

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Programa de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e
Produtos

Eduarda Beatriz Valandro da Silva

Análise e considerações bioclimáticas de um projeto arquitetônico na Zona 2, a partir do método prescritivo do RTQ-R

Belo Horizonte

2020

Eduarda Beatriz Valandro da Silva

Análise e considerações bioclimáticas de um projeto arquitetônico na Zona 2, a partir do método prescritivo do RTQ-R

Versão Final

Monografia de especialização apresentada ao curso de Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

S586a

Silva, Eduarda Beatriz Valandro da.

Análise e considerações bioclimáticas de um projeto arquitetônico na zona 2, a partir do método prescritivo do RTQ-R [manuscrito] / Eduarda Beatriz Valandro da Silva. - 2020.

131f. : il.

Orientador: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Conforto térmico. 2. Projeto arquitetônico. 3. Bioclimatologia. 4. Arquitetura e conservação de energia. 5. Energia - Consumo. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone:(31)3409-8823

FAX (31) 3409 822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA
DA ALUNA EDUARDA BEATRIZ VALANDRO DA SILVA, COMO REQUISITO PARA
OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

Às 17:00 horas do dia 16 de junho de 2020, reuniu-se online, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela professora Mestre Grace Cristina Roel Gutierrez, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada “Análise e considerações bioclimáticas de um projeto arquitetônico na Zona 2, a partir do método prescritivo do RTQ-R” de autoria de Eduarda Beatriz Valandro da Silva, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura após correções finais.

Nota: 100; Conceito: A

Belo Horizonte, 16 de junho de 2020


Professora Roberta Vieira Gonçalves de Souza
Orientadora-Presidente


Grace Cristina Roel Gutierrez

Resumo

Grande parte do impacto ambiental está relacionado com o consumo de energia, sendo que, no Brasil, o setor residencial é um grande responsável. Um fator importante no aumento de consumo no setor é o fato das edificações não serem adequadas ao clima local, geralmente exigindo o uso de equipamentos artificiais para melhorar o conforto térmico. Uma vez que o projeto determina o consumo energético desde a construção, melhorar o desempenho térmico da envoltória é considerada uma das principais estratégias para garantir maior eficiência energética, pois ela interage diretamente com as variáveis ambientais. Neste trabalho, utilizou-se o RTQ-R para avaliar o nível de eficiência energética de uma edificação residencial na zona bioclimática 2, analisando o desempenho da envoltória e o conforto térmico por ambiente, juntamente a considerações climáticas. As análises do clima demonstraram um desconforto recorrente por frio e umidade, consideravelmente maior do que por calor, na maior parte do ano. A partir disso, foram identificadas algumas estratégias bioclimáticas adequadas e realizadas pequenas alterações no projeto para, além de ampliar a eficiência energética, melhorar o conforto térmico por ambiente.

Palavras-chave: RTQ-R. Eficiência energética. Envoltória. Zona bioclimática 2. Conforto térmico.

Abstract

Much of the environmental impact is related to energy consumption, and in Brazil, the residential sector is largely responsible. An important factor in the consumption increase in the sector is the fact that the buildings are not adapted to the local climate, generally requiring the use of artificial equipment to improve thermal comfort. as the project determines energy consumption since construction, improving the thermal performance of the envelope is considered one of the main strategies to ensure greater energy efficiency, as it interacts directly with environmental variables. In this work, the RTQ-R was used to assess the level of energy efficiency of a residential building in the bioclimatic zone 2, analyzing the performance of the envelope and the thermal comfort per environment, together with climatic considerations. The climate analyzes showed a recurrent discomfort due to cold and humidity, considerably greater than that of heat, for most of the year. From this, some suitable bioclimatic strategies were identified and small changes were made to the project to, in addition to increasing energy efficiency, improving thermal comfort by room.

Keywords: RTQ-R. Energy efficiency. Envelope. Bioclimatic zone 2. Thermal comfort.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	14
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo geral	15
1.3 Objetivos específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Eficiência energética nas edificações.....	17
2.2 Arquitetura bioclimática – o design passivo para eficiência energética ..	20
2.3 Contribuições de análises a partir do RTQ-R.....	20
2.4 Zoneamento bioclimático brasileiro.....	25
2.5 Programa Brasileiro De Etiquetagem De Edifícios - PBE Edifica e o PROCEL Edifica	26
2.6 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R).....	26
2.6.1 Unidades Habitacionais Autônomas (UH).....	27
2.6.1.1 Pré-requisitos para classificação da Unidade Habitacional (UH)	27
2.6.1.1.1 Pré-requisito geral.....	27
2.6.1.1.2 Procedimentos para determinação da eficiência da UH: método prescritivo	27
2.6.1.1.3 Envoltória.....	30
2.6.1.1.3.1 Pré-requisitos da envoltória	30
2.6.1.1.3.2 Procedimentos para determinação da eficiência da envoltória	36
2.6.1.1.4 Sistema de aquecimento de água.....	42
2.6.1.1.4.1 Procedimentos para determinação da eficiência do aquecimento de água.....	43
2.6.1.1.5 Bonificações	44
3 MÉTODO.....	44
4 ESTUDO DE CASO	46
4.1 Caracterizações gerais e o clima local	46
4.2 Objeto de estudo	46

5 RESULTADOS	50
5.1 Classificação no zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes bioclimáticas indicadas	51
5.1.1 Instrumentos de Análise	51
5.1.1.1 Software ZBBR	51
5.1.1.2 NBR 15575	54
5.1.1.3 Software <i>Climate Consultant</i>	55
5.1.1.4 Site Projeteee	61
5.1.2 Quadro-síntese de estratégias bioclimáticas para a Zona 2	62
5.2 Avaliação da Unidade Habitacional Autônoma (uh) pelo RTQ-R	63
5.2.1 Pré-requisitos da UH	63
5.2.2 Envolvória e Pré-requisitos específicos dos ambientes	64
5.2.2.1 Determinação da eficiência - Variáveis das equações	71
5.2.3 Bonificações	88
5.2.4 Aquecimento da Água - Solar	91
5.2.4.1 Determinação da eficiência do Aquecimento Solar de Água	93
6 ANÁLISE DE RESULTADOS	95
6.1 Pontuação total e análise da avaliação do RTQ-R para o projeto existente	95
6.2 Sugestões de melhorias, utilizando o quadro-síntese de estratégias bioclimáticas para a zona 2	96
6.2.1 Pontuação total e resultados da avaliação no RTQ-R com as modificações propostas	100
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	104
FIGURAS	110
ANEXO A – Planilha de cálculo do RTQ-R	111
ANEXO B – Dimensionamento do Sistema Solar de Aquecimento de Água, de acordo com o RTQ-R	119
ANEXO C – Planilha de cálculo com as modificações propostas, de acordo com o RTQ-R	122
ANEXO D – Cálculo da Transmitância Térmica do sistema de Vidro Duplo proposto	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação Setorial do Consumo de Eletricidade em 2018

Figura 2: Modelo de ENCE de projeto para UH

Figura 3: Localização do município no estado de Santa Catarina

Figura 4: Fachada Frontal - Leste

Figura 5: Fachada Lateral - Norte

Figura 6: Fachada fundos - Oeste

Figura 7: Planta Térreo

Figura 8: Planta 1º Pavimento

Figura 9: Corte A

Figura 10: Corte B

Figura 11: ZBBR – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros – São Lourenço do Oeste, SC

Figura 12: Estratégias de condicionamento térmico destacadas

Figura 13: Gráfico de Variação de Temperatura

Figura 14: Gráfico de Umidade Relativa

Figura 15: Roda dos Ventos

Figura 16: Carta Psicométrica – Estratégias Bioclimáticas ASHRAE 55

Figura 17: Gráfico de Estratégias Bioclimáticas mensais - ASHRAE 55

Figura 18: Estratégias bioclimáticas de Inércia Térmica para Aquecimento, Xanxerê - SC

Figura 19: Estratégias bioclimáticas de Aquecimento Solar Passivo, Xanxerê - SC

Figura 20: Quadro-Síntese de Estratégias bioclimáticas para a ZB 2

Figura 21: Composição do sistema da cobertura e características térmicas

Figura 22: Composição do sistema de piso da varanda e características térmicas

Figura 23: Cor do piso cerâmico

Figura 24: Composição do sistema de parede externa e características térmicas

Figura 25: Tinta utilizada

Figura 26: Ambientes de Permanência Prolongada da UH – Térreo

Figura 27: Ambientes de Permanência Prolongada da UH – 1º pavimento

Figura 28: Esquadrias da UH

Figura 29: Esquadrias da UH - medidas

Figura 30: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Leste

Figura 31: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Norte

Figura 32: Carta Solar – Rio Negro, PR

Figura 33: Ângulos de proteção mínimos para proteção solar para fachadas Norte e Oeste – Rio Negro, PR

Figura 34: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Norte

Figura 35: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Norte

Figura 36: Ângulo Gama (γ) de sombreamento - fachada Norte

Figura 37: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Oeste

Figura 38: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Oeste

Figura 39: Ângulo Gama (γ) de sombreamento - fachada Oeste

Figura 40: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Sul

Figura 41: Tipo de vidro da UH

Figura 42: Especificações do Coletor Solar da UH

Figura 43: Especificações do Reservatório da UH

Figura 44: Especificações dos Chuveiros Elétricos da UH

Figura 45: Pontuação Total da UH

Figura 46: Classificação Final da UH

Figura 47: Modelo de Janela Proposto - 4 folhas

Figura 48: Modelo de Janela Proposto - 2 folhas

Figura 49: Modelo de Porta Proposto - 2 folhas

Figura 50: Modelos de Esquadrias Alterados

Figura 51: Vidro Duplo Proposto

Figura 52: Sistema de Parede Proposto

Figura 53: Pontuação Total da UH – com alterações

Figura 54: Classificação Final da UH – com alterações

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficiente “a” da equação

Tabela 2: Pontuação obtida e a Classificação Final do Nível de Eficiência respectivo

Tabela 3: Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas, baseados nas normas NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3.

Tabela 4: Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas)

Tabela 5: Absortância (a) de revestimentos de paredes e coberturas (tintas)

Tabela 6: Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Tabela 7: Constantes da equação 5

Tabela 8: Constantes da equação 6

Tabela 9: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para Resfriamento e Aquecimento, respectivamente – Zona Bioclimática 2

Tabela 10: Equivalente Numérico (EqNum) e Nível de Eficiência respectivo

Tabela 11: Constantes da equação 8

Tabela 12: Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração – ZB2

Tabela 13: Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água

Tabela 14: Critérios e Níveis de desempenho de coberturas quanto à Transmitância Térmica – NBR 15575

Tabela 15: Transmitância Térmica de paredes externas – NBR 15575

Tabela 16: Capacidade Térmica de paredes externas – NBR 15575

Tabela 17: Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas, baseados nas normas NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3

Tabela 18: Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas)

Tabela 19: Absortância, Capacidade Térmica e Transmitância Térmica do Sistema de cobertura da Sala de Estar

Tabela 20: Variável binária – Capacidade Térmica

Tabela 21: Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Tabela 22: Áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada (APP)

Tabela 23: Áreas das paredes externas dos APPs

Tabela 24: Áreas das aberturas externas dos APPs

Tabela 25: Tabela de Esquadrias da UH

Tabela 26: Fvent das Aberturas

Tabela 27: Cálculo da área da abertura sobre área do piso

Tabela 28: Ângulos de sombreamento e cálculo da variável Somb

Tabela 29: Áreas das paredes internas

Tabela 30: Temperatura Média Mínima em Xanxerê – SC, entre 1961 e 1990

Tabela 31: Cálculo da Porosidade da UH

Tabela 32: Cálculo da Profundidade dos APPs da UH

Tabela 33: Valores utilizados no dimensionamento de Aquecimento Solar da Água

Tabela 34: Fvent das Esquadrias Alteradas

Tabela 35: Lista de Vidros e suas Propriedades

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

α – Absortância

α, β, γ – Ângulos de sombreamento, respectivamente, alfa, beta e gama

α_{cob} (adimensional): absortância da superfície externa da cobertura

α_{par} (adimensional): absortância externa das paredes externas

AAbL (m) - Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Leste

AAbN (m) - Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Norte

AAbO (m) - Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Oeste

AAbS (m) - Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Sul

AATVL - Área total de abertura para ventilação na fachada leste de todos os ambientes

AATVN - Área total de abertura para ventilação na fachada norte de todos os ambientes

AATVO - Área total de abertura para ventilação na fachada oeste de todos os ambientes

AATVS - Área total de abertura para ventilação na fachada sul de todos os ambientes

AbL - Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Leste

AbN - Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte

AbO - Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Oeste

AbS - Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul

AJ – Área da janela

AP – Área de piso

APambL (m) - Área de parede externa do ambiente voltada para o Leste

APambN (m) - Área de parede externa do ambiente voltada para o Norte

APambO (m) - Área de parede externa do ambiente voltada para o Oeste

APambS (m) - Área de parede externa do ambiente voltada para o Sul

AparInt (m²) - Área das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas

APP – Área de permanência prolongada

ARSAE - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgoto Sanitário do Estado de MG

ATFL - Área total de fachada na direção leste de todos os ambientes

ATFN – Área total de fachada na direção norte de todos os ambientes

ATFO - Área total de fachada na direção oeste de todos os ambientes

ATFS - Área total de fachada na direção sul de todos os ambientes

AUamb - Área útil do ambiente (m²)

BEN - Balanço Energético Nacional

BL. - Bloco

CA - Consumo relativo para aquecimento (kWh/m²)

Caltura - coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé-direito e a área útil do ambiente

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

cob - variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior

(cobertura)

COP - Coeficiente de Performance (W/W)

CR – Consumo relativo anual para refrigeração

CT - Capacidade térmica [kJ/(m²K)]

CTalta e CTbaixa - Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta ou baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas [kJ/(m²K)]

CTcob - Capacidade térmica da cobertura [kJ/(m²K)]

CTpar - média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas [kJ/(m²K)]

cv – cavalo-vapor

DAE – Departamento de Água e Esgoto

Dmédia (m) – Média de todas as viagens feitas pelo elevador em um dia, metade da altura de levantamento

Dnominal (m) – Distância nominal percorrida pelo elevador

EJ – Estar/Jantar

E - Estar

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EqNum - Equivalente numérico

EqNumAA – Equivalente Numérico do sistema de Aquecimento de Água

EqNumB - Equivalente numérico das bombas centrífugas

EqNumElev - Equivalente numérico dos elevadores

EqNumEnv – Equivalente Numérico da Envoltória

EqNumEnvAmb - Equivalente numérico da envoltória do ambiente

EqNumEnvAmbA- Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento

EqNumEnvAmbResf - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento

EqNumEnvAmbResfrig - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração

EqNumEnvA - Equivalente numérico da envoltória para aquecimento

EqNumEnvRefrig - Equivalente numérico da envoltória para refrigeração

EqNumEnvResfr - Equivalente numérico da envoltória para resfriamento

EqNumEq – Equivalente numérico dos equipamentos

EqNumIllum - Equivalente numérico do sistema de iluminação artificial

EqNumS – Equivalente numérico da sauna

Eano (Wh) – Demanda energética anual

Eelevador,especif (Wh) – Demanda específica do elevador

Eespera (Wh) – Demanda energética diária para espera

Ettotal (Wh) – Soma da demanda de viagem e de espera

Eviagem (Wh) – Demanda energética diária para viagem

Eviagem,especific (mWh/kg.m) – Demanda energética específica durante a viagem

Fvent (adimensional) - Fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão

GHR - Indicador de graus-hora para resfriamento

GLP – Gás de petróleo liquefeito

ha - Distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação (m), excluindo caixilhos

INCC - Índice Nacional de Custo da Construção

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LED – Diodo emissor de luz (*Light-emitting diode*)

m.c.a. – Metros de coluna de água

OIA - Organismo de Inspeção Acreditado

P - Profundidade do ambiente (m)

PAA - Potência instalada para aquecimento de água

PambL (m) - Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Leste

PambN (m) - Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Norte

PambO (m) - Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Oeste

PambS (m) - Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul

Pavto./PAV. - Pavimento

PBE Edifica - Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações

PB - Potência instalada para bombas centrífugas

PD – Pé direito

PEq - Potência instalada para equipamentos

Pespera (W) – Demanda energética total do elevador em modo de espera

pil: variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis

Pllum - Potência instalada para iluminação

PS - Potência instalada para a sauna

PT – Pontuação Total

PTAC - Pontuação Total da Área Comum

PTUH – Pontuação Total da Unidade Habitacional

PROEMPI - Associação das Empresas e Profissionais do Setor Imobiliário de Jundiaí e Região

Q1 – Quarto 1

Q2 – Quarto 2

Q3 – Quarto 3

RT - Resistência térmica total $[(m^2K)/W]$

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

solo - Variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno)

SomAparext - Somatório das áreas de parede externa do ambiente (APambN + APambS + APambL + APambO)

Somb - Variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas

Tespera (h) – Tempo de espera diário do elevador

Tviagem (h) – Tempo de uso diário do elevador

U - Transmitância térmica [$W/(m^2 K)$]

Ucob - Transmitância térmica da cobertura [$W/(m^2 K)$]

Upar - Transmitância térmica das paredes externas [$W/(m^2 K)$]

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UH - Unidade Habitacional

VDI – Associação dos engenheiros alemães (sigla em alemão)

ZB – Zona Bioclimática

1 INTRODUÇÃO

Os questionamentos acerca da exploração dos recursos naturais e seu impacto no meio ambiente surgiram desde o início do século passado, em reuniões e conferências internacionais, como a reunião das Nações Unidas, onde foi elaborado o documento *Our Common Future*, no qual o conceito de desenvolvimento sustentável veio à tona como “a capacidade de prover as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987). A partir de então, o tema passa a ser discutido internacionalmente, colocando a importância de respeitar o meio ambiente e utilizar os recursos de forma racional. Foi na Agenda 21, desenvolvida em Istambul, em 1992, que as discussões do impacto ambiental chegaram no campo da construção civil (LAMBERTS et al., 2014).

Nesse sentido, o elevado índice de crescimento populacional nas cidades e o impacto causado pelo aumento do consumo dos recursos naturais, assim como na necessidade de ampliação de infraestrutura de água, esgoto e energia para suprir as demandas, tem exigido mudanças no modo de produção da construção civil (LAMBERTS et al., 2010, p.17). Assim enfatiza Abrahão (2015), que no panorama mundial “[...] os setores residencial e comercial, que juntos representam grande parte das edificações, foram responsáveis por 29% do consumo de energia elétrica em 2011”.

Atualmente, apesar dos interesses econômicos dos países ainda se mostrarem superiores à preocupação com a questão ambiental, a ideia de desenvolvimento aliada à economia de recursos é uma realidade. O consumo atual de energias renováveis na matriz brasileira vem aumentando nos últimos anos de forma expressiva, alcançando 42,9% da energia total do país (BRASIL, 2018).

No caso do Brasil, grande parte do consumo energético nacional está ligado às habitações, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), realizado pela empresa de pesquisa energética EPE, o setor residencial alcançou 25,5% do total consumido no nível nacional, atrás apenas do setor industrial.

Para Lamberts et al. (2014, p. 17) “[...] esse valor tende a crescer mais ainda num

futuro próximo conforme aumente o poder aquisitivo da população e devido a não adequação das edificações ao clima local”.

Diante do contexto nacional de consumo energético, e após a crise de energia no país em 2001, diversas articulações em prol da eficiência energética começam a ocorrer. Em 2003, o tema abrange as edificações através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), no seu subprograma, o Procel Edifica. A partir de então, Eletrobrás e Inmetro, junto ao Procel Edifica no ano de 2009, produzem o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) e em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). (ELETROBRÁS et al., 2013).

De acordo com Abrahão (2015, p.51), no Brasil “[...] a taxa anual média de crescimento geométrico populacional, equivalente a 1,03%, é bem inferior à taxa anual média de crescimento geométrico do consumo médio de energia elétrica total (4,09%) e do residencial (5,28%)”.

Nesse contexto, as residências possuem um importante papel na diminuição do impacto ambiental, uma vez que as estratégias para melhor eficiência energética, com soluções ambientais adequadas a cada lugar, sejam aplicadas. O projeto então se mostra com grande potencial para evidenciar e promover as questões da sustentabilidade na esfera das habitações, determinando o consumo energético desde a construção, até uso, ocupação e manutenção.

[...] um projeto que não considera o clima local “afeta diretamente o desempenho da edificação, podendo levar à utilização intensa de equipamentos mecânicos de refrigeração e sistemas artificiais de iluminação para garantir o conforto dos usuários, resultando, por conseguinte, no consumo de energia elevado.” (LAMBERTS et al., 2010, p.17).

Diante disso, melhorar o desempenho térmico da envoltória é, atualmente, uma das principais estratégias para garantir maior eficiência energética nas edificações (IEA, 2014).

Nesse panorama, a arquitetura bioclimática que, de acordo com (OLGYAY, 1968,

apud LAMBERTS et al., 2014), estuda a relação entre o clima e os seres vivos, se insere trazendo a concepção de projeto com estratégias de condicionamento passivo, construções adaptadas ao clima e em alguns momentos, resgatando ideias da arquitetura produzida pelos antigos, com técnicas e costumes tradicionais. Lamberts et al. (2014, p.84) consideram que “A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem”. Na perspectiva de Pereira (2012, apud Tessari e Krüger, 2014), a arquitetura bioclimática inclui o resgate de técnicas tradicionais aliado à busca por novas soluções. Dessa forma, considerando o conforto do usuário com o menor impacto ambiental e maior eficiência energética.

Assim, infere-se a importância de estudar a arquitetura local, pois “suas modificações ao longo do tempo são importantes na compreensão das condições de conforto interno existentes nas edificações.” (TREICHEL et al., 2019, p.17).

Portanto, para análise da eficiência energética de uma edificação e do conforto térmico dos usuários, Regulamentos como o RTQ-R definem métodos para avaliação do nível de eficiência de uma edificação, sendo que este contempla A (mais eficiente) a E (menos eficiente), e permite a análise de desempenho da envoltória separadamente: “

“[...] esses regulamentos visam estipular referências quanto ao desempenho energético das edificações avaliando estratégias de projeto quanto às propriedades termofísicas das envoltórias, ventilação e iluminação natural, sistemas de sombreamento, desempenho de aquecimento de água e equipamentos” (SOUZA et al., 2018, p. 140).

Sendo assim, se mostra um importante método para avaliação de edificações existentes, visto que as análises abrangem o zoneamento bioclimático brasileiro e, portanto, o contexto climático de cada local para identificar a eficiência, assim como para propor novas soluções.

1.2 Objetivo geral

A proposta deste trabalho é, portanto, analisar a eficiência energética de um projeto

atual desenvolvido no município de São Lourenço do Oeste – SC, considerando, a partir disso, soluções e novas estratégias de arquitetura bioclimática para conforto térmico dos usuários com uso de materiais locais e de menor impacto ambiental.

1.3 Objetivos específicos

Diante do exposto, pretende-se apresentar a importância da eficiência energética nas edificações, identificando as contribuições da arquitetura bioclimática para a concepção de projetos de habitações mais adequados ao local em que se inserem.

Discorrer sobre o RTQ-R, inserindo a abordagem para avaliação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH).

Apresentar o estudo de caso no contexto local

- Caracterizando a área de estudo quanto a localização e ao clima, incluindo desenhos e imagens do projeto arquitetônico da habitação escolhida para avaliação, necessários para a análise.
- Identificar as estratégias bioclimáticas adequadas para o contexto local.
- Realizar avaliação da eficiência energética, por meio do método do RTQ-R.
- Analisar os resultados.
- Sugerir estratégias para soluções projetuais no contexto bioclimático local.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eficiência energética nas edificações

No contexto internacional, a aplicação de medidas que consideram a diminuição dos impactos sobre o meio ambiente nas construções vem sendo adotada em maior escala, uma vez que as normas e as condições climáticas favorecem e exigem alternativas mais eficientes. Já no cenário nacional, segundo Agopyan (2000) foi na “[...] década de 90 [que surgiram] as primeiras medidas consistentes no Brasil em busca de uma construção mais sustentável, com estudos mais sistemáticos e resultados mensuráveis sobre reciclagem, redução de perdas e de energia”.

Dentro desse panorama, é incluído um novo conceito de edificação, que utiliza os recursos disponíveis e os materiais de forma mais racional, e que passa a ser difundido a partir da sociedade e dos governos, por meio de certificações, normas e leis, principalmente nos países mais desenvolvidos.

Apesar dessas iniciativas, atualmente as habitações são responsáveis por um grande impacto no consumo de energia no planeta, uma vez que o estilo de vida da população e o extenso uso de equipamentos vêm ampliando a demanda. No Brasil, o uso extenso de eletrodomésticos nas residências é um dos principais determinantes do aumento do consumo de energia (ABRAHÃO, 2015, p.65).

Além disso, estudos mostram que o consumo de energia elétrica nacional nas residências tem aumentado, especialmente para uso de equipamentos voltados para o conforto térmico, como o ar condicionado:

[...] mais recentemente, o ar condicionado começa a participar desse cenário com maior consumo, chegando a 20% na média nacional. Esse valor tende a crescer mais ainda num futuro próximo conforme aumente o poder aquisitivo da população e devido a não adequação das edificações ao clima local. (LAMBERTS et al., 2014, p.17).

Abrahão (2015, p.69) ainda acrescenta que a ampliação no consumo de energia residencial no país, está relacionado, entre outros fatores, ao clima e sua correlação

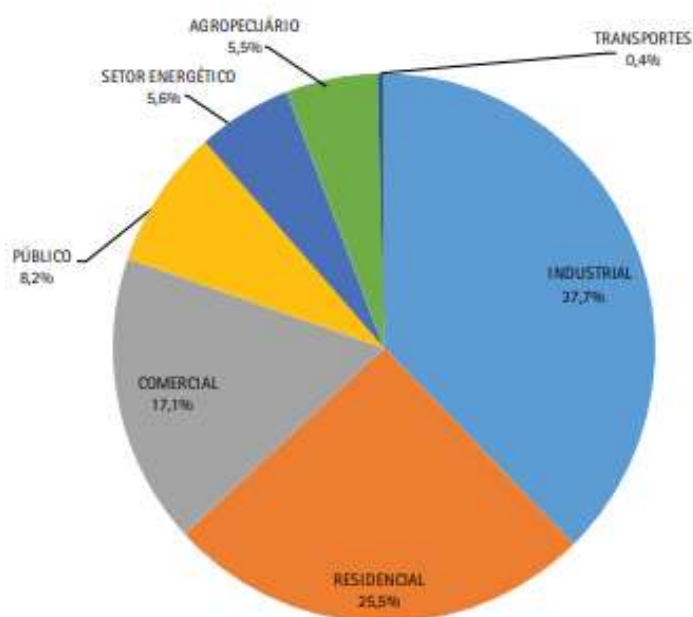
com o conforto e a saúde: “[...] estratégias adaptativas que envolvem a utilização de energia elétrica, como o uso dos equipamentos de ar condicionado e aquecedor de ar, podem melhorar as condições de conforto térmico, implicando na manutenção da saúde e bem estar”.

