

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Guilherme Gomes Gabriel

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES
PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ, SC

Araranguá

2023

Guilherme Gomes Gabriel

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES
PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ, SC

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Energia, do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Cilene Rodrigues Madruga

Araranguá

2023

Guilherme Gomes Gabriel

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES
PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ, SC

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Elise Sommer Watzko, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Giuliano Arns Rampinelli, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof.(a) Carla de Abreu D'Aquino, Dr.(a)
Coordenadora do Curso

Prof.(a) Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dr.(a)
Orientador ou Coorientador

Guilherme Gomes Gabriel
Autor

Araranguá, 10 de julho de 2023.

Gabriel, Guilherme
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES
PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ, SC / Guilherme Gabriel ;
orientadora, Kátia Madruga, 2023.
67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em
Engenharia de Energia, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Engenharia de Energia. 3.
Eficiência Térmica em Edificações. 4. Conforto Térmico. I.
Madruga, Kátia . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Energia. III. Título.

Dedico este trabalho ao meu pai, de quem
eu sempre tive orgulho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha avó, Chica, pela imensa contribuição na formação do meu caráter, pelo seu amor incondicional, apoio, incentivo e dedicação da vida toda.

Agradeço a minha mãe, Josiane, por sempre me amar e apoiar, mesmo que a distância, durante toda essa caminhada.

Agradeço aos meus tios, Joana e Júlio, por me ajudarem ao longo de todos esses anos, e por sempre acreditarem no meu potencial.

Agradeço a minha namorada, Bel, por estar ao meu lado nos momentos fáceis e difíceis, e por sempre me apoiar nas empreitadas da vida.

Agradeço a todos os meus amigos, especialmente ao Estevan, Gabriel, Gabriel, Douglas, Arthur e Karin, pelos longos anos de amizade e pelo apoio nas dificuldades da vida e da graduação.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Kátia Madruga, que foi personagem crucial no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina pela oferta de ensino público, gratuito e de qualidade.

E por fim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na minha graduação e na realização deste trabalho.

RESUMO

A eficiência energética tem um papel importante para a redução da extração de recursos naturais e das emissões atmosféricas. Ademais, proporciona a redução de custos. Grande parte do consumo de energia ocorre por meio das edificações. Dentre essas, destacam-se as residências ou edificações unifamiliares. Esse tipo de edificação é bastante comum em municípios como Araranguá, no extremo sul catarinense. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as diretrizes orientadas para eficiência energética em edificações residenciais unifamiliares, propostas pela ABNT NBR 15220 e pelo PROJETEEE, para o município de Araranguá, SC. Para tanto, o estudo foi subdividido em três partes. Primeiramente, foi caracterizada a região de estudo, a fim de levantar a base de dados climatológicos utilizada nas simulações decorrentes. Em seguida, os dados climáticos foram selecionados e foi aplicado o método do ano climático referência, ou *test reference year* (TRY) dentro de um intervalo de dez anos de dados, sendo selecionado o ano de 2019 como o ano referência. Na terceira etapa, foi realizada a avaliação dos dados em diferentes softwares, sendo eles o Analysis BIO, para produção da carta bioclimática e para a avaliação das estratégias bioclimáticas, Analysis SOL-AR, para a avaliação de dados relativos à frequência e orientação de ventos, e de irradiação solar e do metamodelo da INI-R, aplicado a duas edificações referência, para avaliação da eficiência energética. Através das análises realizadas, foi possível observar que o município permanece exposto a elevados períodos de desconforto ao longo do ano. Isso indicou que há uma grande demanda energética para suprir as necessidades promovidas pelo desconforto. Entretanto, esse pode ser amenizado por meio da adoção de estratégias bioclimáticas adequadas. Para os meses mais quentes, conclui-se que a aplicação de estratégias de ventilação cruzada, associadas ao sombreamento e a pintura externa com cores claras, seriam eficientes para a redução das temperaturas no interior das edificações. Para os meses de inverno, as estratégias mais vantajosas seriam a exploração da alta inércia térmica para aquecimento, aliada ao aquecimento solar. As conclusões observadas corroboram aquilo que foi proposto pela NBR e pelo PROJETEEE. Além desses resultados, o estudo possibilitou a elaboração de um painel bioclimático, que pode servir como material de apoio para engenheiros e arquitetos, na elaboração de edificações mais sustentáveis. Pode-se concluir, que há uma ampla gama de estratégias e possibilidades capazes de diminuir a dependência energética do setor residencial em Araranguá, proporcionando conforto térmico e redução dos custos com energia.

Palavras-chave: Estratégias bioclimáticas; Conforto térmico; Residências unifamiliares.

ABSTRACT

Energy efficiency plays an important role in reducing natural resource extraction and air emissions. It also provides cost savings. A large part of energy consumption occurs through buildings. Among these, single-family homes or buildings stand out. This type of building is quite common in municipalities such as Araranguá, in the extreme south of Santa Catarina. In this context, the objective of this work was to evaluate the guidelines for energy efficiency in single-family residential buildings, proposed by ABNT NBR 15220 and PROJETEEE, for the municipality of Araranguá, SC. To this end, the study was subdivided into three parts. First, the study region was characterized in order to raise the climatological database used in the resulting simulations. Then, the climatic data were selected and the test reference year (TRY) method was applied within a ten-year data interval, with 2019 selected as the reference year. In the third step, the data were evaluated in different software, such as Analysis BIO, for the production of the bioclimatic chart and for the evaluation of bioclimatic strategies, Analysis SOL-AR, for the evaluation of data related to wind frequency and orientation, and solar irradiation and the INI-R metamodel, applied to two reference buildings, for energy efficiency evaluation. Through the analysis carried out, it was possible to observe that the municipality remains exposed to high periods of discomfort throughout the year. This indicated that there is a large energy demand to meet the needs promoted by discomfort. However, this can be mitigated by adopting appropriate bioclimatic strategies. For the warmer months, it is concluded that the application of cross-ventilation strategies, associated with shading and external painting with light colors, would be efficient to reduce temperatures inside the buildings. For the winter months, the most advantageous strategies would be the exploitation of high thermal inertia for heating, combined with solar heating. The conclusions observed corroborate what was proposed by the NBR and PROJETEEE. In addition to these results, the study enabled the elaboration of a bioclimatic panel, which can serve as support material for engineers and architects, in the elaboration of more sustainable buildings. It can be concluded that there is a wide range of strategies and possibilities capable of reducing the energy dependence of the residential sector in Araranguá, providing thermal comfort and reducing energy costs.

Keywords: Bioclimatic strategies; Thermal comfort; Single-family homes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carta bioclimática adotada para o Brasil.....	22
Figura 2 – Zona de conforto	23
Figura 3 – Zona de ventilação	23
Figura 4 – Ventilação diurna e noturna	24
Figura 5 – Zona de inércia para resfriamento.....	25
Figura 6 – Zona de resfriamento evaporativo.....	25
Figura 7 – Zona de umidificação	26
Figura 8 – Zona de aquecimento solar.....	27
Figura 9 – Zonas de condicionamento artificial	27
Figura 10 – Zona de sombreamento na carta bioclimática.....	28
Figura 11 – Edificação referência 01.....	34
Figura 12 – Foto edificação referência 01	35
Figura 13 – Edificação referência 02.....	36
Figura 14 – Foto edificação referência 02	36
Figura 14 – Geração do arquivo TRY.....	39
Figura 16 – Carta psicrométrica vazia software Analysis BIO.....	40
Figura 17 – Filtros para visualização dos dados na carta psicrométrica no software Analysis BIO.....	40
Figura 18 – Visualização da carta psicrométrica no software Analysis BIO para o município de Araranguá	41
Figura 19 – Inclusão de nova cidade no software Analysis SOL-AR.....	42
Figura 20 – Inclusão de legendas no software Analysis SOL-AR	43
Figura 21 – Metamodelo da INI-R	43
Figura 22 – Parâmetros ou informações dos ambientes de permanência prolongada (APP).....	44
Figura 23 – Carta psicrométrica para o município de Araranguá gerada pelo software Analysis BIO.....	46
Figura 24 – Carta psicrométrica para os meses de verão Analysis BIO	47
Figura 25 – Carta psicrométrica para os meses de inverno Analysis BIO.....	48
Figura 26 – Carta solar para o município de Araranguá-SC, com visualização das temperaturas para o período de 22 de dezembro a 21 de junho.....	50

Figura 27 – Carta solar para o município de Araranguá-SC, com visualização das temperaturas para o período de 22 de junho a 21 de dezembro.....	51
Figura 28 – Legenda de temperaturas para a carta solar	51
Figura 29 – Rosa-dos-ventos para o município de Araranguá-SC, plotada com dados de velocidades predominantes por direção	53
Figura 30 – Rosa-dos-ventos para o município de Araranguá-SC, plotada com dados de frequência de ocorrência dos ventos.....	53
Figura 31 – Edificação referência 01 modificada.....	55
Figura 32 – Edificação referência 02 modificada.....	56
Figura 33 – Distribuição das temperaturas médias ao longo do ano referência em Araranguá.....	60
Figura 34 – Temperaturas máximas e mínimas diárias para o TRY de Araranguá	61
Figura 35 – Umidade relativa máxima e mínima diária para o TRY de Araranguá.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Absortância por tipo e cor de superfície.....	29
Tabela 2 – Transmitância térmica por tipo de material.....	30
Tabela 3 – Capacidade térmica por tipo de material.....	31
Tabela 4 – Índice de conforto e desconforto por período.....	48
Tabela 5– Comparativo entre a efetividade das estratégias bioclimáticas por período	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cfa	Clima subtropical úmido
CSV	Comma-separated values
CT	Capacidade Térmica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMet	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
L	Leste
LabEEE Santa Catarina	Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina
Leed	Leadership in Energy and Environmental Design
N	Norte
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NE	Nordeste
NO	Noroeste
O	Oeste
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROJETEEE	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
R	Resistência Térmica
S	Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
TRY	Test Reference Year
U	Coefficiente de transferência térmica [W/(m ² K)]
UR	Umidade Relativa

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância
λ	Condutividade térmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL:	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	18
3 REFERENCIAL TEORICO	19
3.1 CONFORTO TÉRMICO	19
3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA EDIFICAÇÃO	19
3.3 CARTA BIOCLIMÁTICA	20
3.4 ZONAS BIOCLIMÁTICAS	21
3.4.1 Zona de conforto	21
3.4.2 Zona de ventilação natural	22
3.4.3 Zona de inércia térmica para resfriamento	23
3.4.4 Zona de resfriamento evaporativo e umidificação	24
3.4.5 Zona de aquecimento solar	25
3.4.6 Zona de condicionamento artificial com isolamento térmico	26
3.4.7 Zona de sombreamento	27
3.5 PROPRIEADES TERMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	28
3.5.1 Absortância.....	29
3.5.2 Condutividade, Resistência e Transmitância Térmica.....	29
3.5.3 Capacidade Térmica.....	30
3.6 ABNT NBR 15220	311
3.7 PROJETEEE	31
3.8 PAINEL BIOCLIMATICO	31
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2 DADOS CLIMÁTICOS.....	32
4.3 EDIFICAÇÕES REFERÊNCIAS.....	34
4.4 SOFTWARES.....	36
4.4.1 Analysis-BIO	36
4.4.2 Analysis SOL-AR.....	37
4.4.3 INI-R.....	378

4.5 PRODUÇÃO E ANÁLISE	38
4.5.1 Geração da Carta Bioclimática.....	38
4.5.1.1 Geração do arquivo TRY.....	38
4.5.1.2 Plotagem da Carta Bioclimática.....	39
4.5.2 Geração da carta solar e da rosa-dos-ventos.....	41
4.5.2.1 Geração do arquivo CSV	41
4.5.2.2 Inclusão da cidade no sistema.....	41
4.5.2.3 Plotagem da Carta Solar	42
4.5.2.4 Plotagem da rosa-dos-ventos	43
4.5.3 Avaliação do desempenho térmico da edificação.....	43
4.6 ELABORAÇÃO DO PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ.....	44
5 RESULTADOS E ANÁLISES.....	45
5.1 CARTA BIOCLIMÁTICA	45
5.2 CARTA SOLAR	48
5.3 ROSA-DOS-VENTOS	51
5.4 AVALIAÇÃO DA EDIFICAÇÃO SEGUNDO AS DIRETRIZES DA ABNT NBR 15220 E DO PROJETEE	514
5.5 DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO.....	57
5.6 DIRETRIZES BIOCLIMÁTICAS PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ.....	57
5.6.1 Ventilação	57
5.6.2 Sombreamento	58
5.6.3 Alta inércia	58
5.6.4 Aquecimento solar passivo.....	58
5.6.5 Pintura do envoltório	60
5.7 PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ.....	59
6 CONCLUSÃO.....	62
7 REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A – PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ	66

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de edificações é dividido em quatro grupos: o de edificações residenciais, industriais, comerciais e de serviços. O setor é responsável pelo consumo de metade de toda a energia elétrica disponível, sendo o segmento de das edificações residenciais o maior responsável por esta demanda. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2021 as residências brasileiras consumiram aproximadamente 26,5% da energia elétrica nacional (53% da energia consumida pelo setor de edificações), e por conta desse alto consumo de eletricidade, é que o setor possui o maior potencial de eficácia elétrica. Entre 2015 e 2020, a PROCEL evitou o consumo de 29,25 GWh de energia em edificações, através do Selo Procel Edifica, e ainda promove a economia de cerca de 20,3TWh por ano, com o selo para equipamentos de refrigeração. (EPE,2022)

Dentre os tipos de edificações residenciais existentes, destacam-se as residências unifamiliares, que consistem em habitações independentes, projetadas para acomodar uma única família (BRASIL, 2021). Essas casas podem variar em tamanho, estilo e arquitetura, desde pequenas casas de uma única planta até mansões luxuosas com múltiplos andares. Uma residência unifamiliar é uma opção popular para muitas famílias, pois oferece maior controle sobre o espaço habitacional, maior privacidade e a possibilidade de personalizar a casa de acordo com as preferências individuais.

O crescente desenvolvimento social, aliado a redução do preço das tecnologias e da construção de edificações inadequadas para o clima tem fomentado a aquisição de aquecedores e de aparelhos de ar-condicionado. Isso contribui para agravar a situação energética nacional. Dados indicam que o consumo de energia elétrica por condicionadores de ar no setor residencial aumentou cerca de 237% entre 2012-2017, atingindo 18,7 TWh (EPE, 2018). Valer ressaltar que as diferenças sociais e econômicas nos distintos estados brasileiros afetam o consumo de energia (CORREIA-SILVA, RODRIGUES, 2016).

