brasil: potencial para 2050: premissas e cenários. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*.

TALAMINI, J. P. (2021). Habitação coletiva moderna em São Paulo nas décadas de 30 e 40: Estudos de caso de três edifícios. In *14º Seminário Docomomo Brasil*. Belém, PA, Brasil.

VETTORAZZI, E., RUSSI, M., & DOS SANTOS, J. (2010). A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. *Revista de Arquitetura Sustentável*, 3(2), 45-60.

WEBER, L. G. (2019). Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia: Estudo de caso (Trabalho de conclusão de curso). Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, SC, Brasil.