Ainda, conforme os estudos apresentados pela autora, que analisou o uso dos equipamentos domésticos por região geográfica, que identificou uma grande influência da diferença de consumo de ar condicionado e chuveiro conforme a estação, no verão e no inverno, no consumo total dos demais aparelhos (ABRAHÃO, 2015, p. 83).

O uso de ar condicionado relacionado à ampliação do consumo de energia também é reforçado por Passos e Westphal (2015, p.2), que estudam a melhoria do desempenho térmico a partir do uso de isolamento térmico em paredes.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), realizado pela empresa de pesquisa energética EPE, o setor residencial alcançou em 2017, 25,5% do total consumido no nível nacional, atrás apenas do setor industrial (ver figura 1).

Figura 1: Participação Setorial do Consumo de Eletricidade em 2018



Fonte: BRASIL (2018).

Dessa forma, a eficiência energética pode ser destacada com um dos principais

atributos para garantir edificações mais sustentáveis e confortáveis. Lamberts et al. (2010, p.17) salientam que “[...] o uso eficiente da energia apresenta-se como uma das principais dimensões de sustentabilidade a serem obtidas no espaço habitado”.

O conforto térmico, por consequência, torna-se uma das exigências que mais contribui para que a residência gere maior ou menor impacto ambiental.

Para Lamberts et al. (2014, p.5), a eficiência energética:

Pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia [...] um edifício é mais energeticamente eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Esses aspectos demonstram a importância da etapa de concepção do projeto para edificações mais sustentáveis, como aponta Lamberts et al. (2007, p.5): “Edifícios eficientes energeticamente, além de limitar o crescimento das emissões de CO₂, podem melhorar a qualidade do ar interno e externo, melhorar o bem estar social e promover segurança em relação à energia. ”

As análises de desempenho energético, ainda na fase de concepção, são extremamente importantes e necessárias para que as edificações respondam à necessidade de conforto ambiental de forma eficiente e consequentemente economizem energia. Além disso, as diferentes variáveis relacionadas à habitação, como questões ambientais, recursos disponíveis, clima, entre outros, precisam ser considerados para que um projeto seja realmente eficiente.

Dessa forma, a aplicação do conceito da sustentabilidade é enfatizada, também e especificamente no âmbito das habitações, pois do projeto ao uso, todas as estratégias e adaptações impactam no bem-estar da população e nas questões ambientais. (LAMBERTS et al., 2007).

Através do método de avaliação da eficiência do Regulamento Técnico de Qualidade para edificações residenciais (RTQ-R), é possível analisar a eficiência energética de uma unidade habitacional, considerando a envoltória e o sistema de aquecimento de

água. No que tange à avaliação da Envoltória, as variáveis abrangem características do ambiente, das esquadrias, das paredes e da cobertura.

2.2 Arquitetura bioclimática – o design passivo para eficiência energética

Para compreender e sugerir melhores estratégias de projeto e para garantir eficiência energética e conforto, diminuindo o impacto ambiental, a arquitetura bioclimática estuda o clima e de que forma uma edificação pode se adaptar às características de cada local por meios naturais. A bioclimatologia, nesse sentido, estuda a relação entre o clima e os seres vivos (OLGYAY, 1968, apud LAMBERTS et al., 2014).

O conceito de Projeto Bioclimático foi desenvolvido pelos Olgyay, que inclui a bioclimatologia como parâmetro para uma concepção arquitetônica termicamente mais confortável (OLGYAY, 1973, apud LAMBERTS et al., 2014).

A partir desses estudos, surgiu a primeira carta bioclimática, posteriormente alterada por Givoni a partir de carta psicométrica, em 1979. Atualmente, a carta bioclimática adotada no Brasil possui base em diferentes estudos e indica estratégias de projeto para cada zona geográfica do país.

Lamberts et al. (2014, p.84) consideram que “A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem”.

Na perspectiva de Pereira (2012, apud Tessari e Krüger, 2014, p. 79), a arquitetura bioclimática inclui o resgate de técnicas tradicionais aliado à busca por novas soluções:

[...] a arquitetura bioclimática procura encontrar alternativas de modo a adequar as construções às condições do ambiente em que estão inseridas, seja através do uso de novas tecnologias (desenvolvidas a partir do estudo de aspectos relacionados à habitabilidade das edificações), seja por meio do resgate de procedimentos técnicos praticados por populações tradicionais, que consolidaram-se no decorrer das gerações por meio da atividade experimental.

Os autores acrescentam ainda, a importância do projeto Bioclimático para a

sustentabilidade: “A integração do processo projetual e construtivo com estratégias bioclimáticas e recursos naturais objetiva o bem-estar do usuário, a eficiência energética e a sustentabilidade na arquitetura” (EVANS, 2007, apud TESSARI; KRÜGER, 2014, p. 80). E ampliam a perspectiva, afirmando que “a importância da aplicação de diretrizes bioclimáticas, com maior precisão nos estágios de esboço do projeto, possibilita a manutenção das variáveis ambientais que favorecem o conforto, assim como a proteção contra as condições adversas do ambiente externo”. Nesse sentido, em uma concepção arquitetônica, as soluções bioclimáticas adequadas para aplicação estão principalmente relacionadas aos elementos da edificação que consomem a maior quantidade de energia. O conforto térmico, assim, se destaca neste quesito, pois um projeto que não considera o clima local

[...] afeta diretamente o desempenho da edificação, podendo levar à utilização intensa de equipamentos mecânicos de refrigeração e sistemas artificiais de iluminação para garantir o conforto dos usuários, resultando, por conseguinte, no consumo de energia elevado. (LAMBERTS et al., 2010, p.17).

A importância de se pensar a arquitetura bioclimática que alia o contexto climático à melhores condições de eficiência energética e conforto para o usuário é assim reforçada, na perspectiva de Torres (2015), que considera que a adaptação ao clima “é capaz de proporcionar boas condições de conforto térmico, acústico e luminoso, aumentando a eficiência energética da edificação, uma vez que utiliza sistemas passivos como alternativa aos artificiais, como aparelhos de ar condicionado”.

Com isso, as estratégias passivas dentro do conceito da arquitetura bioclimática em habitações, e desenvolvidas ainda na etapa de projeto, contribuem significativamente para que se obtenha maior conforto e eficiência. Nesse sentido, a envoltória demonstra um grande potencial para melhorar o desempenho:

Sabe-se que o desempenho de um edifício tem relação intrínseca com a sua envoltória, pois esta interage diretamente com as variáveis ambientais do local onde o edifício se insere. Desta forma, o conhecimento das características termofísicas da envoltória são de fundamental importância para o estabelecimento de estratégias de projeto que viabilizem respostas

satisfatórias à influência do clima, garantindo conforto térmico e habitabilidade aos usuários das edificações (OLARTECHEA et al., 2015).

O conceito de Design Passivo, inserido na arquitetura bioclimática, aborda o termo “porque usará meios naturais e conseqüentemente pouca energia elétrica para aquecimento ou resfriamento dos ambientes, garantindo sempre maior conforto dentro dos ambientes.” (GURGEL, 2012, p.18). Para a autora (2012, p.20), o Design Passivo é composto de seis princípios, que basicamente coincidem com as estratégias bioclimáticas propostas na carta psicométrica adaptada ao Brasil:

- Adaptação ao clima – temperatura dentro e fora da casa, umidade do ar, brisas e ventos (quentes e frios), fontes de calor para “aquecer” os dias frios, materiais que possam “refrescar” em dias quentes.
- Orientação correta da construção.
- Aberturas (janelas e portas) bem posicionadas e protegidas.
- Utilização da massa térmica.
- Isolamento térmico.
- Ventilação cruzada.

As estratégias de projeto, propostas pela carta bioclimática, são descritas em Lamberts et al. (2014, p.269-288), acrescentando a necessidade eventual de combinar as estratégias passivas com elementos artificiais, para melhorar o conforto térmico, aliado à eficiência energética:

- Ventilação Natural.
- Ar Condicionado.
- Inércia Térmica para Resfriamento.
- Umidificação.
- Resfriamento Evaporativo.
- Inércia térmica para aquecimento.
- Aquecimento Solar Passivo.
- Aquecimento Artificial.

A tipologia residencial unifamiliar, devido à fácil adaptabilidade e aos poucos ocupantes em relação a uma edificação que exija maior ocupação, responde eficientemente a estratégias passivas para proporcionar conforto e eficiência energética, com pouca ou nenhuma necessidade de dispositivos artificiais. (LAMBERTS et al., 2014, p.276).

O projeto bioclimático, nesse sentido, possui um grande potencial para ampliar a eficiência energética das residências simultaneamente ao conforto térmico dos usuários, utilizando diferentes estratégias, especialmente a partir de componentes e materiais mais adaptados ao contexto climático local.

2.3 Contribuições de análises a partir do RTQ-R

Estudos semelhantes à proposta deste trabalho, que analisam edificações residenciais na ZB2 a partir do método do RTQ-R e incluem considerações sobre o desempenho térmico das mesmas, são apresentados em seguida.

Dalbem et al. (2017) analisaram uma *Casa Passiva* na ZB2 com o método de simulação do RTQ-R, e identificaram um bom desempenho da UH no verão com ventilação natural, enquanto no inverno encontraram a necessidade de aquecimento artificial, obtendo classificação Nível B para a envoltória devido ao maior consumo energético no período frio. O mesmo estudo indicou o *setpoint* de abertura das janelas e um bom isolamento da habitação como fator importante para melhorar a eficiência energética.

Nesse sentido, a necessidade de boa estanqueidade da envoltória e de ganho de calor nas edificações da ZB2 é reforçada também no trabalho de Pereira et al. (2017), que identificou a melhoria de conforto térmico em uma edificação exposta à radiação solar direta na superfície da cobertura e com um bom isolamento das paredes, obtendo, para tanto, sombreamento eventual nas vedações verticais externas. Ainda assim, os pré-requisitos da envoltória determinados pelo RTQ-R consideram aceitáveis paredes com Transmitância e Capacidade Térmica que não apresentam isolamento para a ZB2, como o sistema de parede de alvenaria convencional especificado no projeto em análise.

O uso de isolante térmico é também reforçado no estudo de Passos e Westphal (2015), que analisam uma residência na ZB3, ou seja, zona menos fria que a ZB2, considerando a associação à materiais de maior inércia térmica, como a alvenaria, para obter melhores resultados na diminuição das trocas térmicas entre exterior e interior da habitação.

De encontro a isso, Ferreira (2012) compara o uso de sistema *Wood Frame*, com isolamento térmico e câmara de ar nas paredes, na ZB1, a zona bioclimática mais fria, em relação ao sistema convencional de alvenaria. Os resultados consideram, a partir das características térmicas, os dois sistemas aprovados no pré-requisito da envoltória. Entretanto, a autor demonstra que o sistema em madeira se torna muito mais eficiente para resfriamento na ZB1 e mantém o aquecimento eficiente.

Ferreira (2012) faz ainda uma comparação de avaliação pelo RTQ-R de um sistema de envoltória na ZB1, a zona bioclimática mais fria, em relação às outras sete zonas. O estudo demonstra que, para o mesmo sistema de envoltória que atingiu Nível A na ZB1, o Indicador GHR (graus-hora para resfriamento), ou seja, a classificação para resfriamento no verão na ZB2 decaiu de B para D, mantendo Nível A para inverno.

A diferenciação dos pesos para verão e inverno se dá a partir da equação do Equivalente Numérico da Envoltória. Nesse caso, o cálculo para a ZB1 considera 92% de aquecimento necessário, enquanto para a ZB2 são 56%. Há uma diferença grande, considerando-se que os demais estudos aqui apresentados para a ZB2, apontam para soluções projetuais mais eficientes energeticamente durante o inverno, e que também proporcionem maior conforto nesse período, enquanto o resfriamento é atendido com ventilação natural.

Estudos comparativos dos níveis de eficiência propostos nos métodos de avaliação, considerando análise através do Regulamento Técnico, também foram abordados em Soares et al. (2017), em relação ao estabelecido pela NBR 15575 para a ZB2. Na pesquisa, os autores investigaram os níveis de desempenho indicados na Norma, para o método de simulação e prescritivo, sendo Mínimo, Intermediário e Superior e sua equivalência aos níveis de eficiência do RTQ-R, de A a C. Foram considerados critérios tanto da Norma, como renovação de ar constante e desocupada, como do RTQ-R, quando naturalmente ventilada e ocupada. De acordo com os autores, que analisaram as características térmicas propostas pela Norma a qual considera os

níveis de graus-hora de desconforto (GhD), alguns resultados das classificações de nível Intermediário e Mínimo para verão e inverno, não são tão semelhantes aos Níveis de Eficiência estabelecidos pelo RTQ-R, apesar de concluir que os métodos propostos pela Norma são compatíveis, pois há poucas variações.

Caso semelhante é abordado em Silva e Ghisi (2014), que comparam análises de desempenho entre o estabelecido pela NBR 15575 e a simulação do RTQ-R, porém em edificação na ZB3, na cidade de Florianópolis – SC. Utilizando diferentes cenários, os autores identificaram a maior diferença no inverno, em que Níveis A ou B no RTQ-R obtiveram classificação mínima na Norma. Já no verão, cerca de metade dos casos diferenciados para inverno apresentaram a classificação mínima no RTQ-R e intermediária na NBR 15575. O estudo conclui que os métodos são parecidos, porém o Regulamento Técnico é mais completo e abrangente. Além disso, abordam que as tabelas usadas nos métodos podem ser as causas de algumas das incompatibilidades (SILVA, A. S; GHISI, E. 2014, p. 215).

De forma geral, os estudos apresentados, considerando a ZB2, identificaram uma maior influência do frio no conforto térmico das habitações nesta zona bioclimática, indicando assim a necessidade do uso de isolamento térmico na envoltória associado a vedação com maior inércia térmica, o que também contribui para uma maior eficiência energética. O sombreamento também é apontado como importante para melhorar as condições de calor no verão, período em que a ventilação natural é considerada suficiente para o conforto interno.

2.4 Zoneamento bioclimático brasileiro

De acordo com a NBR 15220-3 (2005), Zona Bioclimática trata-se da “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

O Zoneamento Bioclimático, que se divide em oito zonas no Brasil, relaciona os seguintes itens: zona de conforto térmico humano, dados climáticos e soluções de projeto. Dessa forma, apresenta características de conforto térmico nas diferentes regiões geográficas do país.

De acordo com o Software ZBBR (2004), o município de estudo, São Lourenço do Oeste – Santa Catarina, localiza-se na Zona Bioclimática 2.

2.5 Programa Brasileiro De Etiquetagem De Edifícios - PBE Edifica e o PROCEL Edifica

O tema da eficiência energética, em pauta no INMETRO desde 1984 para melhoria no uso dos recursos, desencadeou o lançamento do Programa Brasileiro de Etiquetagem em 1992. Voltado à etiquetagem de eficiência energética de produtos, passou a usar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Com a Lei da Eficiência Energética, em 2001 (Lei nº 10.295/2001 e regulamentada pelo Decreto nº 4059), novas exigências começam a ser determinadas, incluindo níveis de adequados de eficiência energética para produtos. (BRASIL, 2013).

Em 2003, foi então iniciado o programa PROCEL Edifica, pela Eletrobrás, voltado para a eficiência energética do ambiente construído, onde também buscou formas de viabilizar a aplicação da Lei nº 10.295 em edificações.

A partir de então, com a interação de diferentes agentes, o PBE Edifica é criado e são lançados o RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, e o RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. O primeiro, revisado em 2010 e, o segundo, em 2012. (BRASIL, 2013).

Atualmente, o PBE trabalha conjuntamente com a Eletrobrás e com a Petrobrás, nos programas PROCEL e Conpet, respectivamente.

2.6 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R)

O RTQ-R apresenta os requisitos para a classificação no nível de eficiência energética de edificações residenciais, com base no Zoneamento Bioclimático e na localização geográfica. A classificação pode ser obtida separadamente para Unidades Habitacionais Autônomas - UH, Edificações Multifamiliares, e Áreas de Uso Comum de edificações multifamiliares ou de condomínios residenciais.

Para validar a classificação, seja na fase de projeto ou após a execução da obra, pode ser obtida a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), expedida pelo INMETRO. A etiqueta apresenta os níveis de eficiência, que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Além disso, o processo de avaliação do regulamento pode ser realizado por método prescritivo ou simulação computacional.

O foco deste trabalho abrange a determinação de eficiência no método prescritivo e considerando uma UH. Portanto, os próximos tópicos apresentam as recomendações para classificação específica das unidades habitacionais.

2.6.1 Unidades Habitacionais Autônomas (UH)

De acordo com o Regulamento Técnico (BRASIL, 2012), as Unidades Habitacionais Autônomas são também chamadas de edificações unifamiliares. Devem possuir acesso independente e conter, no mínimo, banheiro, dormitório, sala e cozinha, sendo que os três últimos podem ser conjugados.

Para obter a pontuação final e assim a classificação final do nível de eficiência energética, é necessária a apresentação do pré-requisito geral da UH e dos pré-requisitos de cada sistema que a compõe.

2.6.1.1 Pré-requisitos para classificação da Unidade Habitacional (UH)

2.6.1.1.1 Pré-requisito geral

O atendimento aos pré-requisitos é necessário para que a edificação possa obter nível de eficiência A e B. Portanto, o não cumprimento classifica a habitação com no máximo nível C.

Para tanto, o pré-requisito geral determina que “Para obtenção dos níveis de eficiência A e B, havendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote, a UH deve possuir medição individualizada de eletricidade e água” (BRASIL, 2012, p.15), exceto as edificações construídas até a data de publicação do RTQ-R.

2.6.1.2 Procedimentos para determinação da eficiência da UH: método

prescritivo

Para o processo de análise de desempenho das UH, no método prescritivo, o regulamento considera dois sistemas: Envoltória (Env) e Aquecimento de Água (AA), com a exceção da etiqueta para Áreas de Uso Comum. Para melhorar a classificação e ampliar as formas de garantir maior eficiência na habitação, o RTQ-R inclui o item Bonificações.

A pontuação total da unidade habitacional é obtida considerando a classificação de cada sistema – Envoltória e Aquecimento de Água - por meio dos seus respectivos Equivalente Numéricos (EqNum), somando as bonificações:

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

Equação 1: Pontuação Total do Nível de Eficiência da UH

Onde:

PT_{UH} : pontuação total da unidade habitacional

a: coeficiente tabelado pela norma e determinado de acordo com a região geográfica (ver tabela 1).

Tabela 1: Coeficiente “a” da equação

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

EqNumEnv: Equivalente Numérico da envoltória quando naturalmente ventilada, resultado da análise de desempenho térmico, após confirmação de cumprimentos dos pré-requisitos.

É dividido em Equivalente numérico da envoltória para Resfriamento (EqNumEnvResfr), Aquecimento (EqNumEnvA) e Refrigeração (EqNumEnvRefrig).

EnNumAA: Equivalente Numérico do desempenho térmico do aquecimento de água.

Bonificações: Pontuação para demais soluções que ampliem a eficiência energética da edificação, classificadas no RTQ-R.

A partir da pontuação geral encontrada, a edificação é classificada quanto ao Nível de Eficiência final, conforme demonstra a tabela 2, sendo o nível A o mais eficiente. A figura 2 demonstra o modelo de Etiqueta que indica o nível de eficiência (ENCE) da edificação.

Tabela 2: Pontuação obtida e a Classificação Final do Nível de Eficiência respectivo

CLASSIFICAÇÃO FINAL	PT
A	≥4,5 a 5
B	≥3,5 a <4,5
C	≥2,5 a <3,5
D	≥1,5 a <2,5
E	<1,5

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

Figura 2: Modelo de ENCE de projeto para UH



Fonte: PBE EDIFICA (BRASIL, 2013)

2.6.1.3 Envoltória

A envoltória é o sistema que realiza as principais trocas térmicas entre o ambiente interno e externo, sendo composta pelas fachadas, coberturas e pisos, assim como as aberturas com vidros e os vãos.

Para a classificação de eficiência da envoltória, são considerados somente os ambientes de permanência prolongada: quartos, salas e áreas de lazer fechadas. A cozinha não é avaliada, exceto nos casos em que se encontra contígua a um outro ambiente de permanência prolongada – APP (BRASIL, 2012). Além disso, cada ambiente é avaliado separadamente.

2.6.1.3.1 Pré-requisitos da envoltória

Propriedades dos componentes construtivos:

Transmitância térmica (U), Capacidade Térmica (CT) e Absortância Solar das superfícies (α).

Para esses pré-requisitos, o RTQ-R apresenta uma tabela (ver tabela 3) indicando os valores adequados para cada Zona Bioclimática.

Tabela 3: Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas, baseados nas normas NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3.

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

A Transmitância Térmica (U), de acordo com o RTQ-R (BRASIL, 2012, p.13), diz respeito à “transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo [...] incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzidas pela diferença de temperatura entre dois ambientes”. A transmitância é o inverso da resistência térmica:

$$U = \frac{1}{RT}$$

Equação 2: Transmitância Térmica

A equação da resistência térmica:

$$RT = Rse + Rt + Rsi$$

Equação 3: Resistência Térmica

Onde

Rt é a resistência térmica de superfície a superfície

Rse e Rsi são as resistências superficiais externa e interna respectivamente

Capacidade Térmica (CT) é “a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema” (BRASIL, 2012, p.6). O cálculo da CT, quando os componentes são formados por camadas homogêneas e estão perpendiculares ao fluxo de calor, é dado pela equação:

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{placa de concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{manta}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{laje}}$$

Equação 4: Capacidade Térmica

Para sistemas que abrangem diferentes materiais, o coeficiente final é obtido a partir da média resultante dos coeficientes dos materiais separadamente, sendo cada um ponderado por sua área correspondente.

Quanto à Absortância Solar (α), trata-se do “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície, geralmente relacionada a cor” (BRASIL, 2012, p.13). Na dificuldade de medição in loco com o equipamento adequado, espectrofotometro, o Anexo B da NBR 15220-2 (2005) apresenta tabelas que indicam os coeficientes adequados de acordo com o tipo de superfície (ver tabela 4), e o Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013) contém os coeficientes conforme algumas cores de tintas (ver tabela 5).

Tabela 4: Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas)

Tipo de Superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Calação nova	0,12 / 0,15
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 incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
"Alumínio"	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: Tabela B.2, NBR 15220 (2005)

Tabela 5: Absortância (α) de revestimentos de paredes e coberturas (tintas)

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	48,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	16,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	38,5	
	09		Concreto	74,5	Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bebê	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,8		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,8		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9	59		Pêssego	35,0	
	21		Branco Gelo	36,2	60		Telha	70,8	
	22		Cinza	66,4	61		Vanília	23,9	
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	26,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,8		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	63,2
29		Preto	97,1	68			Cerâmica	65,3	
30		Telha	69,8	69			Concreto	71,6	
31		Terracota	68,4	70			Flamingo	44,4	
32		Verde Quadra	75,5	71			Marfim	24,5	
33		Vermelho	64,2	72			Palha	26,4	
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	20,3		73		Pérola	22,9
	35		Amarelo Terra	61,4		74		Pêssego	29,8
	36		Areia	39,0		75		Preto	97,4
	37		Azul angra	32,3		76		Vanília	27,7
	38		Branco Sereno	26,5		77		Verde Musgo	70,8
	39		Branco	11,1		78		Vermelho Cardinal	63,3

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

Fonte: Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013)

Ventilação Natural

Quanto aos pré-requisitos de ventilação natural, exige-se que as aberturas tenham uma área mínima efetiva de ventilação, considerando à área útil dos ambientes de permanência prolongada (ver tabela 6).

Tabela 6: Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$

Nota: Nas ZB 1 a 7 e nas cidades que possuam médias mensais das temperaturas mínimas abaixo de 20°C, as aberturas para ventilação devem ser passíveis de fechamento durante o período de frio (excetuam-se as áreas de ventilação de segurança como as relativas às instalações de gás).

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

Nas ZB 2 a ZB 8, a ventilação cruzada é pré-requisito. Para identificar esse parâmetro, utiliza-se o seguinte cálculo:

$$(A1/ A2 \geq 0,25)$$

A1: Somatório das áreas de ventilação efetiva da fachada com MAIOR área total de aberturas para ventilação

A2: Somatório das áreas de ventilação efetiva da fachada com MENOR área total de aberturas para ventilação

No cálculo da ventilação, deve ser considerada somente a abertura efetiva para ventilação, excluindo-se o caixilho, assim como as portas de acesso principal e de serviço devem ser desconsideradas. Ainda, as áreas com corredores não devem ser incluídas como área útil.

O ambiente que não cumprir com este pré-requisito, será classificado no Equivalente Numérico para Resfriamento (EqNumEnvAmbResfr) entre os níveis C a E.

Para garantir o nível A, ao menos metade dos banheiros devem possuir ventilação natural (os lavabos não se incluem neste cálculo). Prismas, poços e forros com ventilação são permitidos.

Iluminação Natural

Para cumprir este pré-requisito, as áreas efetivas para entrada de iluminação natural nos ambientes de permanência prolongada precisam ser ao menos 12,5% da área do ambiente. Ambientes interligados, sem divisões, devem ser considerados com um espaço único para o cálculo.

Assim como no cálculo da ventilação, a área efetiva de iluminação desconsidera os caixilhos das esquadrias.

O não cumprimento dos pré-requisitos resulta em classificação da envoltória com no máximo Nível C, em resfriamento, aquecimento e refrigeração. A ventilação natural é exceção, pois a pontuação neste caso somente diminui quanto ao desempenho do resfriamento.

O RTQ-R ainda considera projetos que apresentem algumas especificidades construtivas e seus pré-requisitos, no item 3.1.1 do RTQ-R (BRASIL, 2012).

2.6.1.3.2 Procedimentos para determinação da eficiência da envoltória

O método prescritivo do regulamento técnico, escolhido neste trabalho, avalia o desempenho térmico da envoltória das UH por meio de um Equivalente Numérico (EqNumEnv), para analisar a eficiência da edificação naturalmente ventilada. O resultado demonstra o impacto da envoltória no consumo energético da UH.