Com cerca de 202 habitantes por quilometro quadrado, destaca-se neste estudo o município de Araranguá localizado no extremo sul do estado de Santa Catarina. O município apresenta uma baixa densidade populacional, quando comparado com grandes centros urbanos. Entre os fatores que determinam essa

característica, destaca-se a estrutura urbanística da cidade, caracterizada por amplos bairros residências, compostos por moradias unifamiliares e pequenos comércios. (IBGE, 2023) Frente ao exposto, a pesquisa realizada neste trabalho teve como objetivo analisar e propor diretrizes orientadas para eficiência energética em edificações residenciais unifamiliares, para o município de Araranguá, SC.

1 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

O objetivo geral deste trabalho é avaliar diretrizes orientadas para eficiência energética em edificações residenciais unifamiliares, para o município de Araranguá, SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Coletar dados sobre as temáticas da presente pesquisa para embasar as análises.
- Produzir e analisar a carta bioclimática do município de Araranguá.
- Analisar duas edificações referências município de Araranguá.
- Avaliar as diretrizes para eficiência energética em habitações residenciais unifamiliares, no município de estudo, segundo as diretrizes da ABNT NBR 15220-3.
- Elaborar o Painel Bioclimático para o município de Araranguá.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONFORTO TÉRMICO

Estudos definem o conforto térmico como estado em que o corpo realiza as trocas de calor necessárias para que seu organismo com o ambiente tenha um bom funcionamento, despendendo o mínimo de esforço (FROTA e SCHIFER, 2001)

Outras investigações apontam que o conceito de conforto térmico se refere ao “estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda” (ANSI/ASHRAE 55-2017, 2017). De forma que esse, está situado no campo subjetivo, e depende, além de fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam a troca de calor com o meio, como o balanço térmico entre o corpo e o ambiente, enquanto os fatores fisiológicos determinam como o corpo reage a exposição a determinada condição térmica. Por último, os fatores psicológicos se relacionam com as diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo. (LAMBERTS, 2016)

Portanto, para que se atinja o conforto térmico, é necessário que haja uma combinação adequada de variáveis pessoais e ambientais. Atualmente, os projetistas contam com programas computacionais que auxiliam na correta avaliação do conforto térmico dos ambientes, garantindo assim o bem-estar daqueles que estiverem no ambiente.

3.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA EDIFICAÇÃO

A eficiência energética em uma edificação pode ser entendida como a capacidade de possibilitar conforto térmico, visual e acústico, com um baixo consumo de energia. Consequentemente, pode-se dizer que um edifício é mais eficiente que outro, quando este proporciona uma mesma condição ambiental, a um custo inferior de energia. (LAMBERTS et al, 2014)

Em 1998, o Governo Federal, em parceria com o INMETRO, instituiu o Selo Procel INMETRO de desempenho, que avalia equipamentos e edificações com base nos seus índices de eficiência energética. (PROCEL, 2006a)

Em decorrência da crise energética de 2001, quando o país passou por um intenso racionamento de energia, surgiu o Procel Info e o Procel Edifica, com a missão

de promover o uso eficiente da energia elétrica, além da divulgação dos conceitos e práticas bioclimáticas, por meio da inserção do tema conforto ambiental e eficiência energética nos cursos de Arquitetura e Engenharia, formando uma nova geração de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável do País. (PROCEL, 2018; PROCEL, 2006b)

Atualmente, além do selo Procel, existem outras certificações importantes, que avaliam a eficiência energética das edificações em diversos aspectos, como o Selo Casa Azul, coordenado pela Caixa Econômica federal, e o selo Leed (Leadership in Energy and Environmental Design), que constitui uma certificação internacional, presente em quase 190 países. (CAIXA, 2022; USGBC, 2023)

3.3 CARTA BIOCLIMÁTICA

Por volta de 1960, os irmãos Olgyay aplicaram estratégias de bioclimatologia em um projeto arquitetônico, visando o conforto térmico humano e o baixo consumo de energia, dando origem à expressão "Projeto Bioclimático". Além das contribuições na arquitetura, os irmãos desenvolveram um diagrama que propõe estratégias para a adaptação de edificações ao clima, a partir de condições climáticas externas. Em 1969, Givoni criou um novo diagrama bioclimático, corrigindo as limitações do diagrama idealizado por Olgyay ao se basear nas temperaturas internas do edifício. O diagrama de Givoni era traçado sobre uma carta psicrométrica convencional, e ficou conhecido como carta bioclimática.

Bogo e outros (1994) analisaram as metodologias de vários autores, entre eles Olgyay (1968), Givoni (1992), Givoni e Milne (1979), Szokolay (1987) e Watson & Labs (1983) a fim de selecionar a carta bioclimática a ser adotada para o Brasil. Os autores concluíram que o diagrama de Givoni (1992) é o mais adequado para as condições climáticas do Brasil. Esse demonstrado na Figura 1:

Figura 1 – Carta bioclimática adotada para o Brasil



Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.4 ZONAS BIOCLIMÁTICAS

O zoneamento bioclimático é baseado na subdivisão da carta bioclimática em zonas que definem estratégias passivas de aquecimento solar e resfriamento. A divisão do território brasileiro em oito zonas foi resultante da análise de dados climáticos obtidos entre 1931 a 1990. Cada zona indica uma estratégia que pode ser adequada para um determinado clima, com possibilidade de se combinarem estratégias, a fim de obter um melhor resultado, as quais serão descritas na sequência.

As 8 diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, de acordo com LAMBERTS *et al.* (2014) são:

3.4.1 Zona de conforto

A zona de conforto (Figura 2) consiste na região na qual as pessoas, no interior de um determinado ambiente, se sintam confortáveis em maior probabilidade. Em países em desenvolvimento, o estado de conforto pode ser atingido mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%) e de temperatura (entre 18 e 29°C) (GIVONI,1992). Para ambientes com temperatura próxima a 18°C, é recomendado evitar a presença de vento, enquanto que para ambientes com temperaturas próximas dos 29°C, a exposição à radiação solar pode causar excesso de calor.

Figura 2 – Zona de conforto



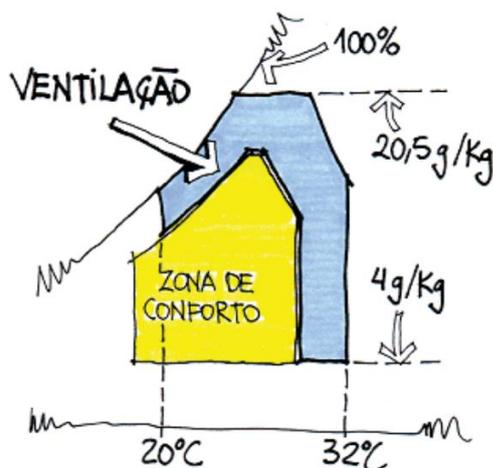
Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.4.2 Zona de ventilação natural

Nos casos onde a temperatura no interior do ambiente ultrapassar os 29°C, ou a umidade relativa for superior a 80% (ilustrado em azul, Figura 3), a ventilação natural pode oferecer uma melhora na sensação de refrescamento.

Em ambientes de clima quente e úmido, a ventilação cruzada é a estratégia mais simples a ser adotada, entretanto, a passagem das massas de ar quente pelo interior dos ambientes implicará em uma variação de temperatura proporcional às variações do ambiente exterior, podendo proporcionar um efeito contrário ao desejado, ao aumentar os ganhos térmicos por convecção.

Figura 3 – Zona de ventilação



Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

Para ambientes onde a temperatura diurna é superior aos 29°C e a umidade relativa é inferior a 60% (ilustrado em azul claro, Figura 3), uma outra estratégia de ventilação pode ser utilizada: o resfriamento convectivo noturno. A técnica é principalmente utilizado em regiões áridas, onde a temperatura ao longo do dia se aproxima dos 36°C e a temperatura noturna se situa por volta de 20°C. Em ambientes com essas características, é interessante reduzir a temperatura da edificação durante a noite, permitindo que ela se mantenha fresca ao longo do dia.

Figura 4 – Ventilação diurna e noturna

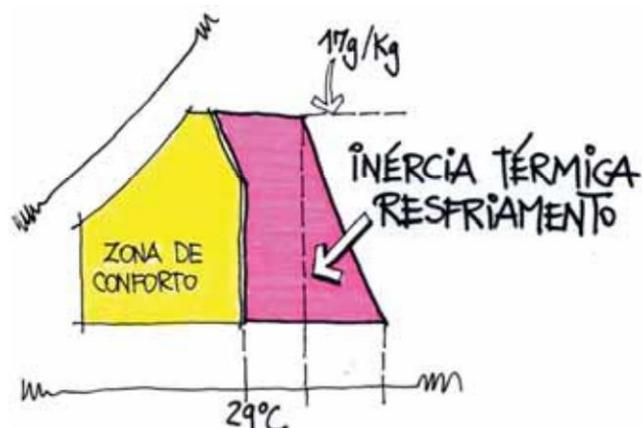


Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.4.3 Zona de inércia térmica para resfriamento

A estratégia utilizada para ambientes nesta zona (Figura 5) visa reduzir a amplitude térmica do interior com relação ao exterior da edificação, evitando assim picos de temperatura. As edificações que se utilizam desta estratégia bioclimática, tendem a armazenar o calor do dia na estrutura da própria edificação, devolvendo-o ao exterior somente à noite, quando as temperaturas externas diminuem. Além disso, a estrutura que é resfriada à noite, é capaz de se manter resfriada durante boa parte do dia.

Figura 5 – Zona de inércia para resfriamento

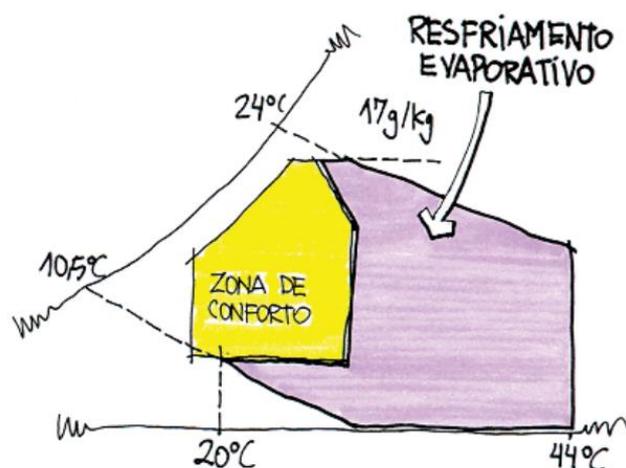


Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.4.4 Zona de resfriamento evaporativo e umidificação

As típicas fontes de água encontradas nos jardins árabes são exemplos perfeitos da utilização das estratégias sugeridas por esta zona (Figura 6). O resfriamento evaporativo e a umidificação consistem em se aproveitar da redução de temperatura proporcionada pela evaporação da água ou pela evapotranspiração das plantas, enquanto, simultaneamente, se aumenta a umidade relativa do ar ambiente.

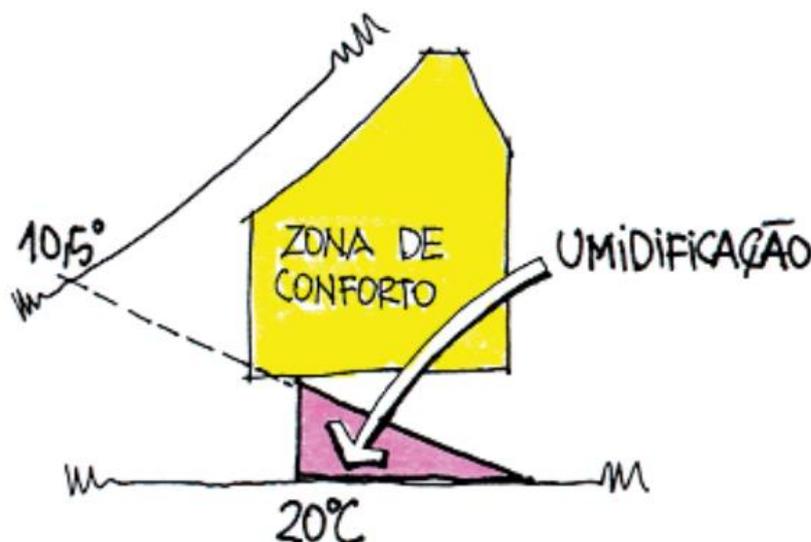
Figura 6 – Zona de resfriamento evaporativo



Fonte: Lamberts *et al.* (2014).

A zona de umidificação (Figura 7) descreve regiões onde a temperatura do ar é inferior aos 27°C e a umidade é muito baixa. Nesses ambientes, a utilização de técnicas de umidificação do ar pode melhorar a sensação de conforto, ainda que estas produzam um efeito de resfriamento evaporativo indesejável.

Figura 7 – Zona de umidificação



Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

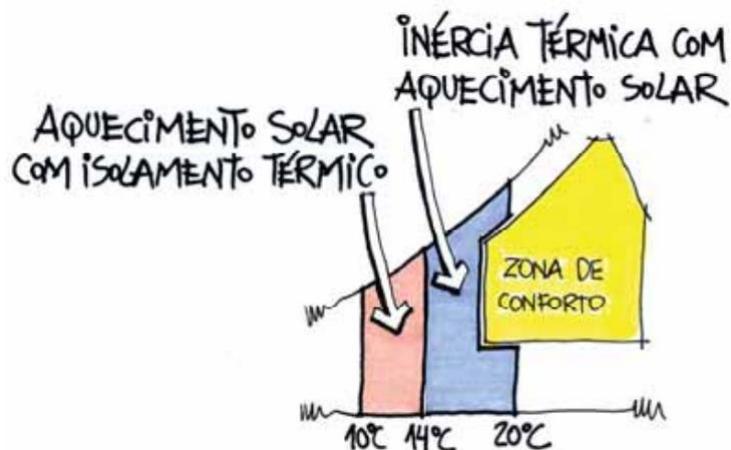
3.4.5 Zona de aquecimento solar

Para edificações situadas em regiões onde a temperatura ambiente varia entre 10°C a 20°C (ilustrado em azul e vermelho, Figura 8), a utilização de estratégias de aquecimento solar são as mais adequadas para se estabelecer o conforto.

Em ambientes onde a temperatura exterior se situa entre 10,5°C e 14°C (ilustrado em vermelho, Figura 8), é recomendada a utilização de isolamento térmico nas edificações para evitar a perda de calor para o exterior. Além do isolamento, a edificação deve explorar alternativas para o aquecimento solar dos ambientes internos, como a utilização de superfícies envidraçadas orientadas ao sol e aberturas reduzidas nas orientações menos favoráveis.

Em ambientes onde a temperatura do exterior varia entre 14°C e 20°C (ilustrado em azul, Figura 8), e as perdas de calor para o ambiente são reduzidas, pode-se utilizar a inércia térmica em paralelo ao aquecimento solar passivo. Dessa maneira, o calor adquirido ao longo do dia pode ser armazenado por mais tempo no interior da edificação.

Figura 8 – Zona de aquecimento solar

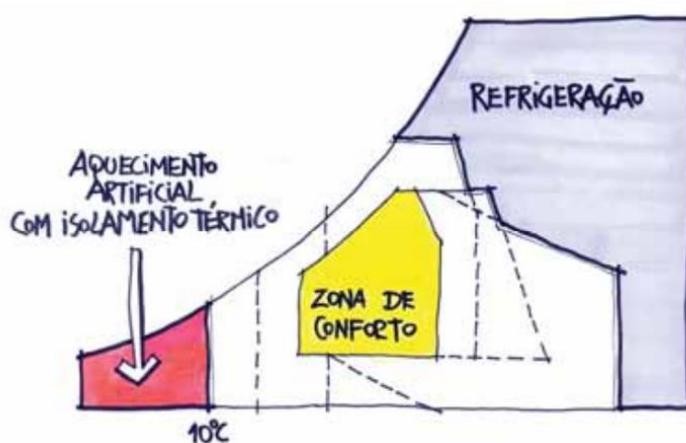


Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.4.6 Zona de condicionamento artificial com isolamento térmico

Em regiões de clima mais severo, as condições ambientais podem atingir níveis muito além daqueles onde é possível a aplicação de sistemas passivos de aquecimento e resfriamento. Nestes casos, quando a temperatura de bulbo seco for superior a 44°C e a de bulbo úmido superior a 24°C (ilustrado em azul, Figura 9), é recomendado o uso de sistemas de condicionamento de ar artificiais para se atingir o conforto. Em locais mais frios, com temperaturas inferiores a 10,4°C (ilustrado em vermelho, Figura 9), as estratégias de aquecimento solar não são suficientes para garantir o conforto, sendo necessário assim, o uso de sistemas de aquecimento artificial.

Figura 9 – Zonas de condicionamento artificial



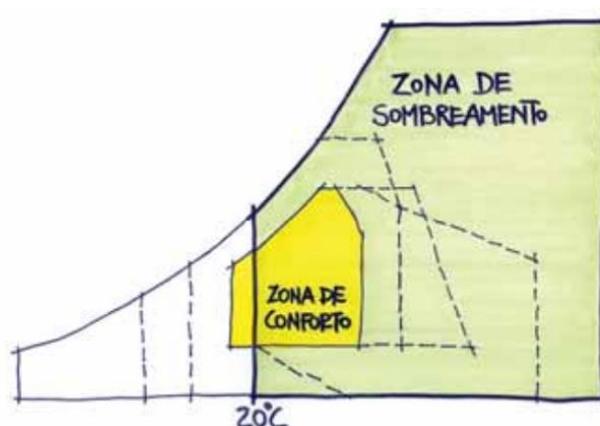
Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

Convém lembrar que a utilização de sistemas de condicionamento artificial de ar não limita a possibilidade de utilização de sistemas passivos de condicionamento. Sendo aconselhável, sempre que possível, a utilização destas estratégias em paralelo para minimizar a dependência de energia elétrica.

3.4.7 Zona de sombreamento

Buscar o abrigo de uma sombra em um dia quente, é quase como um instinto natural. A utilização da estratégia de sombreamento, é uma das mais tradicionais, sendo amplamente utilizadas em países de clima quente. Esta estratégia deve ser utilizada sempre que a temperatura do ar for superior aos 20°C (ilustrado em verde, Figura 10), até mesmo nos momentos onde a carta bioclimática indicar conforto térmico. Entre as principais formas de se obter sombreamento, podemos citar o uso de anteparos solares ou brises, beirais de telhados, persianas, venezianas além da orientação adequada do projeto e do uso de vegetação.

Figura 10 – Zona de sombreamento na carta bioclimática



Fonte: LAMBERTS *et al.* (2014).

3.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

As propriedades térmicas dos elementos construtivos desempenham um papel fundamental no conforto térmico e na eficiência energética das edificações. Essas propriedades referem-se à capacidade dos materiais de transferir, armazenar ou resistir ao fluxo de calor. Entre os principais parâmetros utilizados para descrever

essas propriedades estão: a absorvência, condutividade, resistência, transmitância e a capacidade térmica, estando estes, descritos na sequência.

3.5.1 Absorvência

Uma parcela de toda a radiação incidente em uma superfície é absorvida pela mesma, entretanto, nem todas as superfícies absorvem radiação na mesma proporção. A absorvência ou absorvência (α), é a propriedade que define a capacidade de um material absorver mais ou menos radiação, e é definida principalmente por sua cor. Os materiais escuros absorverão a maior parte da radiação incidente, enquanto um material claro absorverá apenas uma fração dessa. A parcela absorvida da radiação por certo material aquecerá o mesmo, e será transmitida através deste. A Tabela 1 apresenta uma tabela com as absorvências de diferentes cores e materiais. (ABNT, 2005a; LAMBERTS *et al*, 2014)

Tabela 1 – Absorvência por tipo e cor de superfície

Tipo de Superfície		α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25
Caiação nova		0,12 / 0,12
Concreto aparente		0,65 / 0,80
Telha de barro		0,75 / 0,80
Tijolo aparente		0,65 / 0,80
Reboco claro		0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98
Vidro comum de janela		Transparente
Pintura	Branca	0,2
	Amarela	0,3
	Verde claro	0,4
	"Alumínio"	0,4
	Verde escuro	0,7
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

Fonte: Adaptação de (LAMBERTS *et al*, 2014).

3.5.2 Condutividade, Resistência e Transmitância Térmica

A condutividade térmica (λ) é uma propriedade que representa a capacidade de um certo material em conduzir mais ou menos calor por unidade de tempo. Já a resistência térmica (R) consiste na capacidade do material em resistir à passagem do

calor. A resistência térmica é inversamente proporcional à condutividade térmica, mas aumenta conforme aumenta a espessura do material. (ABNT, 2005a; LAMBERTS *et al*, 2014)

A transmitância térmica pode ser entendida como a taxa de transferência de calor através de um material, e é dada pelo inverso da resistência térmica. A transmitância é uma das variáveis mais importantes na avaliação do desempenho dos envelopes construtivos, pois é através dela que se pode avaliar e comparar o comportamento de um material frente a transmissão de calor. A Tabela 2 apresenta uma tabela com as transmitâncias térmicas de diferentes materiais. (ABNT, 2005a; LAMBERTS *et al*, 2014)

Tabela 2 – Transmitância térmica por tipo de material

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)		
Paredes	Tijolo 6 furos esp. 12,5cm	2,39		
	Tijolo 6 furos esp. 17,5cm (deitado)	2,08		
	Tijolo 8 furos rebocado esp. 12,5cm	2,49		
	Tijolo 4 furos rebocado esp. 12,5cm	2,59		
	Tijolo maciço rebocado 12cm	4,04		
	Tijolo maciço rebocado 26cm	3,57		
Janelas	Vidro comum 3mm	2,45		
Coberturas	Laje concreto 10cm + fibrocimento	Verão - não ventilado	5,79	
		Verão - bem ventilado	2,04	
		Inverno - não ventilado	2,04	
	Laje concreto 10cm + cerâmica	Inverno- bem ventilado	2,86	
		Verão - não ventilado	3,89	
		Verão - bem ventilado	2,04	
		Inverno - não ventilado	2,04	
		Inverno- bem ventilado	3,89	
		Verão - não ventilado	2,00	
	Forro pinus 1cm + fibrocimento	Verão - bem ventilado	2,00	
		Inverno - não ventilado	2,79	
		Inverno- bem ventilado	3,75	
		Verão - não ventilado	2,01	
		Forro pinus 1cm + cerâmica	Verão - bem ventilado	2,01
			Inverno - não ventilado	2,79
	Inverno- bem ventilado		3,75	
	Forro pinus 1cm + fibrocimento + alumínio polido	Verão - não ventilado	1,11	
		Verão - bem ventilado	1,11	
Inverno - não ventilado		2,04		
	Inverno- bem ventilado	3,75		

Fonte: Adaptação de (LAMBERTS *et al*, 2014).

3.5.3 Capacidade Térmica

A capacidade térmica (CT) de um material pode ser definida como sua maior ou menor capacidade de reter calor. Um material com elevada capacidade térmica

demanda uma grande quantidade de energia para variar a temperatura de seus componentes em um grau de temperatura. Essa propriedade é importante para a determinação da inércia térmica de um ambiente. A Tabela 3 apresenta uma tabela com as capacidades térmicas de diferentes materiais. (ABNT, 2005a; LAMBERTS *et al*, 2014)

Tabela 3 – Capacidade térmica por tipo de material

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)
Paredes	Tijolo 6 furos esp. 12,5cm + argamassa 2,5cm interna e externa	155
	Bloco de concreto esp. 14cm + argamassa 2,5cm interna e externa	192
	Tijolo cerâmico maciço esp. 6cm	158
	Parede simples de pinus esp. 2,5cm	15
	Parede simples de angelim esp. 2,5cm	37
	Parede dupla de pinus esp. 2,5 + câmara de ar esp. 1cm	21
Coberturas	Forro madeira esp. 1cm + câmara de ar + cerâmica	26
	Forro PVC esp. 1cm + câmara de ar + cerâmica	21
	Laje pré-moldada cerâmica esp. 12cm	167
	Laje pré-moldada EPS esp. 12cm	132

Fonte: Adaptada de (Bogo, 2003)

3.6 ABNT NBR 15220

A NBR 15220 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a norma que trata do desempenho térmico das edificações brasileiras. A norma é subdividida em cinco partes, sendo sua terceira parte, a responsável por determinar os zoneamentos bioclimáticos do país, assim como as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, para cada um deles. (ABNT,2005b)

Segundo a NBR, o Brasil é subdividido em 8 zonas bioclimáticas. Cada zona recebe um conjunto de diretrizes construtivas, que promovem o conforto nas edificações. As diretrizes tratam de aspectos como: presença e tamanho de aberturas para ventilação, necessidade de insolação ou de sombreamento, tipo de cobertura e envoltório, nível de isolamento térmico, além da aplicação de outras estratégias bioclimáticas. (ABNT,2005b)

3.6 PROJETEÉE

O Projeteée ou Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, é uma plataforma de soluções de eficiência energética online, desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente (mme) em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que visa servir como ferramenta de apoio para diversos tipos de profissionais, como engenheiros e arquitetos. (PROJETEE, 2023)

Com dados de mais de 400 cidades brasileiras, a plataforma apresenta diretrizes orientadas à aplicação de estratégias bioclimáticas e de componentes construtivos adequados a região de interesse. (PROJETEE, 2023)

3.7 PAINEL BIOCLIMÁTICO

O painel bioclimático consiste em um instrumento de apoio para engenheiros e arquitetos, que visa facilitar a análise bioclimática e a tomada de decisões relativas ao projeto arquitetônico, respeitando as necessidades do usuário e ao clima local. No painel, constam informações como: Frequência e orientação dos ventos nas diferentes estações do ano, incidência de radiação ao longo dos meses, indicadores de temperatura e umidade relativa, além dos apontamentos ideais para uma construção eficiente. (LAMBERTS *et al*, 2014)

3 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Araranguá está situado na mesorregião do sul catarinense, a aproximadamente 176 km da capital, Florianópolis, com latitude: 28° 56' 8" S e longitude: 49° 29' 11" W, a uma altitude de 9m. (CIDADE-BRASIL,2016)

A cidade possui cerca de 69.493 habitantes, de acordo com a estimativa do IBGE de 2021, e uma área de 301,819 km². Segundo a classificação de Koppen, Araranguá possui um clima do tipo Cfa ou Subtropical Úmido Mesotérmico, com temperaturas médias registradas de 20 °C. (IBGE, 2021; WREGGE, 2012; GARSCHAGEN, 2000)

Segundo a ABNT NBR 15220-3, o município de Araranguá se encaixa na zona bioclimática 2, e recebe as seguintes orientações para o estabelecimento do conforto:

- Aberturas para ventilação médias;
- Sombreamento das aberturas, com entrada de sol durante o inverno;
- Parede leve;
- Cobertura leve e isolada;
- Aplicação de estratégias de ventilação cruzada nos meses de verão;
- Aquecimento da edificação nos meses de inverno;
- Promoção de estratégias de inércia térmica nos meses de inverno.

A norma ainda trás como nota, que o condicionamento passivo pode ser insuficiente para os períodos mais frios do ano.

Já o PROJETEEE, apresenta as como diretrizes, a aplicação das seguintes estratégias:

- Inércia térmica para aquecimento;
- Ventilação natural;
- Sombreamento;
- Aquecimento solar passivo.

4.2 DADOS CLIMÁTICOS

O primeiro passo na execução de um projeto consiste na avaliação das possibilidades, em busca das melhores estratégias, através de simulações. A maioria das simulações têm como objetivo testar possibilidades de projeto alternativas contra dados de períodos relativamente curtos que caracterizem as condições climáticas típicas ou extremas para um local em questão. (CLARKE, 2001)

Dentre possíveis as variáveis encontradas nas simulações, as mais importantes são relacionadas aos dados climáticos da região. No Brasil e no mundo, são utilizadas diversas fontes de dados climáticos, entre elas, o Test Reference Year (TRY) ou Ano climático de referência, que avalia um período de dez anos, em busca daquele que mais se aproxima da Normal Climatológica. (CARLO; LAMBERTS, 2005)

O TRY representa o conjunto de dados de um ano típico, com 8760 h, selecionado a partir da eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer somente um ano, que servirá como base para simulações de desempenho térmico de edificações e para o cálculo de consumo energético. (STAMPER, 1997)

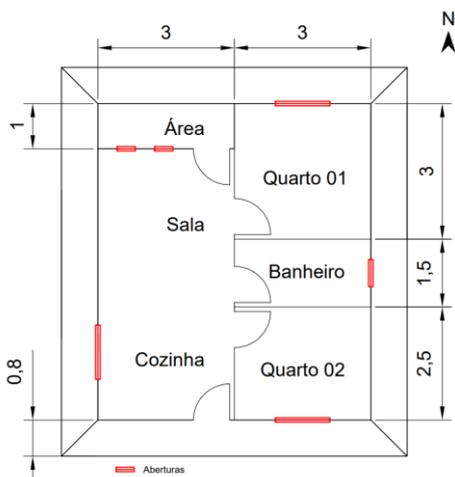
Através desses arquivos climáticos é possível criar situações de referência para estudos paramétricos, cujo intuito é a otimização de estratégias e sistemas aplicados às edificações.