As equações determinadas pelo RTQ-R foram desenvolvidas através de regressões múltiplas. Para determinar o Equivalente Numérico, é necessário verificar em qual zona bioclimática a edificação se encontra, e assim utilizar a equação correspondente.

Para cada ambiente de permanência prolongada são calculados os indicadores Graus-hora para resfriamento (GHR) considerando a envoltória no verão, e o Consumo relativo para aquecimento (CA), considerando a envoltória no inverno. Para o cálculo dos indicadores, deve ser utilizada a equação de acordo com a Zona Bioclimática. A tabela 7 indica as constantes da equação de graus-hora para resfriamento (GHR) e a tabela 8 apresenta as constantes da equação de consumo relativo para aquecimento (CA). Neste trabalho, a ZB 2:

$$\begin{aligned}
GH_R = & (a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times solo \times AU_{amb}) + (d \times somb) + (e \times U_{cob}) \\
& + (f \times \alpha_{par}) + (g \times U_{par}) + (h \times PD/AU_{amb}) + (i \times CT_{alta}) + (j \times Ab_S) + (k \times \alpha_{cob}) \\
& + (l \times solo) + (m \times F_{vent}) + (n \times CT_{cob}) + (o \times SomA_{par}) + (p \times AU_{amb}) \\
& + (q \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + (r \times vid) + (s \times AAb_O \times (1-somb)) \\
& + (t \times AP_{ambL} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (u \times AP_{ambN} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (v \times pil) \\
& + (w \times AAb_L \times (1-somb)) + (x \times AP_{ambO} \times U_{par} \times \alpha_{par}) \\
& + [y \times (U_{par} \times \alpha_{par}/CT_{par}) \times SomA_{par}] + (z \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (aa \times P_{ambN}) \\
& + (ab \times Ab_N) + (ac \times AP_{ambN}) + (ad \times cob \times AU_{amb}) + (ae \times AAb_N \times F_{vent}) \\
& + (af \times AP_{ambN} \times U_{par}) + [ag \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] \\
& + (ah \times AAb_L \times somb) + (ai \times AAb_O) + (aj \times PD) + (ak \times AAb_S \times somb) \\
& + (al \times AAb_N \times somb) + (am \times A_{parint}) + (an \times AP_{ambN} \times \alpha_{par}) + (ao \times AAb_S) \\
& + (ap \times AP_{ambS} \times U_{par}) + (aq \times AAb_S \times F_{vent}) + (ar \times isol) \\
& + (as \times A_{parint} \times CT_{par}) + (at \times P_{ambO}) + (au \times AP_{ambO}) + (av \times Ab_O)
\end{aligned}$$

Equação 5: Indicador de
Graus-hora para
resfriamento (GHR) -ZB2

Tabela 7: Constantes da equação 5

a	6000,8491	m	-1460,7816	y	-4,0776	ak	109,2535
b	2386,2991	n	-0,5852	z	40,8156	al	63,5351
c	-14,3895	o	17,1399	aa	1631,2619	am	6,2899
d	-2377,3152	p	-17,4787	ab	-965,5409	an	-74,6509
e	-134,9247	q	64,3714	ac	-21,6288	ao	-89,8677
f	1905,8260	r	-433,2762	ad	-11,3058	ap	-14,2651
g	374,3660	s	61,6169	ae	43,1130	aq	66,7633
h	5560,6203	t	44,0963	af	-44,4243	ar	-348,4968
i	-934,7427	u	108,6003	ag	7,8959	as	-0,0022
j	-714,8608	v	-314,5094	ah	80,4137	at	1010,6465
k	2112,5740	w	84,7338	ai	63,1816	au	-58,4028
l	-1614,9760	x	36,2855	aj	-269,4569	av	-441,3903

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

Obs: No caso de o resultado obtido ser um número negativo, o indicador de resfriamento deve ser considerado como zero.

$$\begin{aligned}
C_A = & [(a) + (PD \cdot AU_{amb} \cdot b) + (CT_{baixa} \cdot c) + (pil \cdot AU_{amb} \cdot d) + (isol \cdot e) \\
& + (PambS \cdot f) + (A_{parInt} \cdot CT_{par} \cdot g) + ((U_{par} \cdot \alpha_{par} / CT_{par}) \cdot Soma_{parext} \cdot h) \\
& + (\alpha_{par} \cdot i) + ((U_{cob} \cdot \alpha_{cob} / CT_{cob}) \cdot AU_{amb} \cdot j) + (AAbN \cdot F_{vent} \cdot k) + (solo \cdot AU_{amb} \cdot l) \\
& + (cob \cdot AU_{amb} \cdot m) + (U_{cob} \cdot \alpha_{cob} \cdot cob \cdot AU_{amb} \cdot n) + (AU_{amb} \cdot o) \\
& + (AAbS \cdot U_{vid} \cdot p) + (U_{par} \cdot q) + (AAbL \cdot U_{vid} \cdot r) + (AP_{ambS} \cdot s) \\
& + (Soma_{parext} \cdot CT_{par} \cdot t) + (A_{parInt} \cdot u) + (AP_{ambN} \cdot \alpha_{par} \cdot v) + (vid \cdot w) \\
& + (CT_{cob} \cdot x) + (cob \cdot y) + (CT_{par} \cdot z) + (\alpha_{cob} \cdot aa) + (AP_{ambS} \cdot \alpha_{par} \cdot ab) \\
& + (AAbS \cdot ac) + (A_{pambN} \cdot U_{par} \cdot ad) + (A_{pambS} \cdot U_{par} \cdot ae) + (pil \cdot af) \\
& + (PD / AU_{amb} \cdot ag) + (AAbO \cdot F_{vent} \cdot ah) + (AAbO \cdot U_{vid} \cdot ai) + (solo \cdot aj) \\
& + (somb \cdot ak) + (Soma_{parext} \cdot al) + (AAbN \cdot U_{vid} \cdot am) + (AAbN \cdot an) \\
& + (AP_{ambS} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par} \cdot ao) + (AAbL \cdot F_{vent} \cdot ap) + (AP_{ambN} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par} \cdot aq) \\
& + (AP_{ambN} \cdot ar) + (CT_{alta} \cdot as) + (AAbO \cdot at) + (AP_{ambL} \cdot \alpha_{par} \cdot au) \\
& + (AP_{ambO} \cdot \alpha_{par} \cdot av) + (AAbS \cdot somb \cdot aw) \\
& + (AAbS \cdot (1-somb) \cdot ax)] / (AU_{amb} \cdot 1000)
\end{aligned}$$

Equação 6: Indicador de consumo relativo para aquecimento (CA) -
ZB2

Tabela 8: Constantes da equação 6

a	241.750,739	n	-1,135	aa	-63.182,966	am	1.579,388
b	2.596,578	o	-4.948,355	ab	-914,099	an	-7.565,449
c	48.773,966	p	2.298,395	ac	5.547,583	ao	-1.763,732
d	4.579,321	q	-30.991,823	ad	2.189,335	ap	-7.381,679
e	-107.685,313	r	1.937,799	ae	1.814,481	aq	-2.164,848
f	-9.454,813	s	-1.316,292	af	20.607,874	ar	-4.623,174
g	-1,083	t	-2,632	ag	-298.542,715	as	-7.636,798
h	549,605	u	594,611	ah	-10.004,110	at	-2.621,933
i	-55.376,626	v	-1.296,994	ai	1.830,807	au	-3.795,605
j	677,786	w	1.383,905	aj	11.788,638	av	-3.772,944
k	-9.966,523	x	-31,241	ak	7.671,479	aw	-7.024,229
l	1.940,457	y	77.335,684	al	5.175,141	ax	-3.591,401
m	2.200,750	z	59,266				

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

Na sequência, são identificados, em tabelas, para cada Zona Bioclimática, os Equivalentes numéricos para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr) e aquecimento (EqNumEnvAmbA), como apresenta a tabela 9:

Tabela 9: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para Resfriamento e Aquecimento, respectivamente – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb _{Resfr}	Condição	Eficiência	EqNumEnvAmb _A	Condição (kWh/m ² .ano)
A	5	$GH_R \leq 2.310$	A	5	$C_A \leq 15.591$
B	4	$2.310 < GH_R \leq 4.396$	B	4	$15.591 < C_A \leq 31.182$
C	3	$4.396 < GH_R \leq 6.481$	C	3	$31.182 < C_A \leq 46.772$
D	2	$6.481 < GH_R \leq 8.567$	D	2	$46.772 < C_A \leq 62.363$
E	1	$GH_R > 8.567$	E	1	$C_A > 62.363$

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

Para obter os equivalentes numéricos, EqnumEnvResfr – relacionado ao resfriamento, e EqNumEnvA – relacionado ao aquecimento, é necessário ponderar os EqNumEnvAmbResfr e EqNumEnvAmbA pelas áreas úteis dos ambientes (AUamb). Assim, para o cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv), são utilizadas as equações que abrangem os dois equivalentes calculados anteriormente, distribuídas com pesos conforme a Zona Bioclimática.

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,56 \times EqNumEnv_A$$

Equação 7: Equação para cálculo do Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) – ZB2

Onde

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória

EqNumEnvResfr: equivalente numérico da envoltória para resfriamento

EqNumEnvA: equivalente numérico da envoltória para aquecimento

O Equivalente Numérico resultante do sistema da Envoltória (EqNumEnv) é então relacionado ao Nível de Eficiência final (ver tabela 10):

Tabela 10: Equivalente Numérico (EqNum) e Nível de Eficiência respectivo

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

Em casos de condicionamento artificial, o cálculo da eficiência, apesar de ter caráter informativo, deve ser calculado para os dormitórios (exceto os de serviço), mesmo que a edificação seja naturalmente ventilada. O indicador é o Consumo relativo para refrigeração (C_R), determinado pela ponderação de C_R de cada dormitório. Para a bonificação de condicionamento de ar, é obrigatório atingir Nível A de eficiência neste equivalente.

O Consumo relativo para refrigeração dos dormitórios condicionados artificialmente (C_R), se dá pela equação 8 e as constantes para cálculo do Consumo relativo para refrigeração de dormitórios condicionados artificialmente – ZB2 encontram-se na tabela 11.

$$\begin{aligned}
C_R = & [(a) + (b \cdot \text{solo}) + (c \cdot \text{somb}) + (d \cdot PD \cdot AU_{\text{amb}}) + (e \cdot AU_{\text{amb}}) \\
& + (f \cdot CT_{\text{Baixa}}) + (g \cdot \alpha_{\text{par}}) + (h \cdot \text{cob} \cdot AU_{\text{amb}}) + (i \cdot \text{isol}) + (j \cdot \text{Abs}) \\
& + (k \cdot \text{solo} \cdot AU_{\text{amb}}) + (l \cdot A_{\text{parInt}}) + [m \cdot (U_{\text{cob}} \cdot \alpha_{\text{cob}} / CT_{\text{cob}}) \cdot AU_{\text{amb}}] \\
& + [n \cdot AAbO \cdot (1-\text{somb})] + [o \cdot (U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}} / CT_{\text{par}}) \cdot \text{SomA}_{\text{parent}}] + (p \cdot \alpha_{\text{cob}}) \\
& + (q \cdot \text{cob}) + (r \cdot A_{\text{parInt}}) + (s \cdot \text{pil}) + [t \cdot AAbL \cdot (1-\text{somb})] + (u \cdot AAbL \cdot U_{\text{vid}}) \\
& + (v \cdot AP_{\text{ambO}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (w \cdot AP_{\text{ambN}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (x \cdot AP_{\text{ambL}} \cdot \alpha_{\text{par}}) \\
& + (y \cdot AP_{\text{ambS}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (z \cdot \text{SomA}_{\text{parent}}) + (aa \cdot CT_{\text{cob}}) + (ab \cdot CT_{\text{alta}}) + (ac \cdot U_{\text{par}}) \\
& + (ad \cdot AP_{\text{ambN}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (ae \cdot AP_{\text{ambS}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (af \cdot U_{\text{cob}}) \\
& + (ag \cdot U_{\text{cob}} \cdot \alpha_{\text{cob}} \cdot \text{cob} \cdot AU_{\text{amb}}) + (ah \cdot \text{vid}) + (ai \cdot AAbS) + (aj \cdot CT_{\text{par}}) \\
& + (ak \cdot \text{SomA}_{\text{parent}} \cdot CT_{\text{par}}) + (al \cdot \text{pil} \cdot AU_{\text{amb}}) + (am \cdot AAbL) \\
& + [an \cdot AAbN \cdot (1-\text{somb})] + (ao \cdot AP_{\text{ambS}}) + (ap \cdot PD) + (aq \cdot AP_{\text{ambO}} \cdot U_{\text{par}}) \\
& + (ar \cdot AP_{\text{ambL}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (as \cdot AP_{\text{ambN}}) + [at \cdot AAbS \cdot (1-\text{somb})] \\
& + (au \cdot AAbS \cdot \text{somb}) + (av \cdot AAbO \cdot \text{somb}) + (aw \cdot AAbN \cdot \text{somb}) \\
& + (ax \cdot AAbN \cdot F_{\text{vent}}) + (ay \cdot AAbO \cdot F_{\text{vent}}) + (az \cdot AAbS \cdot F_{\text{vent}}) \\
& + (ba \cdot AAbL \cdot F_{\text{vent}}) / (AU_{\text{amb}} \cdot 1000)
\end{aligned}$$

Equação 8: Consumo relativo para refrigeração de dormitórios condicionados artificialmente – ZB2

Tabela 11: Constantes da equação 8

a	334.629,436	o	-502,764	ab	-26.979,530	ao	1.829,908
b	-64.448,129	p	216.237,847	ac	-22.651,656	ap	39.243,602
c	-47.641,919	q	-189.328,918	ad	1.851,439	aq	507,292
d	6.828,342	r	-6.338,149	ae	1.265,909	ar	887,993
e	-9.991,560	s	-20.904,955	af	31.139,060	as	1.171,248
f	-58.944,896	t	6.790,879	ag	-0,715	at	-8.205,974
g	60.676,473	u	82,051	ah	-11.134,987	au	-12.838,865
h	2.206,074	v	7.137,224	ai	-3.919,778	av	-13.768,032
i	-64.659,132	w	2.793,896	aj	-39,698	aw	-13.562,196
j	-7.680,207	x	5.566,738	ak	0,696	ax	8.224,420
k	-1.979,936	y	1.228,379	al	-410,523	ay	7.765,460
l	0,205	z	-10.012,598	am	-943,432	az	6.299,260
m	-1.217,268	aa	38,174	an	-5.067,412	ba	3.507,485
n	6.762,040						

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

O Equivalente Numérico para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig) é determinado a partir da tabela 12:

Tabela 12: Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração – ZB2

Eficiência	EqNumEnvAmb _{Refrig}	Condição(kWh/m ² .ano)
A	5	$C_R \leq 5,849$
B	4	$5,849 < C_R \leq 11,288$
C	3	$11,288 < C_R \leq 16,727$
D	2	$16,727 < C_R \leq 22,166$
E	1	$C_R > 22,166$

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

O equivalente numérico da envoltória para refrigeração, assim como os anteriores, é calculado através de ponderação dos equivalentes numéricos obtidos para cada ambiente pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb).

2.6.1.4 Sistema de aquecimento de água

A avaliação do sistema de aquecimento de água só acontece quando este é entregue instalado na edificação. Portanto, sistemas de espera não são analisados. Quando não existir sistema de aquecimento de água na edificação, o Equivalente numérico (EqNumAA) obrigatoriamente deve ser 1, obtendo o nível mínimo de eficiência, E.

Para cada sistema de aquecimento da água, utiliza-se uma forma de avaliação diferente. No caso de aquecimento solar, a metodologia é dada no RTQ-R ou pode ser realizada simulação computacional. Os sistemas a gás são avaliados de acordo com a classificação no PBE. Já as bombas de calor, são consideradas de acordo com o coeficiente de performance (COP), enquanto as caldeiras dependem do combustível utilizado. No aquecimento elétrico de passagem e de hidromassagem, a potência do aparelho é analisada. Nos sistemas de aquecimento elétrico por acumulação, como o boiler, exceto nos casos de integrarem o sistema de aquecimento solar, são consideradas a potência para os equipamentos que fazem parte do PBE.

Os pré-requisitos são:

Tubulações

Para obter nível A ou B, as tubulações devem ser apropriadas e de acordo com as normas técnicas.

No caso de tubulações metálicas, além de seguir as normas específicas, devem possuir espessuras de isolamento mínimas, conforme demonstra a tabela 13.

Tabela 13: Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água

Temperatura da água (°C)	Condutividade térmica (W/mK)	Diâmetro nominal da tubulação (mm)	
		$c < 40$	$c \geq 40$
$T \geq 38$	0,032 a 0,040	1,0 cm	2,5 cm

Fonte: Anexo do RTQ-R (BRASIL, 2012)

Quando a tubulação não for metálica, deve ter espessura mínima de 1,0 cm para qualquer diâmetro nominal, com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/mK. Para os casos em que há outras especificações de condutividade térmica, há uma equação no RTQ-R para encontrar a espessura mínima necessária.

Reservatórios

Para reservatórios de água quente instalados em sistemas que não sejam de aquecimento solar, deve-se comprovar que a estrutura do reservatório apresenta resistência térmica mínima de 2,20 (m²K)/W.

2.6.1.4.1 Procedimentos para determinação da eficiência do aquecimento de água

Para classificar a eficiência do aquecimento de água, o regulamento apresenta sistemas do tipo solar e a gás, que fazem parte do PBE, assim como bombas de calor de alta eficiência.

Para sistemas combinados, como solar e gás ou bomba de calor, é usado o maior equivalente numérico. No caso de solar com elétrico, o equivalente numérico do aquecimento solar é respeitado, porém este deve possuir uma fração solar mínima de 70%. Em outros combinados, o equivalente numérico depende da porcentagem de demanda de cada sistema, multiplicado pelo seu respectivo EqNumAA, de acordo

com equação disponível no RTQ-R.

2.6.1.5 Bonificações

As bonificações são pontos extras que a edificação recebe ao adotar medidas que aumentem sua eficiência energética. Assim, cada medida recebe no máximo 1 ponto na classificação geral e é necessário comprovar e justificar.

A pontuação do item bonificações é obtida através do somatório das bonificações parciais:

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8$$

- Ventilação Natural (porosidade, dispositivos especiais, centro geométrico, permeabilidade): até 0,40 pontos
- Iluminação Natural (profundidade e refletância do teto): até 0,30 pontos
- Uso racional de água: até 0,20 pontos
- Condicionamento artificial de ar: até 0,20 pontos
- Iluminação artificial: até 0,10 pontos
- Ventiladores instalados no teto: 0,10 pontos
- Refrigeradores instalados na UH: 0,10 pontos
- Medição individualizada: 0,10 pontos

Apesar de o somatório resultar em 1,5 pontos, a pontuação máxima considerada é de 1,0 ponto.

3 MÉTODO

A avaliação de desempenho de uma edificação pode ser realizada na concepção projetual ou após a execução. As análises podem acontecer a partir de normas, usando um método prescritivo para identificar se atende aos pré-requisitos ou estratégias construtivas ou por meio de Softwares de simulação computacional.

A pesquisa foi construída com base nas modalidades qualitativa e quantitativa (mista),

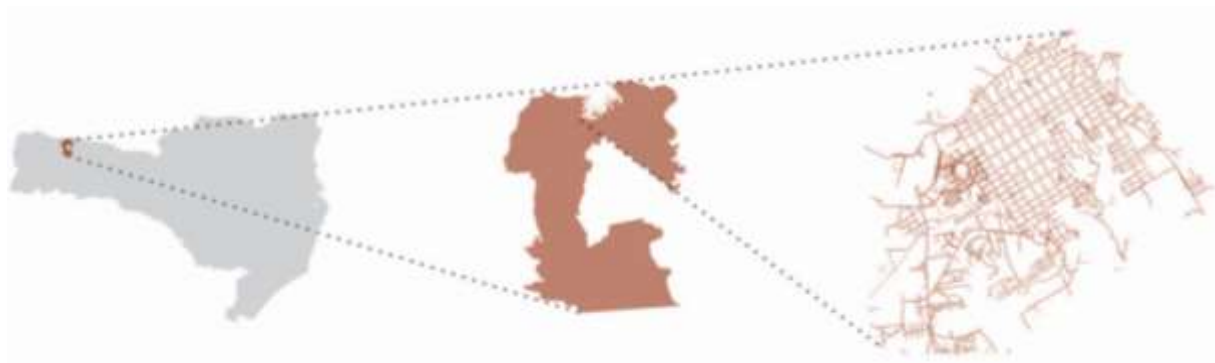
na qual inicialmente foram utilizados como instrumentos de análise do clima e identificação de estratégias para a Zona Bioclimática de estudo os Softwares ZBBR e Climate Consultant 6.0, a Norma NBR 15575, e o Site Projeteer - desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, compondo assim um Quadro-Síntese das estratégias bioclimáticas para o local. Na sequência, foi realizada a avaliação de desempenho da eficiência energética da residência em estudo, por meio do método prescritivo do RTQ-R utilizando a planilha de cálculo disponível no site do PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem, considerando os pré-requisitos gerais e específicos para cada ambiente. A partir das análises, foram identificadas as melhorias e adequações necessárias. As alterações foram realizadas, focando em estratégias passivas de conforto térmico, adequadas ao contexto climático local, utilizando o Quadro-Síntese de estratégias como base para as novas soluções propostas. Os estudos finalizaram com uma nova avaliação no RTQ-R, considerando as modificações propostas.

Tendo em vista a análise de um projeto desenvolvido para o local de estudo, espera-se identificar a eficiência energética da UH e o potencial de conforto interno proporcionado pelas alterações propostas na envoltória. Além disso, sobretudo em relação ao conforto térmico para aquecimento, espera-se que as sugestões de melhorias e adaptações possam auxiliar na concepção de futuros projetos, mais adequados ao clima local, na perspectiva da arquitetura bioclimática.

4 ESTUDO DE CASO

A região deste estudo de caso situa-se no noroeste do estado de Santa Catarina, neste trabalho especificamente o município de São Lourenço do Oeste (ver figura 3).

Figura 3: Localização do município no estado de Santa Catarina



Fonte: elaborado pela autora

4.1 Caracterizações gerais e o clima local

O município, de acordo com o IBGE (2019), possui cerca de 23.857 habitantes. Localiza-se geograficamente abaixo do trópico de Capricórnio, com Latitude 26,36° Sul e longitude 52,85° Oeste, a uma altitude média de 893 metros acima do nível do mar (ZBBR, 2004). Além disso, pertence a unidade de relevo Planalto das Araucárias (IBGE, 2019).

De acordo com dados do Ciram – EPAGRI (2002), insere-se na classificação climática de Köppen, apresentando clima Cfb – Clima Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno).

4.2 Objeto de estudo

A edificação em estudo é de tipologia residencial unifamiliar (UH), planejada para o uso de quatro moradores, sendo um casal e duas crianças, e foi projetada pela autora deste trabalho (ver figuras 4, 5 e 6).

Os clientes optaram por algumas soluções projetuais consideradas eficientes, como o aquecimento solar da água e o aproveitamento da água da chuva para os sanitários e para as torneiras externas do jardim.

Figura 4: Fachada Frontal - Leste



Fonte: elaborado pela autora

Figura 5: Fachada Lateral - Norte



Fonte: elaborado pela autora

Figura 6: Fachada fundos - Oeste



Fonte: elaborado pela autora

O primeiro nível, térreo, apresenta as áreas mais sociais e de lazer, como salas de estar a jantar, cozinha, área para festas externa, piscina e um lavabo. Já no primeiro pavimento, na parte superior, ficam os ambientes mais íntimos, como dormitórios e

banheiros (ver figuras de 7 a 10). A UH possui área total de 233,46 m².

Figura 7: Planta Térreo



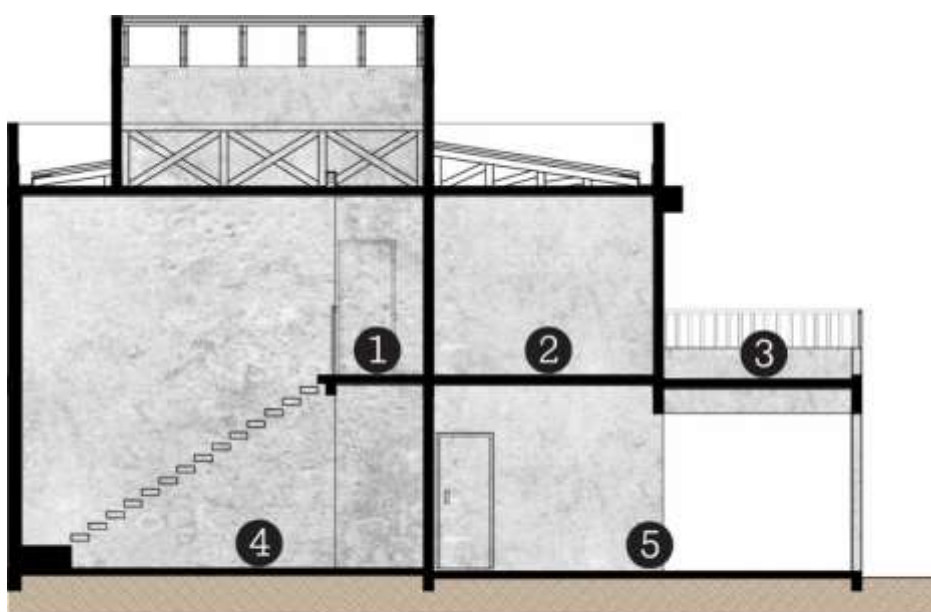
Fonte: elaborado pela autora

Figura 8: Planta 1º Pavimento



Fonte: elaborado pela autora

Figura 9: Corte A

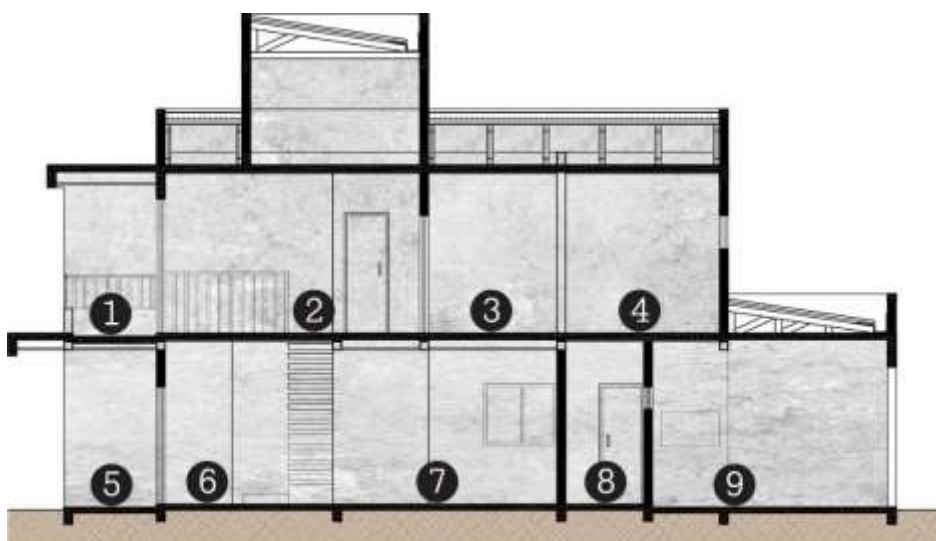


CORTE A | Sem Escala

1 Circulação 3 Terraço 5 Garagem
2 Dormitório 02 4 Sala de Estar

Fonte: elaborado pela autora

Figura 10: Corte B



CORTE B | Sem Escala

1 Varanda 3 Suite 5 Acesso Principal 7 Sala de Jantar 9 Salão de Festas
2 Circulação 4 BWC Suite 6 Hall 8 Lavabo

Fonte: elaborado pela autora

5 RESULTADOS

Neste trabalho, optou-se por trabalhar com o método prescritivo do RTQ-R, buscando

identificar a classificação de eficiência energética da edificação e propor melhores soluções para atingir nível A de desempenho.