Os dados climáticos utilizados nas simulações foram selecionados a partir da base de dados fornecida no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMet). Para a seleção dos dados foi utilizado o método TRY, sendo avaliados 10 anos de dados climáticos (2011 – 2021) e selecionado o ano de 2019 como ano referência para o estudo.

4.3 EDIFICAÇÕES REFERÊNCIAS

Neste trabalho, foram utilizadas duas edificações distintas como parâmetro referência para as análises de desempenho térmico. A edificação referência 01 (Figura 11 e 12) consiste em uma casa popular feita inteiramente de madeira, amplamente encontrada em bairros mais humildes, no município de Araranguá. A edificação tem parede em madeira de pinus simples, com 2,5cm de espessura, sem pintura, cobertura em telha de fibrocimento e forro em madeira. As áreas de permanência permanente são: o quarto 1, quarto 2 e sala/ cozinha, com respectivamente 9,00m², 7,50m² e 18,00m². A única área de permanência transitória é o banheiro com 4,5m².

Figura 11 – Planta da edificação referência 01



Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 – Foto edificação referência 01



Fonte: Madeireira CL

Estão listados abaixo os valores utilizados para as propriedades térmicas dos elementos construtivos da edificação referência 01. (BOGO, 2003; BRASIL, 2023)

$$\alpha_{\text{cobertura}} = 0,46$$

$$U_{\text{cobertura}} = 2,02 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ cobertura}} = 25 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_{\text{piso}} = 2,97 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ piso}} = 28 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

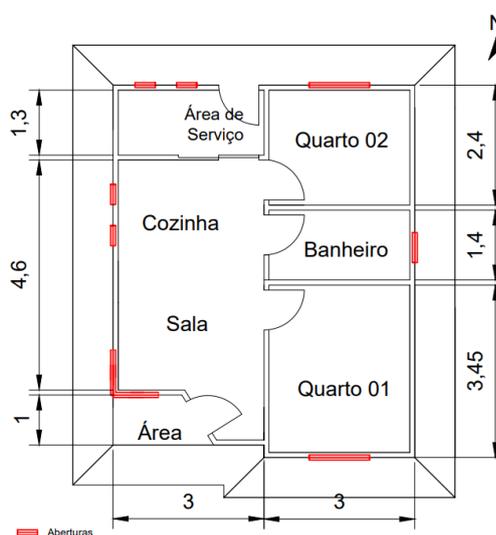
$$\alpha_{\text{parede externa}} = 0,6$$

$$U_{\text{parede externa}} = 2,97 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ parede externa}} = 28 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

A edificação referência 02 (Figura 12 e 13), trata-se de uma construção de alvenaria, muito comum nos bairros de classe média. A residência é composta por paredes de tijolo cerâmico coberta por argamassa na face interna e externa e pintura em tom crepúsculo, possui cobertura em telhado cerâmico com cor natural e forro em gesso. As áreas de permanência permanente são: o quarto 1, quarto 2 e sala/ cozinha, com respectivamente $9,38\text{m}^2$, $6,44\text{m}^2$ e $14,60\text{ m}^2$. Já as áreas de permanência transitória, são: O banheiro e área de serviço com $3,92\text{m}^2$ e $3,71\text{ m}^2$, respectivamente.

Figura 13 – Edificação referência 02



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 – Foto edificação referência 01



Fonte: Google Maps.

Estão listados abaixo os valores utilizados para as propriedades térmicas dos elementos construtivos da edificação referência 02. (BRASIL, 2023)

$$\alpha_{\text{cobertura}} = 0,8$$

$$U_{\text{cobertura}} = 1,94 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ cobertura}} = 37 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_{\text{piso}} = 3,7 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ piso}} = 220 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$\alpha_{\text{parede externa}} = 0,65$$

$$U_{\text{parede externa}} = 2,13 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ parede externa}} = 155 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

4.4 SOFTWARES

4.4.1 Analysis-BIO

Para produção e análise da carta bioclimática do município de Araranguá foi utilizado o software Analysis-BIO (versão 2.2). Esse foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE). O programa permite que sejam analisados dados climáticos horários em arquivos dispostos em diferentes formatos, como: try (*.try), csv (*.csv) ou xls (*.xls), e plota estes dados diretamente sobre a carta bioclimática de Givoni (1992).

A ferramenta fornece também a visualização das oito zonas bioclimáticas brasileiras (descritas na seção 3) em conjunto com os dados horários plotados sobre a carta. Isso permite uma rápida análise visual das condições térmicas ao longo do ano e da aplicabilidade de determinadas estratégias bioclimáticas para resolver problemas relacionados ao frio, calor e umidade do ar.

Além das ferramentas de análise visual, o Analysis-BIO entrega ao final, um relatório contendo informações como: Percentual de horas em estado de conforto ou desconforto ao longo do ano, razão do desconforto e as melhores estratégias para mitigar essa sensação.

4.4.2 Analysis SOL-AR

O Analysis SOL-AR (versão 6.2), desenvolvido pelo LabEEE, é uma ferramenta que projeta dados de radiação e temperatura para uma determinada latitude, no formato de carta solar. O software ilustra a distribuição das temperaturas ao longo do dia e do ano, através de um esquema de cores diferenciadas e ainda permite que sejam simulados os efeitos de determinados anteparos nas edificações.

Além das análises de dados solares, o programa possibilita, ainda, a obtenção da rosa-dos-ventos da região de estudo, através da análise de dados relativos à velocidade e direção do vento, encontrados nos arquivos de dados climáticos. A rosa-dos-ventos produzida pelo sistema, é capaz de ilustrar dados relativos à frequência e velocidade dos ventos em oito direções: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

O Analysis SOL-AR vem originalmente acompanhado com uma base de dados referente a 14 capitais. Entretanto, é possível inserir dados relativos a novas cidades, por meio de arquivos climáticos com extensão CSV. (BORTOLI; SARAMAGO, 2013)

4.4.3 INI-R

A INI-R ou Instrução Normativa do Inmetro para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais, especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à sua eficiência energética. Neste trabalho, foi utilizado um metamodelo da INI-R, desenvolvido pelo PBE EDIFICA, para mensurar o desempenho energético das edificações frente às mudanças sugeridas.

O metamodelo avalia diversas características construtivas da edificação, tais como: tamanho, orientação, materiais construtivos, aberturas e sombreamento. Após a análise, o software entrega uma série de resultados, entre eles o consumo necessário para aquecimento e resfriamento da edificação ao longo de um ano.

4.5 PRODUÇÃO E ANÁLISE

4.5.1 Geração da Carta Bioclimática

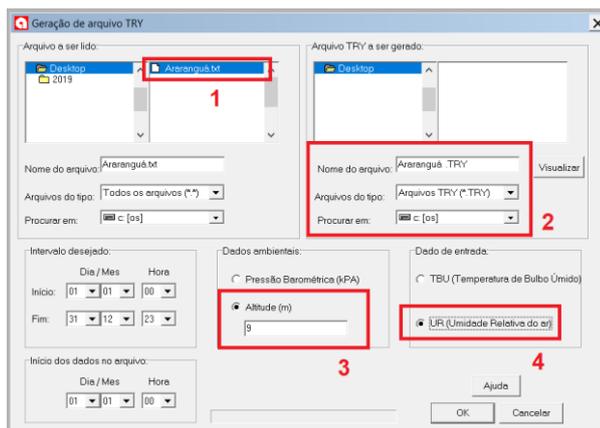
Para produzir e analisar a carta bioclimática para o município de Araranguá foi empregado o software Analysis-BIO. Os dados foram inseridos através de um arquivo TRY (gerado pelo próprio programa). Para confecção do arquivo TRY, foram utilizados dados climáticos no formato csv (*.csv), disponibilizados pelo INMet para o município de estudo no ano referência.

4.5.1.1 Geração do arquivo TRY

O primeiro passo utilizado para confecção do arquivo TRY, foi a seleção dos dados relativos a TBS e UR do ano referência. Os dados nesse tipo de arquivo não devem conter espaçamentos ou vírgulas separando os fatores climáticos (CARLO; LAMBERTS, 2005). Dessa forma, o arquivo deve ser configurado de forma que as vírgulas sejam retiradas. Após os ajustes, os dados selecionados foram transferidos para um editor de texto com extensão *.txt, formato aceito pelo Analysis BIO para a confecção do TRY.

Em seguida, no Analysis BIO, selecionou-se a opção “Gerar TRY” no menu “Ferramentas”. Na janela aberta (Figura 15), foi selecionado primeiramente o arquivo de texto produzido, na caixa “Arquivo a ser lido” (1). Na sequência, foi selecionada uma “pasta destino” para o arquivo TRY a ser produzido bem como o seu ‘nome’ (2). Por último, foi inserida a altitude do município (3), e marcado o campo “UR (Umidade Relativa do Ar)” (4). Os demais dados não necessitaram ser ajustados. Após, a opção “OK”, o processo de confecção do arquivo TRY foi concluído.

Figura 15 – Geração do arquivo TRY

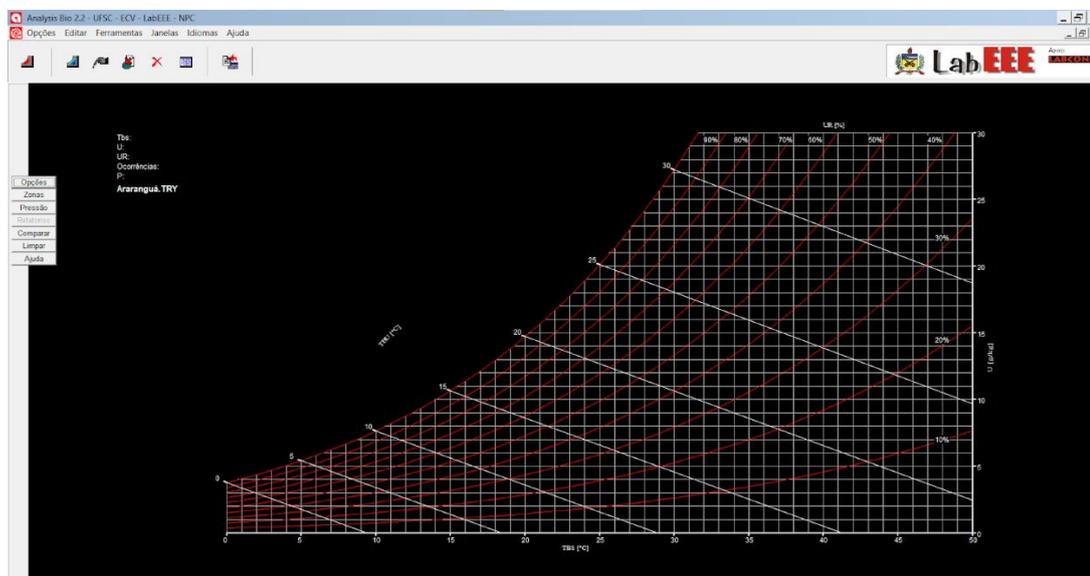


Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

4.5.1.2 Plotagem da Carta Bioclimática

Com o arquivo TRY gerado, iniciou-se então o processo de plotagem da carta bioclimática. Na janela inicial do programa, por meio do menu “Opções”, selecionou-se a opção “AnáliseBioclimatica-TRY”. Após selecionar o modelo de análise, o software foi redirecionado para a tela que apresenta a carta psicrométrica vazia (Figura 16).

Figura 16 – Carta psicrométrica vazia software Analysis BIO

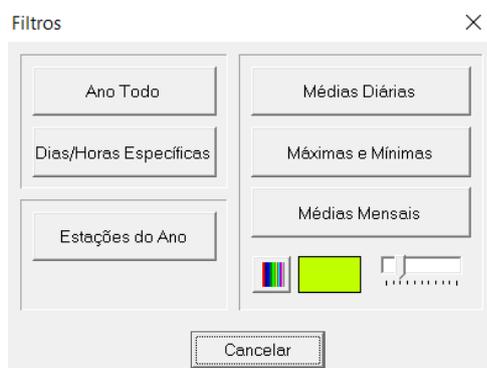


Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

Através do menu flutuante a esquerda, foram configuradas as informações apresentadas na carta. Ao selecionar o primeiro botão deste menu, foi exibida uma janela com filtros para a visualização dos dados (Figura 17). Após selecionar a opção

“Ano Todo”, foram projetadas as informações referentes ao ano referência sobre a carta.

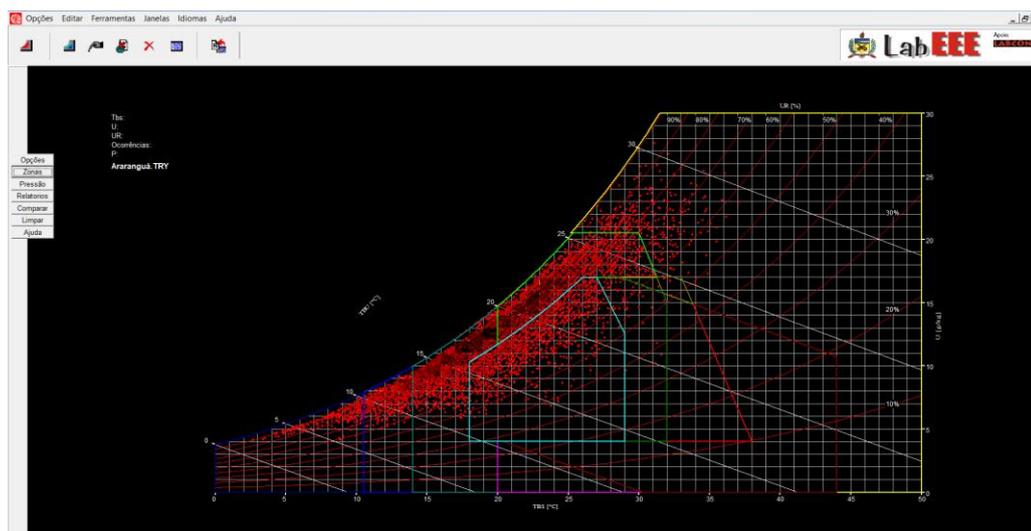
Figura 17 – Filtros para visualização dos dados na carta psicrométrica no software Analysis BIO



Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

A fim de se melhorar ainda mais a exibição das informações sobre a carta, foi selecionada a opção “Zonas” do menu flutuante, para exibir as diferentes zonas climáticas sobre a carta, e proporcionar uma melhor visualização das estratégias. A carta bioclimática final gerada pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 – Visualização da carta psicrométrica no software Analysis BIO para o município de Araranguá



Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

4.5.2 Geração da carta solar e da rosa-dos-ventos

Para a plotagem da carta solar e da rosa-dos-ventos para o município de Araranguá, utilizou-se o programa Analysis SOL-AR. Entretanto, o software realiza a leitura apenas de arquivos no formato *.csv, com as informações ordenadas de uma forma específica. Em razão disso, elaborou-se um arquivo compatível, com base nos dados obtidos do INMet.

4.5.2.1 Geração do arquivo CSV

O primeiro passo para a confecção do arquivo csv foi o download do modelo de entrada de dados do software, disponibilizado pelo LabEEE no site do sistema. A partir do modelo, foram identificados os dados climáticos necessários, que foram posteriormente importados do arquivo base para o arquivo csv, e ordenados conforme indicado.

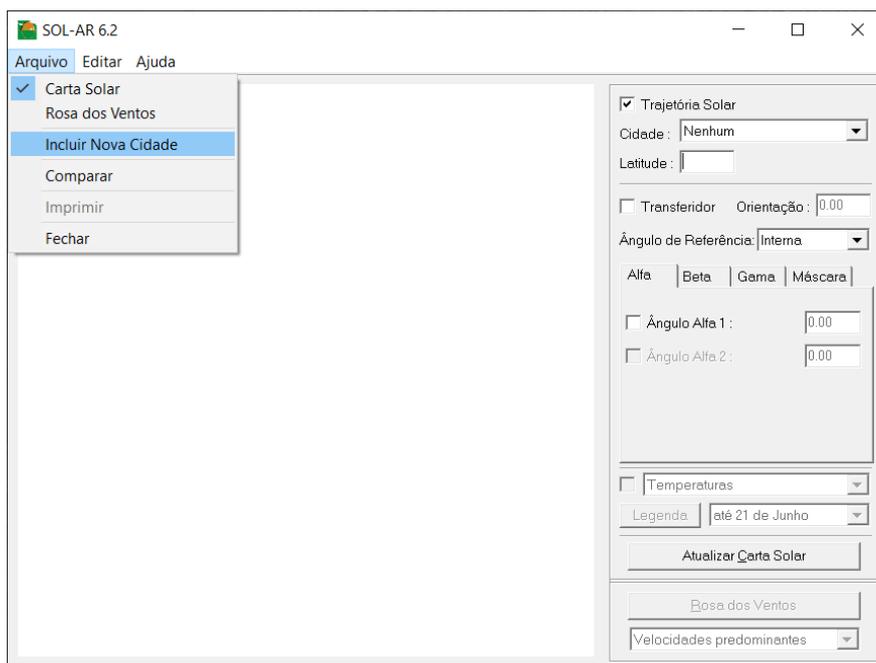
Dentre os dados solicitados pelo modelo para a confecção do arquivo csv, foram utilizados na elaboração da rosa-dos-ventos os dados relativos ao mês, dia e hora do ano referência e também a velocidade média e direção do vento das 8760 horas que compõem este mesmo ano.

Além dos dados obtidos através do arquivo base, fornecido pelo INMet, foram inseridas as coordenadas geográficas da região de estudo, a fim de possibilitar que fossem gerados os dados de irradiação solar.

4.5.2.2 Inclusão da cidade no sistema

Com o arquivo CSV pronto, iniciou-se o processo de plotagem das informações. Na janela inicial do programa, através do menu “Arquivo”, foi possível realizar a inserção de dados referentes a novas localidades no sistema, por meio da opção “Incluir Nova Cidade” (Figura 19). Após inserida no sistema, a nova localidade fica disponível junto às demais, no menu “Cidade” situado à direita.

Figura 19 – Inclusão de nova cidade no software Analysis SOL-AR

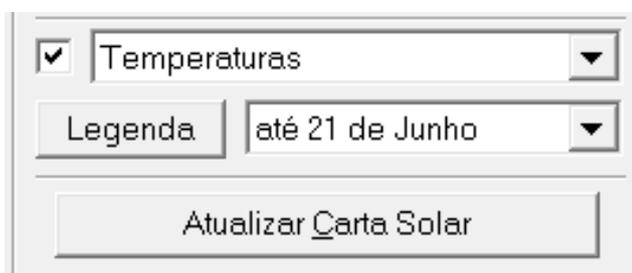


Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

4.5.2.3 Plotagem da Carta Solar

A fim de avaliar as informações relativas à carta solar no programa, foi selecionada primeiramente a cidade de interesse, através do menu “Cidade”. Na sequência, foi habilitada a caixa de opção relativa às legendas (Figura 20), que ilustra as variações de temperatura sobre a carta.

Figura 20 – Inclusão de legendas no software Analysis SOL-AR



Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

Posteriormente, foram avaliados os diferentes cenários de temperatura fornecidos pela carta solar, para diferentes épocas do ano.

4.5.2.4 Plotagem da rosa-dos-ventos

Através do menu “Arquivo” foi selecionada a opção “rosa dos ventos”, que altera as informações apresentadas na janela do sistema para aquelas relativas aos ventos da localidade em análise. Posteriormente, foram avaliados os diferentes cenários fornecidos pela rosa-dos-ventos, nos quesitos frequência de ocorrência e velocidade.

4.5.3 Avaliação do desempenho térmico da edificação

O metamodelo da INI-R realiza as simulações com base em uma descrição detalhada das configurações e propriedades da edificação.

O primeiro passo da avaliação é a escolha da cidade de interesse, e a inserção dos dados relativos à área total dos ambientes de permanência transitória (APT) e do número de ambientes de permanência prolongada (APP) (Figura 21).

Figura 21 – Metamodelo da INI-R

Edificações Residenciais
Método simplificado - Envoltória
Edificações condicionadas artificialmente
e ventiladas naturalmente

Voltar para a página inicial

Parâmetros gerais da UH

Cidade Ararangua - SC

Não encontrou sua cidade?

Área total dos APTs [m²]

Número de APPs

Fonte: Adaptada do metamodelo da INI-R (2023).

Para cada APP informada, o metamodelo abre 59 campos relativos aos detalhes e propriedades das áreas (Figura 22). Entre as propriedades solicitadas, destacam-se os parâmetros construtivos relacionados aos materiais construtivos, como: absorvância, transmitância térmica e capacidade térmica.

Figura 22 – Parâmetros ou informações dos ambientes de permanência prolongada (APP)

Parâmetros ou informações dos ambientes de permanência prolongada (APP)

	APP 0	APP 1	APP 2
Uso do ambiente	<input type="checkbox"/> Dormitório	<input type="checkbox"/> Dormitório	<input type="checkbox"/> Dormitório
Coefficiente de eficiência energética do sistema de AC para refrigeração [CEEr]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Coefficiente de eficiência energética do sistema de AC para aquecimento [CEEa]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Condição de exposição do piso	<input type="checkbox"/> Contato com o solo	<input type="checkbox"/> Contato com o solo	<input type="checkbox"/> Contato com o solo
Condição de exposição da cobertura	<input type="checkbox"/> Exposto ao sol e ao vento	<input type="checkbox"/> Exposto ao sol e ao vento	<input type="checkbox"/> Exposto ao sol e ao vento
Área de piso do APP [m ²]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Pé-direito [m]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Possui veneziana?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro [°]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Área efetiva de abertura para ventilação	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Transmitância térmica do elemento transparente [W/m ² K]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Fator solar do elemento transparente - FS	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Transmitância térmica do piso [W/m ² K]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Capacidade térmica do piso [kJ/(m ² .K)]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Absortância da parede externa	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Transmitância térmica das paredes externas [W/m ² K]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Capacidade térmica das paredes externas [kJ/(m ² .K)]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Absortância da cobertura	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Transmitância térmica da cobertura [W/m ² K]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Capacidade térmica da cobertura [kJ/(m ² .K)]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal de paredes em contato com APT [m]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal de paredes e portas em contato com o dormitório [m]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal de paredes e portas em contato com a sala [m]	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito - AHSd [°]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada esquerdo - AHSe [°]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de obstrução do entorno AVE [°]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de sombreamento da fachada - AVSfac [°]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²): Norte	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito - AHSd [°]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada esquerdo - AHSe [°]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de obstrução do entorno AVE [°]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de sombreamento da fachada - AVSfac [°]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²): Sul	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito - AHSd [°]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada esquerdo - AHSe [°]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de obstrução do entorno AVE [°]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de sombreamento da fachada - AVSfac [°]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²): Leste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito - AHSd [°]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada esquerdo - AHSe [°]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de obstrução do entorno AVE [°]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Ângulo vertical de sombreamento da fachada - AVSfac [°]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Externa [m]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Dim. Horizontal Par. Interna [m]: Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Área de superfície dos elementos transparentes [m ²): Oeste	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Porta Interna: Norte	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Porta Interna: Sul	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Porta Interna: Leste	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Porta Interna: Oeste	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não

Fonte: Adaptada do metamodelo da INI-R (2023).

Com todos os campos preenchidos corretamente, o botão “calcular” dá início ao processamento dos dados e aos resultados da análise.

4.6 ELABORAÇÃO DO PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ

Para a estruturação do painel bioclimático para o município de Araranguá, foram considerados diversos dados referentes à temperatura e umidade relativa no

ano referência, além dos resultados gerados pelos softwares Analysis BIO e Analysis SOL-AR.

O layout utilizado foi baseado naqueles disponibilizados no Anexo 4 da apostila de desempenho térmico de edificações, produzida pelo LabEEE (LAMBERTS, 2016), enquanto a edição gráfica foi realizada no software CANVA. O Painel Bioclimático para o município de Araranguá encontra-se no Apêndice I deste trabalho.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

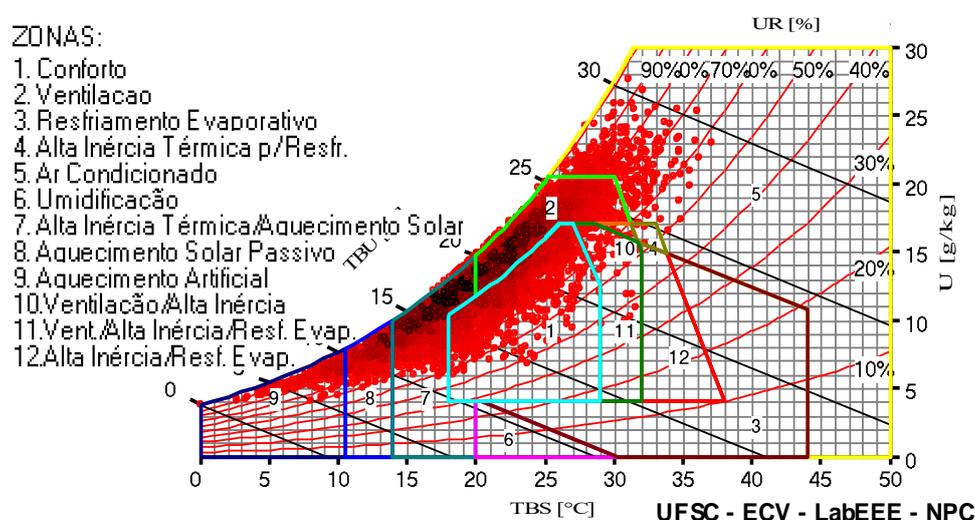
Por meio das simulações realizadas, foram obtidos dois tipos de resultados:

- 1) Resultados parciais, relacionados ao software Analysis BIO e Analysis SOL-AR, e
- 2) Avaliação dos efeitos dos resultados parciais, quando associados, na eficiência energética de uma edificação.

5.1 CARTA BIOCLIMÁTICA

O software Analysis BIO permitiu a leitura da carta psicrométrica para o município de Araranguá no ano de 2019 (Figura 23). Com apoio de uma série de filtros, a verificação dos problemas e das soluções recomendadas para cada zona da carta foi facilitada.

Figura 23 – Carta psicrométrica para o município de Araranguá gerada pelo software Analysis BIO

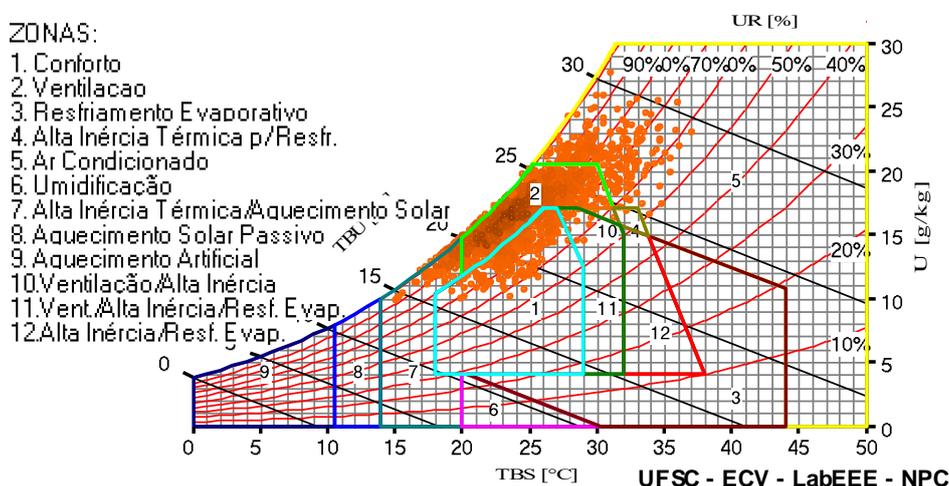


Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

Foi observado que a quase totalidade dos dados, está distribuída nas linhas de umidade relativa superior aos 50%, havendo uma maior concentração dos dados para a porção que compreende uma umidade relativa superior aos 80%. A elevada concentração de água no ar, atua diretamente na capacidade da pele em evaporar o suor, contribuindo para a sensação de desconforto no ambiente (LAMBERTS, 2016).