Para obtenção da Classificação de Eficiência do RTQ-R, foram utilizadas as planilhas eletrônicas do LABEEE como base dos cálculos, indicadas na norma do Regulamento. A planilha permite dados quantitativos de entrada, o que resultou na classificação da por ambiente, considerando o cumprimento dos pré-requisitos iniciais para a UH.

Assim, a classificação do nível de eficiência energética compreende a análise de dois sistemas, envoltória e aquecimento de água, acrescentando as possíveis bonificações e considerando os pré-requisitos.

Por fim, os resultados foram analisados a partir da pontuação total da UH (PTUH) e do seu nível de eficiência energética correspondente. Assim, foram sugeridas melhorias para futuras habitações na zona bioclimática 2, de forma a ampliar o nível de eficiência da habitação e o conforto térmico dos moradores.

5.1 Classificação no zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes bioclimáticas indicadas

5.1.1 Instrumentos de Análise

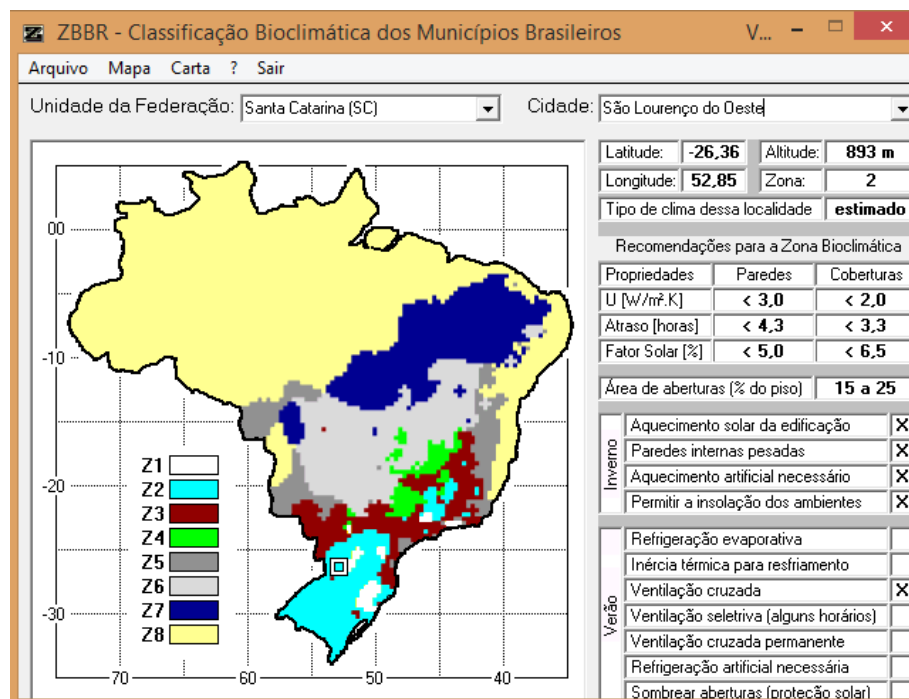
Os instrumentos de análise escolhidos para este trabalho apresentam recomendações para ampliar o repertório de soluções projetuais possíveis, na sugestão de alternativas e melhores estratégias de conforto para a Zona Bioclimática 2.

5.1.1.1 Software ZBBR

O Software ZBBR (2004), elaborado conforme ABNT NBR 15220-3, de 29/04/2005, de autoria de Maurício Roriz e disponível no *site* do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina, permite a identificação do município na Zona Bioclimática a que pertence. A norma NBR 15220 apresenta uma lista de municípios que possuem sua classificação a partir de dados climáticos encontrados nas estações meteorológicas. Para os demais municípios que não possuem dados disponíveis nessas plataformas, como é o caso

de São Lourenço do Oeste, o software gera os resultados a partir de interpolação (ZBBR, 2004). A figura 11 apresenta a classificação bioclimática do município de São Lourenço do Oeste – SC.

Figura 11: ZBBR – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros – São Lourenço do Oeste, SC



Fonte: ZBBR (2004)

De acordo com o software, a cidade de São Lourenço do Oeste – SC, pertence à zona bioclimática 2. Ainda, sugere algumas estratégias baseadas na NBR 15.215-3 que seguem abaixo.

Inverno:

- Aquecimento solar da edificação
- Paredes internas pesadas
- Aquecimento artificial necessário
- Permitir a insolação dos ambientes

Verão:

- Ventilação cruzada.

Para identificar maiores detalhes das estratégias a partir do ZBBR, e devido à inexistência de dados climáticos tratados para o município em estudo, foi utilizada a estação meteorológica da cidade de referência mais próxima, Xanxerê – SC, que possui características semelhantes. Além de estar situada na mesma zona bioclimática, ZB 2, a cidade de Xanxerê apresenta altitude de 841,2m, temperatura média de verão de 21,12°C e de inverno de 15,70°C, e umidade relativa média anual de 73,65%, estando situada a cerca de 90 km de distância. Para tal, o ZBBR indica as estratégias ABCFI, que devem ser identificadas na NBR 15220 (2003), conforme demonstra a figura 12.

Figura 12: Estratégias de condicionamento térmico destacadas

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuam.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: NBR 15220 (2005) – Adaptado pela autora

As estratégias recomendadas pela NBR 15220 indicam aquecimento artificial aliado ao aquecimento passivo, o que inclui a orientação correta das superfícies de vidro, cor externa mais escura para absorver radiação solar, e o aproveitamento de inércia térmica, através da alta massa térmica nas paredes internas. Inclui também a desumidificação do ar por meio da ventilação para renovação do ar, e indica a ventilação cruzada como estratégia para resfriamento passivo.

5.1.1.2 NBR 15575

Coberturas

A NBR 15575 – Parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas (2013), inclui a Transmitância Térmica e os níveis de desempenho da cobertura quanto ao isolamento térmico, de acordo com a Zona Bioclimática. Os valores podem ser verificados na tabela 14.

Tabela 14: Critérios e Níveis de desempenho de coberturas quanto à Transmitância Térmica – NBR 15575

Transmitância térmica (U) W/m ² K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹⁾		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α ¹⁾ ≤ 0,6	α ¹⁾ > 0,6	α ¹⁾ ≤ 0,4	α ¹⁾ > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

Fonte: NBR 15575, parte 5 (2013)

Dessa forma, de acordo com a Norma, para o isolamento da cobertura ser considerado de Desempenho Superior na ZB 2, U (transmitância térmica) deve ser menor ou igual a 1,0 (um). O valor mínimo e obrigatório para U é 2,3 W/m²K.

Paredes

De acordo com a NBR 15575 – Parte 4: Sistemas de Vedações Verticais internas e externas (2013), a transmitância térmica mínima das paredes externas na ZB 2, é de 2,5 W/m²K, conforme demonstra a tabela 15.

Tabela 15: Transmitância Térmica de paredes externas – NBR 15575

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^a α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15575, parte 4 (2013)

Além disso, a Capacidade Térmica dada pela norma para a ZB 2 deve ser maior ou igual a 130 kJ/m².K (ver tabela 16).

Tabela 16: Capacidade Térmica de paredes externas – NBR 15575

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15575, parte 4 (2013)

5.1.1.3 Software *Climate Consultant*

O software *Climate Consultant* 6.0 (2018) foi utilizado para análise do clima local e obtenção das estratégias bioclimáticas mais adequadas. Dentro do programa, optou-se por verificar o nível de conforto adaptativo pela Norma ASHRAE 55 (2010).

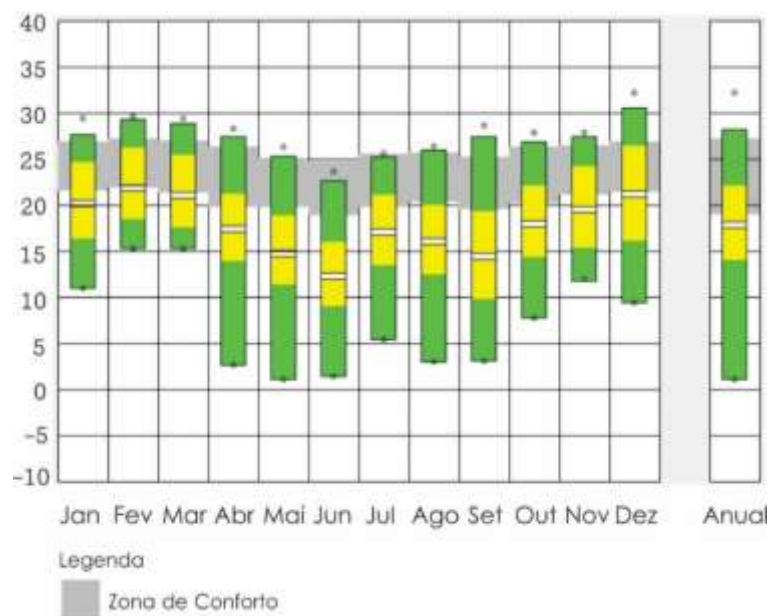
A norma aborda que,

“Nos espaços naturalmente ventilados, onde os ocupantes podem abrir e fechar janelas, a sua sensação térmica dependerá em parte do clima externo, e pode ter maior nível de conforto do que edificações com sistemas HVAC centralizados. O modelo entende que os usuários adaptam suas vestimentas às condições térmicas do ambiente, e são sedentários. Não deve haver sistema de refrigeração mecânico, e este método não se aplica se há sistemas de aquecimento mecânicos em operação” (CLIMATE CONSULTANT, 2018, tradução nossa).

Para o desenvolvimento do trabalho neste Software, foram usados os arquivos climáticos em formato *.EPW - Energyplus Weather Data*, disponíveis no site *Roriz Engenharia Bioclimática* (2019), que possui dados para 411 municípios brasileiros.

Como demonstra o gráfico abaixo (ver figura 13), gerado no Software com os dados da cidade de referência, Xanxerê – SC, o local de análise apresenta temperaturas muito baixas e se mantém ao longo do ano com temperaturas mais frias. Assim, são poucos os períodos na Zona de Conforto Térmico.

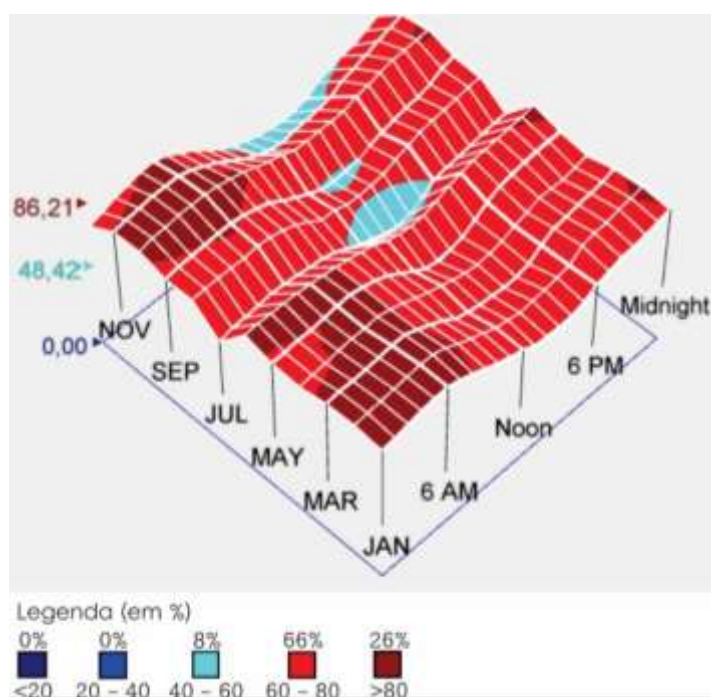
Figura 13: Gráfico de Variação de Temperatura



Fonte: Climate Consultant 6.0 (2018) – Adaptado pela autora

Além disso, o clima é muito úmido, e engloba os meses mais frios no inverno, atingindo médias de umidade relativa maiores do que 80%, como demonstra o gráfico de Umidade Relativa, na figura 14.

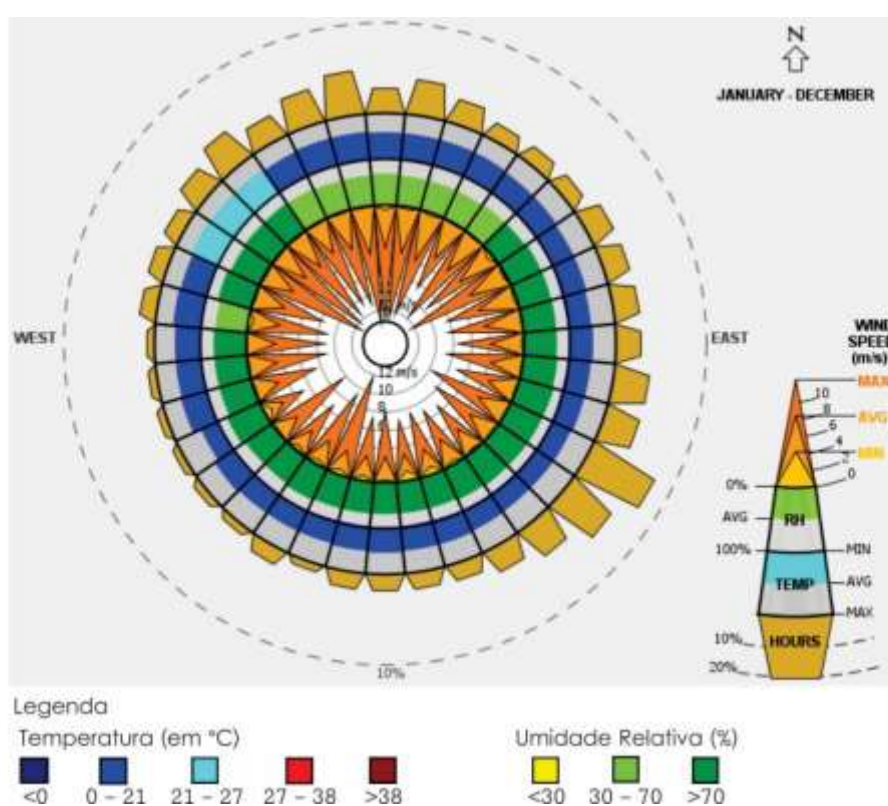
Figura 14: Gráfico de Umidade Relativa



Fonte: Climate Consultant 6.0 (2018) – Adaptado pela autora

Os ventos são constantes e velozes, atingindo até 12 metros por segundo, sendo a maior parte do tempo frios, entre 0 e 21°C. Além disso, são bastante úmidos, com umidade relativa maior do que 70%, especialmente na orientação Sudeste, de onde chegam os ventos dominantes (ver figura 15).

Figura 15: Rosa dos Ventos



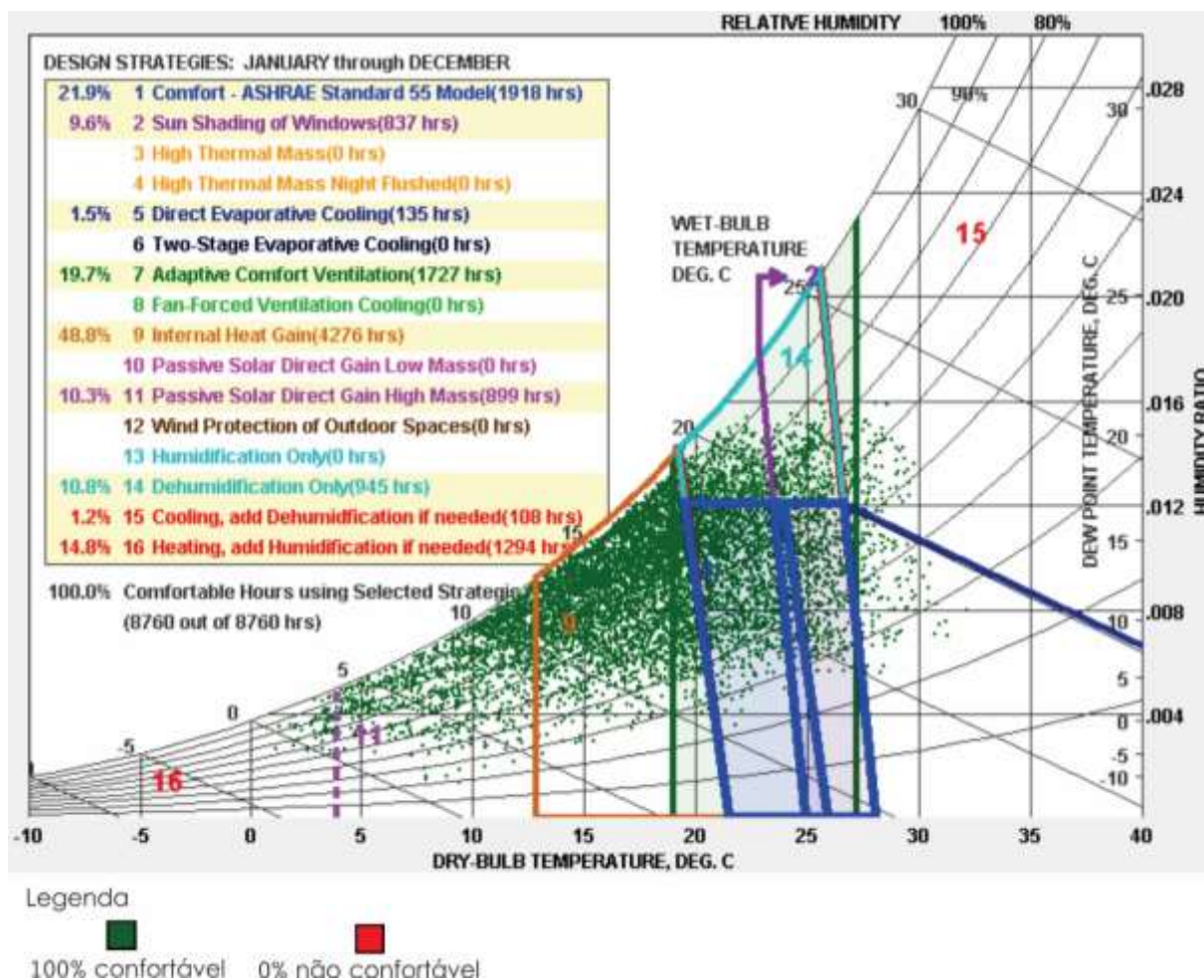
Fonte: Climate Consultant 6.0 (2018) – Adaptado pela autora

Para obter a Carta Bioclimática com estratégias indicadas para o decorrer do ano, resultando em 100% de conforto térmico, foi utilizado o modelo de conforto da Norma ASHRAE 55 (CLIMATE CONSULTANT, 2018, tradução nossa) em que: “o Conforto Térmico é baseado na Temperatura de Bulbo Seco, na vestimenta (clo), na atividade metabólica (met), velocidade do ar, umidade, e principalmente na temperatura radiante”. O método considera que a temperatura radiante interna da edificação é próxima da temperatura de bulbo seco. Além disso, entende que nas residências as pessoas adaptam suas roupas conforme a estação e se sentem confortáveis com alta

velocidade do ar, mais do que em prédios com sistema central de HVAC.

A figura 16 demonstra a Carta Psicométrica com as estratégias indicadas pela Norma:

Figura 16: Carta Psicométrica – Estratégias Bioclimáticas ASHRAE 55

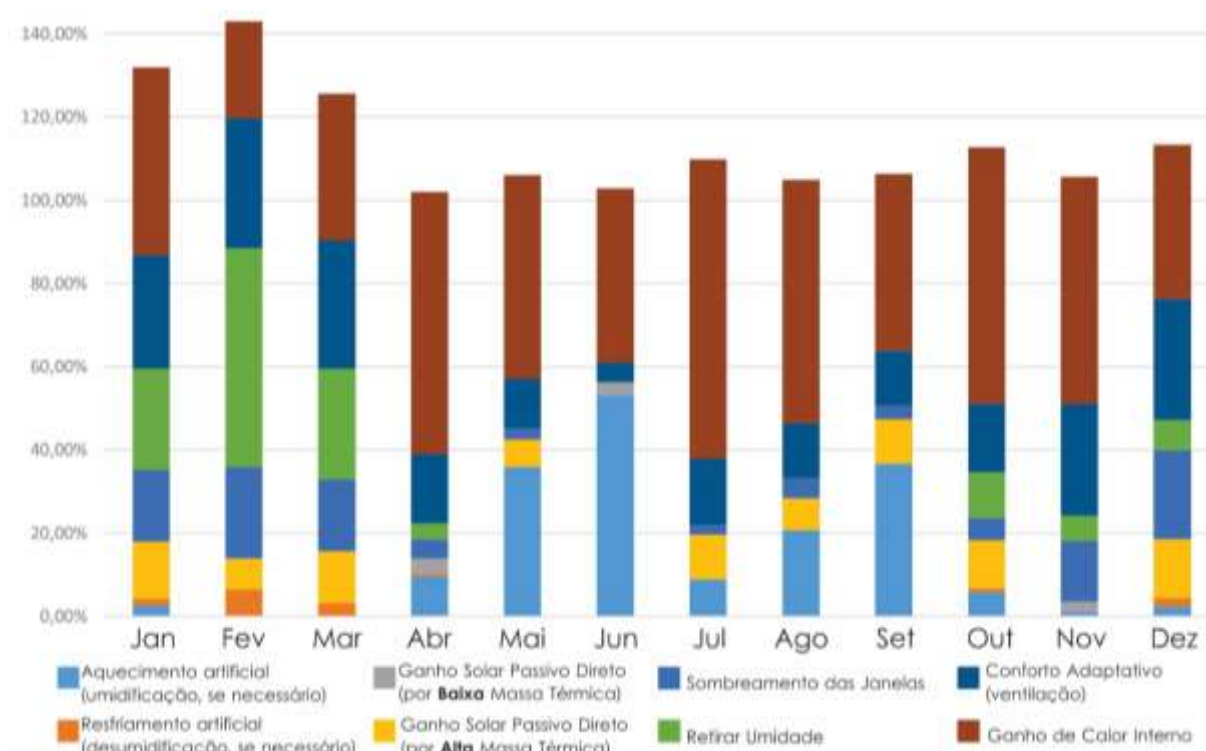


Fonte: Climate Consultant 6.0 (2018) – Adaptado pela autora

O Ganho de Calor Interno é a solução mais indicada, sendo necessário em 48,8% do ano, seguido por conforto adaptativo por ventilação, aquecimento artificial com adição de umidade se necessário, desumidificação, ganho solar passivo direto por alta massa térmica, e sombreamento das janelas.

A figura 17 apresenta o gráfico com as estratégias para cada mês.

Figura 17: Gráfico de Estratégias Bioclimáticas mensais - ASHRAE 55



Fonte: Climate Consultant 6.0 (2018) – Elaborado pela autora

Assim, o modelo sugere maior desumidificação de outubro a março; necessidade de aquecimento artificial; sombrear as janelas no verão; e conforto por ventilação constante, porém diminuir no inverno e ampliar no verão.

As soluções arquitetônicas do modelo da norma ASHRAE 55 (CLIMATE CONSULTANT 6.0, 2018, tradução nossa), são descritas abaixo:

1. Sombrear para evitar o superaquecimento, abrir para a ventilação no verão e usar ganho solar passivo no inverno
2. Construções leves acima do nível do solo, paredes móveis e espaços externos sombreados
3. Ganho de calor por luzes, pessoas e equipamentos, reduzem muito o aquecimento necessário, então mantenha a casa estanque, bem isolada (para baixas oscilações de temperatura)
4. Boa ventilação natural pode reduzir ou eliminar o ar-condicionado em clima

- quente, se as janelas são bem sombreadas e orientadas para os ventos dominantes
5. Plantas compridas e estreitas podem ajudar a aumentar a ventilação cruzada em climas temperados e quentes úmidos
 6. Varandas e pátios protegidos podem fornecer conforto passivo de resfriamento por ventilação em climas quentes e podem prevenir problemas com insetos
 7. Telhados com pouca inclinação e beirais grandes funcionam bem em climas temperados
 8. Os vidros podem diminuir a perda e o ganho por condução (minimiza a transmitância térmica), porque o ganho de radiação solar indesejada tem menor impacto neste clima. Uso de vidro duplo ou triplo, ou duplo pintado
 9. Para facilitar a ventilação cruzada, localizar as aberturas de portas e janelas em lados opostos da edificação, com aberturas maiores que direcionem os ventos para cima dentro do ambiente, se possível
 10. Para forçar a ventilação natural, a direção do vento pode ser alterada até 45 graus em direção à edificação por paredes laterais ou por plantas
 11. Em climas frios e nublados as casas passivas usam baixa massa térmica bem vedada e isolada, para garantir o acúmulo rápido de calor pela manhã
 12. Para aquecimento solar passivo, deve-se posicionar a maior área envidraçada da edificação para o Norte, para aumentar a exposição ao sol de inverno. Porém, deve-se projetar proteções solares para sombrear essas áreas durante o verão
 13. Espaços ao ar livre ensolarados e protegidos do vento, podem estender as áreas de estar em clima frio (solários, pátios fechados, varandas, etc.)
 14. Para forçar a ventilação quando é baixa, pode-se aumentar a altura entre a entrada e a saída de ar (escadas abertas, efeito chaminé, torre de vento)
 15. Zonas de proteção ao ar livre sombreadas (varanda, pátio) orientadas para os ventos dominantes, podem estender áreas de estar e de trabalho em climas quentes ou úmidos
 16. Em climas úmidos, átrios bem ventilados com telhados inclinados funcionam bem para expelir a chuva e podem ser estendidos para proteger entradas, varandas, alpendres, áreas de trabalho ao ar livre, etc.
 17. Use plantas livres para promover a ventilação cruzada, ou use portas com

persianas ou use dutos se for necessária mais privacidade

18. Em dias quentes, ventiladores de teto ou movimento de ar interno podem resfriar o ambiente em até 3° C ou mais, assim menos ar-condicionado é necessário
19. Organize a planta para que o sol de inverno entre nos espaços de uso diurno com funções específicas que coincidam com a orientação solar

5.1.1.4 Site Projeteee

O site Projeteee (2019), desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC em parceria com o Labeee – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da mesma universidade, indica estratégias bioclimáticas para a cidade de referência deste estudo, Xanxerê – SC. As indicações são baseadas nos arquivos climáticos disponíveis no INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

O site sugere estratégias conforme a estação do ano. Toda as estações recebem indicação de inércia térmica para aquecimento e ventilação natural. Já o verão inclui sombreamento, enquanto o inverno substitui a sombra por aquecimento solar passivo.

No caso de inércia térmica para aquecimento e no aquecimento solar passivo, algumas soluções projetuais são recomendadas, como Estufa, Edificação semienterrada, Aquecimento Solar Passivo de componentes internos, como paredes e pisos; e Parede Trombe. As estratégias são demonstradas nas figuras 18 e 19 abaixo.

Figura 18: Estratégias bioclimáticas de Inércia Térmica para Aquecimento, Xanxerê - SC



Fonte: Projeteee (2019)

Figura 19: Estratégias bioclimáticas de Aquecimento Solar Passivo, Xanxerê - SC



Fonte: Projeteee (2019)

5.1.2 Quadro-síntese de estratégias bioclimáticas para a Zona 2

Como este trabalho se trata de análise de um projeto já aprovado pelo cliente e executado, muitas estratégias como Estufa, Edificação Semienterrada e componentes internos para aquecimento solar passivo, não podem ser aplicadas.

A síntese das estratégias para a ZB 2 encontra-se na figura 20.

Figura 20: Quadro-Síntese de Estratégias bioclimáticas para a ZB 2

QUADRO SÍNTESE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS – ZB 2	
VERÃO	DEMAIS ESTAÇÕES
Sombrear:	Aquecimento Solar Passivo:
Aberturas e espaços externos, como Varandas	Ilho inverno: Estufa, edificação semienterrada, aquecimento do piso e de paredes internas, parede
Ventilação natural: Em ambientes internos e favorecida em ambientes externos que são extensões da UH, como Varandas	Insolação dos Ambientes: Aberturas que permitam a entrada de sol, especialmente no inverno e nos ambientes de mais uso diurno ou da UH
	Aquecimento Artificial necessário no inverno
	Ganho de Calor Interno: Aquecimento passivo solar e de equipamentos e pessoas, como o fogão a lenha que é cultural. Cor dos componentes externos ou pintura com maior Absorptância Térmica (α)
	Isolamento e Estanqueidade: Utilizar bom isolamento na envoltória. Cobertura, alto desempenho: $U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Paredes externas com baixa massa térmica e com isolamento: Limite indicado no RTQ-R.
	Acúmulo de calor: Pátios Internos e varandas ensolarados e protegidos do vento; solários.
	Inércia Térmica para Aquecimento: Paredes internas pesadas (alta massa térmica)
	Retirar Umidade e/ou Resfriar: Ventilação Natural e Cruzada (orientar para os ventos dominantes); efeito chaminé, torre de vento; ventilar a cobertura para desumidificar. Ventiladores de teto
	Aberturas e áreas envidraçadas: Vidro Duplo; voltadas para o Norte e protegidas no Verão

Fonte: Elaborado pela autora

5.2 Avaliação da Unidade Habitacional Autônoma (uh) pelo RTQ-R

5.2.1 Pré-requisitos da UH

Medição individual

Para cumprir com os pré-requisitos gerais, se houver UH no mesmo lote, as medições de água e eletricidade devem ser individualizadas. Neste estudo de caso, a edificação é unifamiliar e localiza-se em lote individual, possuindo, portanto, medição individualizada.

Assim, o pré-requisito não se aplica.

Ventilação cruzada

Na ZB2, a ventilação cruzada também é pré-requisito. A avaliação se dá a partir da planilha, incluindo todas as áreas das aberturas, inclusive dos ambientes transitórios, de acordo com sua orientação solar. De acordo com os cálculos da planilha, a

edificação em análise atende a este pré-requisito.

Banheiros com ventilação natural

No cálculo da planilha, são incluídos todos os banheiros da UH e todos os que possuem ventilação natural. Como todos os banheiros da edificação possuem ventilação natural, a UH atende ao pré-requisito.

5.2.2 Envoltória e Pré-requisitos específicos dos ambientes

Absortância Solar, Transmitância térmica e Capacidade Térmica

Conforme apresenta a tabela 17 para a ZB 2, os sistemas da envoltória devem possuir transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) mínimas apontadas e não há exigência quanto à absortância solar para nenhum dos sistemas.

Tabela 17: Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas, baseados nas normas NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

- *Sistemas do piso e da cobertura*

O RTQ-R exige a identificação da situação do piso dos ambientes, se estão em contato com o solo, sob pilotis, e se a cobertura tem contato com o exterior.

Se piso ou cobertura tiver contato com o exterior, deve-se preencher com o número 1, e, do contrário, 0. Neste caso, as situações do piso do pavimento superior obtiveram 0 (zero), enquanto os ambientes do pavimento térreo obtiveram 1 no contato com o solo. Já a cobertura recebeu 1 nos APPs do pavimento superior e na Sala de Estar, e os demais ambientes do pavimento térreo receberam 0.

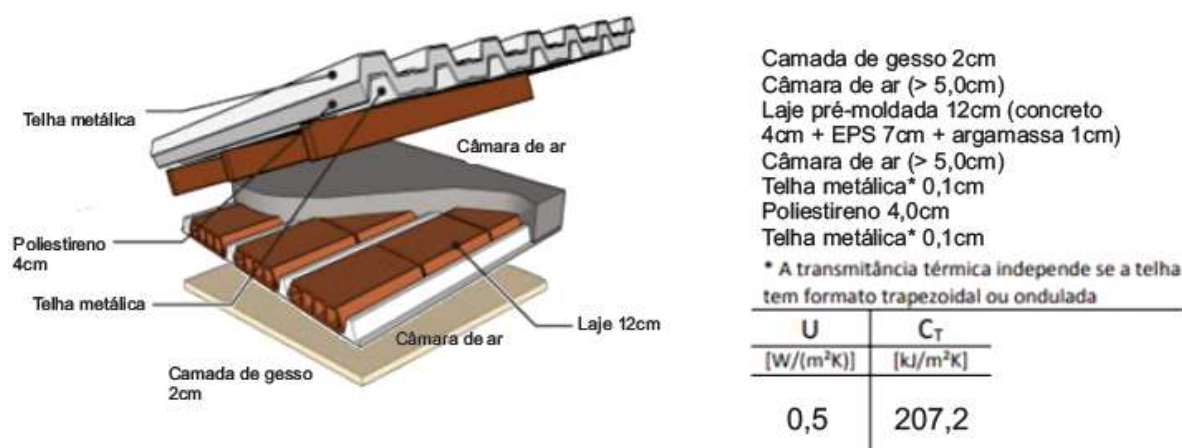
No caso da sala de estar, que no pé direito duplo possui a cobertura padrão da UH e

no restante é coberta pela laje de piso da varanda, o binário identificado na tabela também foi 1, pois as duas coberturas possuem contato com o exterior.

- *Cobertura*

O sistema da cobertura da UH é composto por camada de gesso interno, laje pré-moldada, e telha metálica do tipo sanduíche, como demonstra a figura 21.

Figura 21: Composição do sistema da cobertura e características térmicas



Fonte: Adaptado do Anexo V do RTQ-R, elaborado pela autora

O Anexo V do RTQ-R não apresenta os resultados dos cálculos de U e CT para essa composição do sistema de cobertura. Assim, os valores de transmitância térmica e capacidade térmica apresentados na figura acima e utilizados para este trabalho foram identificados a partir do site Projeteee (2019), na Calculadora de Propriedades.

A transmitância térmica (U) da cobertura resultou em 0,5 W/(m²K), e a capacidade térmica (CT) em 207,2 KJ/(m²K). O pré-requisito adota $U \leq 2,30$ e não há exigência para CT da cobertura, portanto a cobertura atende ao exigido.

A cobertura possui telhas metálicas do tipo sanduíche e foi identificada a partir da NBR 15220 (2005), conforme apresentado na tabela 18.

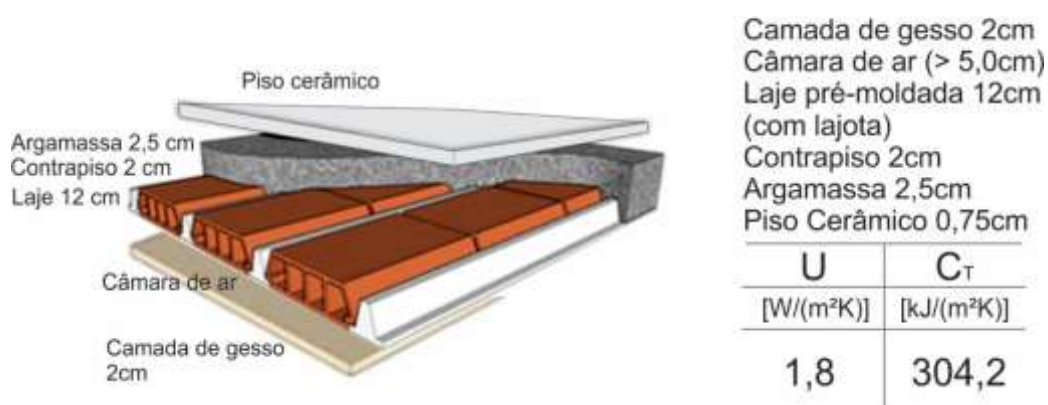
Tabela 18: Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas)

Tipo de Superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25

Fonte: Tabela B.2, NBR 15220 (2005)

O piso da varanda também funciona como parte da cobertura da sala de estar, sendo composto por uma camada de gesso interno de 2 cm, câmara de ar, laje pré-moldada com lajota totalizando 12 cm, contrapiso de 2 cm, argamassa de 2,50 cm e piso cerâmico. A figura 22 demonstra o sistema.


















Figura 22: Composição do sistema de piso da varanda e características térmicas



Fonte: Adaptado do Site Projeteer (2019), elaborado pela autora

Quanto à Absortância (α) do piso cerâmico, foi considerada a cor do material Branco Gelo, com $\alpha = 29,7$, como apresenta a figura 23.

Figura 23: Cor do piso cerâmico

Tipo	Número	Cor	Nome	α
Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	41		Erva doce	21,9
	42		Flamingo	46,8
	43		Laranja	39,9
	44		Marfim	29,7
	45		Palha	28,5
	46		Pérola	25,7
	47		Pêssego	39,5
Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	49		Azul bali	48,9
	50		Branco Neve	10,2
	51		Branco Gelo	29,7
	52		Camurça	55,8
	53		Concreto	71,5
	54		Marfim	26,7
	55		Marrocos	54,7
	56		Mel	41,8

Fonte: Adaptado do Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013)

Dessa forma, para definir Capacidade Térmica, Transmitância térmica e Absortância da cobertura da Sala de Estar, estas foram ponderadas por suas respectivas áreas, conforme indica o regulamento.

A tabela 19 demonstra os valores de C_T e U do Sistema de Cobertura da Sala de Estar ponderados, incluídos na planilha:

Tabela 19: Absortância, Capacidade Térmica e Transmitância Térmica do Sistema de cobertura da Sala de Estar

Tipo de Cobertura	Área (m ²)	Absortância (α)	Capacidade Térmica (kJ/m ² K)	Transmitância Térmica (W/m ² K)
Sistema com telha	17,16	0,25	207,20	0,50
Sistema com cerâmica	8,58	0,30	304,20	1,80
Sistema Cobertura Sala de Estar		0,27	239,53	0,93

Fonte: Elaborado pela autora

Assim, a UH apresenta dois tipos de sistemas de coberturas. O sistema com telha metálica, que possui Capacidade Térmica de 207,20 (kJ/m²K), Transmitância Térmica de 0,50 (W/m²K) e Absortância Solar de 0,25; e o sistema de cobertura misto da Sala

de Estar ponderado pela área, obtendo os valores finais de $CT = 239,53$ (kJ/m²K), $U = 0,93$ (W/m²K), e Absortância = 0,27.

- *Paredes externas e internas*

O sistema das paredes, tanto externas quanto internas, é composto por argamassa interna e externa de 2,5cm cada, tijolo cerâmico 6 furos de 9,0 x 14,0 x 24,0 e pintura externa, finalizando em 14cm de espessura, como demonstra a figura 24.

Figura 24: Composição do sistema de parede externa e características térmicas




















Fonte: Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013)

Utilizando as informações da figura acima advinda do RTQ-R, as paredes externas apresentam Transmitância térmica (U) de 2,46 W/(m²k) e Capacidade Térmica (CT) de 150 KJ/(m²K). De acordo com o regulamento, U e CT identificadas para este sistema atendem ao pré-requisito.

A pintura externa das paredes é tinta acrílica fosca, cor palha, o que, de acordo com o Anexo V do RTQ-R (Brasil, 2013) possui absortância igual a 36,7. Os dados podem ser observados na figura 25.

Figura 25: Tinta utilizada

	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrilica Fosca		01		Amarelo Antigo	51,4
		02		Amarelo Terra	64,3
		03		Areia	44,9
		04		Azul	73,3
		05		Azul Imperial	66,9
		06		Branco	15,8
		07		Branco Gelo	37,2
		08		Camurça	57,4
		09		Concreto	74,5
		10		Flamingo	49,5
		11		Jade	52,3
		12		Marfim	33,6
		13		Palha	36,7
		14		Pérola	33,0
		15		Pêssego	42,8
		16		Tabaco	78,1
		17		Terracota	64,6

Fonte: Adaptado do Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013)

- *Característica Construtiva*

Na planilha, a capacidade térmica dos fechamentos – paredes internas, externas e cobertura, é avaliada da seguinte forma: deve-se preencher com o número um (1) se o valor da Capacidade Térmica for abaixo de 50 KJ/(m²K), o que corresponde a CT baixa. Para o caso de Capacidade Térmica alta, acima de 250 KJ/(m²K), o valor determinado também é um (1), que deve ser preenchido em outra célula. Porém, se o valor de CT estiver entre 50 e 250 KJ/(m²K), o número é zero (0) para os dois itens.

Para determinar, deve-se ponderar as CT dos fechamentos pelas suas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Na UH em análise, CT Alta e Baixa receberam 0 (zero) (ver Tabela 20).

Tabela 20: Variável binária – Capacidade Térmica

CT	Alta	Baixa
< 50	0	1
50 < x < 250	0	0
> 250	1	0

Fonte: Elaborado pela autora

Para os cálculos de iluminação e ventilação natural, é necessário desconsiderar corredores presentes nos ambientes. Ainda, para dormitórios com área maior do que 15m², o pré-requisito é válido somente para 15m² do ambiente, desconsiderando a área restante. Nos ambientes integrados, como é o caso da cozinha, sala de estar e jantar da UH em análise, deve-se somar as suas áreas úteis e as áreas das aberturas para analisar o pré-requisito.

- *Ventilação natural*

Para o cálculo de área mínima para ventilação natural nos ambientes de permanência prolongada e cozinha, o RTQ-R apresenta a relação indicada na tabela 21, para a ZB 2.

Tabela 21: Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	A ≥ 8%	A ≥ 5%	A ≥ 10%

Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012)

$$A = 100 \times \frac{A_v}{AU_{amb}}$$

Equação 9: Cálculo da área de ventilação nos APPs

Onde

A: percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%)

A_v: área de abertura para ventilação (m²)

AU_{amb}: área útil do ambiente (m²)

Conforme mostra a tabela acima, para a ZB 2 o percentual de abertura de ventilação em relação à área útil do ambiente (A) deve ser ≥ 8%. A planilha calcula automaticamente o atendimento a este pré-requisito para cada ambiente, devendo incluir somente a área de abertura para ventilação.

- *Iluminação Natural*

A exigência de área efetiva para entrada de iluminação natural nos ambientes de permanência prolongada é de 12,5% da área do ambiente, somando as áreas de todas as aberturas.

Da mesma forma que o item de ventilação natural, a planilha calcula automaticamente o atendimento a este pré-requisito, exigindo a inclusão somente da área de abertura para iluminação.

5.2.2.1 Determinação da eficiência - Variáveis das equações

Ambientes de permanência prolongada

Para obter o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), deve-se considerar somente os ambientes de permanência prolongada (APP) da UH e sua área útil (ver figuras 26 e 27).

Figura 26: Ambientes de Permanência Prolongada da UH – Térreo



Figura 27: Ambientes de Permanência Prolongada da UH – 1º pavimento



Fonte: elaborado pela autora

A UH em análise possui características distintas da sala de estar em relação à cozinha e sala de jantar, apesar de estarem integradas. Dessa forma, a sala de estar foi considerada um ambiente de permanência prolongada individual, e por isso foi analisada separadamente (ver tabela 22).

Tabela 22: Áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada (APP)

Ambiente	Sala de Estar	Cozinha + Sala de Jantar	Escritório	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2
Área (m ²)	22,55	28,45	6,88	21,77	10,59	10,59

Fonte: elaborado pela autora

Áreas das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada (APamb)

Essa variável diz respeito aos limites internos do ambiente em contato com o exterior, sem contar as aberturas (m²).

A planilha deve ser preenchida com as áreas das paredes externas, conforme a orientação geográfica. Segue abaixo a tabela 23 demonstrando as áreas e as orientações:

Tabela 23: Áreas das paredes externas dos APPs

ORIENTAÇÃO	SALA ESTAR (m ²)	SALA J. + COZINHA (m ²)	ESCRITÓRIO (m ²)	SUÍTE (m ²)	DORM. 1 (m ²)	DORM. 2 (m ²)
NORTE	4,41	6,47	5,03	11,59	5,65	5,65
SUL	20,65	10,12	3,53	6,62	4,32	---
LESTE	12,82	---	---	---	10,51	---
OESTE	6,44	5,46	7,35	10,08	---	---

Fonte: Elaborado pela autora

Aberturas

- *Áreas de aberturas externas (AAb)*

As áreas das aberturas externas são os vãos das aberturas nas paredes (m²), antes da colocação das esquadrias. Na planilha, as áreas são preenchidas conforme a orientação (ver tabela 24).

Tabela 24: Áreas das aberturas externas dos APPs

ORIENTAÇÃO	SALAS ESTAR	SALA J.+ COZINHA	ESCRITÓRIO	SUÍTE	DORM. 1	DORM. 2
NORTE	----	J7 = 4,85 m ²	J2 = 3,06 m ²	J6+J4 = 3,36 m ²	PJ2 = 3,05 m ²	PJ2 = 3,05 m ²
SUL	----	J5 = 1,20 m ²	----	----	----	----
LESTE	J9+J10+PJ3 = 19,87 m ²	----	----	----	----	----
OESTE	----	PJ1 = 3,36 m ²	----	----	----	----

Fonte: Elaborado pela autora

- *Características das aberturas*

As esquadrias da UH possuem perfil em alumínio branco e vidro temperado, transparente e incolor. A janela da sala de estar, voltada para orientação leste, possui persiana integrada, que corre no sentido vertical (ver figura 29). Não há outros dispositivos de sombreamento nas demais esquadrias, porém a geometria da edificação produz sombra sobre a sala de estar, sala de jantar, escritório e varanda. A porta externa da cozinha também recebe sombra devido à cobertura da área de

festas.

A tabela abaixo apresenta as esquadrias utilizadas para os cálculos, e seus respectivos materiais e dimensões (ver tabela 25 e figura 28).

Tabela 25: Tabela de Esquadrias da UH

Cód	Tipo	Largura (m)	Altura (m)	Peitoril (m)	Material	Área (m ²)
J1	Janela de correr 2 folhas	0.80	0.60	1.50	Alumínio e Vidro	0.48
J2	Janela de correr 2 folhas	1.80	1.70	0.40	Alumínio e Vidro	3.06
J3	Janela máximo-ar	0.70	0.40	1.70	Alumínio e Vidro	0.28
J4	Janela de correr 2 folhas	0.80	1.20	0.90	Alumínio e Vidro	0.96
J5	Janela de correr 2 folhas	1.20	1.00	1.10	Alumínio e Vidro	1.20
J6	Janela de correr 4 folhas	2.00	1.20	0.90	Alumínio e Vidro	2.40
J7	Janela de correr 4 folhas	2.85	1.70	0.40	Alumínio e Vidro	4.85
J9	Janela correr, 4f. com persiana	3.50	1.70	0.40	Alumínio e Vidro	5.95
J10	Vidro fixo	4.50	2.40	-	Alumínio e Vidro	10.80
PJ1	Porta-janela 2 folhas	1.60	2.10	-	Alumínio e Vidro	3.36
PJ2	Porta-janela 2 folhas	1.45	2.10	-	Alumínio e Vidro	3.05
PJ3	Porta-janela 1 folha	1.30	2.40	-	Alumínio e Vidro	3.12
P1	Porta de abrir	0.70	2.10	-	Madeira	1.47
P2	Porta de abrir	0.80	2.10	-	Madeira	1.68
P3	Porta de correr externa	0.80	2.10	-	Madeira	1.68
P4	Porta de correr externa	0.70	2.10	-	Alumínio e Vidro	1.47

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 28: Esquadrias da UH





Fonte: Elaborado pela autora

- *Fator de aberturas para ventilação (F_{vent})*

F_{vent} diz respeito ao percentual da esquadria que possui abertura efetiva para ventilação. Varia de 0 a 1, sendo que 1 significa abertura livre para ventilação de 100% em relação ao vão.

A figura 29 demonstra os desenhos técnicos das esquadrias da UH e suas respectivas medidas, utilizadas para o cálculo do F_{vent} .

Figura 29: Esquadrias da UH - medidas



Fonte: Elaborado pela autora

Utilizando as medidas das esquadrias da UH, conforme mostra a figura acima, foi calculada as porcentagens de abertura para ventilação natural e iluminação natural de cada esquadria, conforme demonstra a Tabela 26:

Tabela 26: Fvent das Aberturas

Cód. Abertura	Área do vão (m ²)	% de abertura para ventilação natural	Área efetiva para ventilação natural (m ²)	% de abertura para iluminação natural	Área efetiva para iluminação natural (m ²)
J1	0,48	41,67	0,20	75,00	0,36
J2	3,06	46,41	1,42	84,31	2,58
J3	0,28	39,29	0,11	67,86	0,19
J4	0,96	43,75	0,42	71,88	0,69
J5	1,20	44,17	0,53	75,83	0,91
J6	2,40	45,83	1,10	77,50	1,86
J7	4,85	47,22	2,29	84,33	4,09
J9	5,95	42,02	2,50	77,31	4,60
J10 + PJ3	13,92	20,69	2,88	93,39	13,00
PJ1	3,36	47,32	1,59	85,71	2,88
PJ2	3,05	46,89	1,43	84,26	2,57
P4	1,47	88,44	1,30	88,44	1,30

Fonte: Elaborado pela autora

Para os ambientes com mais de uma abertura, os F_{vent} foram ponderados e incluídos na planilha de cálculo.

Somb

Essa variável apresenta a existência de dispositivos de proteção solar nas aberturas.

- Quando a *Somb* é igual a 0 (zero), significa que não há dispositivos de proteção, e, do contrário, quando as venezianas cobrirem 100% da abertura, *Somb* é igual a 1 (um).

Na UH, apesar de a Sala de Estar possuir proteção por persiana integrada à esquadria, o ambiente apresenta mais duas aberturas sombreadas pela cobertura da varanda, necessitando assim realizar o cálculo total da variável *Somb*, através de ponderação. Devido à orientação da fachada, LESTE, o método da Carta Solar, indicado abaixo, não se aplica neste caso. Dessa forma, *Somb* das demais esquadrias da sala de estar foi calculado a partir do método da Latitude:

- *Somb* é igual a 0,2 quando para ambientes sombreados por varanda, beiral ou brise horizontal, considerando os ângulos de sombreamento Alpha (α) e Gama (γ) mínimos. De acordo com a Nota Técnica N°06/2012 do RTQ-R (BRASIL, 2012), para o Norte, deve-se considerar $23,5^\circ$ - Latitude; Sul, $23,5^\circ$ - Latitude; e para Leste e Oeste, α e γ devem ser iguais a 45° .

As aberturas da fachada Leste, analisadas neste caso, possuem proteções laterais Norte e Sul por meio das paredes da edificação, sendo que a esquadria voltada para a orientação Norte está protegida, com 90° em relação à parede. Dessa forma, não é necessário analisar o ângulo Gama da orientação Norte. O mesmo se aplica à orientação Sul, em que não há incidência solar para a Latitude local de 26° .

O ângulo analisado, Alpha (α) Leste, exige 45° como limite mínimo, enquanto no projeto a proteção do beiral da varanda é de $36,90^\circ$. Portanto, não atende à exigência, obtendo *Somb* = 0 (ver figura 30).

Figura 30: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Leste



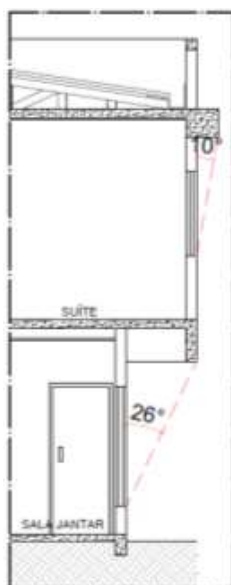
Fonte: Elaborado pela autora

Assim, *Somb* da Sala de Estar foi calculado a partir de ponderação das aberturas, resultando em 0,30.

O método da Latitude também foi utilizado para calcular o sombreamento da Suíte, pois a relação entre Área de abertura e Área de piso é maior do que 25% (vinte e cinco por cento), e então não há recomendações da Carta Solar. Essa relação pode ser observada nas tabelas abaixo, utilizadas no método da Carta Solar.

A figura 31 demonstra o ângulo Alpha (α) de proteção solar da laje sobre as janelas da Suíte, na fachada Norte.