Nota-se uma quantidade significativa de pontos englobados pelas zonas de ventilação nos meses de verão (Figura 24), principalmente no segmento entre 20°C e 25°C, para uma umidade relativa superior aos 80%, indicando a necessidade de utilização de estratégias de ventilação cruzada, e indo de acordo com as diretrizes propostas pela NBR 15220-3 e pelo PROJETEIII. O uso da ventilação cruzada nessas situações é vantajoso pois auxilia na remoção da umidade dos ambientes, melhorando a sensação de conforto. Entretanto, deve-se atentar ao uso desta medida em dias mais quentes, quando a temperatura do ar for superior a 32°C, pois os ganhos térmicos proporcionados por convecção tornam esta estratégia indesejável (LAMBERTS *et al*, 2014).

Figura 24 – Carta psicrométrica para os meses de verão Analysis BIO



Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

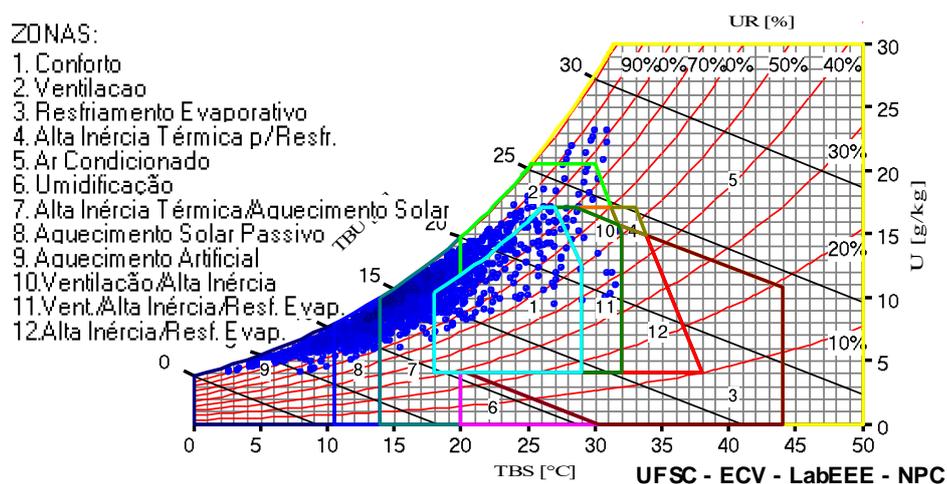
Além da ventilação, em temperaturas superiores a 20°C, é imprescindível a utilização de técnicas de sombreamento, a fim de reduzir o aquecimento dos ambientes internos e das paredes. Para os dias mais quentes do verão, é indicada a

utilização de sistemas de condicionamento de ar para atingir o conforto, pois as estratégias bioclimáticas, isoladamente, não serão capazes de promovê-lo.

Nos meses de inverno (Figura 25), a distribuição dos pontos é mais acentuada nas zonas que compreendem as temperaturas inferiores a 20°C, de tal forma que uma mancha escura de pontos se estende sobre as regiões de maior UR.

Esses resultados, indicam a necessidade de utilização de técnicas de aquecimento solar para os meses mais frios, bem como de materiais construtivos que contribuam para o aumento da inércia térmica da edificação, assim como para sua eficiência, e estão de acordo com as diretrizes propostas pela NBR 15220-3 e pelo PROJETEEE.

Figura 25 – Carta psicrométrica para os meses de inverno Analysis BIO



Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

Mesmo com a utilização de técnicas que dispensam o uso de energia elétrica para promover o conforto térmico, nos dias mais frios do inverno, haverá necessidade de utilização de sistemas artificiais de aquecimento para garantir um ambiente agradável.

Por fim, o software emitiu um relatório para o período avaliado, que foi organizado em duas tabelas, que expressam: os índices de conforto e desconforto para as estações do ano e para o ano por inteiro (Tabela 4) e o índice de aplicação de cada estratégia para os mesmos períodos (Tabela 5).

Tabela 4 – Índice de conforto e desconforto por período

Sensação		Ano Todo (%)	Primavera (%)	Verão (%)	Outono (%)	Inverno (%)
Conforto		18,4	21,8	12,9	27,7	11,2
Desconforto	Calor	38,2	41,9	79,4	27,1	7,11
	Frio	42,8	36,2	7,6	45,2	81,7

Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

Tabela 5 – Comparativo entre a efetividade das estratégias bioclimáticas por período

Estratégias	Ano Todo (%)	Primavera (%)	Verão (%)	Outono (%)	Inverno (%)
Ventilação	34,3	39,3	67,4	25,1	5,93
Ventilação/ Alta Inércia	0,0799	0,185	0,137	0	0
Ventilação/ Alta Inércia/ Resfriamento Evaporativo	0,753	1,2	0,87	0,226	0,725
Alta Inércia Térmica p/ Resfriamento	0,0342	0,0926	0,0458	0	0
Alta Inércia/ Resfriamento Evaporativo	0	0	0	0	0
Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	32,1	31,9	7,6	41,3	47,3
Aquecimento Artificial	3,04	0,324	0	0,453	11,2
Aquecimento Solar Passivo	7,65	3,98	0	3,35	23,1
Ar Condicionado	3,56	1,16	10,9	1,72	0,435
Resfriamento Evaporativo	0	0	0	0	0
Umidificação	0	0	0	0	0
Sombreamento	53,5	59,5	92,2	48,6	14,1

Fonte: Adaptada do software Analysis BIO (2022).

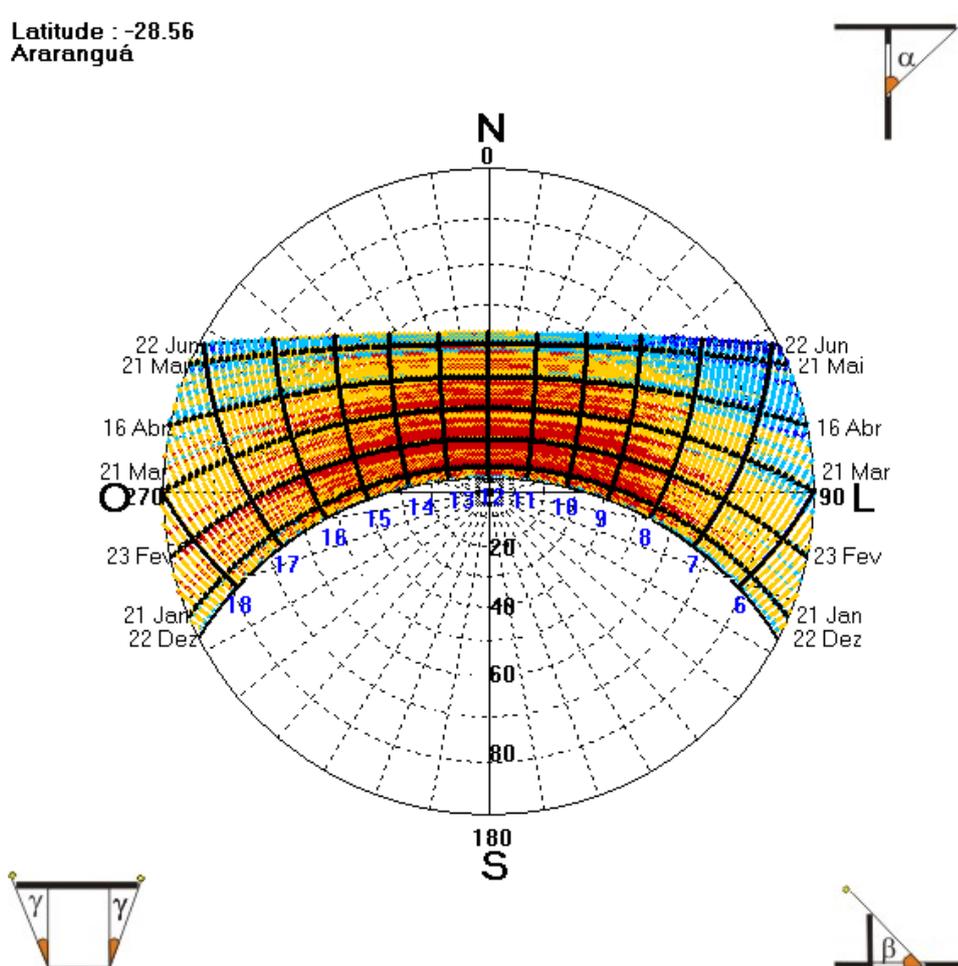
É possível observar através da Tabela 5, que as estratégias mais indicadas para o município de Araranguá, segundo o Analysis BIO são: Ventilação, Alta Inercia Térmica/ Aquecimento Solar, Aquecimento Solar Passivo e Sombreamento, estando essas, de acordo com as diretrizes propostas pela NBR 15220-3 e pelo PROJETEEE.

5.2 CARTA SOLAR

O software Analysis SOL-AR permitiu a visualização das cartas solares relativas à temperatura para o município de estudo. Os dados foram plotados em duas cartas distintas, sendo uma relativa ao período mais quente, de 22 de dezembro a 21 de junho (Figura 26), e outra ao período mais frio, de 22 de junho a 21 de dezembro (Figura 27), estando estas delimitadas pelo solstício de verão (22 de dezembro) e pelo solstício de inverno (21 de junho). A leitura das cartas deve ser baseada no esquema de cores representado na Figura 28.

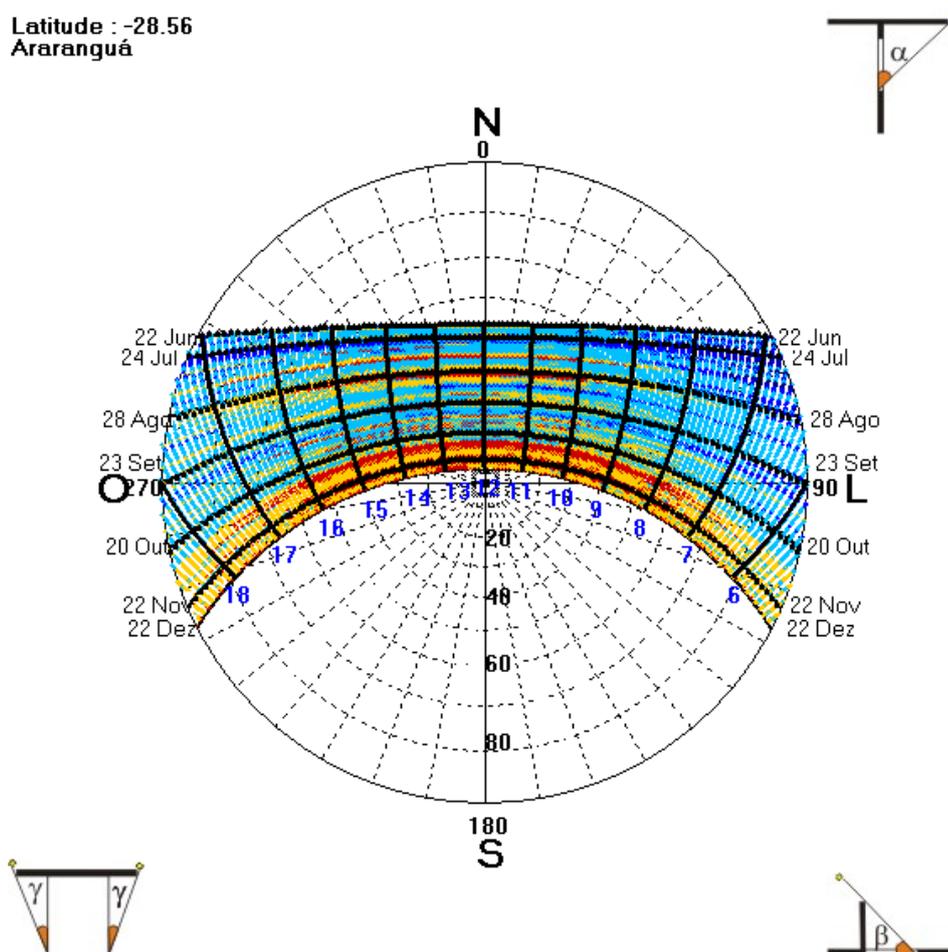
Figura 26 – Carta solar para o município de Araranguá-SC, com visualização das temperaturas para o período de 22 de dezembro a 21 de junho

Latitude : -28.56
Araranguá



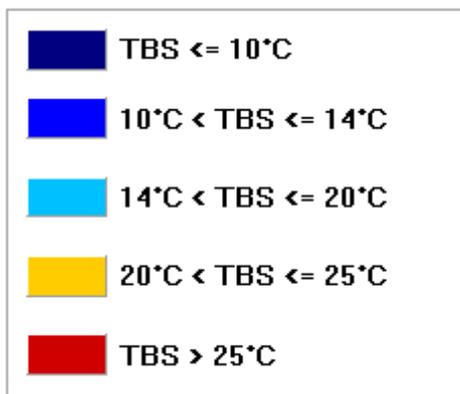
Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

Figura 27 – Carta solar para o município de Araranguá-SC, com visualização das temperaturas para o período de 22 de junho a 21 de dezembro



Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

Figura 28 – Legenda de temperaturas para a carta solar



Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

O município de Araranguá está situado na latitude $28^{\circ} 56' 8''$ S, por conta disso a trajetória solar na carta apresenta uma curvatura em toda sua extensão, sendo esta menos acentuada nas proximidades do solstício de inverno, ficando mais acentuada conforme se aproxima do solstício de verão. As diferenças na curvatura da carta significam que os dias têm durações diferentes ao longo do ano, sendo a duração do dia proporcional ao comprimento da curva realizada pelo sol na carta.

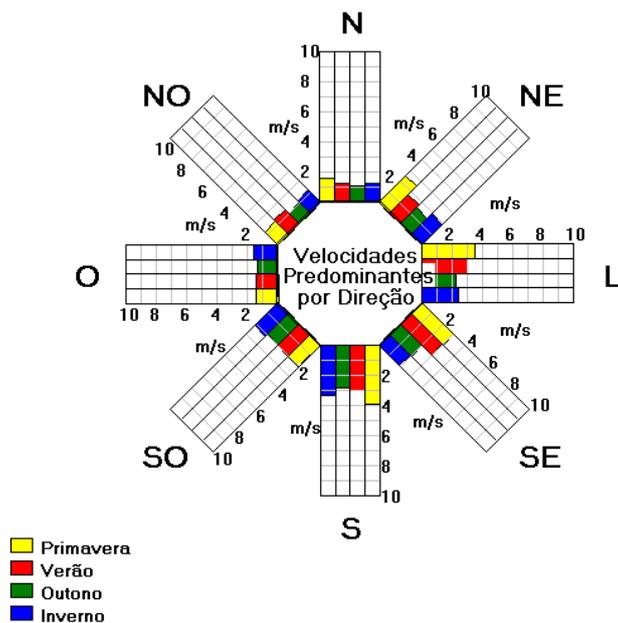
Na Figura 26, percebe-se uma ampla região em vermelho, entre as 8:00 e as 16:00, dos dias mais próximos do solstício de verão, indicando os períodos de maior temperatura (mais de 25° C) e também os períodos onde há a maior necessidade de uso de estratégias como sombreamento. Nas proximidades do dia 22 de junho, as temperaturas se apresentam mais amenas, havendo poucos picos de temperatura e dispensando a utilização de estratégias de sombreamento.

Já para a Figura 27, percebe-se a presença de temperaturas mais amenas por quase todo o percurso solar, entre 14° C e 20° C, com exceção aos meses de novembro e dezembro. Para os dias mais frios, o aproveitamento da luz solar para aquecimento é indispensável, sendo indicado o uso de aberturas que permitam a incidência de sol no interior do ambiente, proporcionando um aumento da temperatura do mesmo. Felizmente, no Brasil, os meses que compreendem o inverno costumam ser secos, sem uma grande cobertura nebulosa, permitindo que a estratégia seja bem explorada. (LAMBERTS, 2016)

5.3 ROSA-DOS-VENTOS

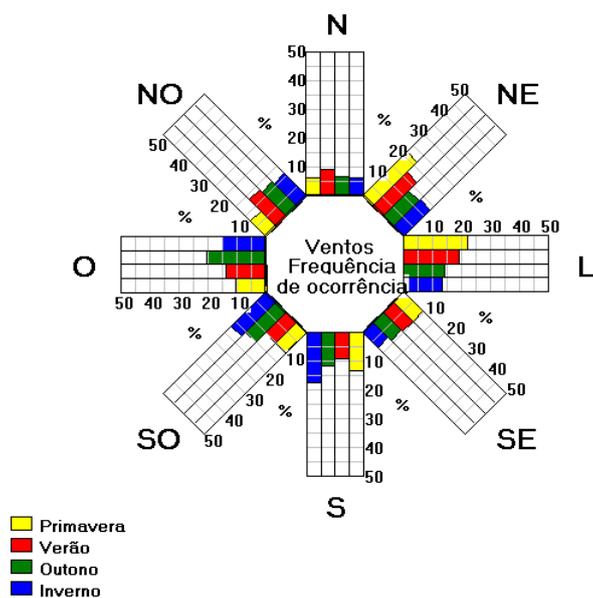
Através da análise dos dados relativos à intensidade e direção dos ventos, o software forneceu duas avaliações distintas do vento na localização de estudo, sendo: Uma rosa-dos-ventos com dados relativos às velocidades predominantes dos ventos (Figura 29) e outra relativa a frequência destes ventos (Figura 30). Os resultados contemplam oito orientações (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste), nas quatro estações do ano.

Figura 29 – Rosa-dos-ventos para o município de Araranguá-SC, plotada com dados de velocidades predominantes por direção



Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

Figura 30 – Rosa-dos-ventos para o município de Araranguá-SC, plotada com dados de frequência de ocorrência dos ventos



Fonte: Adaptada do software Analysis SOL-AR (2022).

Para a rosa-dos-ventos que contempla as análises de velocidade dos ventos (Figura 29), verificou-se que as maiores médias estão localizadas nos meses mais quentes do ano (primavera e verão), e para as orientações Sul, Leste e Sudeste, respectivamente. As orientações Noroeste, Norte, Oeste, Nordeste e Sudoeste, respectivamente, tiveram as menores médias de velocidade para todas as estações.

Na rosa-dos-ventos relativa às frequências de ocorrência (Figura 30), percebe-se uma ocorrência maior de ventos nos meses mais quentes, e nas orientações Nordeste e Leste, com frequências próximas dos 20%. É importante que nos meses de verão seja explorada a estratégia de ventilação cruzada, a fim de remover a umidade relativa do interior dos ambientes, conforme citado anteriormente.

A fim de retirar o maior proveito da estratégia de ventilação cruzada, é recomendado que as edificações explorem aberturas principalmente na orientação Leste, e na sua face oposta. Também podem ser exploradas aberturas nas orientações Nordeste (e sua face oposta), pois esta também apresenta índices de velocidade e frequência que proverão efeitos benéficos para o conforto na edificação. Outra medida que pode auxiliar na movimentação do ar, e a exploração de amplos espaços exteriores, livres de barreiras, como pátios e gramados. (LAMBERTS *et al*, 2014)

5.4 AVALIAÇÃO DA EDIFICAÇÃO SEGUNDO AS DIRETRIZES DA ABNT NBR 15220 E DO PROJETEEE

As edificações referência foram avaliadas segundo as diretrizes propostas pela NBR 15220 e pelo PROJETEEE, e tiveram aspectos retificados, segundo as orientações de ambas.

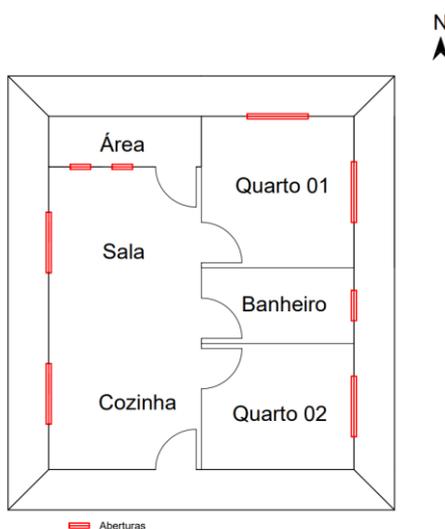
A edificação referência 01 apresentou problemas relacionados a inércia térmica das paredes e cobertura, além de aberturas que não promoviam a ventilação cruzada das APPs e ausência de sombreamento nas aberturas para os períodos mais quentes. Afim de retificar os problemas observados, foram implementadas as seguintes adaptações:

- Substituição do forro de madeira por forro em PVC;
- Substituição da parede de madeira (pinus) simples com 2,5cm de espessura por uma parede de madeira dupla (pinus) com câmara de ar e 6 cm de espessura;

- Pintura da parede externa com cores claras (α próximo de 0,2) como a cor Pérola e Bianco Sereno;
- Substituição das telhas em fibrocimento por telhas cerâmicas em cor clara;
- Abertura de janelas nas orientações leste e oeste;
- Adição de persianas ou venezianas em todas as janelas.

As adaptações nas aberturas podem ser observadas na figura 31.

Figura 31 – Edificação referência 01 modificada



Fonte: Elaboração própria.

Abaixo, são listados os valores de absorvância, transmitância térmica e capacidade térmica dos materiais utilizados na edificação adaptada. (BOGO, 2003; BRASIL, 2023)

$$\alpha_{\text{cobertura}} = 0,2$$

$$U_{\text{cobertura}} = 1,75 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ cobertura}} = 25 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_{\text{piso}} = 2,97 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ piso}} = 28 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$\alpha_{\text{parede externa}} = 0,2$$

$$U_{\text{parede externa}} = 1.74 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

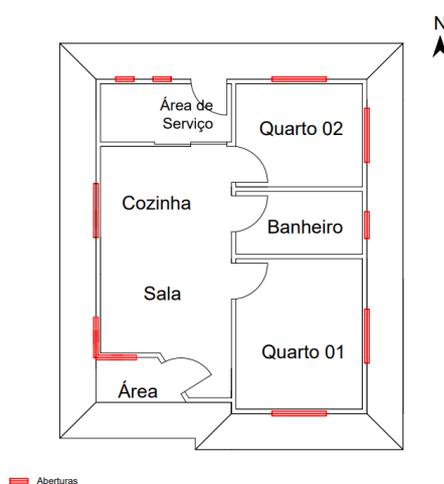
$$C_{t \text{ parede externa}} = 26 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

Já a edificação referência 02, foram observados problemas com a inércia térmica da cobertura, falta de aberturas que promovessem a ventilação cruzada e de sombreamento das aberturas nos períodos mais quentes. Em razão disso foram implementadas as seguintes adaptações:

- Substituição do telhado cerâmico com forro de gesso por um telhado de laje EPS 12cm pintado em cor clara;
- Pintura da parede externa com cores claras (α próximo de 0,2) como a cor Pérola e Bianco Sereno;
- Abertura de janelas nas orientações leste e oeste;
- Adição de persianas ou venezianas em todas as janelas.

As adaptações nas aberturas podem ser observadas na figura 32.

Figura 32 – Edificação referência 02 modificada



Fonte: Elaboração própria.

Abaixo, são listados os valores de absorvância, transmitância térmica e capacidade térmica dos materiais utilizados na edificação adaptada. (BOGO, 2003; BRASIL, 2023)

$$\alpha_{\text{cobertura}} = 0,2$$

$$U_{\text{cobertura}} = 1,8 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ cobertura}} = 132 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_{\text{piso}} = 3,7 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_{t \text{ piso}} = 220 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

$$\alpha_{\text{parede externa}} = 0,2$$

$$U_{\text{parede externa}} = 2,13 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$C_t_{\text{parede externa}} = 155 \text{ [kJ/m}^2 \text{ K]}$$

5.5 DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

Através do metamodelo da INI-R, foi possível avaliar os valores de consumo para aquecimento e para resfriamento, em cada uma das edificações referência, antes e depois da implementação das adaptações observadas no item anterior.

Na edificação referência 01, antes de implementadas as adaptações, foram obtidos valores de consumo para aquecimento e consumo para resfriamento iguais a 842,3 kWh/ano e 2.206,19 kWh/ano, respectivamente.

Já para a edificação referência 02, antes de implementadas as adaptações, foram obtidos valores de consumo para aquecimento e consumo para resfriamento iguais a 3.341,95 kWh/ano e 7.969,79 kWh/ano, respectivamente.

Após as modificações, foram observadas reduções significativas no consumo de energia, para ambas as edificações.

Para a edificação referência 01, foram obtidos valores de consumo para aquecimento e consumo para resfriamento iguais a 831,78 kWh/ano e 886,88 kWh/ano, respectivamente. Tais valores, demonstram uma redução de 1,25% no consumo de energia elétrica com aquecedores e uma redução de 59,80% de energia elétrica com condicionadores de ar.

Mesmo com a pequena redução nos custos com aquecimento da edificação, haverá uma economia de 43,62% nos gastos com energia ao longo do ano, promovido pela grande economia nos meses mais quentes.

As mudanças nas cores do envoltório da edificação promoveram uma redução de 24,26% no consumo total da casa, enquanto que as modificações na estrutura promoveram 17,64%. Tal observação demonstra que as duas alterações são benéficas quando utilizadas em conjunto, mas que podem ser utilizadas sem prejuízo isoladamente.

Na edificação referência 02, foram obtidos valores de consumo para aquecimento e consumo para resfriamento iguais a 584,94 kWh/ano e 519,94 kWh/ano, respectivamente. Esses valores demonstram um aumento de 12,85% no

consumo de energia elétrica com aquecedores e uma redução de 61,01% de energia elétrica com condicionadores de ar.

Mesmo com um aumento nos custos com aquecimento da edificação, haverá uma economia de 47,08% nos gastos com energia ao longo do ano, promovido pela grande economia nos meses mais quentes.

As mudanças nas cores do envoltório da edificação promoveram uma redução de 39,73% no consumo total da casa, enquanto que as modificações na estrutura promoveram 21,02%. Tal observação demonstra que as duas alterações são benéficas quando utilizadas em conjunto, mas que podem ser utilizadas sem prejuízo isoladamente.

5.6 DIRETRIZES BIOCLIMÁTICAS PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ

A partir das avaliações feitas sobre a carta bioclimática, carta solar, rosa-dos-ventos e de desempenho térmica na edificação, para o município de Araranguá, e da observação das diretrizes propostas pela NBR 15220-3, foi possível indicar um novo conjunto de diretrizes, ainda mais específicas, para a região. Essas são detalhados na sequência.

5.6.1 Ventilação

Para os meses de verão, recomenda-se a utilização de aberturas nas direções Leste, Oeste, Nordeste e Noroeste, a fim de aproveitar a ventilação cruzada, que remove a umidade e renova o ar no interior dos ambientes. Alguns dispositivos, podem ser utilizados em conjunto com a ventilação, para impedir a radiação solar, sem afetar o fluxo de ar, como: cortinas venezianas e elementos vazados.

Pode-se promover também estratégias de ventilação vertical, com aberturas em diferentes níveis, a fim de criar um fluxo de ar ascendente, que tende a remover o ar quente que se acumula nas partes mais elevadas da casa.

É necessária atenção em dias onde a temperatura do ambiente externo esteja muito elevada, para evitar um aquecimento interno indesejado, promovido pela ventilação. Já nos meses de inverno, as aberturas podem ser fechadas, a fim de impedir que o ar quente do interior dos ambientes seja removido.

5.6.2 Sombreamento

No Brasil, o sombreamento é uma das principais estratégias bioclimáticas a serem empregadas, e deve ser explorada sempre que a temperatura do ar ultrapassar os 20°C, mesmo quando a carta bioclimática indicar conforto. Para se obter o sombreamento, diversas técnicas podem ser utilizadas, como: A utilização sacadas, marquises e beirais de telhados generosos, além da presença de brises e venezianas nas janelas. A utilização de vegetação também pode ser utilizada para produzir sombra nos meses de verão, mas deve-se haver uma atenção para que estas não bloqueiem a chegada do sol nos meses de inverno. Portanto, é importante escolher espécies que perdem as folhas durante os meses frios.