Figura 31: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Norte



Fonte: Elaborado pela autora

O limite mínimo calculado para Alpha (α) Norte é $49,5^\circ$, enquanto o ângulo de projeto é de 10° . Dessa forma, *Somb* da Suíte é igual a 0 (zero).

- *Somb* varia de 0 a 0,5 (zero e zero vírgula cinco), para os ambientes que possuem proteção por varandas, brises ou pela própria geometria da edificação, como é o caso do escritório, sala de jantar integrada à cozinha, sala de estar, suíte e dormitórios da UH em análise. Para o cálculo, deve-se utilizar o método proposto no regulamento, em que se verifica se a área da abertura é maior, menor ou igual a 25% em relação à área do piso (ver tabela 27).

Tabela 27: Cálculo da área da abertura sobre área do piso

Ambiente	Área abertura (m ²)	Área Piso (m ²)	AA/AP
Escritório	3,06	6,88	44,48%
Cozinha + Sala Jantar	9,41	28,45	33,08%
Sala de Estar	19,87	22,55	88,12%
Suíte	3,36	21,77	15,43%
Dormitório 1	3,05	10,59	28,80%
Dormitório 2	3,05	10,59	28,80%

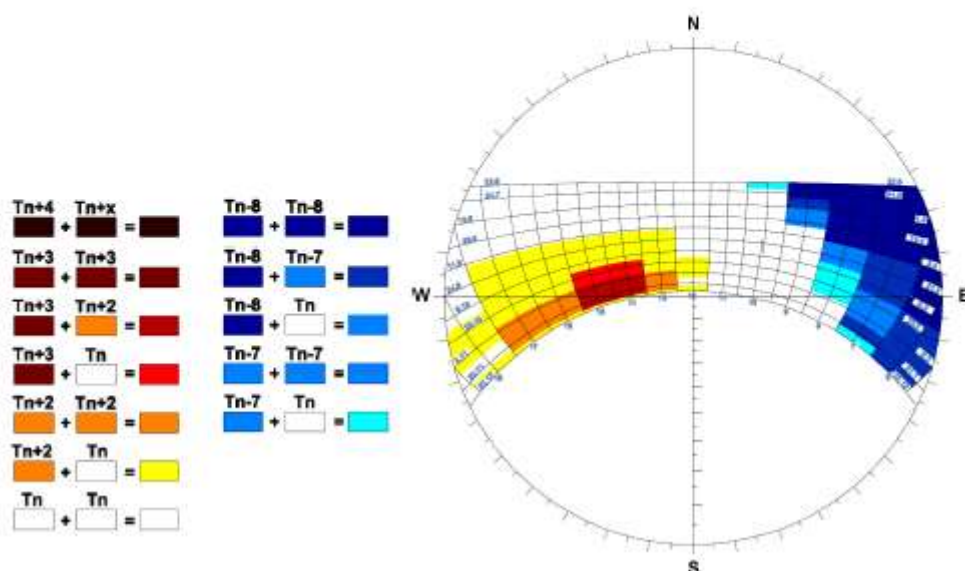
Fonte: Elaborado pela autora

A partir dessa relação identificada, é necessário encontrar os ângulos mínimos de proteção solar a partir da Carta Solar. O município da UH em análise não possui Carta Solar, portanto optou-se por utilizar as recomendações para a cidade que possui os dados mais próximos de São Lourenço do Oeste. A cidade de Rio Negro, Paraná, possui latitude de $26,06^\circ$ Sul, e também se localiza na ZB2. A figura 32 apresenta a Carta Solar de Rio Negro.

Figura 32: Carta Solar – Rio Negro, PR

3.1.18.10. Rio Negro – PR

Latitude: 26,06° Sul - Zona Bioclimática: 2



Fonte: Anexo I do RTQ-R (BRASIL, 20-)

O regulamento indica que haja contabilização, para a Carta Solar adotada, da proteção solar somente nas fachadas Norte e Oeste, para os ambientes com Área da Janela > 25% da Área de Piso, como pode ser observado na figura 33. Assim, exclui-se a Suíte da análise através deste método, bem como a Sala de Estar, para as quais foi utilizado o método da Latitude.

Figura 33: Ângulos de proteção mínimos para proteção solar para fachadas Norte e Oeste – Rio Negro, PR

FACHADA NORTE Rio Negro					FACHADA OESTE Rio Negro				
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
15°	--	50°	--	--	75°	--	--	30°	30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe	α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: Anexo I do RTQ-R (BRASIL, 20-)

Em seguida, utilizando os ângulos recomendados acima, é calculado o sombreamento de cada abertura ($Somb_{abertura}$). A equação pondera os ângulos de projeto e os ângulos mínimos indicados:

$$somb_{abertura} = \frac{(\alpha_p + \gamma_{ep} + \gamma_{dp} + \beta_{ep} + \beta_{dp})}{(\alpha_r + \gamma_{er} + \gamma_{dr} + \beta_{er} + \beta_{dr})}$$

Equação 10: Cálculo de sombreamento das aberturas ($somb_{abertura}$)

Onde

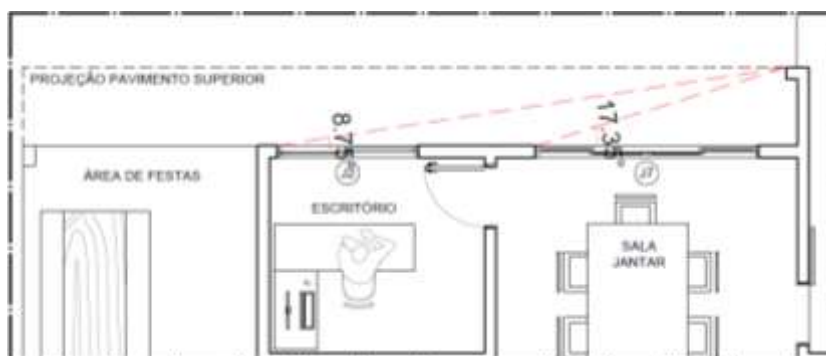
p = ângulos encontrados no projeto

r = ângulos recomendados pela Carta Solar

Abaixo, seguem os desenhos técnicos com as medidas dos ângulos de sombreamento nas aberturas (ver figuras 34 a 40).

Fachada Norte

Figura 34: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Norte



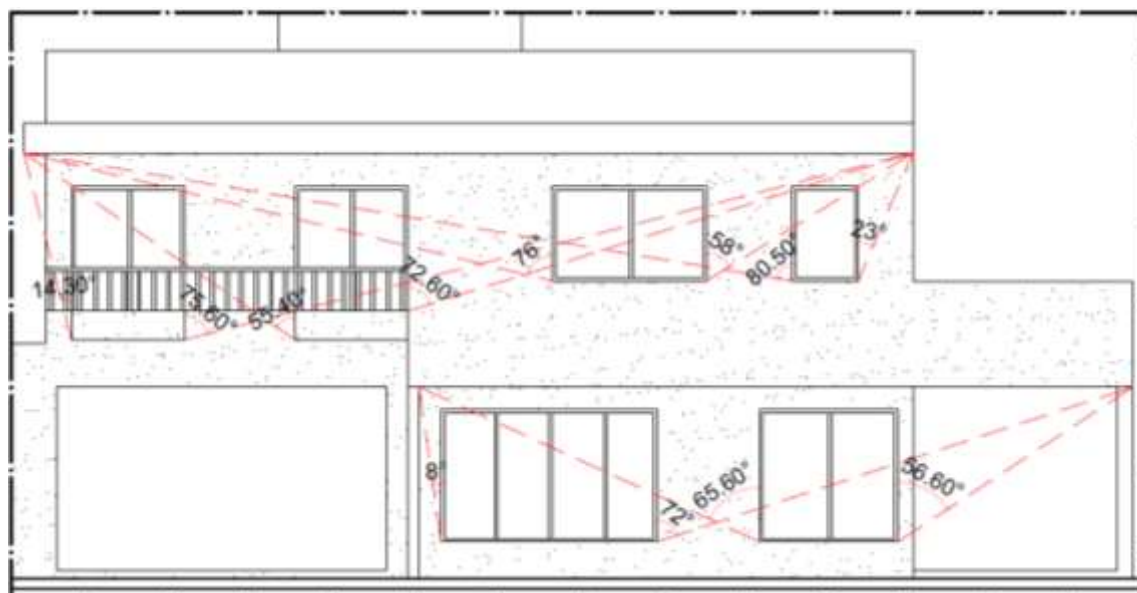
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 35: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Norte



Fonte: Elaborado pela autora

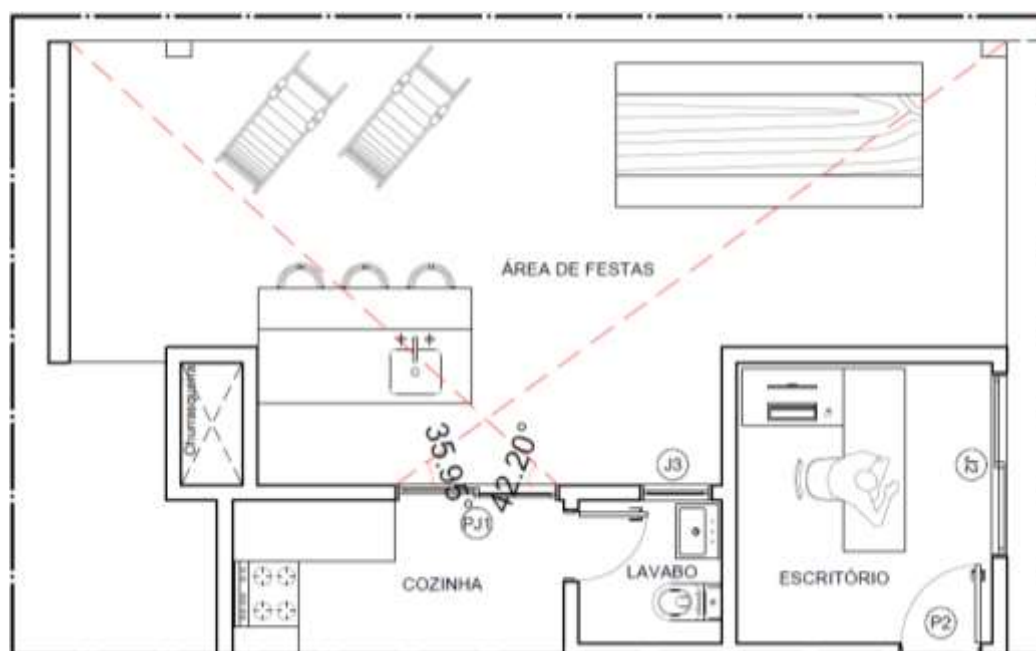
Figura 36: Ângulo Gama (γ) de sombreamento - fachada Norte



Fonte: Elaborado pela autora

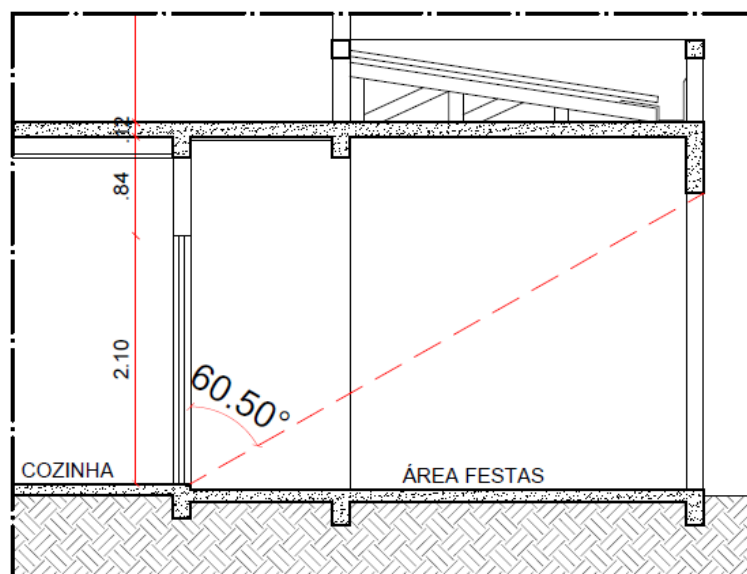
Fachada Oeste

Figura 37: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Oeste



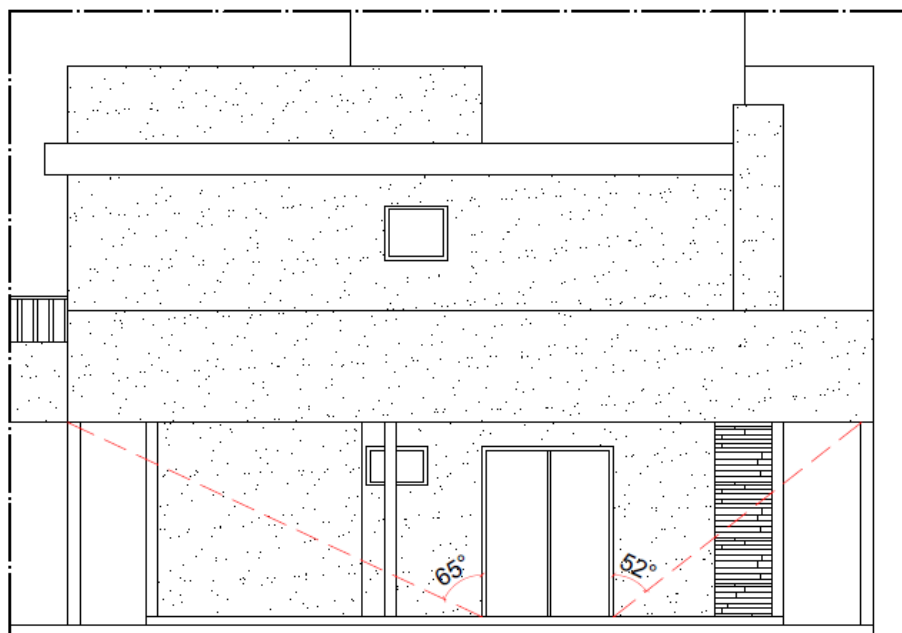
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 38: Ângulo Alfa (α) de sombreamento - fachada Oeste



Fonte: Elaborado pela autora

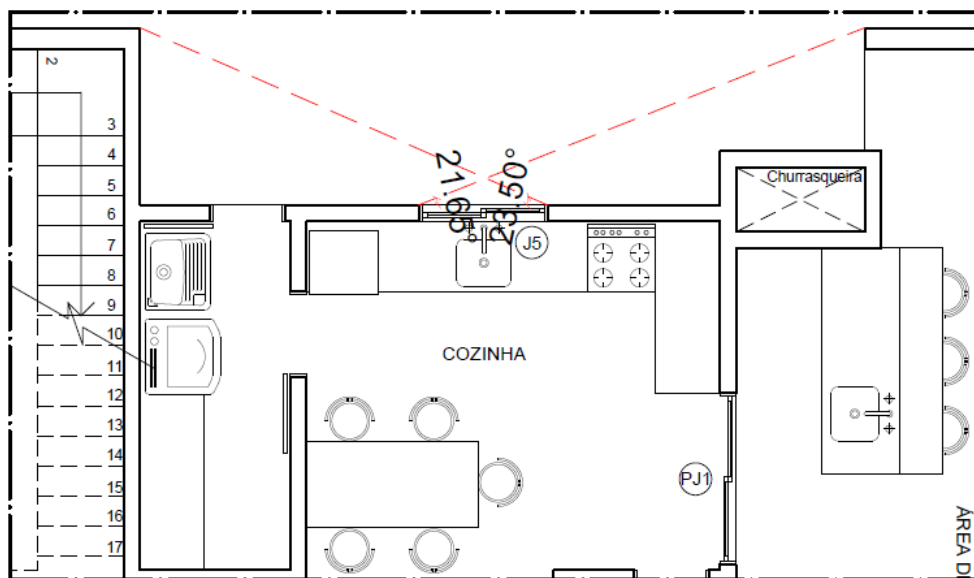
Figura 39: Ângulo Gama (γ) de sombreamento - fachada Oeste



Fonte: Elaborado pela autora

Fachada Sul

Figura 40: Ângulo Beta (β) de sombreamento - fachada Sul



Fonte: Elaborado pela autora

O cálculo da variável *Somb* é feito determinando que 0,75 de *Somb*_{abertura} diz respeito a um valor de *Somb* igual a 0,5. Assim, se faz regra de três para identificar os demais valores. O valor máximo para *Somb* é igual a 1. A tabela 28 apresenta os resultados da variável:

Tabela 28: Ângulos de sombreamento e cálculo da variável *Somb*

Ambiente	Escritório	Cozinha + Sala Jantar	Dorm. 1	Dorm. 2	Ângulos recomendados Norte (°)	Cozinha + Sala Jantar	Ângulos recomendados Oeste (°)	Cozinha + Sala Jantar	Ângulos recomendados Sul (°)
Orientação	NORTE					OESTE		SUL	
α	26	26	10	10	15	60,5	75	0	0
Ângulos βd	8,75	17,35	0	0	0	35,95	0	21,65	0
Projeto βe	0	0	0	0	50	42,2	0	23,5	0
(°) γd	65,6	8	14,3	55,4	0	65	30	0	0
γe	56,6	72	75,6	72,6	0	52	30	0	0
Sombabertura	0,40	0,40	0,15	0,15		1,31		0,00	
Somb	0,27	0,27	0,10	0,10		0,88		0,00	

Fonte: Elaborado pela autora

Assim, o valor de *Somb* ponderado, do APP Cozinha e Sala de Jantar, resultou em 0,45. O Escritório obteve 0,27, enquanto os dois dormitórios receberam *Somb* = 0,10.

Características Gerais

- *Áreas das paredes internas (AparInt)*

Consiste nas áreas das paredes internas do ambiente, desconsiderando as aberturas (m²). A tabela 29 indica as respectivas áreas.

Tabela 29: Áreas das paredes internas

SALA ESTAR (m ²)	SALA J. + COZINHA (m ²)	ESCRITÓRIO (m ²)	SUÍTE (m ²)	DORM. 1 (m ²)	DORM. 2 (m ²)
20,42	38,93	9,79	24,00	12,78	27,18

Fonte: Elaborado pela autora

- *Pé Direito*

O pavimento térreo da UH em análise possui pé-direito de 2,94 metros, enquanto o pavimento superior apresenta 2,88m.

A sala de estar é exceção, devido ao pé-direito duplo. De acordo com o regulamento, neste caso de variação de alturas, deve-se fazer a média entre elas. Assim, a sala de estar diferencia-se dos demais ambientes, apresentando pé-direito de 4,44 metros.

- *C altura*

É a variável que designa o coeficiente de altura, sendo a razão entre o pé-direito (h) e a área útil do ambiente, e é dada automaticamente na planilha.

Características de Isolamento Térmico

- *Isolamento (isol)*

Essa variável indica a presença de isolamento nas paredes externas e coberturas. Para ser considerada isolada, devem possuir isolamento térmico e transmitância térmica menor ou igual a $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Dessa forma, somente o sistema de cobertura pode ser considerado isolado, devido a transmitância térmica ser igual a $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Entretanto, as paredes não se enquadram na exigência. Portanto, o valor para *Isol* na planilha é 0.

- *Vidro (vid)*

Indica a existência de vidro duplo no ambiente. Caso afirmativo, deve-se definir o valor na planilha como 1 (um). Do contrário, 0 (zero).

A UH não apresenta vidro duplo, portanto o valor na planilha é 0 (zero).

- *Transmitância térmica do vidro (Uvid)*

O vidro utilizado em todas as aberturas UH é do tipo simples, 6mm, e possui Transmitância Térmica (U) de $5,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, como apresenta a figura 41.

Figura 41: Tipo de vidro da UH



VIDRO
Simples, incolor, 6mm

U	Fs
[W/(m²K)]	
5,70	0,87

Fonte: PROJETEEE (2019)

Temperatura mínima média mensal

Para análise desse critério, a planilha pede para identificar se a UH pertence à zona bioclimática 8 ou se a média mensal de temperatura mínima é maior ou igual a 20°C.

Como a cidade em análise não possui dados climatológicos, foram utilizadas as informações de temperatura da estação mais próxima, da cidade de Xanxerê (ver tabela 30).

Tabela 30: Temperatura Média Mínima em Xanxerê – SC, entre 1961 e 1990

INMET - Normal Climatológica do Brasil		
Temperatura Mínima (°C) 1961 - 1990		
Código	Estação	UF
83858	Xanxerê	SC
Mês	Temperatura	Média Anual
Janeiro	16,3	
Fevereiro	16,6	
Março	15,5	
Abril	12,4	
Maio	10,2	
Junho	8,6	12,5 °C
Julho	8,9	
Agosto	9,7	
Setembro	11,0	
Outubro	11,9	
Novembro	13,6	
Dezembro	15,5	

Fonte: INMET (2019), adaptado pela autora

De acordo com o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), a temperatura média mínima em Xanxerê é de 12,5°C. Portanto, a resposta na planilha para esse critério é “Não”.

5.2.3 Bonificações

Bonificações de Ventilação Natural (até 0,40 pontos)

- *Porosidade*

É a relação entre as áreas abertas para ventilação e as áreas impermeáveis da fachada.

Para ganhar esta bonificação, deve-se comprovar que há porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas de orientações diferentes.

A tabela 31 apresenta essa relação.

Tabela 31: Cálculo da Porosidade da UH

Orientação da fachada	Área aberturas (m ²)	Área fachada (m ²)	AA/AF
Norte	8,09	76,87	0,11
Sul	2,20	89,79	0,02
Leste	5,38	63,75	0,08
Oeste	1,90	61,92	0,03

Fonte: Elaborado pela autora

A UH não pontua neste item.

- *Dispositivos Especiais*

Para pontuar neste quesito, todos os ambientes de permanência prolongada devem possuir dispositivos especiais nas aberturas, que permitam a ventilação natural e o seu controle, como venezianas ou persianas móveis, peitoris ventilados, etc.

Somente uma esquadria da sala de estar possui persiana integrada, portanto a UH não se enquadra nesta bonificação.

- *Centro Geométrico*

Nesta bonificação, as aberturas externas de todos os APPs devem possuir vão livre

com centro geométrico entre 0,40m e 0,70m a partir do piso.

Na UH, as aberturas não possuem o centro geométrico na altura exigida. Portanto, não pontuam nesta bonificação.

- *Permeabilidade*

Não se enquadra na UH em análise, pois é aplicada somente para a Zona Bioclimática 8.

Bonificações de Iluminação Natural (até 0,30 pontos)

- *Profundidade (até 0,20 pontos)*

Essa bonificação determina que 50% mais 1 dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço com iluminação natural, devem possuir profundidade máxima calculada a partir da equação abaixo. A tabela 32 apresenta o cálculo da profundidade por APP.

$$P \leq 2,4 \times h_a$$

Equação 11: Cálculo da bonificação de Profundidade

Onde

P: profundidade do ambiente

ha: distância média entre o piso e a altura máxima da abertura

Tabela 32: Cálculo da Profundidade dos APPs da UH

Ambiente	Sala de Estar	Sala Jantar	Cozinha	Escritório	Área Serviço	Suíte	Dorm. 1	Dorm. 2
Profundidade	4,65	4,03	3,85	2,50	3,25	4,27	3,50	3,50
2,4*Ha	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97
Portanto, $P \leq 2,4*Ha$ em todos os APP								

Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, a UH pontua neste item, com 0,20 pontos, pois todos os APPs possuem a profundidade exigida (ver tabela 32).

- *Refletância do Teto (até 0,10 ponto)*

Para pontuar, todos os ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço devem possuir refletância de teto acima de 60%.

Foi especificado no projeto a cor branca no forro de gesso, para todos os ambientes, o que equivale a cor Branco Neve apresentada no Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2013). De acordo com o regulamento, a absorvância (α) da cor é de 10%, sendo assim a refletância é de aproximadamente 90%. Dessa forma, atende à bonificação, contabilizando 0,10 ponto.

Uso Racional de Água (até 0,20 pontos)

Esta bonificação diz respeito ao aproveitamento de água pluvial na UH, considerando sistemas de uso da água da chuva e equipamentos de economia de água. Para determinar a pontuação, utiliza-se a equação abaixo.

$$b3 = 0,07 \times \left(\frac{BS_{AP}}{BS} \right) + 0,04 \times \left(\frac{BS_E}{BS} \right) + 0,04 \times \left(\frac{CH_E}{CH} \right) + 0,02 \times \left(\frac{T_E}{T} \right) + 0,03 \times \left(\frac{OUTROS_{AP}}{OUTROS} \right)$$

Equação 12: Cálculo de da bonificação de uso racional de água

Onde

BS_{AP}: quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial

BS: quantidade de bacias sanitárias existentes

BS_E: quantidade de bacias sanitárias com sistema de descarga com duplo acionamento

CH_E: quantidade de chuveiros com restritor de vazão

CH: quantidade de chuveiros existentes

T_E: quantidade de torneiras com arejador de vazão constante, regulador ou restritor de vazão

T: quantidade de torneiras existentes, excluindo as torneiras de áreas de uso comum

OUTROS_{AP}: quantidade de outros pontos atendidos por água pluvial

OUTROS: quantidade de outros pontos passíveis de serem atendidos por água pluvial

A edificação possui sistema de aproveitamento de água da chuva, que se direciona para todas as bacias sanitárias (totalizando 3). Ainda, abastece a área de serviço e as torneiras externas, utilizadas no jardim e para a lavagem de pisos, o que se enquadra como “outros pontos atendidos por água pluvial”, variável OUTROS_{AP} e OUTROS.

Além disso, as bacias sanitárias possuem sistema de descarga com duplo acionamento, todos os chuveiros apresentam restritor de vazão, assim como as torneiras.

Portanto, a UH obtém a pontuação total nesta bonificação, com 0,20 pontos.

Condicionamento Artificial de Ar

A UH não possui sistema de condicionamento artificial de ar, portanto não se aplica .

Iluminação Artificial

Os equipamentos de iluminação artificial serão escolhidos pelos moradores, sendo assim, a UH não pontua neste item.

Ventiladores de Teto

A edificação não terá ventiladores de teto.

Refrigeradores

A edificação não foi entregue com refrigerador instalado.

Medição Individualizada de Aquecimento de Água

A edificação possui sistema de aquecimento solar da água, com medição individualizada, pois se trata de uma unidade habitacional autônoma (UH). Entretanto, esta bonificação somente se aplica para garantir a medição individual em edificações multifamiliares.

5.2.4 Aquecimento da Água - Solar

O sistema de aquecimento de água instalado na UH é do tipo Solar combinado com backup Elétrico, devido ao contexto climático local, em que no inverno o céu fica encoberto com certa frequência. No entanto, o telhado da edificação voltado para o Norte Geográfico, favoreceu o posicionamento das placas coletoras na posição e inclinação adequadas para maior eficiência, e sem sombreamento. A latitude do local é 26°, portanto a inclinação adotada foi de 36°.

As tubulações do sistema são não-metálicas e adequadas à norma, possuindo espessura de isolamento de 1,0cm. Além disso, os coletores solares e os reservatórios possuem Selo Procel, portanto todos são classificados como Nível A de eficiência.

Especificações do Sistema

- *Coletor Solar*

O coletor solar utilizado e as suas especificações estão listados na figura 42.

Figura 42: Especificações do Coletor Solar da UH

Fabricante	BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA
Marca	HELIOTEK
Modelo	MC18 HIS
Aplicação	Banho
Pressão de Funcionamento	400 kPa
	40 mca
Área externa do coletor	1,80 m ²
Produção Média Mensal de Energia	152,5 por coletor (kWh/mês)
	84,7 (específica kWh/mês.m ²)
Eficiência Energética Média (%)	60,7
Classificação	A
Material Superfície Absorvedora	Alumínio
Fr(ta)n	0,739
FrUL	5,051

Fonte: Adaptado de INMETRO (BRASIL, 2018)

- *Reservatório*

O reservatório contém Selo Procel, possui 300 litros de armazenamento e ficou disposto no volume mais alto da edificação. Demais características do equipamento estão na figura 43.

Figura 43: Especificações do Reservatório da UH

Fabricante	BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA
Marca	HELIOTEK
Modelo	MK300
Potência da Resistência (kW)	2,5
Perda Específica de Energia Mensal (kWh/mês.l)	0,18
Pressão de Funcionamento	50 kPa
	5,1 mca
Dimensões Externas (mm)	1350 (comprimento)
	675 (diâmetro)
Material do Corpo Interno	Aço Inox
Material do Isolamento Térmico	Poliuretano

Fonte: Adaptado de INMETRO (BRASIL, 2011)

- *Chuveiros Elétricos*

A UH possui 2 (dois) chuveiros elétricos como back-up do sistema de aquecimento solar. As especificações estão demonstradas na figura 44.

Figura 44: Especificações dos Chuveiros Elétricos da UH

Marca	CORONA
Família	GORDUCHA
Modelo	GORDUCHA
Tensão (V)	220
Potência (W)	5400
Consumo Mensal Máximo	22,50 (Consumo kWh/mês)
	24,30 (Elevação Temperatura °C)
Consumo Mensal Mínimo	15,00 (Consumo kWh/mês)
	5,10 (Vazão l/min)
Classe de Potência	D

Fonte: Adaptado de INMETRO (BRASIL, 2016)

5.2.4.1 Determinação da eficiência do Aquecimento Solar de Água

Os parâmetros adotados para dimensionamento do sistema de aquecimento solar são: temperatura de consumo = 45°; temperatura de armazenamento = 60°; e Temperatura Ambiente = 17,5°, conforme dados do INMET (1990) nas Normais Climatológicas, para a cidade adotada como referência nesta análise, Xanxerê – SC.

A tabela 33 apresenta os valores utilizados no dimensionamento do Aquecimento

Solar, inseridos na Planilha de cálculo do PBE Edifica.

Tabela 33: Valores utilizados no dimensionamento de Aquecimento Solar da Água

Mês	N (dias/mês)	T _{AMB} (°C)	T _{AF} (°C)	H _{dia} (kWh/(m ² xdia))
Jan	31	21,2	19,2	5,5
Fev	28	21,3	19,3	5,41
Mar	31	20,3	18,3	5,3
Abr	30	17,5	15,5	4,82
Mai	31	15,1	13,1	4,14
Jun	30	13,2	11,2	3,72
Jul	31	13,7	11,7	4,06
Ago	31	14,7	12,7	4,88
Set	30	16	14	4,53
Out	31	17,5	15,5	5,01
Nov	30	19,2	17,2	5,51
Dez	31	20,7	18,7	5,52

Fonte: Elaborado pela autora

Os valores de Temperatura Ambiente (T_{AMB}) foram determinados a partir dos dados coletados no INMET (2019), para a cidade de referência. Já a Temperatura de Água Fria (T_{AF}) é calculada subtraindo-se 2° (dois graus) da Temperatura Ambiente. A Radiação Solar incidente no Plano Inclinado (H_{dia}) foi obtida no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, no Programa Online SunData, versão 3.0 (CRESESB, 2018), conforme indica o Manual de Aplicação do RTQ-R (BRASIL, 2012).

Para sistema misto solar e elétrico, o Nível de eficiência de aquecimento de água da UH, é o Equivalente Numérico do sistema de aquecimento solar, desde que o aquecimento solar corresponda a uma fração solar mínima de 70%. O sistema da UH em análise resultou em uma Fração Solar de 96,03%. Dessa forma, o sistema da misto de Aquecimento Solar de Água da UH correspondeu a um equivalente numérico (EqNumAA) igual a 5 (cinco), ou seja, Nível A de Eficiência.

O dimensionamento do sistema se deu através da planilha que se encontra no site do PBE Edifica, e encontra-se no Anexo B.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Pontuação total e análise da avaliação do rtq-r para o projeto existente

A planilha abaixo (ver figura 45) demonstra o resultado final da análise da UH.

Figura 45: Pontuação Total da UH

Pontuação Total	Identificação	
	Envoltória para Verão	C
		2,59
	Envoltória para Inverno	B
		4,36
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B
		3,58
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C
	3,01	
Bonificações	0,50	
Região	Sul	
Coefficiente a	0,65	

Fonte: Planilha RTQ-R, Procel Edifica – Adaptado pela Autora

Alguns ambientes da UH receberam nível de eficiência E para o verão, portanto a classificação final foi C neste item. Porém, como a envoltória para inverno recebeu nível B, o equivalente numérico final resultou em 3,58, ou seja, Nível B.

A classificação final da UH resultou em nível de eficiência A (ver figura 46).

Figura 46: Classificação Final da UH

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	4,58

Fonte: Planilha RTQ-R, Procel Edifica – Adaptado pela Autora

Contudo, apesar de a UH alcançar na classificação final o nível máximo de eficiência,

a envoltória obteve nível C para verão, o que é pouco eficiente. Além disso, como pôde ser observado nas análises climáticas, o desconforto por frio abrange grande parte do ano, sendo também necessário propor melhorias para um melhor desempenho da envoltória para o inverno.

As planilhas dos cálculos estão no anexo A.

6.2 Sugestões de melhorias, utilizando o quadro-síntese de estratégias bioclimáticas para a zona 2

Diante das análises, e visando melhorar a eficiência da envoltória para Nível A, foram propostas algumas modificações na UH, de forma a não impactar significativamente no projeto e, ainda assim, resultar em melhor conforto térmico:

Envoltória e Pré-requisitos dos ambientes

- Substituição das esquadrias e do vidro
- Substituição do sistema de paredes externas

Substituição de Esquadrias e do Vidro

Visando melhorar o sombreamento das aberturas para o verão e garantir a ventilação para resfriamento e para desumidificação, assim como diminuir as trocas térmicas entre interior e exterior, optou-se por substituir todas as esquadrias externas dos ambientes de permanência prolongada por modelos com veneziana acoplada e vidro duplo.

Dessa forma, obteve-se a variável $Somb = 1$, ou seja, todos os ambientes possuem proteção de 100% da radiação solar. Outro fator importante é a ventilação proporcionada pelas venezianas, pois as estratégias bioclimáticas indicam a necessidade de retirar a alta umidade do ar ao longo do ano.

Além disso, as novas esquadrias melhoram o desempenho térmico minimizando a Transmitância Térmica (U), pois o vidro duplo garante menores trocas de calor por condução e diminui a radiação solar que entra no ambiente.

Abaixo, os novos modelos propostos (ver figuras 47, 48 e 49).



Fonte: Site do Fabricante - Madeira Madeira



Fonte: Site do Fabricante - Madepal

Figura 49: Modelo de Porta Proposto - 2 folhas



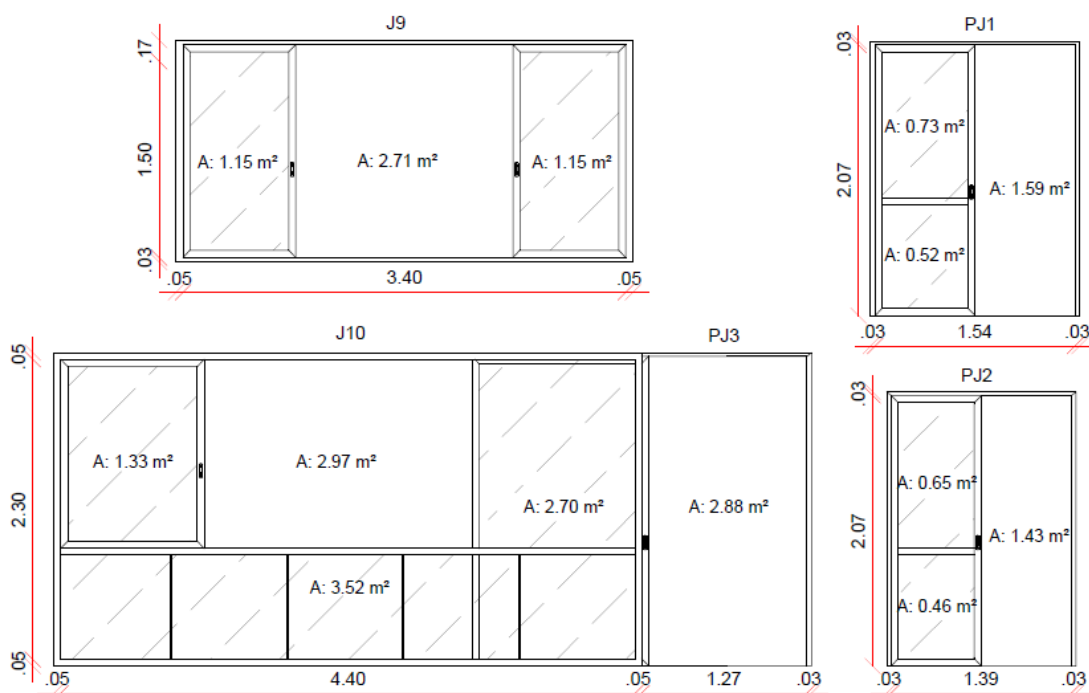
Fonte: Site do Vendedor - Americanas

As esquadrias substituídas são J2, J4, J5, J6, J7, J9, J10, PJ1, PJ2 e PJ3, mantendo o mesmo vão na parede.

Neste modelo, todas as esquadrias possuem venezianas que se abrem totalmente para fora, obtendo 100% de ventilação, e a parte em vidro é de correr. Dessa forma, as áreas para ventilação e iluminação modificaram-se somente na J9, J10, PJ3, PJ1 e PJ3, devido ao modelo escolhido. O vidro fixo J10 junto à PJ3 localizados na Sala de Estar, foi redesenhado para permitir abertura para ventilação, obtendo janelas que correm ocupando somente $\frac{1}{4}$ (um quarto) do vão quando totalmente abertas, com 90cm de peitoril.

Os desenhos das esquadrias que sofreram modificação nas áreas de ventilação e iluminação e suas respectivas medidas, são demonstrados na figura 50.

Figura 50: Modelos de Esquadrias Alterados



Fonte: Elaborado pela Autora

A partir disso, uma nova tabela de Fator de Ventilação (F_{vent}) foi elaborada, com as novas áreas efetivas de ventilação e iluminação dos ambientes de permanência prolongada. Essas áreas também são utilizadas no cálculo do pré-requisito “Ventilação Cruzada da Envoltória”. Abaixo, tabela 34 demonstra os valores do F_{vent} .

Tabela 34: F_{vent} das Esquadrias Alteradas

Cód. Abertura	Área do vão (m ²)	% de abertura para ventilação natural	Área efetiva para ventilação natural (m ²)	% de abertura para iluminação natural	Área efetiva para iluminação natural (m ²)
J1	0,48	41,67	0,20	75,00	0,36
J2	3,06	46,41	1,42	84,31	2,58
J3	0,28	39,29	0,11	67,86	0,19
J4	0,96	43,75	0,42	71,88	0,69
J5	1,20	44,17	0,53	75,83	0,91
J6	2,40	45,83	1,10	77,50	1,86
J7	4,85	47,22	2,29	84,33	4,09
J9	5,95	45,55	2,71	84,20	5,01
J10 + PJ3	13,92	42,03	5,85	89,08	12,40
PJ1	3,36	47,32	1,59	84,52	2,84
PJ2	3,05	46,89	1,43	83,28	2,54
P4	1,47	88,44	1,30	88,44	1,30

Fonte: Elaborado pela Autora

Os F_{vent} dos APPs Sala de Jantar + Cozinha (PJ1, J7, J5) e dos Dormitórios 1 e 2

(PJ2) não foram alterados, devido às poucas mudanças do modelo. Já o Fvent da Sala de Estar (J9, J10, PJ3) aumentou, resultando em 0,43.

Para o cálculo da Transmitância Térmica do Vidro Duplo, optado para substituir o vidro simples especificado no projeto, foram utilizados os dados da NBR 15220. Considerou-se vidro comum incolor, com espessura de 8 mm, Condutividade Térmica (λ) de 1,0 (W/m.K), e Câmara de Ar de 1,0 cm. O tipo de vidro, com as mesmas características de λ e espessura, estão disponíveis em anexo no site do PBE Edifica (BRASIL, 2015), como o mostrado na tabela 35.

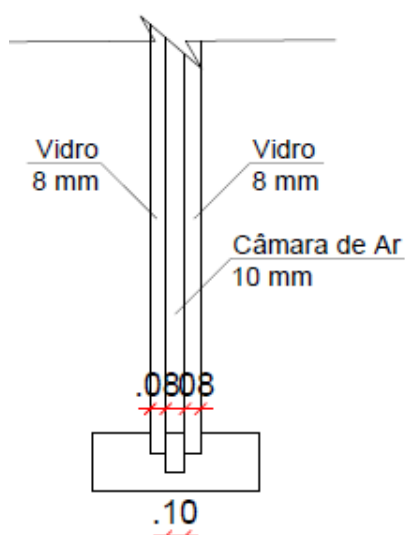
Tabela 35: Lista de Vidros e suas Propriedades

Vidro (ID)	Fabricante	Produto	Esp. (mm)	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Emis1	Emis2	Condutividade (W/mK)	Processo	U (W/m²)	FS
1	CEBRACE	Cool Lite 114 PN	8,000	0,110	0,240	0,310	0,130	0,280	0,380	0,840	0,840	1,000	laminado com incolor	5,700	0,270

Fonte: Catálogo de Propriedades Térmica e Óticas de vidros comercializados no Brasil - site PBE Edifica (2015)

Assim, o sistema de vidro duplo considerado foi composto por vidro simples incolor de 8mm + câmara de ar de 1,0cm + vidro simples incolor de 8mm (ver figura 51).

Figura 51: Vidro Duplo Proposto



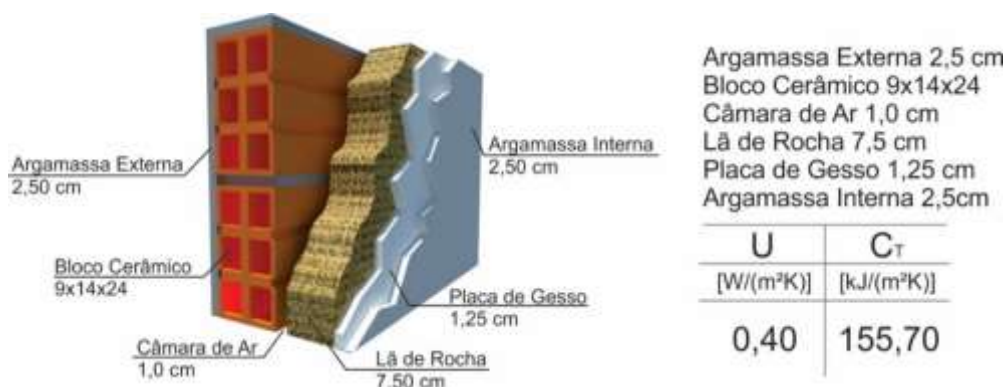
Fonte: Elaborado pela Autora

A transmitância térmica (U) do vidro duplo resultou em 3,07 W/m²K, e foi incluída na planilha de cálculo do RTQ-R, na variável U_{Vid} . O cálculo encontra-se no Anexo D.

Substituição do Sistema de Paredes Externas

O sistema de paredes proposto possui menor Transmitância Térmica, incluindo manta de isolamento térmico e câmara de ar, composição mais adequada para a Zona Bioclimática 2. Consiste em argamassa externa de 2,5 cm, bloco cerâmico 9x14x24 cm, câmara de ar de 1 cm, lâ de rocha de 7,5 cm de espessura, placa de gesso interna de 1,25 cm e argamassa interna de 2,5 cm. A parede obteve espessura final de 23,75 cm (ver figura 52).

Figura 52: Sistema de Parede Proposto



Fonte: Elaborado pela Autora

O desempenho térmico resultou em Capacidade Térmica de 155,70 (kJ/m²K) e Transmitância Térmica de 0,40 (W/m²K).

6.2.1 Pontuação total e resultados da avaliação no RTQ-R com as modificações propostas

Incluindo as alterações de esquadrias, vidro e paredes na planilha de cálculo, notou-se um importante aumento na eficiência da envoltória (ver figura 53).

Figura 53: Pontuação Total da UH – com alterações

Pontuação Total	Identificação	
	Envoltória para Verão	B 4,09
	Envoltória para Inverno	A 5,00
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	A 4,60
	Envoltória se refrigerada artificialmente	A 4,75
	Bonificações	0,50
	Região	Sul
	Coeficiente a	0,65

Fonte: Planilha RTQ-R, Procel Edifica – Adaptado pela Autora

Embora a Envoltória para Verão tenha subido de Nível C para B, em comparação com as demais que obtiveram Nível A, o equivalente numérico também se alterou consideravelmente na avaliação por ambiente, obtendo Nível mínimo de classificação de E para C, o que significa uma importante melhoria no conforto térmico. Já a envoltória para inverno obteve equivalente numérico máximo e, portanto, Nível A. Assim, na avaliação final a envoltória obteve equivalente numérico de 4,60 e Nível A.

A partir disso, e considerando Nível A para o aquecimento de água, a UH atingiu equivalente numérico de 5,24 e, portanto, classificação final Nível A (ver figura 54). A planilha de cálculo encontra-se no Anexo C.

Figura 54: Classificação Final da UH – com alterações

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	5,24

Fonte: Planilha RTQ-R, Procel Edifica – Adaptado pela Autora

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises bioclimáticas realizadas através dos Softwares ZBBR e Climate Consultant 6.0, notou-se a necessidade de resultados mais consistentes, devido à ausência de dados climáticos tratados para o município em análise, São Lourenço do Oeste, pois os arquivos utilizados foram retirados da cidade de referência mais próxima e com características semelhantes, Xanxerê – SC.

A identificação do contexto climático, especialmente a partir da Norma ASHRAE através do Software *Comfort Consultant*, demonstrou uma importante característica da área de estudo, o desconforto do usuário especialmente relacionado ao frio e à umidade. Para Xanxerê, cidade na localizada na ZB2 e utilizada neste trabalho para a análise climática, o *website* Projeteer indica que há 34% de conforto ou de desconforto por calor e 66% de desconforto por frio.

Nesse sentido, estudos apontados neste trabalho, como em Dalbem et al. (2017), Ferreira (2012), e Pereira et al. (2017), reforçam a necessidade de buscar soluções mais eficientes energeticamente para atender a demanda por aquecimento na ZB2, ampliando assim as horas de conforto térmico. O primeiro inclui necessidade de aquecimento artificial e aponta para o consumo energético elevado para suprir as necessidades de conforto nesta zona. Nesse sentido, o uso de isolamento eficiente para diminuir a demanda energética e melhorar o conforto térmico é abordada em Pereira et al. (2017). Apesar disso, as paredes sem isolamento térmico aprovadas no pré-requisito do Regulamento Técnico para a ZB1 como aborda Ferreira (2012), assim como ocorre na ZB2, ampliam as discussões a respeito dos municípios classificados nesta zona e suas características climáticas.

A relevância do conforto para aquecimento também é reforçada no Quando-Síntese de estratégias bioclimáticas, elaborado a partir das análises dos Softwares utilizados, das Normas e do Site Projeteer desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina e parcerias. Embora tenha indicado diversas soluções projetuais como parede *Trombe*, edificação semienterrada e estufa, muitas delas não foram aplicadas como melhorias, pois seria necessário alterar consideravelmente o projeto já aprovado pelos clientes e demandaria alterações com maior investimento financeiro. Entretanto, essas recomendações poderão ser utilizadas em futuros projetos desenvolvidos para

a região de estudo, de forma a integrar maior eficiência energética e conforto térmico passivo desde a concepção das edificações.

A partir da avaliação da Unidade Habitacional Autônoma, através da planilha do Regulamento Técnico de Qualidade para edificações residenciais, disponível no site do PBE Edifica, foi identificada a necessidade de melhorias relacionadas tanto ao aquecimento quanto ao resfriamento da edificação. Para tanto, foram consideradas as recomendações do Quadro-Síntese de Estratégias Bioclimáticas. Isolamento nas paredes e vidro duplo, indicados para a Zona 2, não estavam sendo atendidos, indicando a necessidade de diminuição da Transmitância Térmica desses sistemas para melhorar o aquecimento da UH. Já na situação de resfriamento analisada por ambiente, foi identificada a radiação solar oeste, especialmente nos dormitórios, como a principal causa da ineficiência da envoltória para verão, Nível E, optando-se assim pela substituição das esquadrias dos ambientes de permanência prolongada por modelos com venezianas. Dessa forma, as novas aberturas permitem a proteção solar e a retirada da alta umidade do ar por meio da ventilação.

Após as alterações propostas na UH, a avaliação da envoltória para verão, que resultou em Nível B em comparação com a classificação A para inverno, se demonstra satisfatória, pois, de acordo com as análises climáticas apresentadas, o conforto necessário na maior parte do ano é em relação ao aquecimento da UH.

Conclui-se, além disso, que a avaliação do RTQ-R considera a eficiência energética a partir da redução do consumo de energia, uma vez que o peso do Sistema de Aquecimento de Água no Nível de Eficiência da UH é grande. Assim, este é capaz de alterar consideravelmente a classificação final devido à eficiência energética proporcionada à edificação, ainda que a envoltória não seja eficiente e, portanto, o conforto do usuário não esteja sendo atendido adequadamente.

Com isso, se reforça a importância das decisões de projeto do arquiteto, tanto no impacto do consumo energético como no conforto dos usuários. Informar e orientar os clientes para soluções bioclimáticas, mais eficientes energeticamente e mais adequadas ao clima local, utilizando, para tanto, materiais e equipamentos mais

adequados, podem desenvolver e fortalecer hábitos mais conscientes. Ainda, também cabe ao arquiteto desenvolver a consciência de que as edificações podem ser mais saudáveis e confortáveis, a partir de pequenas alterações nas especificações de projeto.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan. Prefácio da versão em língua portuguesa. Agenda 21 para a construção sustentável. Tradução do Relatório CIB – Publicação 237. INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. Tradução de I. Gonçalves; T. Whitaker; ed. de G. Weinstock, D. M. Weinstock. São Paulo: s. d. 2000. 131p.

ABRAHÃO, Karla Cristina de Freitas Jorge. Avaliação dos pesos regionais do RTQ-R a partir da análise da estrutura do consumo residencial de energia elétrica por região geográfica. **Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, 2015, 242 f. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD-9XSP3F/1/abrahao_karla_c.f.j_2015_dissert_mestrado_ea_ufmg__versao_final.pdf>. Acesso em: 06 out. 2019.

FERREIRA, Rodrigo Manoel Aguiar. Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro. **Monografia** apresentada no curso de Pós-graduação em Construções Sustentáveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. 74 f. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/794/1/CT_CECONS_II_2012_09.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-2. Desempenho Térmico de edificações**. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. ABNT. **NBR 15575-4. Edificações habitacionais** – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. ABNT. **NBR 15575-5. Edificações habitacionais** – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. ELETROBRAS/ PROCEL EDIFICA, INMETRO E CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7BCF1A3743-CECB-48EF-B2CA-E2B4D4173337%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>> Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço energético nacional 2018**: ano base 2017 - BEN. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Anexo Geral V do RAC – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:<<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Catálogo de Propriedades Térmicas e Óticas de vidros comercializados no Brasil**. Florianópolis, 2015. Disponível em:<<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Anexo I do RTQ-R – Cartas solares, máscaras e tabelas com ângulos de proteção solares para o cálculo de “somb”**. Rio de Janeiro, [20-]. Disponível em:<<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE. **Coletor Solar Aplicação Banho e Piscina**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em:<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE. **Reservatórios Térmicos**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/reservatorioSolar.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM - PBE. **Chuveiros Elétricos**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF, INMET, 1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o**

Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 138p. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Manual para aplicação do RTQ-R.** 203p. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/manuais>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. (EDITOR). **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development.** Oxford University Press. 398 p. 1987.

CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA - CIRAM. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina.**

Florianópolis, 2002. Disponível

em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf>.

CRESESB. **SunData.** Irradiação Solar diária média mensal nos municípios brasileiros. Versão 3.0. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

DALBEM, R; CUNHA, E. G; VICENTE, R; FIGUEIREDO, A. J; SILVA, A. C. S. B. da. Discussão do Desempenho da Envolvória de uma *passive house* adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. **Ambiente Construído:** Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, mar. 2017. ISSN 1678-8621. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S167886212017000100201&script=sci_abstract&lng=pt>. Acesso em: 20 ago. 2019.

FERREIRA, Rodrigo Manoel Aguiar. Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro. **Monografia** apresentada no curso de Pós-graduação em Construções Sustentáveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. 74 f. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/794/1/CT_CECONS_II_2012_09.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.

GURGEL, Miriam. **Design Passivo – baixo consumo energético:** Guia para conhecer, entender e aplicar os princípios do Design Passivo em residências. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012. 175 p.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Investment Outlook:** Special Report 2014. França, 188 p., junho, 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weio2014.pdf>>. Acesso em 16 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **História de São Lourenço do Oeste - SC**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/sao-lourenco-do-oeste/historico>>. Acesso em 05 abr. 2014.

_____. IBGE. **População estimada [2018] para São Lourenço do Oeste - SC**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/sao-lourenco-do-oeste/panorama>>. Acesso em 20 ago. 2019.

_____. IBGE. **Mapa de Unidades de Revelo do Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3. ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. 1ª Ed. Vol. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

LAMBERTS, R; TRIANA, M. A; FOSSATI, M; BATISTA, J. O. Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. **LabEEE**, Florianópolis, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/sustentabilidade>> Acesso em: 17 mar. 2019.

LIGGETT, R; MILNE, M. **Climate Consultant**, versão 6.0. UCLA Design Tool Group. USA: 2018. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

OLARTECHEA, M; CALLEJAS, I. J. A; DURANTE, L. C; ROSSETI, K. A. C; LIMA, M. J. S. de. Impactos da incorporação de diretrizes construtivas bioclimáticas no desempenho termoenergético de habitação de interesse social (ZB 07). **ENCAC, ELACAC**. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. FAU USP, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2015/topico4artigo37.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2019.

PASSOS, B. A; WESTPHAL, F. S. Impacto do uso de Isolantes térmicos em ambientes residenciais com baixa carga térmica interna. **ENCAC, ELACAC**. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. FAU USP, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2015/topico4artigo23.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2019.

PEREIRA, S. R; DUARTE, C. M; CUNHA, E. G; KREBS, L. F; LEITZKE, R. K; SILVA, A. C. S. B; BENINCÁ, L. Efeitos do sombreamento no desempenho de edificação com envelope isolado na ZB 2. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**: Campinas, SP, v. 7, n. 3, p. 145-159, out. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647327>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

PROJETEEE. **Estratégias Bioclimáticas para Xanxerê - SC**. Universidade Federal de Santa

Catarina. Disponível em:<<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

RORIZ, Maurício. **ZBBR**: Zoneamento bioclimático do Brasil. Versão 1.1. São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFSCar, 2004. Disponível em:<<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

_____. **Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros**: Arquivos em formato de EPW. In: Roriz Bioclimática. 2019. Disponível em:<http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: 20 ago. 2019.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em:<<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/40213/28755>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

SILVA, H. S.; SANTOS, M. C. O. O Significado do Conforto no Ambiente Residencial. **Cadernos do PROARQ**, v.18, p. 136-151, 2012. Disponível em:<http://www.proarq.fau.ufrj.br/revista/public/docs/Proarq18_OSignificadoConforto_SilvaSantos.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

SOARES, M. M; SILVA, A. C. S. B. da; CUNHA, E. G. A compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575, sob análise do RTQ-R: zona bioclimática 2. **XIV ENCAC, X ELACAC**. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000100305>. Acesso em: 16 out. 2019.

SOUZA, R. V. G; SOARES, C. P. S; ALVES, T. P. Avaliação de dispositivos de sombreamento no RTQ-R do ponto de vista térmico e luminoso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 139-159, out./dez. 2018. ISSN 1578-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000400139&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 16 out. 2019.

TESSARI, R. K; KRÜGER, E. L. Avaliação bioclimática de residências históricas em Curitiba. **Revista Engenharia e Construção**. Curitiba, PR, v. 1, n. 2, p. 78-95, dez. 2014. ISSN 2358-0259. Disponível em:<<https://periodicos.utfpr.edu.br/recc/article/view/6613>>. Acesso em: 16 out. 2019.

TORRES, Daniela de Araujo. Desempenho Térmico de Habitações Populares em Alagoas: Alternativas para adequação climática. **Dissertação de Mestrado** apresentada à faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015, 142 p. Disponível em:<<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1292/1/Desempenho%20termico%20de%20habitacoes%20populares%20em%20Alagoas....pdf>>. Acesso em: 16 out. 2019.

TREICHEL, Suzana Zehetmeyer; SILVA, Antonio Cesar Silveira Baptista da; OLIVEIRA, Ana Lúcia Costa de. Conforto térmico da arquitetura vernacular produzida pelos descendentes da Pomerânia no sul do Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**: Campinas, SP, v. 10, p. e019003, jan. 2019. ISSN 1980-6809.

FIGURAS

Figura 47: Disponível em:<<https://www.madeiramadeira.com.br/janela-de-correr-veneziana-panoramica-isabela-revestimentos-120cmx140cmx14cm-279334.html>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

Figura 48: Disponível em:<<http://madepal.com.br/produtos/janela-reta-de-abrir-com-veneziana-e-vidro-panoramico/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

Figura 49: Disponível em:<https://www.americanas.com.br/produto/101654787/kit-porta-de-madeira-veneziana-pe521-gold-esel-216cmx120cmx14cm-natural?WT.srch=1&acc=e789ea56094489dffd798f86ff51c7a9&epar=bp_pl_00_go_pla_casaconst_g_eral_gmv&gclid=Cj0KCQjwv8nqBRDGARIsAHfR9wCqrFj12HHAd-pomgkqncXO1l_S0gbqZk3LIIBJyBrkXmw_lpQITZAaAgeWEALw_wcB&i=57fdb7f9eec3dfb1f859616b&o=5d378ac76c28a3cb50385595&opn=YSMESP&sellerId=10490181000235&sellerid=10490181000235&wt.srch=1>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ANEXO A – Planilha de cálculo do RTQ-R



Análise da Envoltória e dos Pré-requisitos dos ambientes

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	Sala de Estar
	Área útil do APP	m ²	22,55
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1
	Contato com solo	adimensional	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,93
	CTcob	kJ/m ² .K	239,53
	acob	adimensional	0,27
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,46
	CTpar	kJ/m ² .K	150,00
	opar	adimensional	0,37
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	4,41
	SUL	m ²	20,65
	LESTE	m ²	12,82
	OESTE	m ²	6,44
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00
	SUL	m ²	0,00
	LESTE	m ²	19,87
	OESTE	m ²	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,27
	Somb	adimensional	0,30
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	20,42
	Pé Direito	m	4,44
	C altura	adimensional	0,197
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0
	vid	binário	0
	Uvid	W/m ² .K	5,7
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	E
			9789
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	C
			34,870
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	Não se aplica 0,000

ZB2	ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Cozinha + Sala de Jantar	Escritório	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2
28,45	6,88	21,77	10,59	10,59
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0
0	0	0	0	0
0,00	0,00	0,50	0,50	0,50
1,00	1,00	207,20	207,20	207,20
0,00	0,00	0,25	0,25	0,25
2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
6,47	5,03	11,59	5,65	5,65
10,12	3,53	6,62	4,32	0,00
0,00	0,00	0,00	10,51	0,00
5,46	7,35	10,06	0,00	0,00
4,85	3,06	3,36	3,05	3,05
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,36	0,00	0,00	0,00	0,00
0,47	0,46	0,45	0,47	0,47
0,45	0,27	0,00	0,10	0,10
38,93	9,79	24,00	12,78	27,18
2,94	2,94	2,88	2,88	2,88
0,103	0,427	0,132	0,272	0,272
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
B	D	D	E	D
4309	7794	8252	8826	8227
A	B	B	B	B
13,613	17,259	17,128	23,016	18,701
Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	B 10,377	D 18,393	D 19,448

Pré-requisitos por ambiente			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	150
		Upar, CTpar e qpar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim
		Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?
	Há corredor no Ambiente?		Não
	Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		22,55
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]	17,6
		Ai/Auamb (%)	78,05
		Atende 12,5%?	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	5,38
		Av/Auamb (%)	23,86
		Atende % mínima?	Sim
		Tipo de abertura	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim
ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?		Não	
Atende?	Sim		

150	150	150	150	150
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Sim	Sim	Sim
Sim	Não	Não	Não	Não
28,45	6,88	21,77	10,59	10,59
7,88	2,58	2,55	2,57	2,57
27,70	37,50	17,00	24,27	24,27
sim	sim	sim	sim	sim
4,41	1,42	1,52	1,43	1,43
15,50	20,64	10,13	13,50	13,50
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
de correr	de correr	de correr	de correr	de correr
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não	Não
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente	
	Envoltória para Verão	C 2,59
	Envoltória para Inverno	B 4,36
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C 3,01
		E 1,00
		C 3,00
		Não se aplica 0,00

A PONTUAÇÃO ACIMA NÃO É A NOTA FINAL DA ENVOLTÓRIA. AINDA É NECESSÁRIO PREENCHER ALGUNS PRÉ-REQUISITOS NA ABA "Pré-requisitos da UH"

B	D	D	E	D
4,00	2,00	2,00	1,00	2,00
A	B	B	B	B
5,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Não se aplica	Não se aplica	B	D	D
0,00	0,00	4,00	2,00	2,00

Análise dos Pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Não se aplica
	Medição individual de energia?		Não se aplica
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	8,09
		Área Aberturas orientação Sul	2,2
		Área Aberturas orientação Leste	5,38
		Área Aberturas orientação Oeste	1,9
		A2/A1	1,171817058
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	2
		Nº Banheiros com ventilação natural	2
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão	C	C
		2,59	2,59
	Envoltória para Inverno	B	B
4,36		4,36	
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	
		3,01	3,01

Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		B	B
		3,58	3,58

Análise das Bonificações

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	8,09
		AATVS (m²)	2,2
		AATVL (m²)	5,38
		AATVO (m²)	1,9
		ATFN (m²)	76,87
		ATFS (m²)	89,79
		ATFL (m²)	63,75
		ATFNO (m²)	61,92
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	10,5%
		Porosidade Sul	2,5%
		Porosidade Leste	8,4%
		Porosidade Oeste	3,1%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	
		Bonificação	0
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não
		Bonificação	0

Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0,2
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	Menos que 50%
		Bonificação	0
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Não
		Bonificação	0
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
Bonificação		0	
Total de bonificações			0,5

Análise do Aquecimento de Água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Sim
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W ?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	0,4
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A
Sistema de aquecimento Solar	Os coletores solares possuem ENCE A ou B ou Selo Procel e os reservatórios apresentam Selo Procel?	Sim
	Qual é o volume de armazenamento real do reservatório (litros)?	300
	Qual é a área de coletores solares existente? (m ²)	5,4
	Volume de reservatório por área de coletor (litros/m ²)	55,56
	Sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica. Equivalente à fração solar anual.	de 70% ou mais
	Demanda	
	Classificação	A 5

Sistema de Aquecimento Elétrico		
Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	5400
	Demanda	
	Classificação	E 1
Aquecedor elétrico de Hidromassagem	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	
	Demanda	
	Classificação	
Aquecedores elétricos por acumulação (Boiler)	Escolha uma opção ao lado:	
	Demanda	
	Classificação	
Caldeiras a óleo	Apresenta Caldeira a óleo?	
	Demanda	
	Classificação	
Nota final para o aquecimento de água		A 5,00

Pontuação Total

Pontuação Total	Identificação	
	Envoltória para Verão	C 2,59
	Envoltória para Inverno	B 4,36
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B 3,58
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C 3,01
	Bonificações	0,50
	Região	Sul
	Coefficiente a	0,65

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	4,58

ANEXO B – Dimensionamento do Sistema Solar de Aquecimento de Água, de acordo com o RTQ-R



Pessoas/dormitório	1	pessoas
N _{total} pessoas na edificação	4	pessoas
Volume/pessoa/dia	50	litros/pessoa/dia
V _{consumo}	200	litros/dia
T _{consumo}	45	°C
T _{armaz}	60	°C
T _{ambiente}	17,5	°C
V _{armaz}	129	litros
V _{água armazenada}	300	litros

Mês	N (dias/mês)	T _{AF} (°C)	DE _{mês} (kWh/mês)
Jan	31	19,2	185,55
Fev	28	19,3	166,95
Mar	31	18,3	192,03
Abr	30	15,5	205,32
Mai	31	13,1	229,42
Jun	30	11,2	235,25
Jul	31	11,7	239,49
Ago	31	12,7	232,30
Set	30	14,0	215,76
Out	31	15,5	212,16
Nov	30	17,2	193,49
Dez	31	18,7	189,15

$$DE_{mês} = Q_{dia} \times N \times (T_{ACS} - T_{AF}) \times 1,16 \times 10^{-3}$$

Mês	N (dias/mês)	H _{dia} (kWh/(m²xdia))	EI _{mês} (kWh/m²)
Jan	31	5,5	170,50
Fev	28	5,41	151,48
Mar	31	5,3	164,30
Abr	30	4,82	144,60
Mai	31	4,14	128,34
Jun	30	3,72	111,60
Jul	31	4,06	125,86
Ago	31	4,88	151,28
Set	30	4,53	135,90
Out	31	5,01	155,31
Nov	30	5,51	165,30
Dez	31	5,52	171,12

$$EI_{mês} = H_{dia} \times N$$

FR (ra)n	0,739	adimensional
$\frac{(ra)}{(ra)_n}$	0,96	
$\frac{F_R}{F_R}$	0,95	
F'R (ra)	0,673968	
Área disponível	45,6	m ²
Área do coletor	1,8	m ²
Nº coletores	3	
S _c	5,4	m ²

$$F'_R(ra) = F_R(ra)_n \times \left(\frac{(ra)}{(ra)_n} \right) \times \frac{F'_R}{F_R}$$

Mês	DE _{mês} (kWh/mês)	EI _{mês} (kWh/m ²)	EA _{mês} (kWh/mês)	D ₁
Jan	185,55	170,50	620,52	3,3441676
Fev	166,95	151,48	551,30	3,3022443
Mar	192,03	164,30	597,96	3,1139358
Abr	205,32	144,60	526,26	2,5631267
Mai	229,42	128,34	467,08	2,0358919
Jun	235,25	111,60	406,16	1,7265187
Jul	239,49	125,86	458,06	1,9126119
Ago	232,30	151,28	550,57	2,3700764
Set	215,76	135,90	494,60	2,2923533
Out	212,16	155,31	565,24	2,6641628
Nov	193,49	165,30	601,60	3,1092229
Dez	189,15	171,12	622,78	3,2925197

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(ra) \times EI_{mês}$$

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

F _R U _L	5,051	W/(m ² .K)
$\frac{F_R}{F_R}$	0,95	
F' _R U _L	0,00479845	

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3}$$

S _c	5,4	m ²
V _{água} (m ³ /mês)	300	litros
T _{AC}	45	°C
FR (ra)n	0,739	
F'R (ra)	0,673968	

Mês	DE _{mês} (kWh)	T _{amb} (°C)	T _{ar} (°C)	ΔT (horas)	K ₁	K ₂	EP _{mês} (kWh)	D ₂
Jan	185,55	21,2	19,2	744	1,077912336	1,137411168	1.862,48	10,03749708
Fev	166,95	21,3	19,3	672	1,077912336	1,140813215	1.685,14	10,00396718
Mar	192,03	20,3	18,3	744	1,077912336	1,107176013	1.833,69	9,54816756
Abr	205,32	17,5	15,5	720	1,077912336	1,017333333	1.687,83	8,220469829
Mai	229,42	15,1	13,1	744	1,077912336	0,945041225	1.607,28	7,267234834
Jun	235,25	13,2	11,2	720	1,077912336	0,890845161	1.554,68	6,605595499
Jul	239,49	13,7	11,7	744	1,077912336	0,904727694	1.622,48	6,774634653
Ago	232,30	14,7	12,7	744	1,077912336	0,933388042	1.654,48	7,12134552
Set	215,76	16	14,0	720	1,077912336	0,971666667	1.641,37	7,607401348
Out	212,16	17,5	15,5	744	1,077912336	1,017333333	1.744,08	8,220469829
Nov	193,49	19,2	17,2	720	1,077912336	1,071138614	1.740,47	8,995258012
Dez	189,15	20,7	18,7	744	1,077912336	1,120529634	1.840,49	9,762076757

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25}$$

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{ar} - 2,32 T_{amb})}{(100 - T_{amb})}$$

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{amb}) \times \Delta T \times K_1$$

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}}$$

Mês	D_1	D_2	f
Jan	3.344167602	10,03749708	1,034202745
Fev	3.302244256	10,09366715	1,027845805
Mar	3.113935839	9,54916756	1,021197299
Abr	2,563126695	8,220469829	0,977240768
Mai	2,035891878	7,267234824	0,883562966
Jun	1,726518719	6,608595499	0,805979262
Jul	1,912611892	6,774634653	0,86453261
Ago	2,37007643	7,122134552	0,977182112
Set	2,292353339	7,607401348	0,940064645
Out	2,66416281	8,220469829	0,99633431
Nov	3,109222878	8,995259012	1,038104826
Dez	3,292519591	9,762076757	1,036439575

$$D_1 = \frac{EA_{mês}}{DE_{mês}}$$

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}}$$

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245(D_1)^2 + 0,0018(D_2)^2 + 0,0215(D_1)^3$$

Mês	$DE_{mês}$ (kWh)	f	$EU_{mês}$ (kWh)
Jan	185,55	1,034202745	191,90
Fev	166,95	1,027845805	171,60
Mar	192,03	1,021197299	196,10
Abr	205,32	0,977240768	200,65
Mai	229,42	0,883562966	202,71
Jun	235,25	0,805979262	189,61
Jul	239,49	0,86453261	207,05
Ago	232,30	0,977182112	227,00
Set	215,76	0,940064645	202,83
Out	212,16	0,99633431	211,39
Nov	193,49	1,038104826	200,66
Dez	189,15	1,036439575	196,04
TOTAL	2.496,88		2.397,72

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês}$$

F	0,960289581
Fração solar anual	96,03%

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{mês}}{\sum_1^{12} DE_{mês}}$$

Verificação do volume de armazenamento do projeto	
V_{armaz}	300
Nº coletores	3
Área do coletor	1,8
Área de coletores	5,4
$V_{armaz}/\text{área}_{coletores}$	55,56

 m^2

ANEXO C – Planilha de cálculo com as modificações propostas, de acordo com o RTQ-R



Análise da Envoltória e dos Pré-requisitos dos Ambientes

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	Sala de Estar
	Área útil do APP	m ²	22,55
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1
	Contato com solo	adimensional	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,93
	CTcob	kJ/m ² .K	239,53
	acob	adimensional	0,27
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	0,40
	CTpar	kJ/m ² .K	155,70
	opar	adimensional	0,37
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	4,41
	SUL	m ²	20,65
	LESTE	m ²	12,82
	OESTE	m ²	6,44
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00
	SUL	m ²	0,00
	LESTE	m ²	19,87
	OESTE	m ²	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,27
	Somb	adimensional	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	20,42
	Pé Direito	m	4,44
	C altura	adimensional	0,197
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	1
	vid	binário	1
	Uvid	W/m ² .K	3,07
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	C
			5919
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	B
			25,946
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	Não se aplica 0,000

ZB2	ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Cozinha + Sala de Jantar	Escritório	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2
28,45	6,88	21,77	10,59	10,59
0	0	1	1	1
1	1	0	0	0
0	0	0	0	0
0,00	0,00	0,50	0,50	0,50
1,00	1,00	207,20	207,20	207,20
0,00	0,00	0,25	0,25	0,25
0,40	0,40	0,40	2,46	2,46
155,70	155,70	155,70	150,00	150,00
0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
6,47	5,03	11,59	5,65	5,65
10,12	3,53	6,62	4,32	0,00
0,00	0,00	0,00	10,51	0,00
5,46	7,35	10,06	0,00	0,00
4,85	3,06	3,36	3,05	3,05
1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,36	0,00	0,00	0,00	0,00
0,47	0,46	0,45	0,47	0,47
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
38,93	9,79	24,00	12,76	27,18
2,94	2,94	2,88	2,88	2,88
0,103	0,427	0,132	0,272	0,272
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
A	B	B	C	C
1464	4392	4347	6079	5480
A	A	A	A	A
9,145	6,735	12,624	12,434	8,118
Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	A 4,010	A 4,985	B 6,040

Pré-requisitos por ambiente			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	150
		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim
		Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?
	Iluminação Natural	Há corredor no Ambiente?	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?	22,55
		Área de abertura para iluminação [m²]	17,6
	Ventilação Natural	Ai/Auamb (%)	78,05
		Atende 12,5%?	sim
		Área de abertura para ventilação	5,38
		Av/Auamb (%)	23,86
		Atende % mínima?	Sim
		Tipo de abertura	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não
Atende?	Sim		

150	150	150	150	150
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Sim	Sim	Sim
Sim	Não	Não	Não	Não
28,45	6,88	21,77	10,59	10,59
7,88	2,58	2,55	2,57	2,57
27,70	37,50	17,00	24,27	24,27
sim	sim	sim	sim	sim
4,41	1,42	1,52	1,43	1,43
15,50	20,64	10,13	13,50	13,50
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
de correr	de correr	de correr	de correr	de correr
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não	Não
Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente		
	Envoltória para Verão	B 4,09	C 3,00
	Envoltória para Inverno	A 5,00	B 4,00
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	A 4,75	Não se aplica 0,00

A PONTUAÇÃO ACIMA NÃO É A NOTA FINAL DA ENVOLTÓRIA. AINDA É NECESSÁRIO PREENCHER ALGUNS PRÉ-REQUISITOS NA ABA "Pré-requisitos da UH"

A	B	B	C	C
5,00	4,00	4,00	3,00	3,00
A	A	A	A	A
5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Não se aplica	Não se aplica	A	A	B
0,00	0,00	5,00	5,00	4,00

Análise dos Pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Não se aplica
	Medição individual de energia?		Não se aplica
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	8,09
		Área Aberturas orientação Sul	2,2
		Área Aberturas orientação Leste	5,38
		Área Aberturas orientação Oeste	1,9
		A2/A1	1,171817058
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	2
		Nº Banheiros com ventilação natural	2
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada	
		Envoltória para Verão	B 4,09	B 4,09
		Envoltória para Inverno	A 5,00	A 5,00
		Envoltória se Refrigerada Artificialmente	A 4,75	A 4,75

Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		A 4,60	A 4,60

Análise das Bonificações

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m ²)	8,09
		AATVS (m ²)	2,2
		AATVL (m ²)	5,38
		AATVO (m ²)	1,9
		ATFN (m ²)	76,87
		ATFS (m ²)	89,79
		ATFL (m ²)	63,75
		ATFNO (m ²)	61,92
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	10,5%
		Porosidade Sul	2,5%
		Porosidade Leste	8,4%
		Porosidade Oeste	3,1%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
		Bonificação	0
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	
	Bonificação	0	
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?	Não
		Bonificação	0

Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0,2
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	Menos que 50%
		Bonificação	0
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Não
		Bonificação	0
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
		Bonificação	0
Total de bonificações			0,5

Análise do Aquecimento de Água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Sim
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W ?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	0,4
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A

Sistema de aquecimento Solar	Os coletores solares possuem ENCE A ou B ou Selo Procel e os reservatórios apresentam Selo Procel?	Sim
	Qual é o volume de armazenamento real do reservatório (litros)?	300
	Qual é a área de coletores solares existente? (m ²)	5,4
	Volume de reservatório por área de coletor (litros/m ²)	55,56
	Sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica. Equivalente à fração solar anual.	de 70% ou mais
	Demanda	
	Classificação	A 5

Sistema de Aquecimento Elétrico		
Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	5400
	Demanda	
	Classificação	E 1
Aquecedor elétrico de Hidromassagem	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	
	Demanda	
	Classificação	
Aquecedores elétricos por acumulação (Boiler)	Escolha uma opção ao lado:	
	Demanda	
	Classificação	
Caldeiras a óleo	Apresenta Caldeira a óleo?	
	Demanda	
	Classificação	
Nota final para o aquecimento de água		A 5,00

Pontuação Total, com as modificações propostas

Pontuação Total	Identificação	
	Envoltória para Verão	B 4,09
	Envoltória para Inverno	A 5,00
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	A 4,60
	Envoltória se refrigerada artificialmente	A 4,75
	Bonificações	0,50
	Região	Sul
	Coeficiente a	0,65
Classificação final da UH		A
Pontuação Total		5,24

ANEXO D – Cálculo da Transmitância Térmica do sistema de Vidro Duplo proposto

O sistema é composto por: 2 vidros simples, incolores, espessura de 8 mm, com câmara de ar interna de 10 mm.

Para o cálculo da transmitância térmica, utiliza-se o inverso da equação da resistência térmica:

$$U = \frac{1}{RT}$$

A equação da resistência térmica:

$$RT = Rse + Rt + Rsi$$

Onde

Rt é a resistência térmica de superfície a superfície:

$Rt = \frac{e}{\lambda}$, onde (e = espessura do material; λ = condutividade térmica do material)

Rse e Rsi são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente

O vidro possui $e = 0,008$ m, e $\lambda = 1,00$ (W/(m.K)), como demonstra a figura abaixo:

Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais			
Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (2003)

A emissividade do vidro é de 0,84:

Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caixa nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84

Fonte: NBR 15220-2 (2003)

Considerando a emissividade do vidro de 0,84 e a câmara de ar com espessura de 10mm, direcionando fluxo horizontal de calor, a resistência térmica da câmara de ar resulta em 0,14 m².K/W:

Resistência Térmica de Câmaras de Ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R _{ar} m ² .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇒	⇄	⇄
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	1,0 ≤ e ≤ 2,0 2,0 < e ≤ 5,0 e > 5,0	0,14	0,13 0,14 0,14	0,15 0,18 0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	1,0 ≤ e ≤ 2,0 2,0 < e ≤ 5,0 e > 5,0	0,29 0,37 0,34	0,23 0,25 0,27	0,29 0,43 0,61

Notas:
1 ϵ é a emissividade hemisférica total.
2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: NBR 15220-2 (2003)

Para o cálculo do Resistência Térmica superficial interna e externa, utilizam-se os dados abaixo, correspondendo à direção do fluxo de calor. Nesse caso, o fluxo de calor horizontal determina R_{si} = 0,13 (m².K)/W e R_{se} = 0,04 (m².K)/W:

Resistência Térmica superficial interna (R_{si}) e externa (R_{se})

$R_{si} (m^2.K/W)$			$R_{se} (m^2.K/W)$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (2003)

A resistência térmica do vidro é de $0,008 m^2K/W$:

$$R_t = \frac{0,008}{1,0} = 0,008 (m^2K/W)$$

O cálculo de superfície a superfície, considerando a resistência térmica da câmara de ar de $0,14 (m^2K/W)$:

$$R_t = 0,008 + 0,14 + 0,008$$

$$R_t = 0,156 (m^2K/W)$$

Sabendo que $R_{si} = 0,13$ e $R_{se} = 0,04$, a Resistência Térmica do sistema é dada pela equação:

$$RT = 0,04 + 0,156 + 0,13$$

$$RT = 0,326 (m^2K/W)$$

A transmitância térmica (U) do sistema de vidro duplo proposto resulta, assim, em $3,07 (W/m^2K)$:

$$U = \frac{1}{0,326} = 3,07 (W/m^2K)$$