5.6.3 Alta inércia

Nos meses de inverno, as edificações com paredes e coberturas melhores isoladas, apresentaram menores índices de desconforto térmico. É recomendada a utilização de paredes leves e coberturas leves isoladas, com coeficiente de transferência térmica (U) menor que 3,00 e 2,00 respectivamente.

A maioria das paredes de alvenaria possuem propriedades adequadas para garantir o conforto, já para as edificações de madeira, é indicado a utilização de paredes duplas, separadas com isolante ou ar. Para as coberturas, não é indicada a utilização de telhados sem câmara de ar isolada, ou com lajes sem isolamento térmico.

5.6.4 Aquecimento solar passivo

Outra estratégia de aquecimento que pode ser utilizada nos meses mais frios é a de aquecimento solar passivo, que consiste no aquecimento das áreas internas através da entrada de radiação solar no interior dos ambientes, por aberturas fechadas em vidro, produzindo assim, um efeito estufa. Nesta estratégia, devem ser aproveitadas as aberturas orientadas nas direções leste e oeste, além das aberturas orientadas ao norte, equipadas com brises, que impeçam a entrada de radiação solar nos meses de verão.

Além das janelas, os ambientes podem contar com outras formas de abertura para a luz solar, como domos e claraboias transparentes, desde que equipadas com anteparos que impeçam a entrada de radiação direta nos meses mais quentes.

5.6.5 Pintura do envoltório

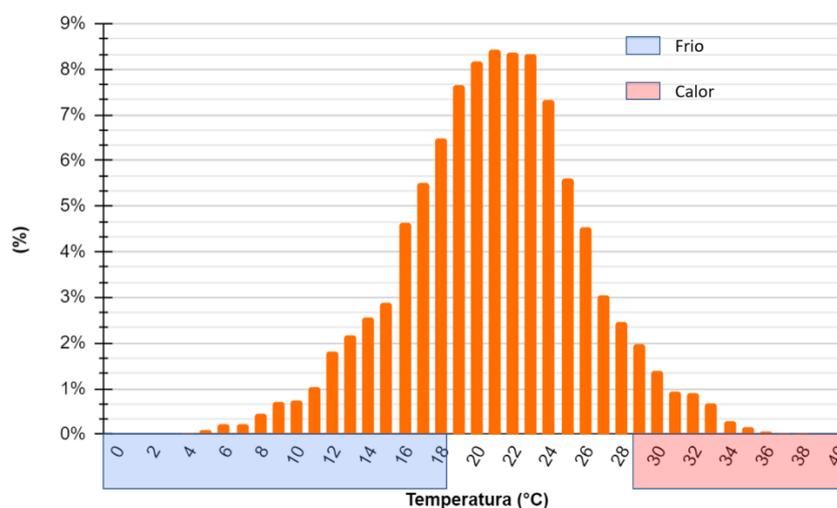
Além das estratégias associadas aos materiais construtivos e as conformações do envoltório, é importante salientar o papel das cores da edificação na eficiência energética da mesma. É recomendado o uso de cores claras ou de baixa profundidade, nas paredes externas e nas coberturas, para reduzir a taxa de calor absorvida pela edificação nos meses de verão. Ainda que a utilização dessa estratégia reduza os efeitos da inercia térmica nos meses de inverno, quando bem associada com o aquecimento solar passivo e com o uso de paredes isolantes, haverá conforto.

A utilização de paredes com cores de média profundidade, como camurça, areia e outros tons terrosos, irá reduzir a eficiência nos meses de verão, mas proporcionar maior conforto térmico nos meses de inverno, sem afetar drasticamente a eficiência total da edificação.

5.7 PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ

A partir dos dados de temperatura média horária, no ano referência, foi elaborado um histograma (Figura 33) para representar a frequência de determinadas temperaturas ao longo do ano. com diversos gráficos e informações, relativas à distribuição das temperaturas, umidade, radiação e de ventos ao longo do ano, além de alguns direcionamentos sobre as estratégias adequadas para cada região.

Figura 33 – Distribuição das temperaturas médias ao longo do ano referência em Araranguá

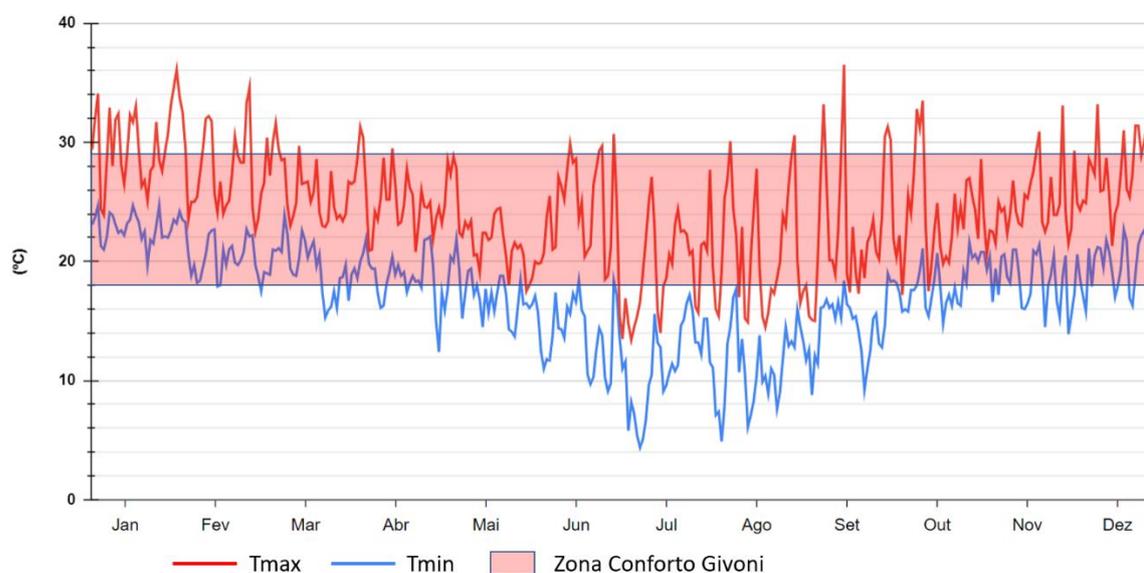


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se uma maior frequência de temperaturas médias no intervalo entre 16°C e 26°C, que compreende uma parte da zona de desconforto por frio e uma parte da zona de conforto.

Com os dados de temperatura máxima e mínima diárias, foi elaborado um gráfico de distribuição de temperaturas no ano (Figura 34), estando hachurada a área entre as temperaturas 18°C e 29°C que correspondem à zona de conforto de Givoni.

Figura 34 – Temperaturas máximas e mínimas diárias para o TRY de Araranguá

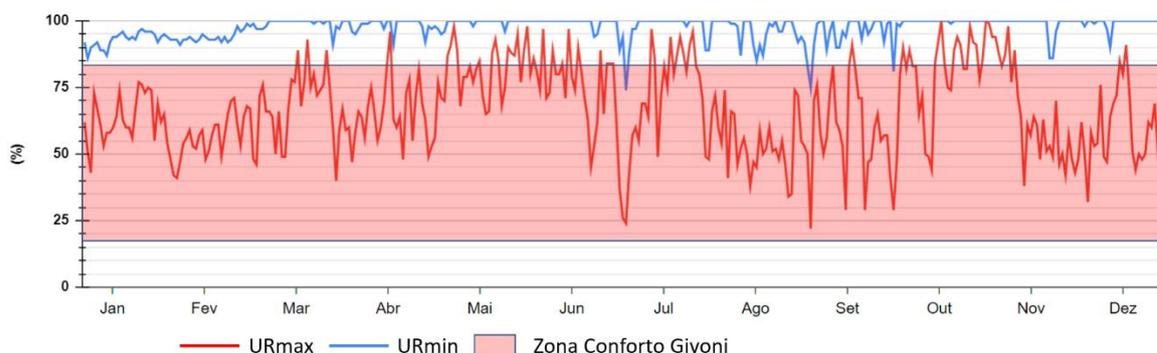


Fonte: Elaboração própria.

Ao observar o gráfico, pode-se perceber uma grande incidência de temperaturas mínimas abaixo do limite inferior da zona de conforto de Givoni, indicando a presença de desconforto térmico por frio.

Para os dados de umidade relativa, foi elaborado um gráfico de distribuição de umidade ao longo do ano (Figura 35), estando a área entre os percentuais 25% e 80%, que correspondem a zona de conforto de Givoni.

Figura 35 – Umidade relativa máxima e mínima diária para o TRY de Araranguá



Fonte: Elaboração própria.

Ao observar o gráfico, pode-se perceber que a maior parte da umidade relativa máxima está localizada em percentuais acima de 80%, e que até mesmo os pontos de umidade relativa mínima estão localizados em percentuais próximos ao limite superior da zona de Givoni, indicando uma elevada umidade relativa do ar ao longo do ano.

Por fim, vale ressaltar que conforme indicado na seção 5.7 esses resultados são apresentados no painel bioclimático (Apêndice A).

5 CONCLUSÃO

Conforme proposto inicialmente, o objetivo deste trabalho foi avaliar diretrizes orientadas para eficiência energética de residências unifamiliares para o município de Araranguá/SC. O estudo buscou avaliar e promover a utilização de técnicas sustentáveis, para a melhoria do conforto térmico de edificações.

Para tanto, foram necessárias as seguintes etapas: estudo das características e estratégias associadas as oito zonas climáticas do diagrama de Givoni, avaliação das características da área de estudo e das edificações referência, análise de dados climáticos, preparação dos dados para avaliação em software, avaliação dos resultados segundo a NBR 15220 e PROJETEEE.

O estudo permitiu verificar que as estratégias propostas pela NBR15220 e pelo PROJETEEE são as mais adequadas para o município, e que através da correta aplicação destas, é possível projetar edificações até 47,08% termicamente mais eficientes. Logo, as estratégias devem observar questões como: ventilação, sombreamento, alta inércia térmica, aquecimento solar passivo e cor do envoltório. Dessa forma, as residências poderão promover conforto térmico com menor uso de energia elétrica.

Além disso, foi produzido um conjunto de diretrizes e um painel bioclimático, direcionadas para o município de Araranguá, para o ano referência de 2019. Esse poderá ser um instrumento de apoio para os arquitetos e engenheiros na elaboração de projetos construtivos mais sustentáveis e eficientes.

Para estudos futuros, considerando as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, indica-se a atualização dos dados relativos ao ano referência Test Reference Year (TRY).

Ademais, sugere-se que outras investigações considerem aspectos como aqueles indicados pela ABNT NBR 15574 de 2013 bem como outros parâmetros como a presença de equipamentos eletrônicos e de pessoas no interior da edificação. Também é recomendado que novas análises sejam realizadas através do metamodelo da INI-R, visto que a ferramenta sofrerá futuras atualizações, explorando diferentes materiais e configurações para a edificação.

6 REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. **ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/>>. Acesso em: 01.06.2023

ANSI/ASHRAE 55-2017. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Disponível em: <<https://webstore.ansi.org/Standards/ASHRAE/ANSIASHRAE552017?source=blog>>. Acesso em: 30.10.2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-1: desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220-3: desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

BOGO, A. **Avaliação de desempenho térmico de sistemas Construtivos de paredes em madeira em habitações**. Florianópolis: UFSC, 2003.

BORTOLI, K; SARAMAGO, R. **Analysis SOL-AR**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2013.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Como informar o objetivo de uso da construção**. Brasília: Ministério da Fazenda, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/construcao-civil/cno/inscrever/destinacao>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **PROJETEEE**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <<https://www.mme.gov.br/projeteee/>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CAIXA. **SELO CASA AZUL + CAIXA**. Página Selo Casa Azul CAIXA, 2022. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

CARLO, J; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos Para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2005.

CIDADE-BRASIL. **Araranguá - Informações sobre o município e a prefeitura**. Cidade-Brasil, 2016. Disponível em: <<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-ararangua.html>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

CLARK, J. **Energy Simulation in Building Design**. Estados Unidos da América: Routledge, 2001.

COP 27, **27th Conference of the Parties of the UNFCCC**, 2022. Cairo. Egito. Disponível em: <https://cop27.eg/#/>. Acesso em: 01.06.2023

CORREIA-SILVA, D. C.; RODRIGUES, M.; Análise da Eficiência no Consumo de Energia dos Estados Brasileiros. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 46, jan/jun. 2016, Disponível em <<chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream> > Acesso em: 08 jul. 2023.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **ATLAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2022>>. pdf. Acesso em: 02 fev. 2023.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-epe-030-2018>>. pdf. Acesso em: 02 fev. 2023.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5ª Edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GARSCHAGEN, D. M. **Nova Enciclopédia Barsa**. 13ª Edição. São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações Ltda, 2000.

GOOGLE MAPS. **R. Antônio Manoel Henrique, 248 – Coloninha**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/R.+Ant%C3%B4nio+Manoel+Henrique,+248+-+Coloninha,+Ararangu%C3%A1+-+SC,+88906-800/@-28.9344128,-49.4626649,19z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x95222e922a323bd9:0x7dfea5af2b2031b5!8m2!3d-28.9344128!4d-49.4620212!16s%2Fg%2F11c21vwn4_?entry=ttu> Acesso em: 08 jul. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Araranguá (SC)**. Brasília: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/ararangua.html>>. Acesso em: 02 fev. 2023.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. 7ª Edição. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo, 2014.

MADEIREIRA CL. **CASAS PRÉ FABRICADAS**. Disponível em: <https://madeireiracl.com.br/produto/casas-constru-das-madeireira-cl> Acesso em: 08 ju. 2023.

PROCEL. **2001, o ano de consolidação do Selo Procel**. Página Reportagens, 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790->

4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B3B5E386D-6B62-4AB2-9C64-0F9D467281BE%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D#> Acesso em: 11 mar. 2023.

PROCEL. **PROCELINFO – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.** Página PROCEL SELO, 2006a. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDF05F4A2E14D84958AAEE698B55F104EAPTBRIE.htm>> Acesso em: 10 mar. 2023.

PROCEL. **PROCELINFO – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.** Página PROCEL EDIFICA, 2006b. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>> Acesso em: 10 mar. 2023.

STAMPER, E. **Weather data.** Estados Unidos da América: ASHRAE Journal, 1997.

USGBC. **U.S. Green Building Council.** USGBC, 2023. Página Mission and vision. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/about/mission-vision>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

WREGGE, M. et al. **ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL.** 2ª Edição. Brasília: Embrapa, 2012.

APÊNDICE A – PAINEL BIOCLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ

