



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÍTALLO CRYSTIANO PEREIRA DIAS

ANÁLISE DE PROPOSTA DE REFORMA RESIDENCIAL PARA O
APRIMORAMENTO DA TEMPERATURA INTERNA DOS AMBIENTES
UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

BARREIRAS-BA

2024

ÍTALLO CRYSTIANO PEREIRA DIAS

**ANÁLISE DE PROPOSTA DE REFORMA RESIDENCIAL PARA O
APRIMORAMENTO DA TEMPERATURA INTERNA DOS AMBIENTES
UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito
parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Dr. Dennis Coelho Cruz

BARREIRAS-BA

2024

ÍTALLO CRYSTIANO PEREIRA DIAS

**ANÁLISE DE PROPOSTA DE REFORMA RESIDENCIAL PARA O
APRIMORAMENTO DA TEMPERATURA INTERNA DOS AMBIENTES
UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito
parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em 17 de setembro de 2024

Banca Examinadora:

Orientador:

D. Sc. Dennis Coelho Cruz
Universidade Federal do Oeste da Bahia



D. Sc. Elier Pavón de la Fé
Universidade Federal do Oeste da Bahia

D. Sc. Yascara Maia Araujo De Brito
Universidade Federal do Oeste da Bahia

FICHA CATALOGRÁFICA

D541 Dias, Itallo Crystiano Pereira.

Análise de proposta de reforma residencial para o aprimoramento da temperatura interna dos ambientes utilizando simulação computacional. / Itallo Crystiano Pereira Dias. – 2023.

80f.

Orientador: Prof. Dr. Dennis Coelho Cruz.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2023.

1. Conforto térmico. 2.Reforma. 3.Desempenho térmico. 4.Ventilação natural. 5.EnergyPlus. I. Cruz, Dennis Coelho. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me deu força e sabedoria para chegar até aqui. À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio incondicional: minha mãe Jernita, meu pai Hermínio, meus irmãos Suellen, Odeilton e minha sobrinha Yasmin.

Em especial, à minha irmã Annie (*in memoriam*), que sempre foi meu espelho, minha irmã mais velha, e a mulher mais forte que eu conheci, que me incentivou a ser e fazer sempre o melhor.

À minha esposa, Ivanete, que acreditou em mim e nos meus sonhos, muitas vezes mais do que eu mesmo acreditei. Às minhas filhas, Hailey e Heloisa, que me inspiram todos os dias a ser uma pessoa melhor, e também ao meu bebê, que não sei se é ele ou ela, mas que é um incentivo a mais pra sempre correr atrás do melhor para nós.

Agradeço profundamente ao meu orientador, Professor Dennis Cruz, cuja orientação foi essencial para a realização deste trabalho. Sem sua paciência, conhecimentos e apoio, este TCC não teria sido possível.

Aos meus colegas de curso e de trabalho, que compartilharam comigo esta jornada cheia de desafios e aprendizados. Enfrentamos juntos muitos obstáculos, e cada um de vocês contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Aos professores que se dedicaram intensamente ao longo desses anos.

Por fim, agradeço aos professores da banca, que dedicaram seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho.

RESUMO

O conforto térmico das edificações é um desafio para atendimento às legislações vigentes, principalmente quando se trata de regiões de clima quente. As altas temperaturas podem afetar significativamente a qualidade de vida dos moradores, tornando essencial a busca por soluções que tornem as edificações mais agradáveis e eficientes. Este trabalho analisou o desempenho térmico de uma edificação residencial tradicional submetida às condições climáticas do município de São Desiderio (BA), avaliando o impacto na temperatura interna dos ambientes. As propostas de reforma focaram em três condicionantes: aberturas para ventilação natural, a adição de poliestireno expandido (EPS) nas paredes externas e a substituição do telhado cerâmico por telhas metálicas termoacústicas. O objeto de estudo apresenta problemas na disposição arquitetônica, o que dificulta a manutenção de temperaturas internas confortáveis, principalmente devido à exposição prolongada ao sol e à falta de aberturas adequadas para ventilação natural. Os modelos foram desenvolvidos no SketchUp, e as simulações realizadas no EnergyPlus, consideraram o modelo atual e as propostas de reforma. A planta modificada incluiu variações nos vãos de ventilação, com aberturas de 10% e 16,67% da área do piso, e funcionamento durante o período noturno. Os resultados indicaram que o modelo real apresentou as maiores temperaturas internas em comparação às modificações testadas. A substituição do telhado por telhas metálicas termoacústicas foi especialmente eficaz, proporcionando alta refletividade e isolamento térmico, o que reduziu consideravelmente as temperaturas dos ambientes internos. A combinação da ventilação natural e das melhorias na envoltória resultou em uma perceptível redução das temperaturas noturnas, enquanto, durante o dia, o aumento das trocas de calor manteve as temperaturas mais elevadas e o aumento da área de abertura para ventilação se mostrou ineficaz durante os picos de calor. O uso isolado do EPS nas paredes não gerou impacto significativo nas temperaturas internas. A reforma mostrou-se economicamente viável, especialmente com a troca do telhado, que, apesar de apresentar um custo 30% maior do que a proposta inicial, garantiu um conforto térmico considerável e uma potencial redução no uso de climatização artificial.

Palavras-chave: conforto térmico; reforma; desempenho térmico; ventilação natural; EnergyPlus

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do método Fanger de análise do conforto térmico-----	19
Figura 2 – Representação do método adaptativo para avaliação do conforto térmico -----	21
Figura 3 – Zonas bioclimáticas -----	23
Figura 4 – Comparativo de CgTR entre modelos de paredes-----	30
Figura 5 – Comparativo de CgTR entre todos os modelos de cobertura (IT: “Isotelhas” Telhas termoacústicas) -----	31
Figura 6 – Fluxograma metodológico-----	33
Figura 7 – Localização da Edificação-----	34
Figura 8 – Modelo Real da Edificação: a) Planta Baixa; b) Planta de Cobertura-----	35
Figura 9: a) – Detalhe construtivo da parede – Bloco cerâmico com revestimento em argamassa e pintura de cor clara; b) Detalhe construtivo da cobertura -----	35
Figura 10 – Modelagem da edificação atual no Sketchup.-----	36
Figura 11 – Parâmetros configurados no programa EnergyPlus -----	37
Figura 12 – Representação da Edificação reformada: a) Planta Baixa; b) Planta de Cobertura -----	38
Figura 13 – Composição das modificações na envoltória da edificação: a) Paredes com adição de EPS; b) Cobertura com Telha metálica termoacústicas -----	39
Figura 14 - Variação da temperatura dos cômodos comparada à temperatura externa-----	42
Figura 15: Variação da temperatura dos ambientes com adição de EPS nas paredes externas (MR-E) comparado às temperaturas externa e MR a) Quarto 01; b) Quarto 02; c) Sala/Cozinha -----	43
Figura 16: Variação da temperatura dos ambientes com alteração da cobertura (MR-T) comparado às temperaturas externa e MR. a) Quarto 01; b) Quarto 02; c) Sala/Cozinha. ----	44
Figura 17: Variação da temperatura nos ambientes com adição de EPS e telhas metálicas termoacústicas (MR-TE) comparado ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha. -----	46
Figura 18: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha	48
Figura 19: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinada à adição de EPS nas paredes externas R-10E e R16E, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha -----	50

Figura 20: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinadas com a substituição do telhado convencional por telhas termoacústicas R-10T e R16T, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha	52
Figura 21: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinadas com a adição de EPS e substituição do telhado convencional por telhas termoacústicas R-10TE e R16TE, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha	54
Figura 22 – EP-Launch	63
Figura 23 – Interface IDF Editor	64
Figura 24 - Version	64
Figura 25 - Controle de Simulação	65
Figura 26 - Construção	65
Figura 27 - Timestep	66
Figura 28 - Localização	66
Figura 29 - Dias Típicos de Simulação	67
Figura 30 – Período de Simulação	67
Figura 31 - Material	68
Figura 32 - Construção	68
Figura 33 – Regras de Geometria Global	69
Figura 34 - Zona	69
Figura 35 – Construção Detalhada da Superfície	70
Figura 36 -Superfície de Fenestração Detalhada	70

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 – Resposta fisiológica do organismo humano às variações de temperatura do ambiente no qual encontra-se inserido	18
Tabela 1 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7	24
Tabela 2 - Aberturas para ventilação, para zona bioclimática 7	24
Tabela 3 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa para zona bioclimática 7	25
Tabela 4 – Propriedades dos materiais parametrizados no programa EnergyPlus	39
Tabela 5 – Composição dos materiais construtivos parametrizados no EnergyPlus	40
Tabela 6: Estimativa de valores para modificação da edificação com a inclusão do vão de iluminação/ventilação.....	56
Tabela 7: Estimativa de valores para substituição do telhado convencional por telha metálica termoacústica	57
Tabela 8: Estimativa de valores para implementação de EPS nas paredes externas da edificação	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO CONFORTO AMBIENTAL	15
2.2 CONFORTO TÉRMICO	16
2.2.1 Índices de conforto térmico e modelos de análise	18
2.3 BIOCLIMATOLOGIA	21
2.3.1 Zonas Bioclimáticas	23
2.3.1.1 Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7	24
2.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	25
2.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE AMBIENTES	27
2.6 PLANO DIRETOR E LEI DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS (CÓDIGO DE OBRAS) DE BARREIRAS-BA	27
2.7 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (RTQ-R)	28
2.8 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 O OBJETO DE ESTUDO	34
3.2 MODELAGEM DO ESTUDO DE CASO	36
3.3 MODELAGEM DO MODELO COM AS VARIAÇÕES CONSTRUTIVAS	37
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS CLIMÁTICOS	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO REAL:	41

4.1.1. Modelo Real sem Alterações -----	41
4.1.2. Modelo Real + Adição de EPS (MR-E) -----	42
4.1.3. Modelo Real com Substituição do Telhado (MR-T)-----	44
4.1.4. Modelo Real com Substituição do Telhado e Adição de EPS (MR-TE)-----	45
4.2 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO MODIFICADA -----	47
4.2.1 Modelo Reformado com ventilação natural -----	47
4.2.2 Modelo Reformado com ventilação natural e adição de EPS nas paredes externas-----	49
4.2.3 Modelo Reformado com ventilação natural e Substituição do telhado cerâmico por Telhas metálicas termoacústicas -----	50
4.2.4 Modelo Reformado com ventilação natural, adição de EPS e Substituição do telhado cerâmico por Telhas metálicas termoacústicas -----	52
4.3 AVALIAÇÃO DO CUSTO BENEFÍCIO DAS ALTERAÇÕES DE REFORMA --	55
4.3.1 Orçamento SINAPI para Reforma da Edificação-----	55
4.3.2. Orçamento SINAPI para Substituição do Telhado Convencional por Telha metálica termoacústicas -----	57
4.3.3. Orçamento SINAPI para Adição de Placas de Poliestireno Expandido (EPS) nas Paredes Externas -----	57
CONCLUSÃO-----	59
REFERÊNCIAS -----	60
ANEXO A -----	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O conforto térmico, definido como a condição da mente que expressa satisfação com o meio térmico em que a pessoa está inserida (ASHRAE, 2005), é um importante componente do conforto ambiental que exerce uma influência direta na qualidade de vida dos ocupantes de edificações.

Diante da vasta diversidade climática do Brasil, muitas regiões enfrentam temperaturas elevadas durante boa parte do ano, o que torna o controle da temperatura interna das habitações um desafio para o bem-estar dos moradores. Embora não seja o único indicador para o conforto térmico, a temperatura é a referência mais comumente utilizada para indicá-lo. A manutenção de uma temperatura interna adequada é vital não apenas para garantir o conforto físico e psicológico, mas também para prevenir problemas de saúde associados às condições térmicas inadequadas (ANVISA, 2014; GONÇALVES, 2018; CARVALHO, 2018).

O projeto arquitetônico das edificações deve proporcionar um conforto térmico através da seleção dos materiais construtivos e implementação de estratégias passivas de ventilação e sombreamento das suas aberturas. Algumas edificações no Brasil foram projetadas sem uma preocupação com o clima e a região onde ela será construída, especialmente nos períodos mais quentes do ano, o que compromete não só o conforto dos ocupantes, mas também demanda o uso excessivo de sistemas artificiais de climatização, como o condicionador de ar, aumentando o consumo de energia e os custos associados (LAMBERTS, GOULART, DUTRA, 2014; FROTA, 2001).

Nesse cenário, as simulações computacionais têm se mostrado ferramentas valiosas para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Elas permitem a análise detalhada de diferentes cenários e a identificação das estratégias mais eficazes para garantir um ambiente interno confortável, oferecendo aos arquitetos e engenheiros a capacidade de prever o comportamento térmico das edificações em diversas condições climáticas, possibilitando o desenvolvimento de projetos que sejam mais eficientes e menos dependentes de sistemas artificiais de climatização (LAMBERTS et al., 2010). A qualidade do ar em ambientes internos é preservada por meio de uma renovação adequada, que remove as impurezas presentes e mantém os níveis de oxigênio dentro de parâmetros adequados. Esse objetivo pode ser alcançado com pequenas taxas de renovação de ar nas construções, conforme estipulado pela NBR 15.220-3: 2005 (ABNT, 2005). A ausência de um adequado isolamento térmico nas

paredes e coberturas, combinada com a ventilação natural insuficiente, pode intensificar o problema de superaquecimento em regiões de clima quente. Essa situação leva a um aumento na dependência de aparelhos de condicionador de ar, elevando o consumo de energia elétrica e os custos operacionais das edificações (LAMBERTS et al., 2010).

O caso de estudo da edificação em questão é relevante devido às suas deficiências em ventilação e iluminação natural, que afetam diretamente o conforto térmico dos ambientes. A disposição atual da edificação, com limitações no afastamento em relação às divisas do lote e a falta de aberturas adequadas, compromete a ventilação natural e a iluminação dos cômodos. Essas limitações criam desafios para a introdução de vãos e soluções arquitetônicas que poderiam melhorar o conforto nos ambientes internos. Portanto, estudar e simular essas condições é essencial para entender e resolver os problemas identificados, garantindo uma abordagem mais eficiente e sustentável no planejamento e gerenciamento de edificações.

Nesse contexto, o presente estudo propõe investigar como as intervenções de reforma residencial, focadas na melhoria da ventilação natural e na substituição de materiais construtivos, podem contribuir para o aprimoramento da temperatura interna dos ambientes. Entender o comportamento térmico desses elementos é essencial para projetar edificações que sejam tanto confortáveis quanto energeticamente eficientes (MARQUES, 2013).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto da disposição de aberturas de ventilação e estratégias de isolamento térmico no conforto térmico de ambientes construídos, por meio de análises computacionais.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar através de simulação computacional o comportamento da temperatura interna da disposição arquitetônica atual;
- b) Simular e analisar o impacto da implementação de poços de ventilação e aberturas de janelas na temperatura interna dos ambientes em uma edificação residencial;
- c) Analisar a eficácia de estratégias de isolamento térmico, como a substituição do telhado e a adição de placas de poliestireno expandido (EPS) nas paredes externas, sobre a temperatura interna dos ambientes das edificações original e reformada;
- d) Avaliar a implementação das propostas de reforma através do levantamento de preços.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO CONFORTO AMBIENTAL

Em meados do século XX, o Brasil experimentou uma conjuntura social e econômica que favoreceu a consolidação das transformações culturais e tecnológicas oriundas da Revolução Industrial. Segundo Cavalcante (2013), esse período foi marcado por avanços que reorientaram o modelo de produção, migrando de uma economia predominantemente agrária para uma economia fabril. Essa mudança promoveu uma maior dinâmica nas relações de geração de valor e consumo, refletindo diretamente no desenvolvimento do país.

Com a chegada das novas tecnologias, conforme destacado por Oliven (2010), teve início o processo de mecanização das linhas produtivas no Brasil, o que resultou na criação de novos postos de trabalho nas fábricas emergentes. Arend (2015) observa que essa nova divisão do trabalho provocou uma variação demográfica abrupta, impulsionada pelo êxodo rural, onde um número expressivo de trabalhadores migrou do campo para as cidades em busca de melhores condições de vida.

Nesse contexto, surgiu um fenômeno histórico de grande relevância: a urbanização do país. De acordo com Maia et al. (2020), o aumento populacional nas áreas urbanas exigiu uma rápida e urgente expansão das cidades, a fim de acomodar adequadamente os novos habitantes. Questões relacionadas à infraestrutura, como saneamento básico, transporte e moradia, tornaram-se prioridades emergentes para as comunidades em crescimento.

A Indústria da Construção Civil (ICC) desempenhou um papel central nesse cenário, emergindo como um setor econômico essencial para a transformação dos espaços urbanos e para a melhoria das condições de vida da população. A Confederação Nacional da Indústria (CNI) enfatiza que, graças às três principais segmentações da ICC — construção de edifícios, projetos especializados e obras de infraestrutura —, a urbanização no Brasil avançou significativamente, em um ritmo acelerado impulsionado pela industrialização nacional (CNI, 2024; MAIA et al., 2020).

Em decorrência desse fenômeno histórico, a construção de edificações passou a priorizar três critérios principais: a eficiência dos recursos utilizados, com o objetivo de evitar gastos desnecessários; a eficácia do produto final, garantindo que os empreendimentos atendessem aos requisitos de projeto estabelecidos; e a produtividade, necessária para

acompanhar a súbita expansão demográfica e suprir a demanda crescente por novas habitações (MAIA et al., 2020; SCHILINDWEIN, 2009; RODRIGUES, 2017).

No entanto, conforme apontado por Carvalho e Freitas (2015), essa abordagem focada predominantemente no aspecto econômico negligenciou considerações sociais e ambientais, além do descaso com as comunidades de baixa renda, resultando em empreendimentos que, até hoje, carecem do devido conforto ambiental, com ênfase especial no conforto térmico.

Para assegurar que, na contemporaneidade, melhores condições habitacionais sejam oferecidas, torna-se imperativo promover estudos e investigações mais aprofundados sobre o conforto ambiental e térmico das residências em geral. Rodrigues (2015) e Gouvêa (2004) corroboram essa visão ao afirmar que os estudos sobre o tema começaram a ganhar destaque apenas no final do século XX. Contudo, os autores enfatizam a importância de intensificar as investigações nessa área, visando aumentar a eficiência na aplicação desses conceitos, com o objetivo final de melhorar as condições de vida da população, além de promover a eficiência energética e atender às preocupações ambientais.

No Século XXI, a arquitetura moderna enfrenta o desafio de se adaptar às demandas por conforto térmico e eficiência energética em um cenário global marcado pela crise ambiental e, mais recentemente, pela pandemia do coronavírus (Covid-19). Com a crescente necessidade de criar ambientes mais saudáveis e sustentáveis, os conceitos de conforto e economia de energia tornaram-se fundamentais no design e na reforma de edificações residenciais. Assim, a arquitetura contemporânea busca integrar tecnologias e estratégias que maximizem o desempenho termo energético, sem comprometer a funcionalidade e o bem-estar dos ocupantes. Essa tendência reflete uma abordagem mais consciente da relação entre o ambiente construído e os recursos energéticos, promovendo uma arquitetura alinhada às necessidades atuais e futuras de sustentabilidade (CARVALHO; MARTAU, 2021).

2.2 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico tornou-se um elemento central nos projetos de design, arquitetura e engenharia, na conjuntura social e econômica contemporânea, com a consolidação dos princípios do Desenvolvimento Sustentável, a preocupação com os aspectos físicos e psicológicos no uso de empreendimentos da construção civil. Compreende-se, assim, que as edificações devem ser planejadas para acomodar a maior parte da vida das pessoas, seja em

atividades de trabalho, lazer ou convivência familiar. Portanto, análises relacionadas ao conforto de uso dessas edificações são cada vez mais relevantes (GONÇALVES, 2018).

Um dos princípios norteadores do planejamento de edificações é a consideração da interação entre o ser humano e o espaço ao redor, além de estudar o clima e o local antes de tudo, buscando informações que ajudem a entender como as condições do tempo e do clima afetam o ambiente, e buscando a partir disso, garantir comodidade nas atividades realizadas. Isso implica que o ocupante deve estar confortável com a funcionalidade e o apelo visual proporcionados pelo ambiente (GONÇALVES, 2018; LAMBERTS et al., 2012).

Nesse contexto, Gonçalves (2018) destaca que, para projetar edificações que atendam aos preceitos de conforto e funcionalidade, é necessário reunir conhecimentos que facilitem o entendimento da relação entre o ser humano e o ambiente. Entre os aspectos mais relevantes desse processo está a variação de temperatura ou, mais especificamente, o conforto térmico do usuário (GONÇALVES, 2018).

O ser humano tem a capacidade de regular a própria temperatura através de mecanismos reguladores, não dependendo exclusivamente das variáveis ambientais. Ainda assim, é um animal homeotérmico, o que significa que ele mantém a temperatura interna do corpo em níveis relativamente constantes, geralmente em torno de 37°C, com pequenas variações. Durante períodos de doença, a temperatura corporal oscila entre 32°C e 42°C, limites essenciais para a sobrevivência (CARVALHO, 2018; FROTA, SCHIFFER, 2008).

Segundo Frota e Schiffer (2008), o corpo humano, através do metabolismo, gera energia, mas apenas cerca de 20% dessa energia é convertida em trabalho útil. O restante, aproximadamente 80%, é dissipado como calor, exigindo mecanismos para manter o equilíbrio térmico do organismo. Conforto térmico, portanto, é o estado físico e psicológico em que a variação de temperatura é percebida como aceitável, proporcionando satisfação com o ambiente e facilitando as atividades realizadas (FROTA, SCHIFFER, 2008; ASHRAE, 2005).

A manutenção da temperatura corporal em ambientes variados é mediada pelo sistema termorregulador, que controla os ganhos e perdas de calor através de mecanismos específicos. Embora esse processo seja essencial para garantir a homeostase térmica, ele exige um esforço metabólico adicional, o que pode reduzir a eficiência nas atividades diárias (FROTA, SCHIFFER, 2008; SANTOS, 2021).

O conforto térmico é alcançado quando o organismo pode dissipar, sem necessidade de intervenção termorreguladora, o calor gerado pelo metabolismo de forma compatível com

as exigências da atividade realizada. Dessa maneira, a manutenção de uma temperatura corporal adequada assegura não apenas o bem-estar fisiológico, mas também pode influenciar diretamente o desempenho humano, destacando a importância de um ambiente térmico adequado para a saúde e produtividade (FROTA, SCHIFFER, 2008; CARVALHO, 2018; LAMBERTS, 2011).

O conforto térmico é majoritariamente alcançado por meio de processos de transferência de calor que dependem de uma variedade de fatores ambientais e pessoais. Esses processos são influenciados pela geração de calor metabólico, pelas condições do ambiente — como velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante —, e pelo tipo de vestimenta utilizada. A interação desses elementos determina o grau de conforto ou desconforto térmico experimentado pelas pessoas (FROTA, SCHIFFER, 2008; LAROCCA, PERES E CATÂNIO, 2017).

2.1.1 Índices de conforto térmico e modelos de análise

Inicialmente, no que se refere aos índices de conforto térmico, apresenta-se o Quadro 1, com a informação relativa à resposta fisiológica do organismo humano às variações de temperatura do ambiente no qual encontra-se inserido.

Quadro 1 – Resposta fisiológica do organismo humano às variações de temperatura do ambiente no qual encontra-se inserido

Temperaturas	Resposta Fisiológica
$T_{\text{corpo}} < T_{\text{neutra}}$	Ocorre a vasoconstrição
$T_{\text{corpo}} < 35^{\circ}\text{C}$	Ocorre a perda da habilidade
$T_{\text{corpo}} < 31^{\circ}\text{C}$	Esta situação é letal, também chamada de hipotermia
$T_{\text{corpo}} > T_{\text{neutra}}$	Ocorre a vasodilatação
$T_{\text{corpo}} > 37^{\circ}\text{C}$	Começa o Suor
$T_{\text{corpo}} > 39^{\circ}\text{C}$	Ocorre a perda de habilidade
$T_{\text{corpo}} > 43^{\circ}\text{C}$	Esta situação é letal, também chamada de hipertermia

Fonte: Adaptada de Lamberts e Xavier (2002).

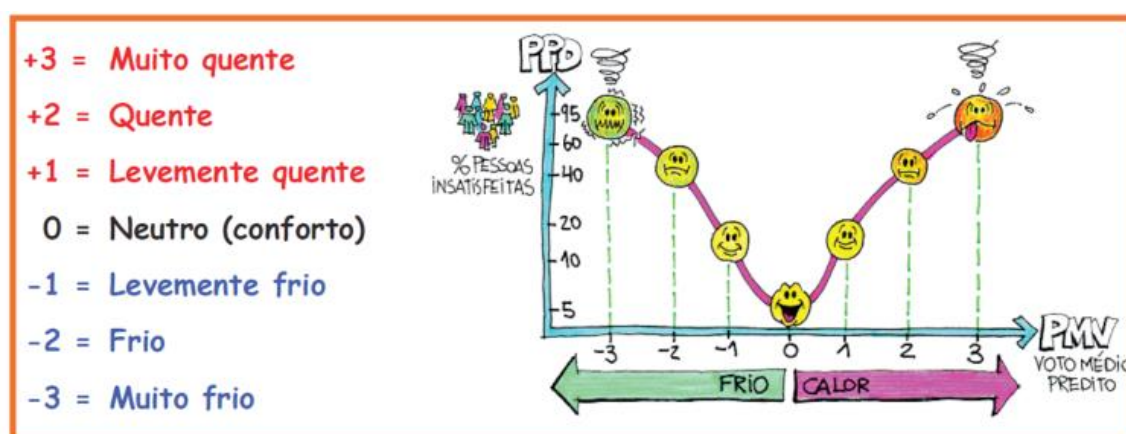
Conforme pode ser observado na Quadro 1, o conforto térmico apresenta uma relação de dependência direta com a temperatura corporal humana, no que tange a capacidade de resposta do organismo humano. Neste sentido, com base em estudos e pesquisas no campo do

conforto térmico, foram elaborados índices específicos com o intuito de examinar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de ambientes térmicos adequados às atividades humanas. Esses indicadores têm como objetivo principal proporcionar métodos e princípios para uma análise detalhada das características térmicas do ambiente, visando contribuir para o desenvolvimento de estratégias de projeto que promovam o bem-estar e a eficácia das atividades realizadas pelos ocupantes (LAROCCA, PERES E CATÂNIO, 2017).

As condições de conforto térmico são influenciadas por uma variedade de fatores, que abrangem desde características ambientais até aspectos individuais, como gênero, idade, biótipo e padrões alimentares. Ademais, a natureza das atividades realizadas e o vestuário adotado desempenham papéis significativos na percepção subjetiva do conforto térmico. Esses índices, ao integrar o efeito conjunto das variáveis mencionadas, oferecem uma abordagem sistemática para avaliar as condições térmicas em diversos cenários (GONÇALVES, 2018; LAMBERTS ET AL. 2012).

Geralmente, parte-se de uma definição específica de atividade e vestimenta, sobre as quais as variáveis ambientais são analisadas. A representação gráfica dessas condições, seja por meio de cartas ou nomogramas, possibilita a visualização das combinações que resultam em respostas térmicas semelhantes entre os indivíduos, fornecendo assim subsídios importantes para o planejamento e a concepção de ambientes que promovam o conforto térmico e a satisfação dos ocupantes, como a que é representada pelo método de Fanger de análise (Figura 1) (CARVALHO, 2018; LEDER ET.AL, 2019; OLIVEIRA, 2003).

Figura 1 – Representação do método Fanger de análise do conforto térmico



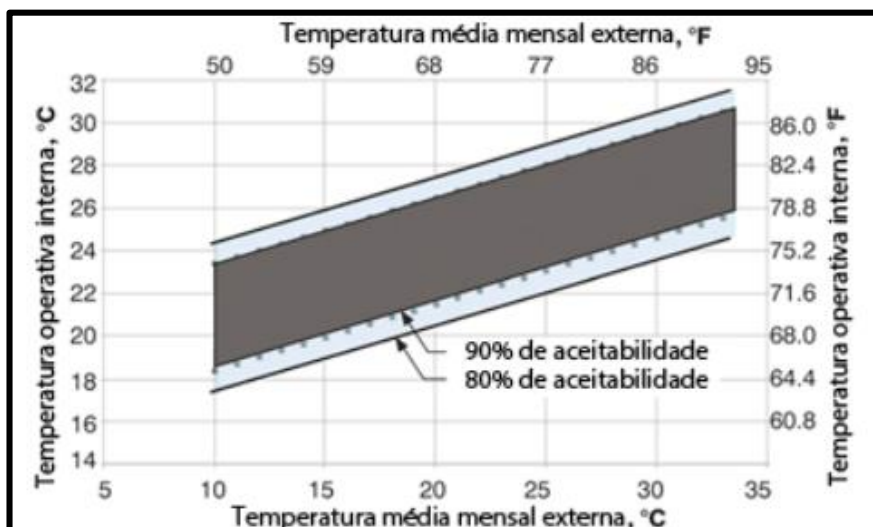
Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira (2014, p. 50)

O método Fanger (Figura 1) é uma abordagem adequada para a estimativa do conforto térmico em ambientes sujeitos a controle climático artificial, também conhecido como método

estático. O Índice de Sensação Térmica (PMV) representa uma ferramenta para a avaliação do conforto térmico em diferentes ambientes através de uma abordagem numérica, sendo que o PMV é um valor numérico que retrata a sensibilidade humana às variações da temperatura do corpo, seja o frio ou calor. Possibilita assim, uma análise objetiva das condições térmicas percebidas pelos ocupantes, levando em consideração variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura média radiante. Os valores negativos do PMV são indicativos de sensações de frio, situam-se entre -1 e -3, ao passo que, o valor zero representa um estado de conforto térmico ideal. Por outro lado, valores positivos do PMV entre 1 e 3 denotam uma sensação de calor. Essa avaliação quantitativa é essencial para o planejamento e a criação de ambientes que ofereçam condições térmicas confortáveis aos seus ocupantes. Além disso, a partir do PMV, é possível calcular a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD), que indica a proporção de ocupantes que podem experimentar insatisfação com as condições térmicas de um determinado ambiente. Em ambientes considerados confortáveis do ponto de vista térmico, a PPD sugere que menos de 10% dos ocupantes estarão insatisfeitos, e aqueles que manifestarem insatisfação sentirão apenas uma leve sensação de frio ou calor (CÂNDIDO, 2006, LAMBERTS, GOULART, DUTRA, 2014).

Outro método de relevante para análise é o adaptativo, que foi desenvolvido para avaliar o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados, cuja representação pode ser observada na Figura 2. A temperatura operativa é um conceito utilizado para avaliar o conforto térmico, é uma média ponderada entre a temperatura interna do ar e a temperatura das superfícies ao redor. Essa ferramenta tem ganhado relevância no campo da engenharia térmica, ao compilar e analisar dados de pesquisas realizadas em diversas partes do mundo. Esse método estabelece uma relação significativa entre a temperatura operativa interna e a temperatura externa efetiva. Com base nessa correlação, foram definidas faixas de conforto térmico, abrangendo aceitabilidade de 90% e 80%, conforme indicado por Carvalho (2018), onde os ocupantes provavelmente estarão em conforto, e para os valores que ultrapassam os limites, há uma indicação de desconforto térmico entre os usuários.

Figura 2 – Representação do método adaptativo para avaliação do conforto térmico



Fonte: Adaptada de ASHRAE (2013, p. 22).

2.3 BIOCLIMATOLOGIA

A bioclimatologia na arquitetura visa adaptar as edificações às questões climáticas, ambientais, socioeconômicas e culturais da região, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental e o consumo de energia ao longo do ciclo de vida da edificação (SERRADOR, 2008). Segundo Bogo et al. (1994), a bioclimatologia aplicada às edificações divide-se em duas metodologias de projeção: a indireta, que se baseia na análise qualitativa do clima para definir estratégias arquitetônicas, e a direta, que utiliza a interpretação quantitativa dos elementos climáticos para dimensionar essas estratégias.

As cartas bioclimáticas são ferramentas importantes para definir condições de conforto térmico ao relacionarem temperatura e umidade relativa do ar, permitindo assim a identificação das zonas de conforto e a proposição de soluções arquitetônicas adequadas para cada contexto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Ao longo do tempo, a carta bioclimática de Givoni foi adaptada para refletir a aclimação de pessoas em países em desenvolvimento, ampliando as faixas de temperatura e umidade que proporcionam conforto (GIVONI, 1992).

Os arquivos climáticos como o Test Reference Year (TRY), Typical Meteorological Year (TMY), e dados do INMET são os mais utilizados no Brasil para simulações computacionais com o objetivo de estudar o comportamento térmico das edificações (LAMBERTS et al., 2016). O arquivo TRY representa um ano de dados climáticos médios sem extremos de temperatura, enquanto o TMY é composto pela compilação de meses climáticos típicos de diferentes anos.

Além disso, a ventilação natural desempenha um papel essencial na promoção do conforto térmico. Através do posicionamento adequado de aberturas, pode-se melhorar a circulação do ar, removendo calor acumulado e promovendo o resfriamento fisiológico, especialmente em climas quentes e úmidos (GIVONI, 1992; FROTA; SCHIFFER, 2001). A normatização brasileira, como a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), estabelece diretrizes para o uso de estratégias passivas de condicionamento térmico, que serão aplicadas na fase de simulação computacional desta pesquisa, com o objetivo de otimizar o conforto térmico nas edificações conforme as condições climáticas analisadas.

2.3.1 VARIÁVEIS DO CLIMA

De acordo com Lamberts et al. (2016), o clima possui diversas variáveis que afetam diretamente o conforto térmico e a eficiência energética das edificações. Entre as principais variáveis climáticas estão a radiação solar, temperatura, umidade e vento, que influenciam de maneira significativa no comportamento térmico dos ambientes construídos (Lamberts et al., 2016):

- a) Radiação Solar: uma onda eletromagnética curta que combinada com a trajetória elíptica da Terra ao redor do Sol determina as variações de intensidade da radiação ao longo do ano e do dia, chegando na superfície sem interferências (direta) – aquece os ambientes – ou espalhada pelas partículas da atmosfera (indireta);
- b) Temperatura – é uma das variáveis climáticas mais importantes no projeto de edificações voltadas para o conforto térmico, o aumento da temperatura do ar é um processo indireto, causado pelo aquecimento do solo pela radiação solar, que, por sua vez, aquece o ar por convecção, e torna-se uma variável relevante nas simulações computacionais de desempenho térmico; a variação da temperatura ao longo do dia é resultado de diversos fatores, incluindo o volume de radiação solar incidente, a condutividade térmica do solo, a vegetação e o nível de urbanização da área; em ambientes com grandes amplitudes térmicas, como em regiões áridas ou desérticas, o uso de materiais com alta inércia térmica, como tijolos e concreto, pode ajudar a amortecer as flutuações de temperatura, criando ambientes internos mais estáveis;
- c) Umidade – é influenciada principalmente pela vegetação e pelo ciclo hídrico, sendo que em regiões urbanas com pavimentação excessiva e pouca vegetação,

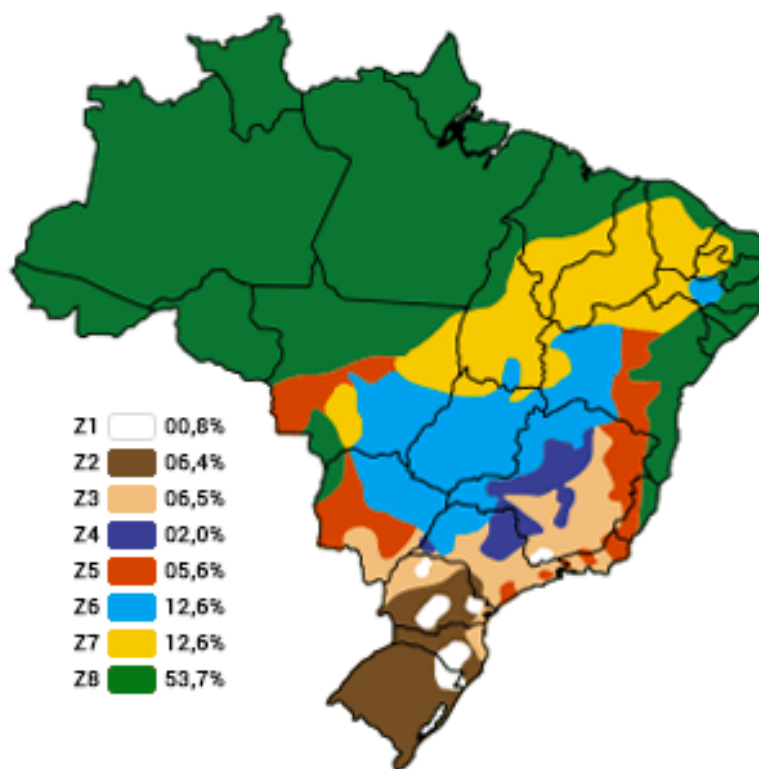
ocorre uma redução na umidade relativa do ar, o que pode alterar o regime de chuvas e aumentar o desconforto térmico;

- d) Vento – é gerado pela elevação do ar quente nas regiões próximas ao equador, permitindo a entrada de ar frio das regiões polares; nas cidades, os ventos podem ser canalizados ou bloqueados por edificações, sendo essencial planejar a ocupação urbana de forma a aproveitar ou evitar a ação dos ventos de acordo com as condições climáticas da região.

2.3.1 Zonas Bioclimáticas

O território brasileiro tem um mapa climático que é subdividido em oito zonas bioclimáticas distintas, cada uma representando as características climáticas específicas de diferentes regiões do país (Figura 3). Essas divisões não são determinadas por considerações políticas ou econômicas, mas sim com base nas condições climáticas locais vigentes, ou seja, as zonas são divididas de forma que o clima seja relativamente homogêneo em cada uma. A norma NBR 15220-3/2005 oferece diretrizes e informações detalhadas sobre estratégias de regulação térmica passiva para habitações, levando em consideração essas zonas bioclimáticas como ponto de referência (MARRA, 2017; FILGUEIRAS, 2019).

Figura 3 – Zonas bioclimáticas



Fonte: UGREEN (2022). Adaptado de ABNT (2005)

O método de classificação adotado pela norma consiste na análise gráfica das informações mensais de temperatura e umidade do ar em cada cidade. Por meio dessa abordagem, é possível identificar o tipo de clima predominante em cada localidade e determinar as estratégias bioclimáticas mais apropriadas para aplicação, bem como calcular a porcentagem acumulada ao longo do ano (MARRA, 2017; FILGUEIRAS, 2019).

2.3.1.1 Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7

As cidades do oeste da Bahia – Barreiras, São Desidério, Luis Eduardo Magalhães – estão localizadas na Zona Bioclimática 7 (Z7), caracteriza-se por um clima predominantemente quente, com baixa variação sazonal ao longo do ano e a presença de estações bem definidas de seca e chuva. A norma NBR 15220-3/2005 apresenta a caracterização dessa zona, que recomenda o uso de estratégias bioclimáticas específicas para garantir o conforto térmico, sendo que pequenas aberturas e uso de sombreamento são aplicáveis à Z7, considerando o uso de vedação externa e cobertura pesadas. Entre essas estratégias, destacam-se o resfriamento evaporativo e o aproveitamento da massa térmica para promover o resfriamento dos ambientes (Tabela 1). A ventilação seletiva também se mostra uma solução eficaz, especialmente em momentos em que a temperatura interna excede a temperatura externa (MARRA, 2007).

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT 2005)

No Anexo C da NBR 15220-3/2005 são expostos as recomendações e diretrizes para adequação da edificação ao clima local, sendo que a Tabela 4 apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação e a Tabela 5, diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para as paredes externas e cobertura.

Tabela 2 - Aberturas para ventilação, para zona bioclimática 7

Aberturas para ventilação	A (em % da área do piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT 2005)

Tabela 3 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa para zona bioclimática 7

Vedações externas	Transmitância térmica – U W/(m².K)	Atraso térmico – ϕ h	Fator Solar - FS_o %
Paredes pesadas	$U \leq 2,20$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas pesadas	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT 2005)

2.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

O calor é energia em trânsito, movendo-se de regiões quentes para frias, buscando o equilíbrio térmico. Ele se transfere de três formas: condução, convecção e radiação (SOUZA, 2016). A condução ocorre em sólidos ou fluidos, a convecção entre superfícies e o fluido circundante, e a radiação por ondas eletromagnéticas.

Segundo Asadi et al. (2018), as edificações ganham calor pela envoltória através da condução térmica. A Lei de Fourier descreve essa transferência térmica, onde o fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura no material (SOUZA, 2016).

Os materiais construtivos influenciam nas trocas térmicas devido às suas propriedades térmicas, como condutividade, difusividade e calor específico (GOMES et al., 2017).

A condutividade térmica (λ) mede a capacidade de um material condutor de dissipar calor, expressa em W/(m·K), ou reter, no caso dos materiais isolantes (SOUZA, 2016; ABNT, 2005). A densidade, teor de umidade e outros fatores afetam a condutividade de materiais como o concreto (ASADI et al., 2018), sendo que em condições úmidas, a condutividade aumenta em até 3 vezes em comparação com materiais secos.

A difusividade térmica (α) é definida como a razão entre a condutividade térmica de um material e sua capacidade de armazenar energia térmica (ABNT, 2005). Ela mede a rapidez com que o calor se difunde em um material, dependendo da condutividade, densidade e calor específico (SOUZA, 2016). Quanto menor a difusividade, mais tempo o calor leva para atravessar o material, o que resulta em maior defasagem térmica (COURGEY e OLIVA, 2010).

O calor específico (c) é a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de 1 kg de material. Segundo a ABNT NBR 15220 (2005), ele é o quociente entre a quantidade de calor fornecida a um material e a variação de temperatura gerada.

Além das propriedades mencionadas, pode-se mencionar outras que dependem dessas. A resistência térmica (R) mede a capacidade de um material de resistir à passagem de calor, que é determinada pela razão entre a espessura do material e sua condutividade térmica (λ). A resistência térmica total de uma parede é a soma das resistências térmicas de cada camada constitutiva, incluindo as resistências superficiais interna e externa. Já a transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total, que envolve a taxa de transferência de calor que atravessa o material – por convecção, condução ou radiação –, sendo um dado para avaliar o nível de isolamento térmico de fechamentos opacos (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

A capacidade térmica (C_T) é a habilidade de um material de armazenar calor, dependendo diretamente da espessura (e), do calor específico (c) e da densidade (d) do material. Ela também é chamada de inércia térmica e se refere à capacidade de um elemento de acumular energia térmica e liberá-la posteriormente. Materiais com alta inércia térmica, combinados com bom isolamento, garantem um desempenho térmico eficiente, especialmente durante períodos de maior temperatura e radiação solar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MARQUES, 2013).

O atraso térmico (φ) representa o tempo que uma onda de calor leva para atravessar um componente construtivo. Esse tempo é influenciado por fatores como a condutividade térmica (λ), o calor específico (c), a densidade (d) e a espessura (e) do material. Em regime de condução de calor variável, todos esses parâmetros desempenham um papel fundamental na determinação do atraso térmico (DORNELLES, 2004).

Durante o processo de transmissão de calor, nem todo o calor que entra através da face externa de um elemento chegará à face interna, pois parte dele será consumida no aquecimento do próprio material da parede, por exemplo. Portanto, o valor máximo da temperatura interna será menor que o da externa (DORNELLES, 2004),

O termo "absortividade" refere-se à quantidade de energia radiante que um material ou substância é capaz de absorver a partir da energia total que incide sobre ele, dependendo diretamente de sua composição química. Em contrapartida, "absortância" é a fração da energia radiante que atinge uma superfície e é efetivamente absorvida por ela. A absortância de uma superfície é influenciada pela absortividade do material da camada superficial exposta à radiação e por fatores como rugosidade e ondulação (DORNELLES, 2008).

Sendo assim a absorptância solar (α) refere-se à razão entre a quantidade de radiação solar absorvida por uma superfície e a quantidade total de radiação solar incidente sobre essa superfície (DORNELLES, 2008), ao passo que, a refletância solar (ρ) é o quociente entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a quantidade total de radiação solar incidente sobre essa superfície (DORNELLES, 2008).

2.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE AMBIENTES

A troca de calor entre diferentes ambientes de uma residência é um outro fenômeno importante que influencia diretamente no conforto térmico dos ocupantes e no consumo energético do espaço. Essa troca de calor pode ocorrer por meio de processos como convecção, condução e radiação, sendo influenciada por fatores como a diferença de temperatura entre os ambientes, a presença de barreiras térmicas e a eficácia dos sistemas de isolamento. Compreender e controlar esse fluxo de calor é fundamental para garantir uma temperatura interna adequada em todas as áreas da residência, evitando desconfortos e reduzindo a necessidade de uso de sistemas de aquecimento ou refrigeração (CALLEGARO, 2016; FROTA, 2001).

Além disso, a análise detalhada da troca de calor entre os ambientes permite identificar pontos de perda ou ganho de calor excessivos, possibilitando a implementação de medidas corretivas para otimizar a eficiência energética da residência. As estratégias do uso de materiais isolantes de alta qualidade, a instalação de janelas eficientes em termos energéticos e o projeto adequado dos sistemas de aquecimento e refrigeração podem contribuir significativamente para reduzir as perdas de calor e melhorar o conforto térmico dos moradores, resultando em benefícios tanto ambientais quanto econômicos (CALLEGARO, 2016; FROTA, 2001).

2.6 PLANO DIRETOR E LEI DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS (CÓDIGO DE OBRAS) DE BARREIRAS-BA

Os municípios desenvolvem seus planejamentos urbanos que consideram uma harmonia na configuração das áreas comerciais, residenciais e industriais, vias urbanas e paisagismo. O Plano Diretor abrange os parâmetros e critérios necessários para elaboração de projetos de construção de edificações e suas exigências de natureza urbanísticas, espacial, ambiental e sanitária.

A lei de uso e ocupação de solos ou código de obras e edificações é o conjunto de normas desenvolvidas pela administração pública para controlar e supervisionar o espaço

construído dentro dos zoneamentos. Cita-se o código de obras instituído pela Lei nº 648/2004 do município de Barreiras (BA), que regulamenta as construções na cidade, incluindo os requisitos sobre dimensionamento mínimo dos cômodos e de seus vãos de aberturas (janelas), e poços de ventilação e iluminação, com objetivo de garantir condições mínimas segurança e conforto ambiental nas edificações.

O presente trabalho utilizou o recurso arquitetônico do Anexo IV da referida Lei em que, os poços de ventilação e iluminação são indicados para os locais em que não são possíveis realizar aberturas para o exterior da edificação para circulação de ar e iluminação natural, e sendo assim, deverá atender aos requisitos: garantir o acesso para inspeções regulares; ter área mínima de 1,60 m² e largura mínima de 0,80 m.

Em se tratando de vãos de aberturas para ventilação e iluminação de cômodos, o Código de Obras estipula que a área mínima dessas aberturas deve ser de 0,90 m², com uma razão mínima de 1/6 em relação à área do cômodo.

2.7 REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (RTQ-R)

Quando um projeto arquitetônico é elaborado deve considerar, basicamente, uma divisão dos ambientes em áreas comuns com previsão de segurança e privacidade aos seus usuários. A área “íntima” da casa é a parte da residência restrita aos moradores, que é constituída por quartos, banheiros e closets; a área social da edificação, onde as salas de estar, jantar, escritório e lavabo são destinados à recepção de amigos e familiares; e por último, a área de serviço que contempla a cozinha, despensa e lavanderia, e presta as atividades manutenção do conforto dos usuários, como por exemplo, a alimentação e limpeza.

Diante das diversas configurações de edificações e número de usuários, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi criado com o objetivo de promover estratégias de eficiência energética das habitações no Brasil (PROCEL, 2016). É estabelecido critérios técnicos e métodos para a classificação das edificações residenciais em níveis de eficiência energética, buscando incentivar construções mais eficientes e confortáveis.

A eficiência energética definida pelo RTQ-R, depende de uma combinação de soluções otimizadas de projeto para a envoltória da edificação e do uso de equipamentos eficientes. A classificação da eficiência energética das edificações pode ser feita por dois métodos: o método

prescritivo e o método de simulação computacional (INMETRO, 2012). No método prescritivo, a edificação é avaliada com base no atendimento a pré-requisitos estabelecidos no regulamento, enquanto a simulação computacional permite uma análise detalhada do desempenho térmico e energético da edificação, utilizando softwares certificados pela norma ASHRAE 140 (ASHRAE, 2004).

O método de simulação computacional recomendado pelo RTQ-R exige a modelagem da edificação em 8.760 horas por ano, levando em consideração as características geométricas e construtivas do projeto (INMETRO, 2012), bem como as variações horárias de ocupação, potência de iluminação, equipamentos e sistemas de ventilação natural e ar condicionado. Além disso, dispositivos de sombreamento e áreas de uso comum, como garagens em contato com a edificação, devem ser modelados adequadamente para não prejudicar o fluxo de ventilação natural (INMETRO, 2012), visto que a simulação utilizará um arquivo climático que contenha as informações sobre temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar. Caso não exista um arquivo climático específico da cidade onde a edificação está localizada, deve-se utilizar o arquivo de uma cidade pertencente à mesma zona bioclimática, preferencialmente arquivos do tipo TRY (Test Reference Year) ou TMY (Typical Meteorological Year) (INMETRO, 2012).

2.8 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Considerando o contexto atual de busca por soluções sustentáveis e eficientes, a temática abordada reveste-se de grande relevância, visando não apenas o bem-estar dos ocupantes, mas também, na redução do consumo energético. Diante dos benefícios mencionados e do aumento nos estudos sobre conforto térmico, assim como na implementação de normas regulamentadoras nessa área, é evidente que muitas edificações já existentes no Brasil ainda não oferecem um conforto térmico adequado aos seus usuários.

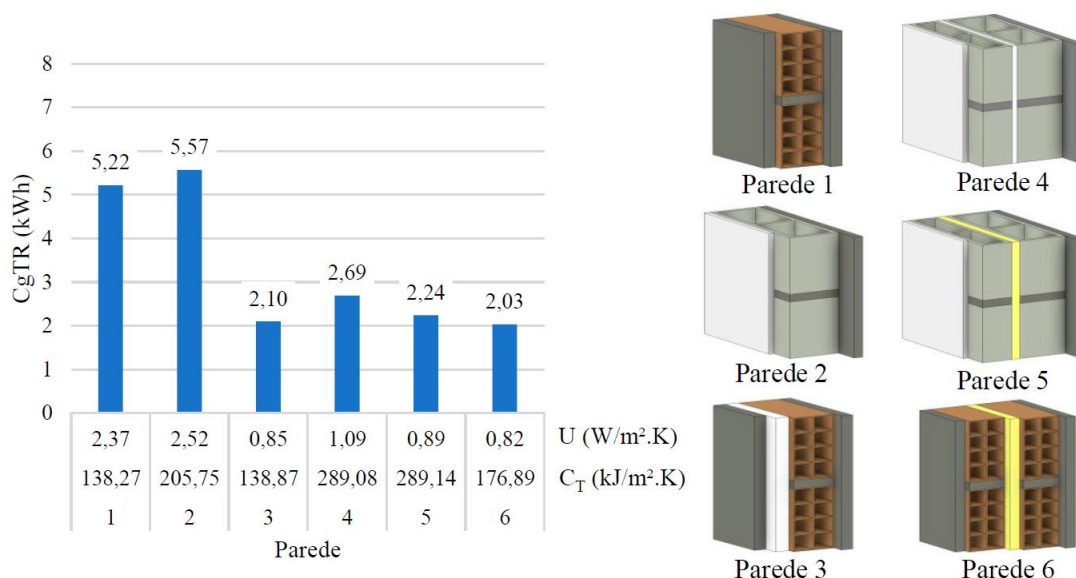
Considerando as amplitudes térmicas de muitas cidades e as frequentes reclamações sobre o conforto térmico, Araújo (2018) mostrou por meio de cálculos que as alvenarias simples e revestimentos convencionais utilizados na cidade de Barreiras (BA) não atendem tanto em transmitância térmica como no atraso térmico, recomendados pela ABNT NBR 15575: 2024. A autora complementa que, outras composições de paredes elaboradas no seu trabalho superaram os custos das paredes tradicionais, porém propicia um maior conforto térmico e reduz os custos com resfriamento artificial.

A avaliação do desempenho térmico em edificações tem sido impulsionada pelo crescente consumo de energia, diretamente relacionado à eficiência térmica das construções. Nesse contexto, o surgimento de programas computacionais capazes de calcular as complexas interações entre o ambiente externo, a edificação e seus sistemas internos, deixou de ser apenas um facilitador, tornando-se uma ferramenta importante para mitigar rapidamente problemas de eficiência térmica (TRINDADE; PEDRINI; DUARTE, 2010).

Em consonância com essa abordagem, é importante destacar os resultados obtidos por Silva (2021) em seu estudo, que analisou o desempenho térmico das paredes propostas pela Araújo (2018) submetidas às condições climáticas específicas do município de Barreiras-BA. O autor explica que é importante considerar materiais com diferentes propriedades de absorção de calor na busca por um melhor desempenho térmico nas edificações, destacando a adição de placas poliestireno expandido (EPS) nas paredes externas, que revelaram uma redução da carga térmica, e alcançando um dos melhores desempenhos térmicos dentre as configurações de alvenarias analisadas (Figura 4).

Por ser uma solução isolante fácil de ser aplicada e com um custo relativamente baixo, optou-se por fazer testes para esta modificação e analisar o desempenho da parede modificada na temperatura interna dos ambientes da edificação.

Figura 4 – Comparativo de CgTR entre modelos de paredes



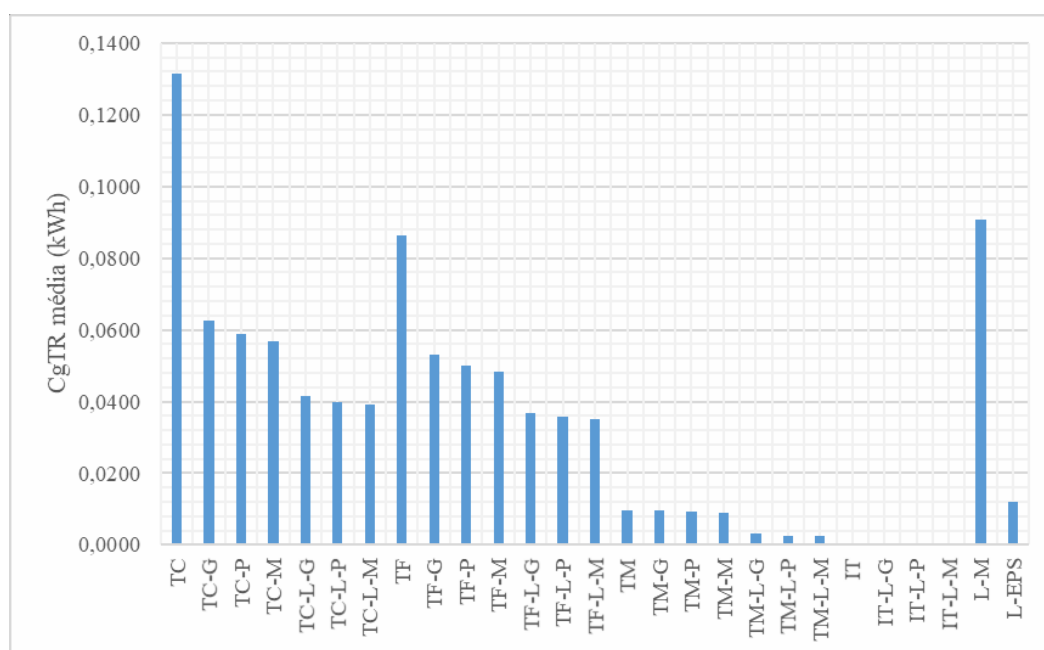
Fonte: Silva (2021)

Nota-se que, também, outras simulações computacionais buscaram não só se atrelar às alvenarias de vedação, como é o caso do estudo de Silva (2022), em que a autora avaliou diferentes composições de sistemas de cobertura por simulação computacional, sendo que o

foco foi a obtenção das cargas térmicas e o desempenho térmico submetidas às condições climáticas do município de Barreiras (BA), e conclui que composições que tenham algum tipo de telha, laje e forro promovem a queda das cargas térmicas de resfriamento e melhor desempenho térmico.

Assim como foi realizada a modificação na composição das paredes da envoltória da edificação, a cobertura também passou por alterações, com a substituição do telhado cerâmico. O telhado cerâmico, segundo Silva (2022), apresentou o pior desempenho térmico entre os modelos testados, enquanto as telhas metálicas termoacústicas demonstraram os menores índices de carga térmica de resfriamento (Figura 5). Além disso, vale destacar que, embora o custo das telhas termoacústicas seja relativamente elevado, sua aplicação é simples e eficaz, proporcionando uma solução viável para o aprimoramento do conforto térmico.

Figura 5 – Comparativo de CgTR entre todos os modelos de cobertura (IT: “Isotelhas” Telhas termoacústicas)



Legenda: TC: Telha Cerâmica; TC_G: Telha Cerâmica e Forro de Gesso; TC_P: Telha Cerâmica e Forro de PVC; TC_M: Telha Cerâmica e Forro de Madeira; TC_L_G: Telha Cerâmica, Laje de Concreto e Forro de Gesso; TC_L_P: Telha Cerâmica, Laje de Concreto e Forro de PVC; TC_L_M: Telha Cerâmica, Laje de Concreto e Forro de Madeira. Fonte: Silva (2022)

Dessa forma, os trabalhos de Araújo (2018) e Silva (2021), como outros existentes, buscaram ratificar sobre a necessidade de avaliar o desempenho térmico das construções com aplicação dos materiais em situações próximas da condição real, em conformidade com as normas e legislação vigentes, e assim propor estratégias que visem a melhoria do conforto térmico dos usuários.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito o passo a passo utilizado para alcançar o objetivo proposto, detalhando o estudo de caso e a metodologia de investigação por simulação computacional. O estudo foi realizado em uma habitação tradicional, avaliando sua conformidade com os parâmetros urbanísticos de ocupação e uso do solo, conforme o código de obras de Barreiras.

O trabalho em tela buscou avaliar o desempenho térmico da habitação, por meio de simulações computacionais, com foco na variação da temperatura interna nos ambientes. Foram comparados tanto o modelo real, quanto os modelos propostos de reforma, que incluíram modificações, tais como:

- Alterações na disposição de vãos e aberturas de iluminação e ventilação;
- Mudanças nos materiais de construção das paredes da envoltória;
- Substituição do telhado cerâmico por Telha metálica termoacústicas;
- Variação da área de aberturas para ventilação natural.

Assim, foram criados múltiplos cenários de simulação e para fins de esclarecimento das figuras dos resultados, as seguintes abreviações/siglas foram adotadas para indicar o modelo em análise tanto para o modelo da residência atual (sem alterações) quanto para os diferentes modelos de reforma, conforme descrito a seguir:

a) Modelo real ou edificação atual:

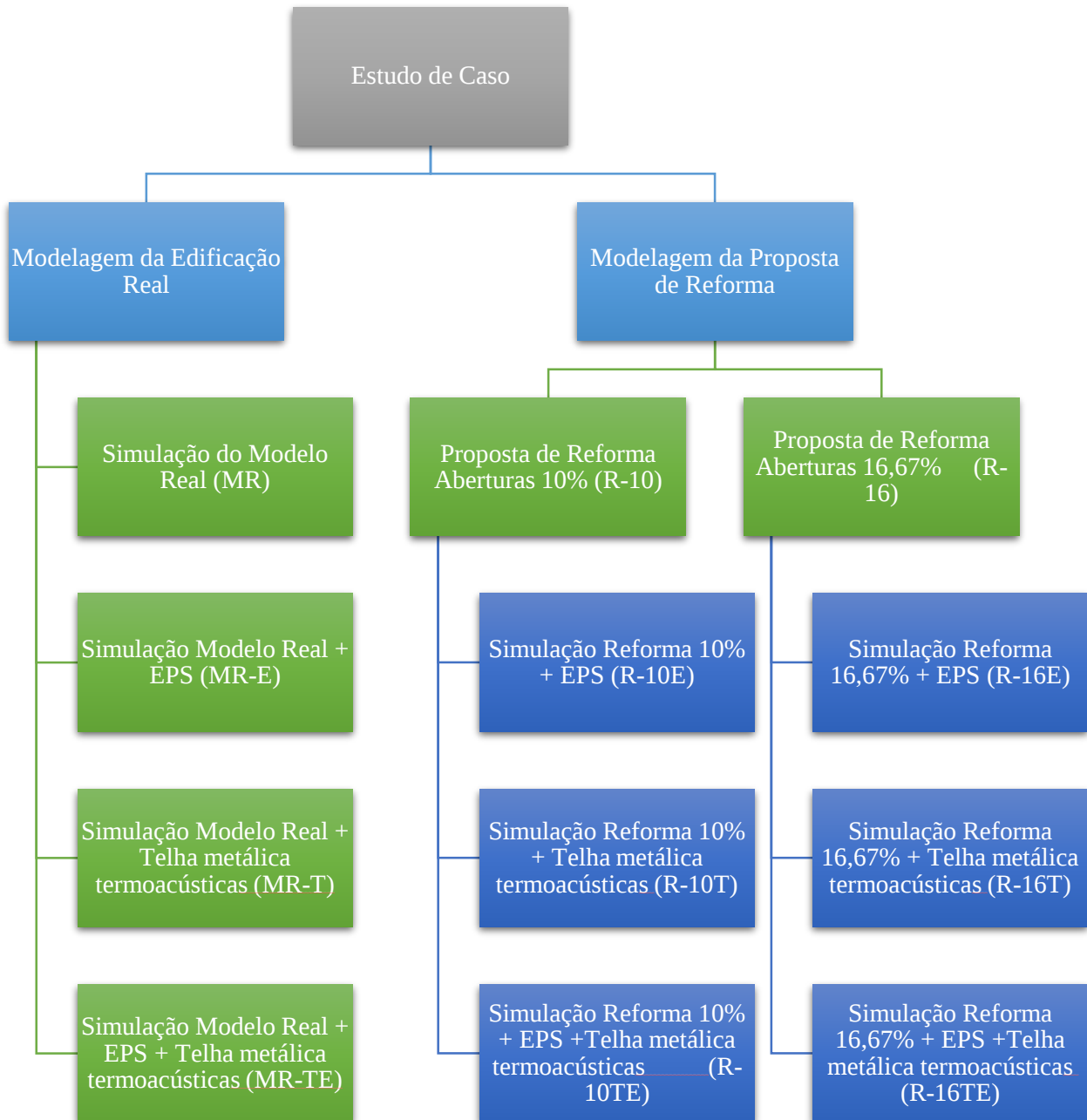
- Sem alterações (**MR**);
- Com substituição do telhado por telhas termoacústicas (**MR-T**);
- Com adição de EPS nas paredes externas (**MR-E**);
- Com substituição do telhado por telhas termoacústicas e adição de EPS nas paredes (**MR-TE**).

b) Modelos de reforma (R) com adição de vão de iluminação/ventilação:

- Vãos de aberturas de 10% da área do ambiente (**R-10**);
- Vãos de aberturas de 16,67% da área do ambiente (**R-16**).
- Vãos de abertura combinados com a substituição do telhado por telhas termoacústicas (**R-10T, R-16T**);
- Vãos de abertura combinados com a adição de EPS nas paredes (**R-10E, R-16E**);
- Vãos de abertura combinados com a substituição do telhado por telhas termoacústicas juntamente com a adição de EPS nas paredes (**R-10TE, R-16TE**).

O fluxograma da Figura 6 ilustra a sequência das simulações, que envolveram modificações nos vãos de iluminação e ventilação, de acordo com a área dos ambientes e as porcentagens de abertura (10% e 16,67%). Adicionalmente, foram testadas outras configurações construtivas, incluindo a adição do EPS nas paredes externas e a substituição do telhado cerâmico por telhas termoacústicas.

Figura 6 – Fluxograma metodológico



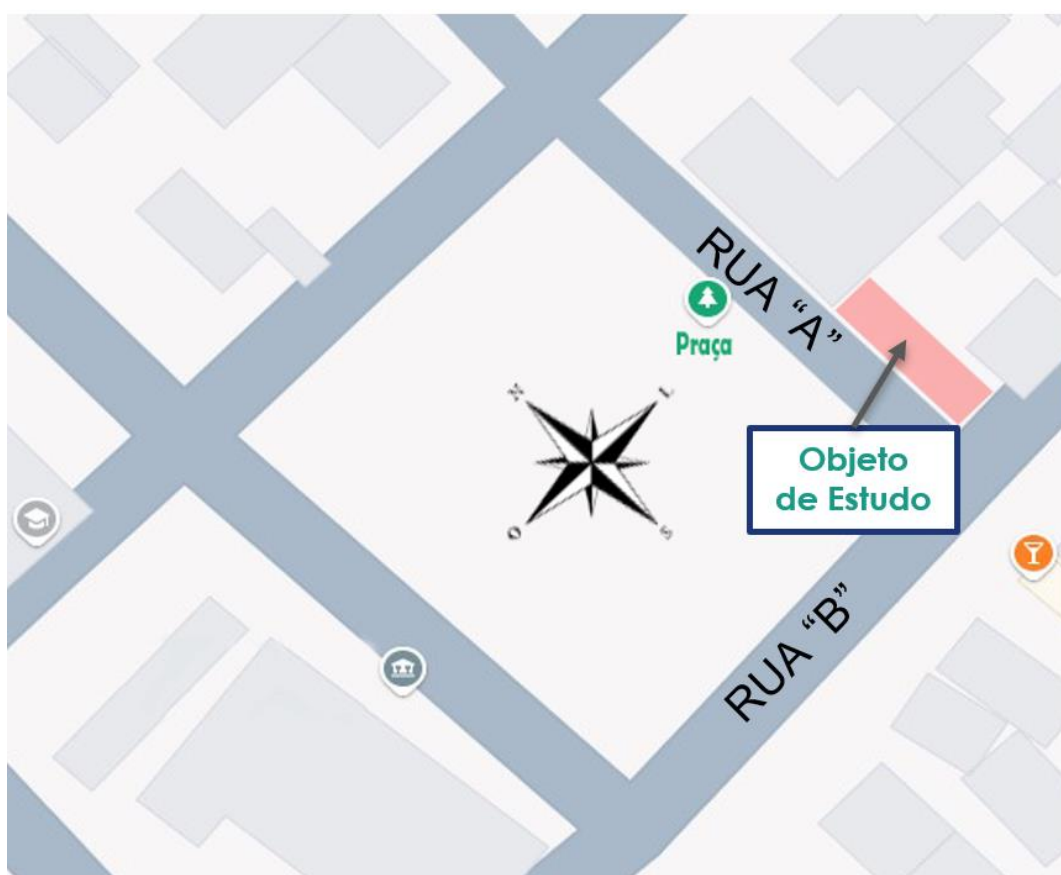
Fonte: Autor (2024)

Os resultados das simulações foram organizados em planilhas eletrônicas, com o intuito de estruturar os parâmetros numéricos obtidos e facilitar a análise e discussão dos dados.

3.1 O OBJETO DE ESTUDO

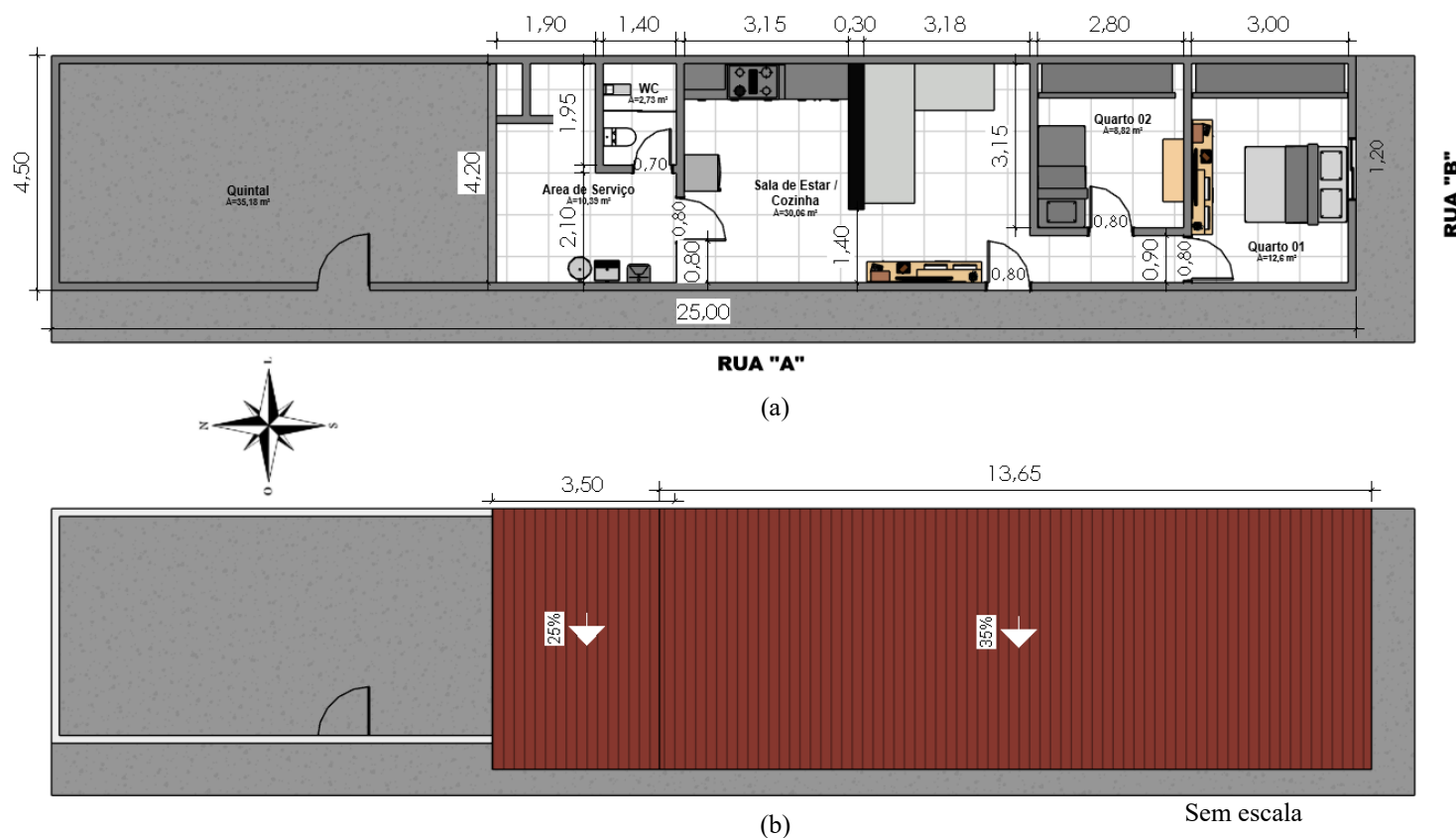
Trata-se da análise de uma casa localizada no município de São Desidério, no interior da Bahia, a cerca de 870 km da capital, Salvador. O lote está localizado em uma esquina da Rua “A” e Rua “B”, sendo que a fachada da residência é orientada para o oeste e fica exposta à intensa radiação solar durante as tardes, sem possibilidade de sombreamento natural, pois não há construções à frente, apenas uma praça pública, como pode ser observado na Figura 7. A edificação possui uma área total de aproximadamente 75 m², distribuída em sala de estar, dois quartos, banheiro, cozinha, área de serviço e quintal, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 7 – Localização da Edificação



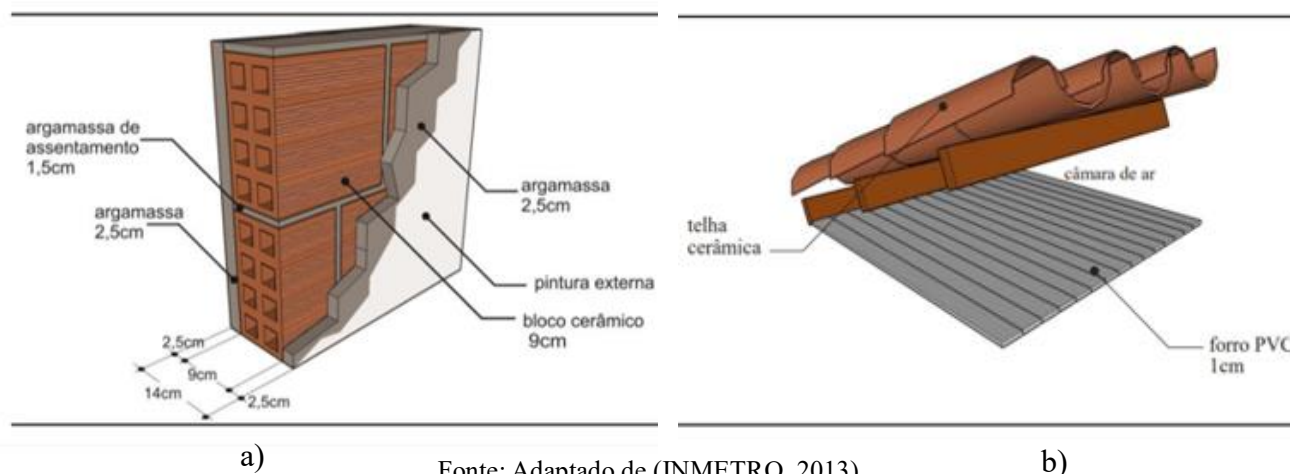
Fonte: Autor (2024)

Figura 8 – Modelo Real da Edificação: a) Planta Baixa; b) Planta de Cobertura



A estrutura foi construída em alvenaria convencional, utilizando tijolos cerâmicos de 8 furos, com 9 cm de espessura, revestidos e pintados com tinta branca (Figura 9a). O telhado é composto por telhas cerâmicas do tipo colonial, e há forro de PVC com 10 mm de espessura. A altura do pé-direito, medindo da base do piso ao forro, é de 2,8 metros (Figura 9b).

Figura 9: a) – Detalhe construtivo da parede – Bloco cerâmico com revestimento em argamassa e pintura de cor clara; b) Detalhe construtivo da cobertura

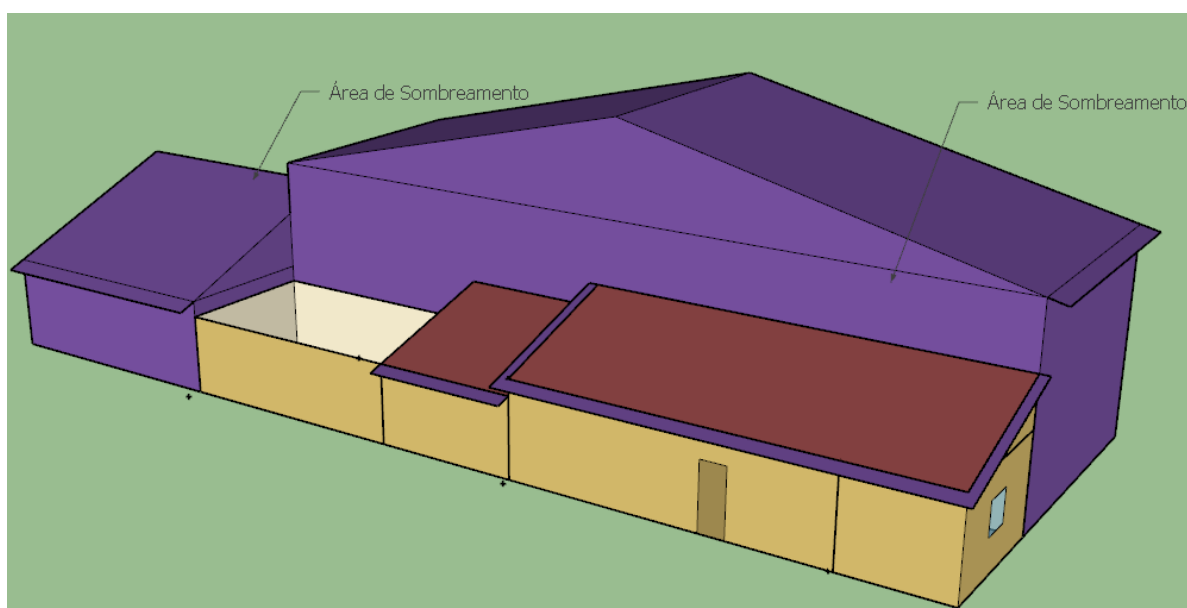


Fonte: Adaptado de (INMETRO, 2013).

3.2 MODELAGEM DO ESTUDO DE CASO

O processo de modelagem da residência foi realizado no software SketchUp (Figura 10), utilizando a extensão Euclid. Inicialmente, foram definidos todos os dados relevantes da edificação, abrangendo suas características arquitetônicas, os materiais de construção, a disposição dos cômodos, os sistemas de climatização e edificações vizinhas, configuradas como sombreamento. Essas informações foram incorporadas ao software para criar um modelo detalhado da estrutura, que represente fielmente as propriedades físicas e térmicas da residência.

Figura 10 – Modelagem da edificação atual no Sketchup.

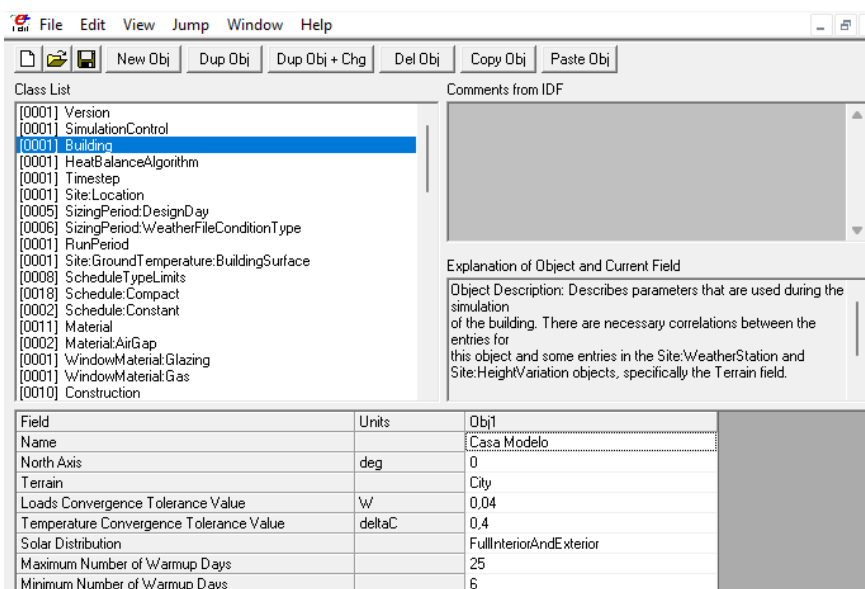


Fonte: Autor (2024)

Cabe destacar que a residência foi dividida em zonas térmicas, que são regiões onde o volume de ar mantém uma temperatura uniforme, permitindo uma análise mais precisa do comportamento térmico.

Após a modelagem geométrica da edificação, foi gerado um arquivo com a extensão .idf, contendo as informações das superfícies modeladas da edificação. Posteriormente, serão estabelecidas as condições de contorno, localização, os parâmetros climáticos específicos da região da residência, composição e propriedades dos materiais, entre outro. O software EnergyPlus (Figura 11) foi utilizado para unir as interações dinâmicas entre diversos parâmetros da edificação supracitados. Para as simulações, os dados bioclimáticos foram considerados os da cidade de Barreiras, que contém uma estação meteorológica para os dados de variação de temperatura ao longo dos anos na região.

Figura 11 – Parâmetros configurados no programa EnergyPlus



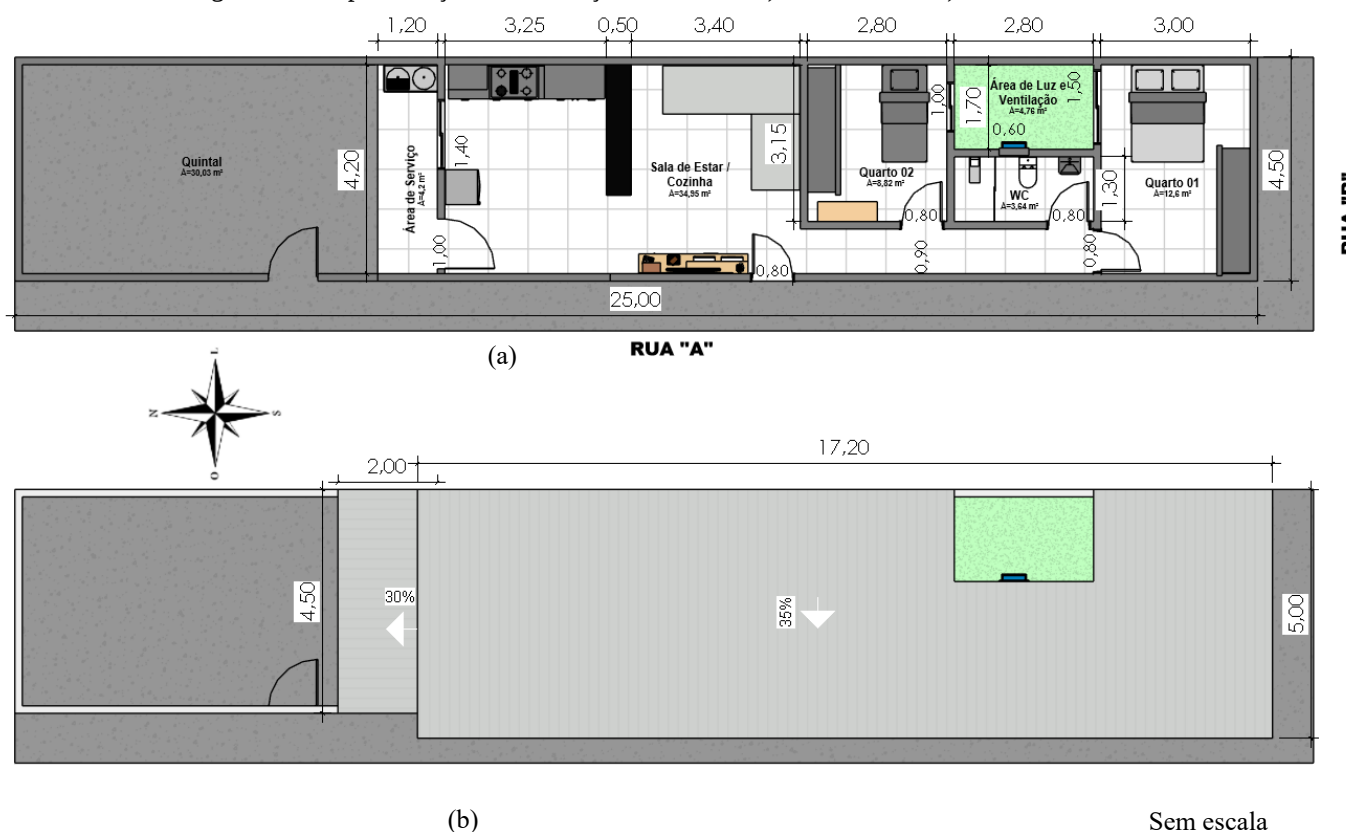
Fonte: Autor (2024)

É importante destacar outros fatores essenciais na parametrização da edificação. A abertura das janelas foi programada seguindo as diretrizes da NBR 15220-3/2005, que indica para a zona bioclimática 7, a necessidade de implementar a ventilação seletiva. Esse método visa permitir a troca de ar entre o ambiente interno e o externo nos momentos em que a temperatura interna é mais alta que a externa, promovendo o resfriamento natural dos ambientes. Para aplicar essa estratégia, no EnergyPlus, definiu-se que as janelas seriam abertas às 20h e fechadas às 8h do dia seguinte, aproveitando as temperaturas mais amenas durante a noite. Embora o padrão de ocupação da edificação tenha sido considerado na configuração do modelo, o principal objetivo da simulação foi investigar a variação da temperatura interna nos diferentes cenários testados.

3.3 MODELAGEM DO MODELO COM AS VARIAÇÕES CONSTRUTIVAS

Nesta fase foi elaborado uma proposta de alteração arquitetônica da edificação para atendimento às normas vigentes. Considerando que o município de São Desidério não dispõe de um Plano Diretor aprovado contendo uso e ocupação do solo, foi considerado as informações contidas no Plano Diretor do município de Barreiras (BA), que é a cidade mais próxima (27km) regida por um plano diretor urbano.

Figura 12 – Representação da Edificação reformada: a) Planta Baixa; b) Planta de Cobertura

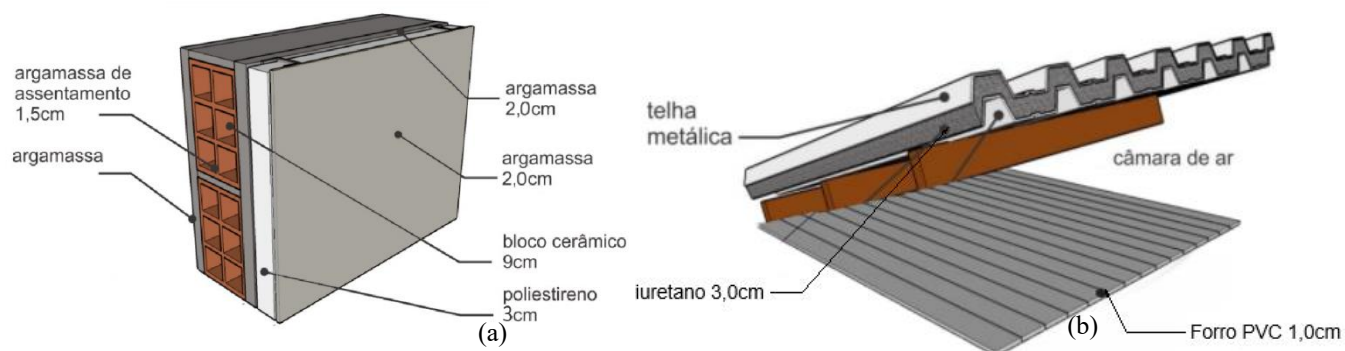


Fonte: Autor (2024)

A Figura 12 é a representação arquitetônica da planta baixa com um vão de iluminação e ventilação, corriqueiramente chamado de “jardim de inverno”, que atente o mínimo do recomendado pelo código de obras adotado. A proposição prevê aberturas de janelas para os “Quarto 1” e “Quarto 2” voltadas para o espaço mencionado e, também, da janela do banheiro social, que foi deslocado da área de serviço para parte interna da casa.

Além das modificações no layout arquitetônico, o modelo reformado (Figura 12) incorporou mudanças nos materiais construtivos, como a adição de isolamento térmico nas paredes externas com poliestireno expandido (EPS) e a substituição do telhado cerâmico tradicional por telhas metálicas termoacústicas, conforme representado nas Figuras 13a e 13b. Essas alterações foram configuradas no software EnergyPlus para avaliação do desempenho térmico. As aberturas para ventilação e iluminação natural foram ajustadas com base nas áreas de piso dos cômodos, seguindo duas referências principais: a NBR 15220-3, que recomenda aberturas entre 10% e 15% da área do piso, e o plano diretor de Barreiras, que estabelece um mínimo de 16,67%. Para a simulação, foram testados os extremos dessas diretrizes, modelando aberturas de 10%, o valor mínimo da norma, e 16,67%, conforme o requisito do plano diretor, com o objetivo de comparar os efeitos dessas variações de ventilação na temperatura dos ambientes.

Figura 13 – Composição das modificações na envoltória da edificação: a) Paredes com adição de EPS; b) Cobertura com Telha metálica termoacústicas



Fonte: Adaptado de INMETRO, 2013

Considerando o novo modelo gerado, a parametrização no EnergyPlus foi realizada levando em conta não apenas a abertura das janelas, mas também a definição detalhada das condições de contorno (Figura 35, Apêndice A), a localização geográfica da edificação, (Figura 28, Apêndice A), os parâmetros climáticos específicos da região, bem como os materiais aplicados na construção (Tabela 4). Essas variáveis foram cuidadosamente ajustadas para garantir maior precisão na simulação e na análise dos resultados.

A Tabela 4 apresenta o detalhamento das propriedades físicas dos materiais empregados no estudo, considerando as espessuras de cada material, sua condutividade térmica, densidade, calor específico, e características adicionais como rugosidade, absorção solar, visível e térmica. Essas informações proporcionam ao EnergyPlus dados de referência para o cálculo da transferência de calor entre os ambientes e o exterior, e que influenciam no desempenho térmico da edificação durante as simulações.

Tabela 4 – Propriedades dos materiais parametrizados no programa EnergyPlus

Materiais	Tijolo 9cm	Telha Cerâmica	Argamassa	Radier Concreto 10cm	Piso Cerâmico 1cm	PVC	Madeira	EPS	Telha metálica termoacústica
Rugosidade	Áspero	Médio	Média	Áspero	Liso	Liso	Médio	Liso	Liso
Espessura (m)	0.045	0.01	0.025	0.1	0.01	0.01	0.035	0.03	0.03
Condutividade (W/m·K)	0.9	0.9	1.15	1.75	0.9	0.2	0.12	0.04	0.023
Densidade (kg/m³)	1600	1600	2100	1400	1600	1400	608	14	44
Calor específico (J/kg·K)	920	920	920	1000	920	100	230	1420	1674

Fonte: NBR 15220-3 e KingsPan (2024)

Já a Tabela 5, descreve as composições das diferentes superfícies da edificação, organizadas em camadas a partir dos materiais mencionados na Tabela 4. O EnergyPlus entende que cada elemento construtivo – como paredes externas e internas, pisos, telhados, portas e janelas – deverá conter os materiais com seus aspectos térmicos e estruturais, e além de, refletir as técnicas construtivas locais.

Tabela 5 – Composição dos materiais construtivos parametrizados no EnergyPlus

Construção	Piso Externo	Parede Externa	Telhado Externo	Parede Interna	Janela	Porta	Piso Interno	Teto Interno	Parede Externa com EPS	Telhado com Telha metálica termoacústica
Camada 1	Radier Concreto 10cm	Argamassa Média	Telha Cerâmica	Argamassa Média	Vidro Claro 3mm	Madeira	Radier Concreto 10cm	PVC	Argamassa Média	Telha metálica termoacústica
Camada 2		Tijolo 9cm		Tijolo 9cm			Piso Cerâmico 1cm		Tijolo 9cm	
Camada 3		Resistência do espaço de ar F04		Resistência do espaço de ar F04					Resistência do espaço de ar F04	
Camada 4		Tijolo 9cm		Tijolo 9cm					Tijolo 9cm	
Camada 5		Argamassa Média		Argamassa Média					EPS	
Camada 6									Argamassa Média	

Fonte: Autor (2024)

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS CLIMÁTICOS

Para a realização das simulações computacionais, foram utilizados dados climáticos no formato Typical Meteorological Year (TMY), obtidos a partir das medições das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 2007 a 2021. O arquivo TMY é gerado pela seleção dos meses mais representativos em termos de condições climáticas médias, excluindo meses com extremos de temperatura, o que resulta em um arquivo climático típico para simulações de desempenho térmico de edificações. Essa metodologia assegura que os dados climáticos utilizados forneçam uma representação precisa e coerente das condições normais de um determinado local, sem serem influenciados por eventos climáticos extremos (Lamberts et al., 2016).

Especificamente, para este estudo, foram analisados os dados do dia 9 de outubro de 2021, por se tratar do dia com as médias de temperatura mais altas do ano observadas nos dados climáticos. A escolha desse dia visou identificar o desempenho térmico da edificação em condições críticas de calor, permitindo uma avaliação mais precisa das estratégias de controle térmico propostas. Esses dados incluem variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, direção e velocidade dos ventos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das simulações computacionais realizadas para avaliar o desempenho térmico da edificação, com foco em propostas de melhorias na envoltória e ventilação. As simulações realizadas com o software EnergyPlus permitiram a análise do comportamento térmico da edificação no primeiro momento do modelo real (MR) e, posteriormente nos diferentes cenários do modelo com proposta de reforma.

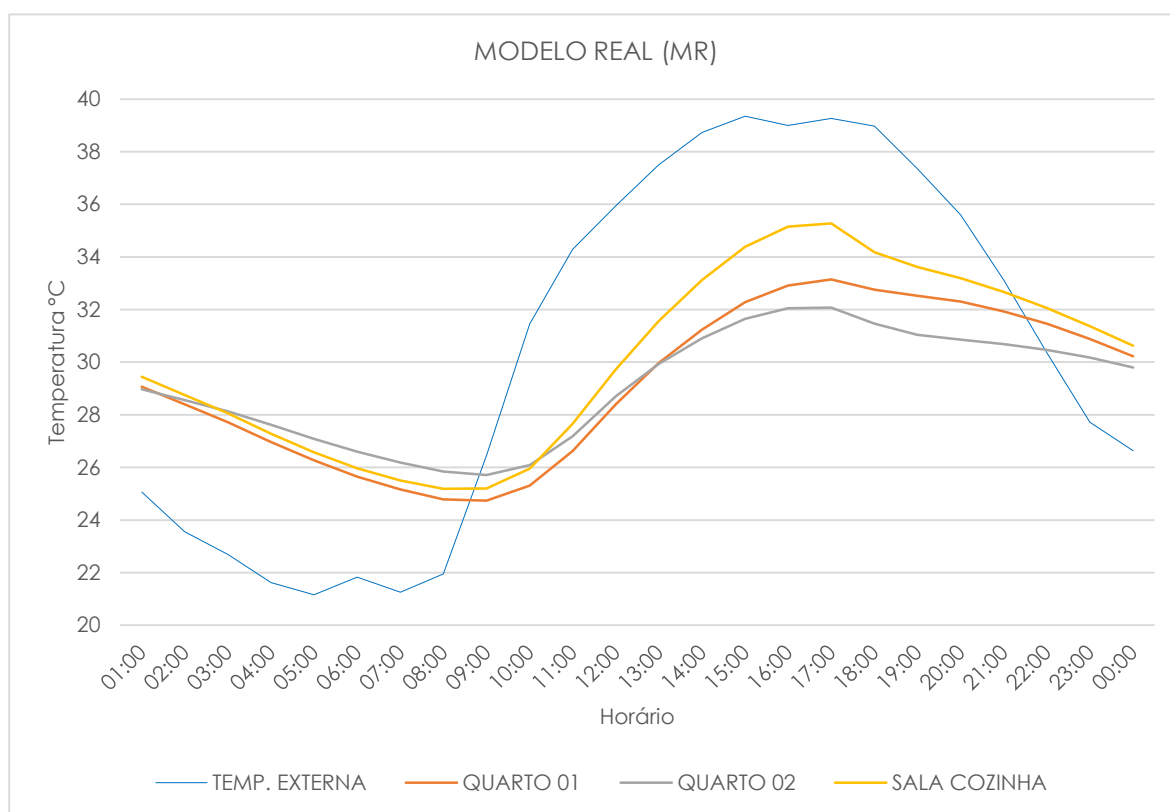
4.1 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO REAL:

4.1.1. Modelo Real sem Alterações

No modelo real (MR), observa-se que a temperatura interna do ambiente apresenta um comportamento típico de amortecimento térmico, o que pode ser verificado pela Figura 14, sendo que durante as horas mais frias do dia, a temperatura interna permanece acima da temperatura externa, enquanto durante as horas mais quentes, a situação se inverte, com o interior da edificação sendo mais fresco. Este comportamento é resultado da inércia térmica proporcionada pelos materiais da envoltória da edificação, que retardam a resposta às flutuações externas de temperatura. Essa característica é esperada em construções convencionais.

Pela Figura 14, a temperatura interna máxima ficou entre 32 e 35°C que é um reflexo das aberturas inadequadas para a circulação de ar, que pode ser destacado para a única janela existente no “Quarto 1” está com abertura para a Rua “B” (Figura 12), o que por questões de segurança e privacidade, recomenda-se pela não abertura e, de certa forma, a edificação não terá vãos para ventilação natural, o que contribui para o desconforto térmico dentro da residência.

Figura 14 - Variação da temperatura dos cômodos comparada à temperatura externa



Fonte: Autor (2024)

4.1.2. Modelo Real + Adição de EPS (MR-E)

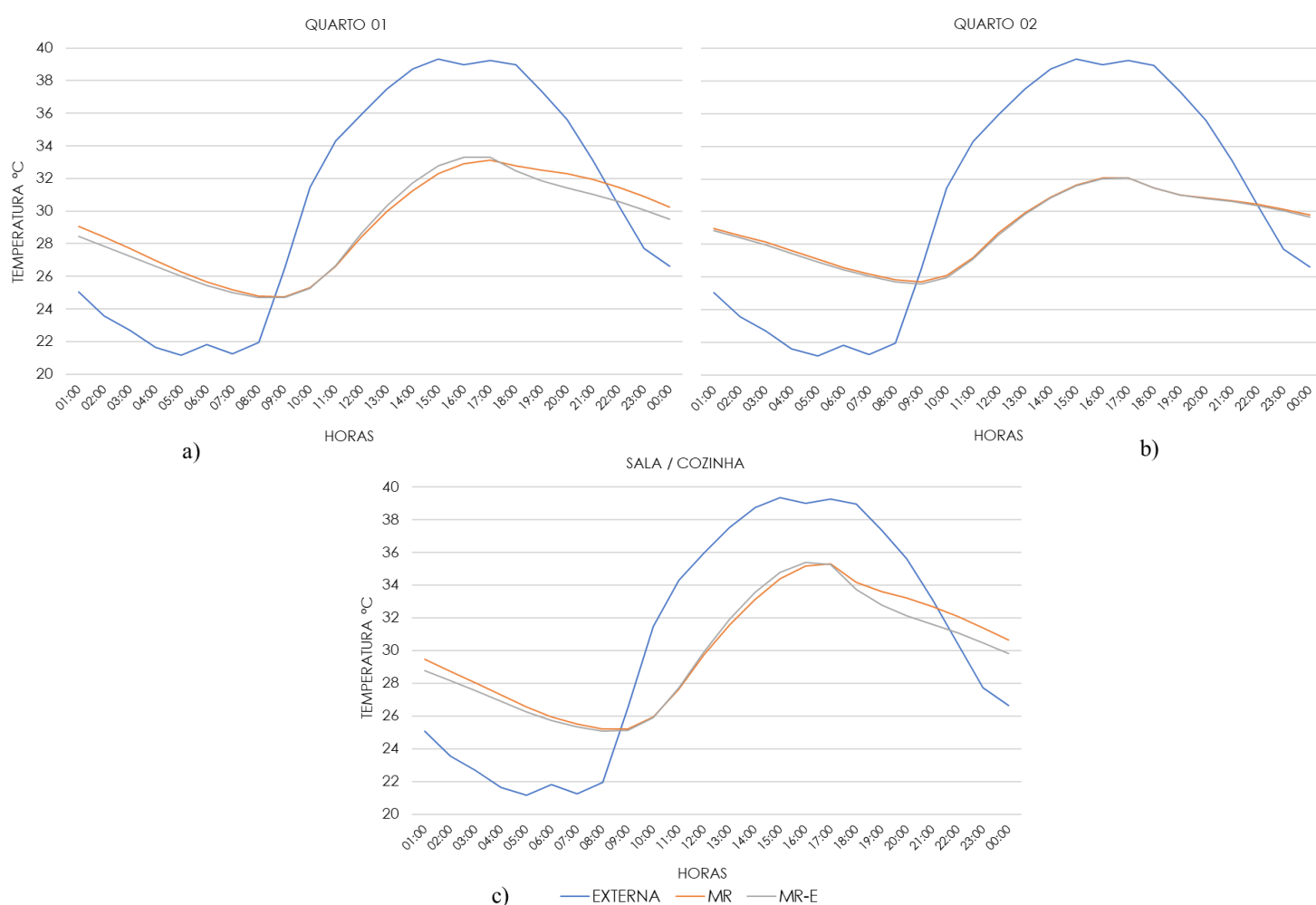
A análise do desempenho da edificação com a adição de poliestireno expandido (EPS) nas paredes externas (modelo MR-E) em comparação à edificação original (modelo MR) mostra que, apesar do EPS ser um bom isolante térmico, sua eficácia varia ao longo do dia e em diferentes ambientes, conforme ilustrado na Figura 15. Observa-se que, durante as horas mais quentes, a redução da temperatura interna proporcionada pelo EPS não é tão significativa. No Quarto 01, que tem paredes voltadas para o oeste e está exposto à radiação solar direta durante a tarde, a redução máxima foi de aproximadamente $0,50^{\circ}\text{C}$ às 15:00 horas, representando uma diminuição de cerca de 1,5%, como se pode notar observando a Figura 15a. Em alguns horários, como por volta das 11:00 horas, o modelo MR-E apresentou até um pequeno aumento na temperatura, provavelmente devido ao atraso no resfriamento das paredes durante a noite, quando o EPS reduz a troca de calor.

No Quarto 02, Figura 15b, que não tem paredes externas diretamente expostas à radiação solar, as variações de temperatura entre MR e MR-E são mínimas, com diferenças

geralmente abaixo de $0,2^{\circ}\text{C}$, o que confirma que a exposição solar é um fator determinante para a eficácia do isolamento térmico.

Na Sala/Cozinha, conforme observado na Figura 15c, a adição de EPS nas paredes externas resultou em uma redução de cerca de $0,50^{\circ}\text{C}$ às 06:00, equivalente a 1,9%. No entanto, a partir das 14:00, a diferença entre os modelos MR e MR-E diminuiu, e às 16:00 a temperatura no MR-E foi $0,23^{\circ}\text{C}$ superior. Isso pode estar associado à maior dificuldade de dissipação do calor acumulado no interior da edificação, por conta do maior isolamento térmico das paredes.

Figura 15: Variação da temperatura dos ambientes com adição de EPS nas paredes externas (MR-E) comparado às temperaturas externa e MR a) Quarto 01; b) Quarto 02; c) Sala/Cozinha



Fonte: Autor (2024)

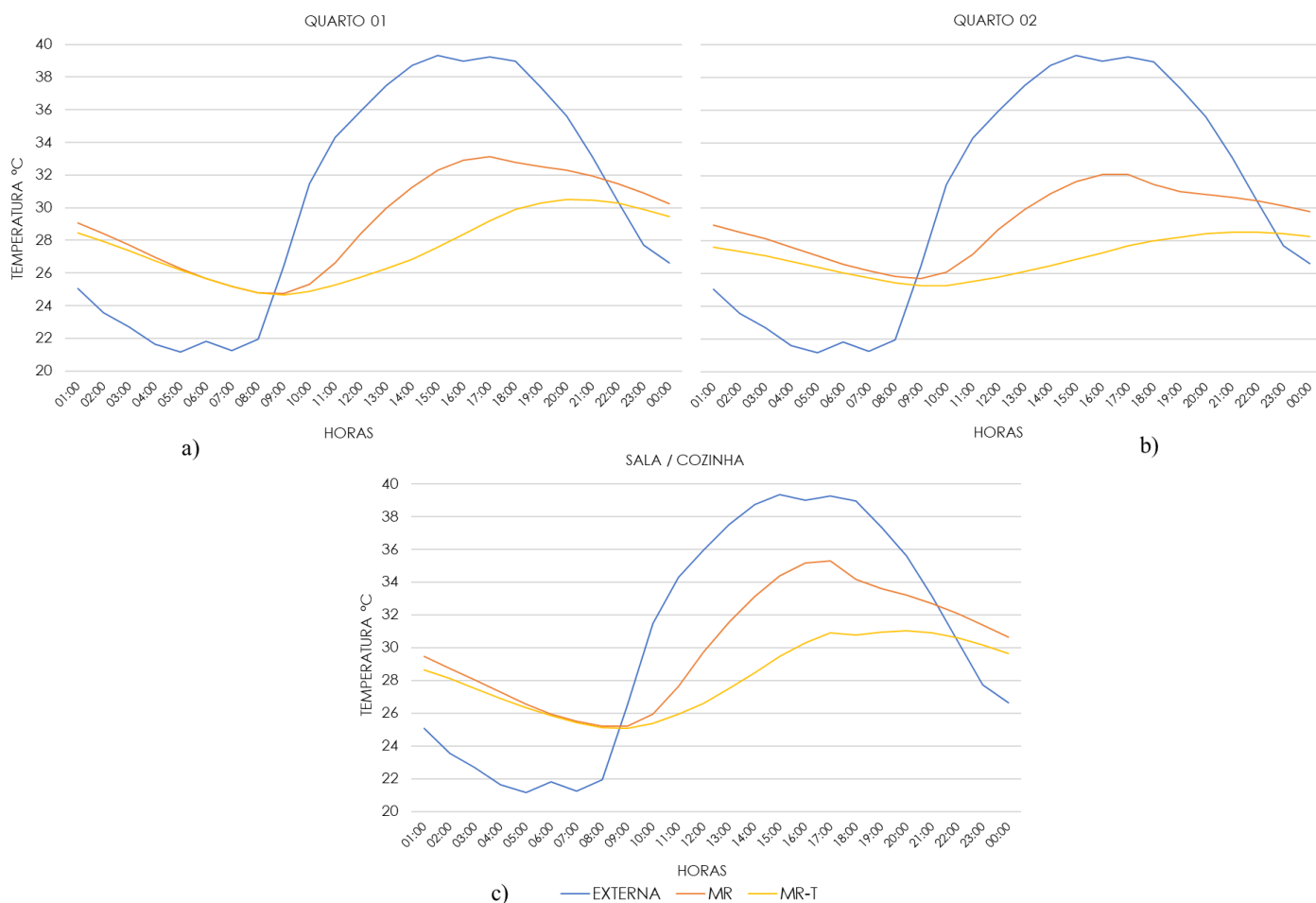
Em resumo, o EPS apresentou benefícios moderados na redução da temperatura interna, principalmente nos horários mais frescos, mas teve um impacto limitado durante o pico de calor, especialmente em ambientes expostos diretamente ao sol. O comportamento do Quarto 02 reforça a importância da localização e orientação das paredes externas para o desempenho térmico da edificação.

4.1.3. Modelo Real com Substituição do Telhado (MR-T)

A substituição das telhas cerâmicas por telhas metálicas termoacústicas (MR-T) apresentou uma melhoria no controle da temperatura interna, especialmente nos horários de pico de calor. Como mostrado na Figura 16a, no Quarto 01, às 15:00, quando a temperatura externa atingiu $39,35^{\circ}\text{C}$, o modelo sem modificações (MR) registrou $32,28^{\circ}\text{C}$, enquanto o modelo com telhas termoacústicas (MR-T) apresentou $27,60^{\circ}\text{C}$, uma redução de $4,68^{\circ}\text{C}$ (14,5%). Às 16:00, essa diferença permaneceu em $4,55^{\circ}\text{C}$, com o MR a $32,91^{\circ}\text{C}$ e o MR-T a $28,36^{\circ}\text{C}$. Durante a noite, o resfriamento no MR-T, com uma redução de até $0,78^{\circ}\text{C}$ às 01:00.

No Quarto 02, as melhorias também são perceptíveis, conforme mostrado na Figura 16b, às 15:00, o MR registrou $31,65^{\circ}\text{C}$, enquanto o MR-T apresentou $26,89^{\circ}\text{C}$, uma diminuição de $4,76^{\circ}\text{C}$ (15,04%). Durante a madrugada, essa diferença também é visível, como às 02:00, onde o MR marcou $28,56^{\circ}\text{C}$ e o MR-T $27,37^{\circ}\text{C}$, resultando em uma redução de $1,19^{\circ}\text{C}$.

Figura 16: Variação da temperatura dos ambientes com alteração da cobertura (MR-T) comparado às temperaturas externa e MR. a) Quarto 01; b) Quarto 02; c) Sala/Cozinha.



Fonte: Autor (2024)

Na Sala/Cozinha, maior ambiente da residência, o desempenho das telhas termoacústicas foi ainda bastante expressivo. Às 15:00, conforme ilustrado na Figura 16c, o MR registrou 34,39°C, enquanto o MR-T reduziu a temperatura para 29,49°C, uma diferença de 4,9°C (14,2%). Às 16:00, essa redução foi de 4,85°C, com o MR-T atingindo 30,30°C, comparado aos 35,15°C no MR.

Os resultados evidenciam que a substituição das telhas cerâmicas por telhas metálicas termoacústicas proporcionou uma redução de até 15% nas temperaturas internas durante os horários mais quentes do dia, especialmente nos horários mais quentes do dia. Mesmo em ambientes menos expostos à radiação solar, como o Quarto 02, a troca do telhado resultou em melhorias perceptíveis.

4.1.4. Modelo Real com Substituição do Telhado e Adição de EPS (MR-TE)

A combinação da substituição do telhado cerâmico por telhas metálicas termoacústicas com a adição de EPS nas paredes externas (MR-TE) apresentou uma melhoria térmica adicional, embora os ganhos mais expressivos estejam concentrados nas horas mais quentes do dia. Vamos analisar os resultados obtidos para os três ambientes estudados.

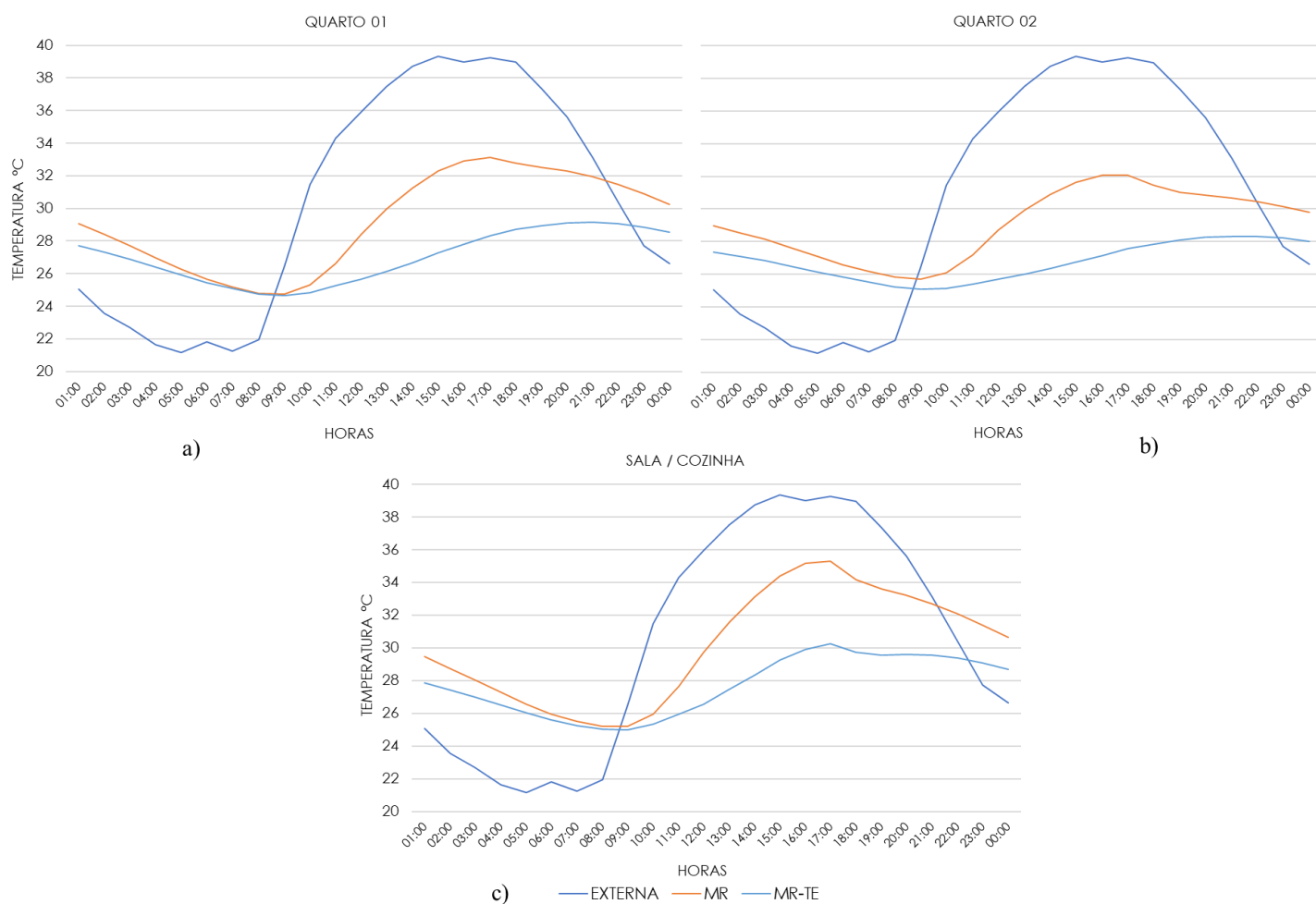
No Quarto 01, diretamente exposto à radiação solar, a diferença entre o modelo sem modificações (MR) e o modelo com EPS e telhas metálicas termoacústicas (MR-TE) foi considerável, como ilustrado na Figura 17a. Às 15:00, a temperatura no MR era de 32,28°C, enquanto no MR-TE foi reduzida para 27,27°C, uma diferença de 5,01°C (15,5%). Essa melhoria é ainda mais perceptível às 16:00, com o MR a 32,91°C e o MR-TE a 27,82°C, representando uma diminuição de 5,09°C (15,46%). Durante a madrugada, a adição do EPS contribuiu para uma leve estabilização da temperatura, como observado às 03:00, com uma diferença de 0,84°C entre o MR e o MR-TE (27,71°C contra 26,87°C).

No Quarto 02, a redução de temperatura foi menos pronunciada, mas ainda perceptível, conforme ilustrado na Figura 17b. Às 15:00, o MR registrou 31,65°C, enquanto o MR-TE atingiu 26,77°C, uma redução de 4,88°C (15,4%). Durante a madrugada, a temperatura interna no MR-TE se manteve mais estável, com uma redução de 0,74°C às 03:00 (28,13°C no MR contra 26,82°C no MR-TE).

Por fim, a Sala/Cozinha apresentou os maiores ganhos térmicos com a combinação de EPS e telhas termoacústicas, como demonstrado na Figura 17c. Às 15:00, a temperatura interna no MR foi de 34,39°C, enquanto no MR-TE foi de 29,26°C, uma redução de 5,13°C (14,9%).

Às 16:00, a diferença continuou significativa, com uma redução de 5,25°C, levando a temperatura de 35,15°C no MR para 29,90°C no MR-TE. Durante a noite, o EPS contribuiu para uma leve estabilização térmica, com uma redução de 1,07°C às 02:00 (28,75°C no MR contra 27,43°C no MR-TE).

Figura 17: Variação da temperatura nos ambientes com adição de EPS e telhas metálicas termoacústicas (MR-TE) comparado ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha.



De modo geral, a adição de EPS junto às telhas termoacústicas proporcionou uma melhoria adicional na redução da temperatura interna, especialmente durante o dia, com reduções de até 15,5% no Quarto 01. No entanto, como observado, os ganhos principais foram atribuídos à substituição do telhado.

4.2 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO MODIFICADA

Nesta seção, serão apresentados os resultados das simulações para a edificação modificada, que inclui a adição de um poço de ventilação e iluminação, permitindo a abertura de janelas nos cômodos. As áreas das janelas foram estabelecidas em 10% e 16,67% com os códigos R-10 e R-16, respectivamente, da área do ambiente. Além disso, uma janela foi adicionada na Sala/Cozinha como parte das alterações arquitetônicas. As análises avaliarão o impacto da ventilação natural nas temperaturas internas dos ambientes, além de examinar o efeito combinado dessas modificações com as soluções de isolamento térmico previamente implementadas.

Foram analisados cada ambiente da edificação modificada quanto ao comportamento térmico comparado ao modelo real (MR). Cabe destacar um aspecto relacionado ao comportamento térmico dos modelos que incluem ventilação natural, visto que a inclusão dos poços de iluminação/ventilação modifica as temperaturas nos ambientes, tanto quando a janela estiver aberta ou fechada. Foi considerado que as janelas permaneceram fechadas entre 08:00 e 20:00 horas, como estratégia para minimizar a troca de calor com o ambiente externo, e permitindo apenas quando a temperatura externa fosse menor que a interna. A condição de abertura acompanha o que preconiza o Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que se refere ao padrão mínimo de ocupação dos cômodos de uma edificação.

4.2.1 Modelo Reformado com ventilação natural

A seguir, são analisados os resultados das simulações para o modelo com a adição de aberturas para ventilação, sem a implementação das soluções de isolamento térmico (R-10 e R-16). A análise foca em como essas modificações afetam a temperatura interna dos ambientes em comparação com o modelo real (MR).

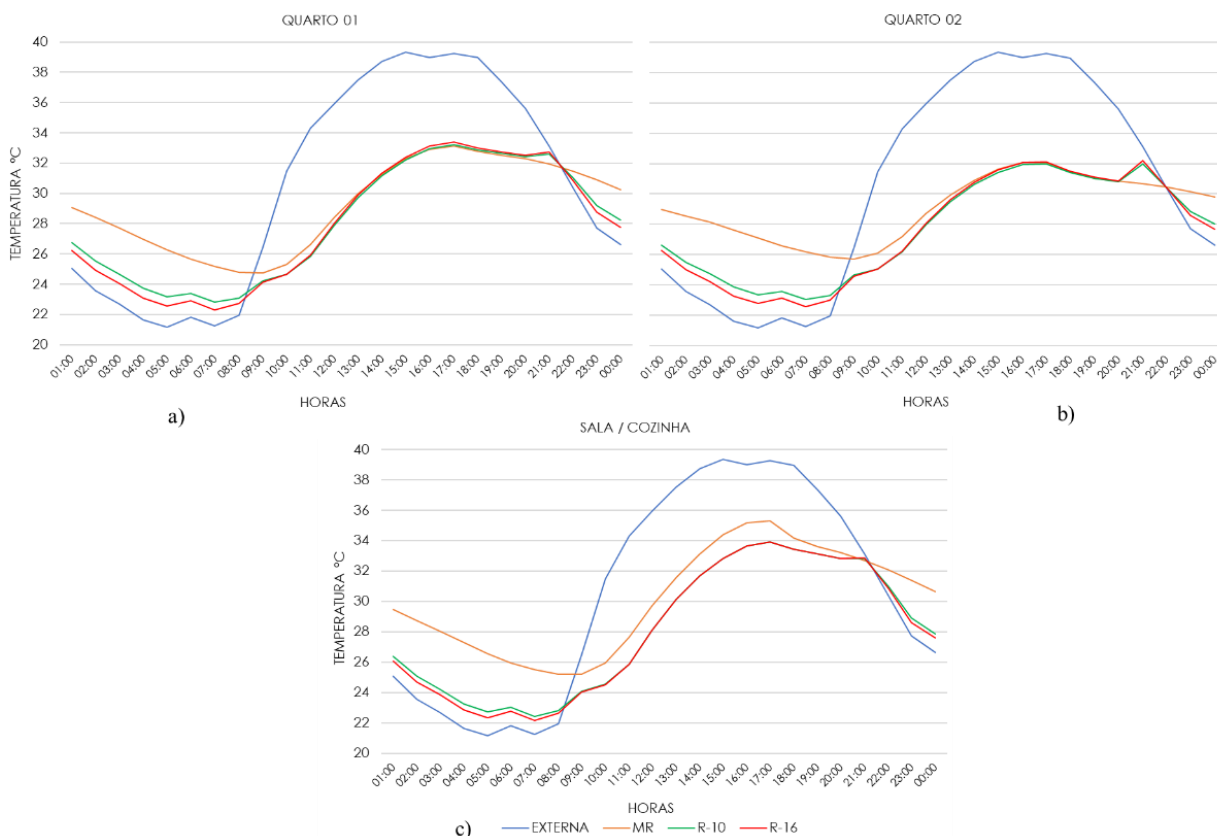
Um aspecto importante a ser observado nos resultados é o pico de temperatura que ocorre a partir das 20:00 horas, momento em que as janelas são programadas para abrir (Figuras 18a, 18b e 18c). Esse aumento pode ser explicado pelo fato de que, nesse horário, a temperatura externa ainda era superior à interna, resultando em uma troca de ar que eleva a temperatura interna, fazendo com que ela se aproxime das condições externas.

No Quarto 01 (Figura 18a), os resultados indicam que a adição de janelas reduziu as temperaturas internas, especialmente durante a madrugada e início da manhã, quando as temperaturas externas estavam mais baixas. Às 05:00 horas, a diferença entre MR e R-10 foi de 3,09°C, e entre MR e R-16, 3,71°C, indicando a eficácia da ventilação noturna. No entanto, a partir das 10:00, essa diferença diminuiu, e às 16:00, as temperaturas dos modelos reformados ficam próximas às do MR, mostrando menor impacto da ventilação nas horas mais quentes.

No Quarto 02 (Figura 18 b), o padrão é semelhante. Às 04:00, a diferença entre MR e R-16 foi de 4,34°C, mas durante o dia, a ventilação perde eficácia, e as temperaturas se estabilizam.

Na Sala/Cozinha (Figura 18c), a ventilação noturna também é eficaz, com uma diferença de 3,21°C às 06:00 entre MR e R-16. Porém, durante a tarde, a ventilação tem menor impacto, porém com uma eficácia maior se comparada com os outros cômodos principalmente durante a tarde e início da noite.

Figura 18: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha



Fonte: Autor (2024).

Esses resultados indicam que, embora a ventilação natural seja eficaz na redução das temperaturas internas durante a noite, seu impacto é limitado durante os horários mais quentes, especialmente em ambientes como a Sala/Cozinha, que sofre maior exposição solar nas paredes externas. Aumentar o tamanho das áreas de abertura melhora o resfriamento noturno, mas não resulta em benefícios significativos durante o dia. Em contrapartida, a maior abertura pode permitir uma maior entrada de radiação solar, o que pode aquecer os ambientes durante a tarde.

4.2.2 Modelo Reformado com ventilação natural e adição de EPS nas paredes externas

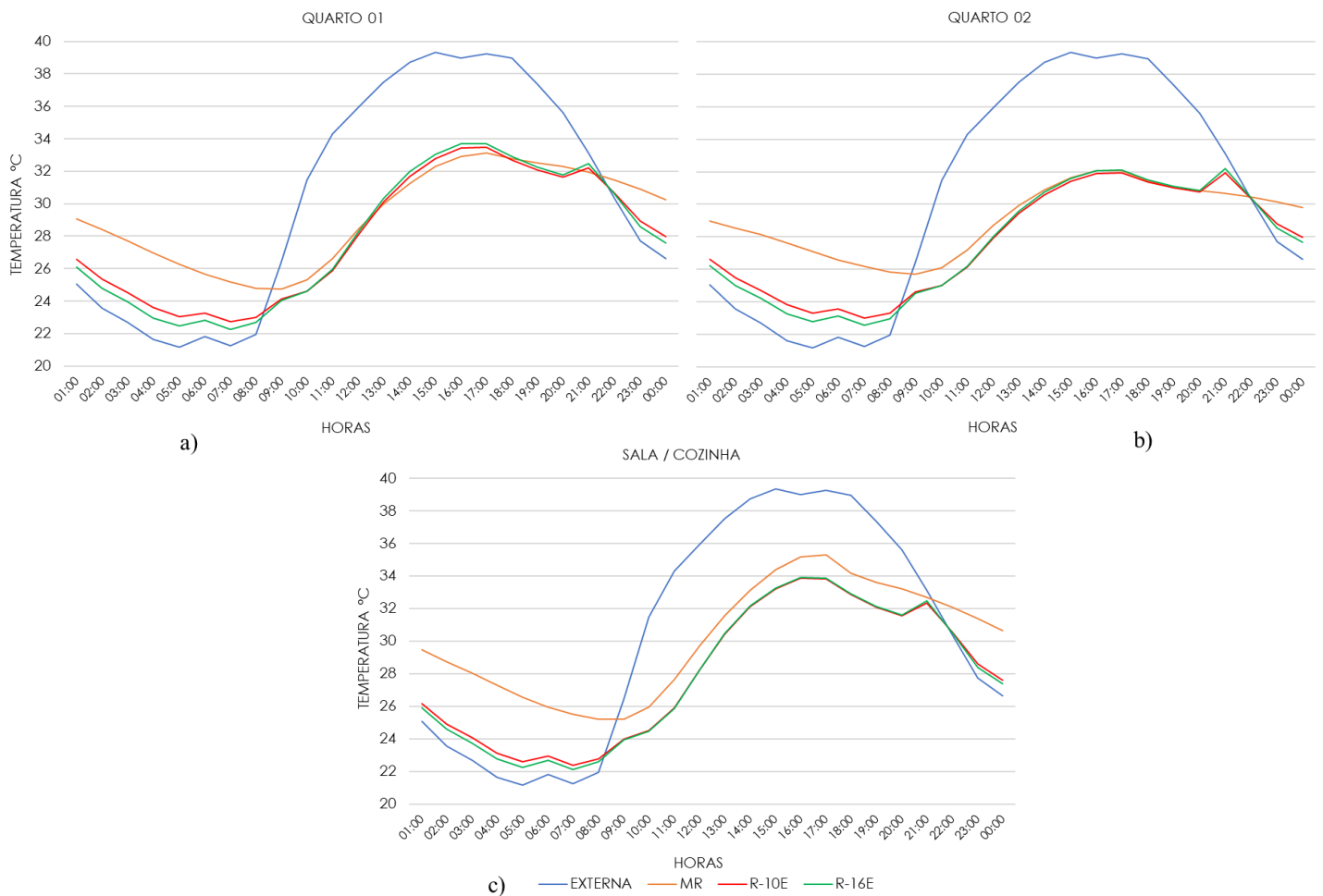
Ao analisar os resultados para o modelo reformado com ventilação natural e a adição de EPS nas paredes externas, nos cenários R-10E e R-16E, verificamos que essas modificações continuam a promover uma redução das temperaturas internas, especialmente durante a madrugada e o início da manhã, por conta das aberturas de janela, como observado também nos modelos com ventilação sem isolamento térmico.

No Quarto 01, a análise da eficácia da combinação de EPS com ventilação natural revela que o efeito do isolamento térmico nas paredes não é tão significativo durante os períodos mais quentes do dia, quando se espera que o isolamento atue reduzindo a transferência de calor externo para o interior da edificação. Analisando a figura 19a, por exemplo às 15:00 horas, as temperaturas internas são de 32,28°C no modelo real (MR), 32,78°C com EPS R-10E e 33,06°C com EPS R-16E. Esses resultados indicam que, mesmo com a adição de isolamento, as altas temperaturas externas ainda têm um impacto considerável no interior do ambiente durante o dia, sugerindo que o isolamento térmico sozinho pode não ser suficiente diminuir a temperatura interna nos horários críticos.

No Quarto 02, o padrão observado é semelhante ao do Quarto 01. Durante o dia, a diferença entre as temperaturas internas dos modelos reformados e o MR é reduzida. Conforme a Figura 19b, às 16:00 horas, as temperaturas internas são 32,05°C no modelo real (MR), 31,91°C em R-10E e 32,07°C em R-16E. Esses resultados indicam que o isolamento térmico tem pouco efeito neste cômodo, que não está em contato direto com as paredes externas. Além disso, nota-se que no modelo com maior área de ventilação, a temperatura interna é mais alta, sugerindo que a radiação solar entra através da abertura e aquece o ambiente.

Na Sala/Cozinha (Figura 19c), onde a radiação solar tem maior impacto, a combinação de ventilação natural e EPS se mostra um pouco mais eficaz em reduzir a temperatura interna. Às 15:00 horas, durante o pico de calor, as temperaturas internas dos modelos se aproximam: 34,39°C (MR), 33,22°C (R-10E) e 33,25°C (R-16E).

Figura 19: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinada à adição de EPS nas paredes externas R-10E e R16E, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha



Fonte: Autor (2024).

Em resumo, a combinação de ventilação natural com a adição de EPS nas paredes externas se comporta de maneira muito parecida com o que já se havia observado nos modelos que contam apenas com a ventilação como método para resfriamento dos ambientes, sugerindo que o EPS como solução de isolamento térmico não é tão eficiente para reduzir a temperatura interna dos ambientes.

4.2.3 Modelo Reformado com ventilação natural e Substituição do telhado cerâmico por Telhas metálicas termoacústicas

A análise das temperaturas diurnas no Quarto 01 (Figura 20a), especialmente durante os horários mais quentes do dia, evidencia a eficácia da combinação das telhas metálicas termoacústicas com a ventilação natural. Com o resfriamento proporcionado pelas aberturas de ventilação durante a noite e início da manhã, o ambiente começa o dia com uma temperatura

interna mais baixa. À medida que as horas passam e o calor externo aumenta, o telhado metálico termoacústico assume um papel importante ao impedir o ganho excessivo de calor.

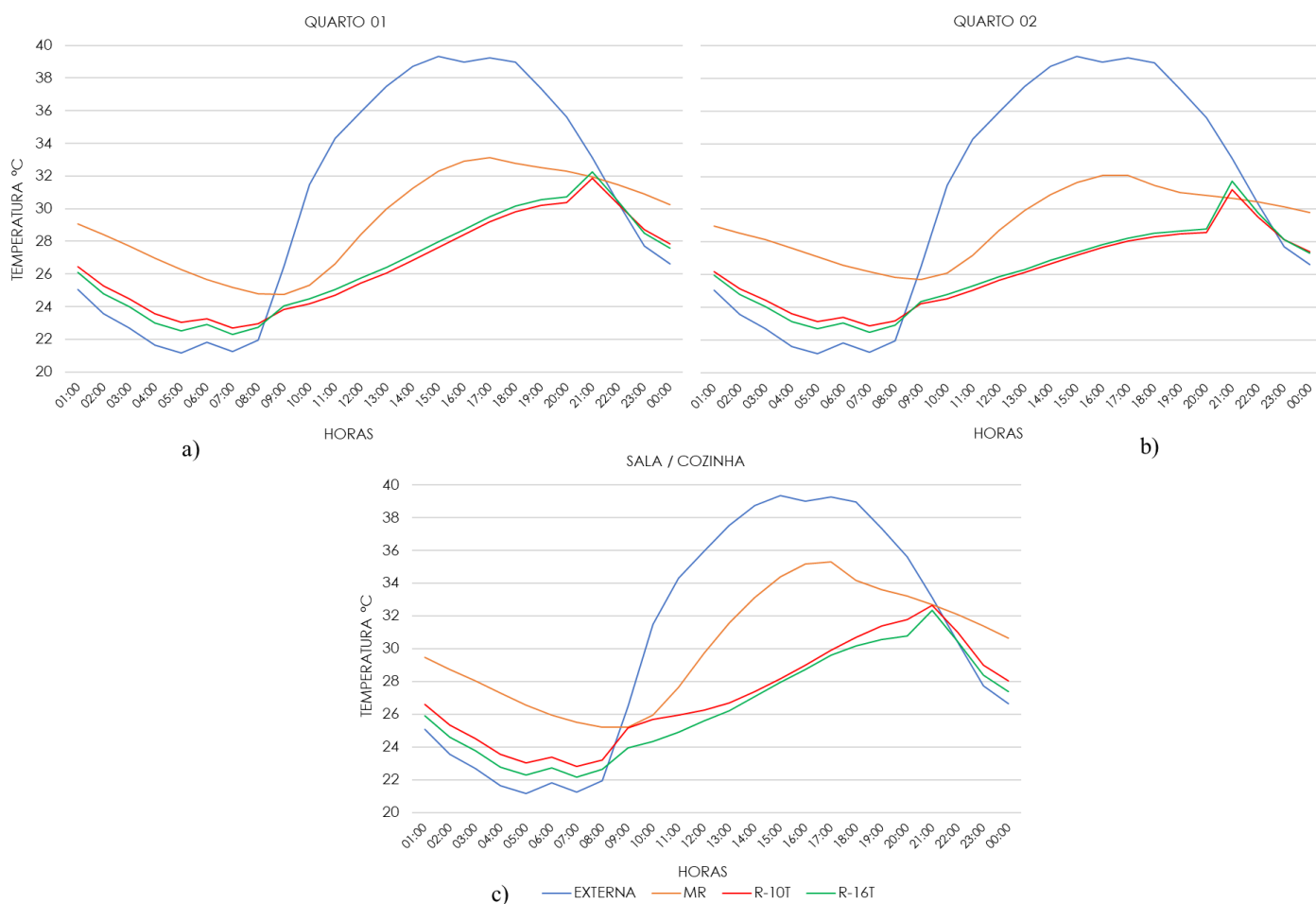
Às 15:00 horas, um dos períodos mais quentes do dia, a temperatura interna no modelo real (MR) é de 32,28°C, enquanto nos modelos com a reforma das telhas metálicas termoacústicas, a temperatura cai para 27,61°C (R-10T) e 27,99°C (R-16T). Apesar do aumento das temperaturas externas, o isolamento térmico oferecido pelo telhado termoacústico mantém a temperatura interna significativamente mais baixa, garantindo uma queda de 4°C a 5°C. Essa diferença em comparação ao modelo real demonstra a eficácia da combinação entre a substituição do telhado e a ventilação natural noturna, especialmente ao longo das horas de maior calor.

O Quarto 02 (Figura 20b) segue um comportamento semelhante ao Quarto 01, com o telhado metálico termoacústico mostrando sua eficácia principalmente durante as horas mais quentes do dia. Às 15:00 horas, por exemplo, o modelo real atinge 31,65°C, enquanto nos modelos com a substituição do telhado, as temperaturas caem para 27,38°C (R-10T) e 27,99°C (R-16T). A redução de aproximadamente 4°C reafirma o efeito positivo do telhado metálico na mitigação do ganho de calor durante o dia, mesmo quando as temperaturas externas estão elevadas.

Na Sala/Cozinha (Figura 20c), a diferença de desempenho entre o modelo com telhas metálicas termoacústicas e o modelo real é ainda mais acentuada durante as horas mais quentes. A alta incidência solar nesta área faz com que a temperatura no modelo real (MR) atinja 34,39°C às 15:00 horas. Nos modelos com a reforma, a temperatura cai para 28,16°C (R-10T) e 27,94°C (R-16T), uma diferença significativa de 6°C.

A substituição do telhado cerâmico por telhas metálicas termoacústicas, combinada com a ventilação natural noturna, é eficaz não só durante as horas mais frescas, mas também no controle do ganho de calor durante os horários mais quentes do dia. No Quarto 01, Quarto 02, e Sala/Cozinha, essa combinação resulta em uma redução significativa das temperaturas internas durante a tarde, com quedas de 4°C a 6°C em comparação ao modelo real.

Figura 20: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinadas com a substituição do telhado convencional por telhas termoacústicas R-10T e R16T, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha



Fonte: Autor (2024).

Essa redução reflete a capacidade das telhas metálicas termoacústicas de limitar a transferência de calor externo para o interior da residência, mantendo a temperatura interna mais controlada durante o período de maior incidência solar. Embora o resfriamento noturno seja atribuído principalmente à abertura das janelas, durante o dia a troca do telhado contribui de maneira relevante para reduzir o aquecimento do ambiente, proporcionando um alívio térmico considerável, especialmente em áreas com alta exposição solar.

4.2.4 Modelo Reformado com ventilação natural, adição de EPS e Substituição do telhado cerâmico por Telhas metálicas termoacústicas

No Quarto 01 (Figura 21a), a análise do comportamento da temperatura durante os horários mais quentes do dia, revela uma redução significativa das temperaturas internas quando comparado ao modelo real. Às 17:00, a temperatura no modelo real (MR) é de 33,15°C, enquanto nos modelos reformados com EPS e telha metálica, as temperaturas são de 28,57°C (R-10TE) e 28,86°C (R-16TE). A queda de aproximadamente 4,5°C demonstra que, mesmo

durante o pico de calor, a combinação de EPS nas paredes e a substituição das telhas cerâmicas por metálicas termoacústicas tem um impacto considerável na diminuição do aquecimento interno.

Esse comportamento é notado ao longo de toda tarde. Às 15:00, por exemplo, a temperatura no modelo real atinge 32,28°C, e nos modelos reformados as temperaturas caem para 27,47°C (R-10TE) e 27,82°C (R-16TE). Embora não seja possível reduzir drasticamente a temperatura para níveis completamente confortáveis, a redução de cerca de 4°C é expressiva, evidenciando a eficácia dessas estratégias passivas de controle térmico em ambientes críticos, como os quartos, durante os horários de maior exposição ao calor.

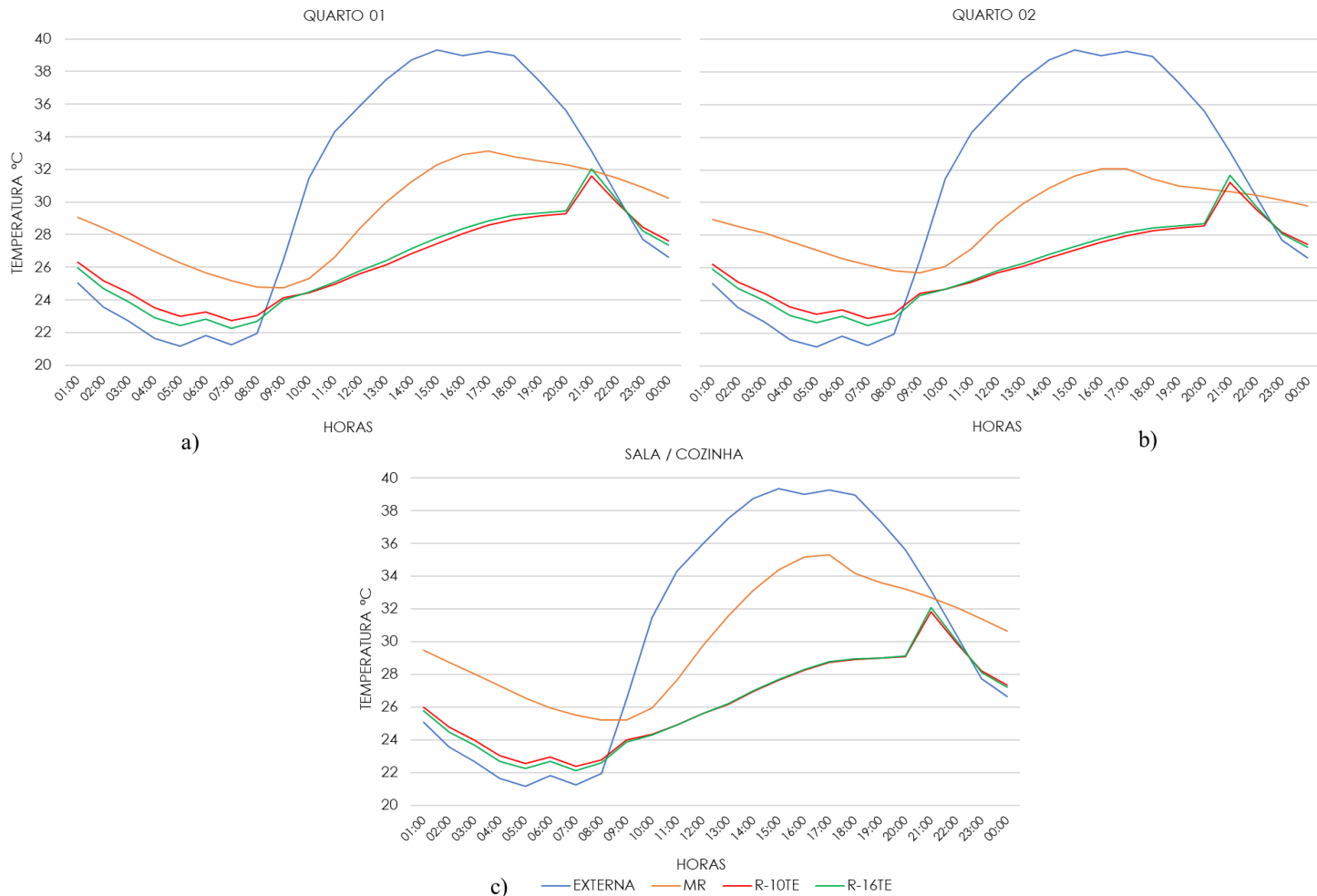
No Quarto 02 (Figura 21b), o padrão de desempenho térmico é semelhante, às 17:00 horas, o modelo real registra 32,08°C, enquanto os modelos com reforma atingem 27,99°C (R-10TE) e 28,19°C (R-16TE).

Outros horários críticos também mostram resultados semelhantes, como às 15:00 horas, quando o modelo real atinge 31,65°C e os modelos reformados registram 27,11°C (R-10TE) e 27,33°C (R-16TE). A redução de em torno de 4°C indica que, apesar do intenso calor externo, as soluções adotadas para a envoltória térmica contribuem de forma consistente para mitigar o desconforto térmico durante os períodos mais críticos do dia.

Na Sala/Cozinha (Figura 21c), o impacto das telhas metálicas termoacústicas e do EPS também se destaca nos horários mais quentes, principalmente durante a tarde. Às 17:00 horas, o modelo real registra uma temperatura de 35,28°C, enquanto os modelos com reforma apresentam 28,73°C (R-10TE) e 28,78°C (R-16TE). A diferença de mais de 6°C é significativa, evidenciando o papel essencial dessas intervenções em ambientes com alta exposição solar, como a Sala/Cozinha.

Às 15:00 horas a diferença também é bem pronunciada. O modelo real atinge 34,39°C, enquanto os modelos reformados apresentam temperaturas mais controladas, com 27,65°C (R-10TE) e 27,70°C (R-16TE). A redução de cerca de 7°C em um ambiente que costuma sofrer com o calor excessivo demonstra que a solução proposta tem um efeito direto e positivo no controle das temperaturas internas.

Figura 21: Variação da temperatura nos ambientes com aberturas de ventilação combinadas com a adição de EPS e substituição do telhado convencional por telhas termoacústicas R-10TE e R-16TE, comparados ao modelo original (MR) e à temperatura externa. a) Quarto 01, b) Quarto 02, c) Sala/Cozinha



Fonte: Autor (2024).

A análise evidencia que a combinação de EPS nas paredes externas e telhas metálicas termoacústicas proporciona uma redução significativa nas temperaturas internas, especialmente nos horários de pico, como às 15:00 e 17:00 horas. A queda de temperatura varia entre 4°C e 7°C em relação ao modelo real, dependendo do ambiente. A integração desses dois métodos de isolamento térmico maximiza o controle de calor, com a telha termoacústica desempenhando o papel mais relevante ao evitar o ganho excessivo de calor, sendo a principal responsável por manter a temperatura interna mais baixa durante as horas mais quentes do dia.

4.3 AVALIAÇÃO DO CUSTO BENEFÍCIO DAS ALTERAÇÕES DE REFORMA

Os resultados da simulação computacional indicaram que a adoção de estratégia construtiva e utilização de materiais isolantes são alternativas para obter temperaturas internas inferiores ao modelo real.

São apresentados os orçamentos individuais para a reforma da edificação, a substituição do telhado convencional por telha metálica termoacústica e a adição de poliestireno expandido (EPS) nas paredes externas da edificação. Os valores são estimativas para execução das modificações, e caso opte por uma combinação dos serviços, é possível somar os custos individuais para formar um orçamento mais amplo.

4.3.1 Orçamento SINAPI para Reforma da Edificação

Preparou-se um orçamento que estime os custos para efetivar a reforma, utilizando a base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) com referência 06/2024 desonerado. A Tabela 6 mostra as composições representativas do que serão necessários para executar a obra da reforma com seus respectivos valores aproximados, considerando que o sistema utiliza preços obtidos de uma pesquisa nas principais capitais estaduais brasileiras. Cabe ressaltar que o orçamento previu a inserção do poço de iluminação/ventilação com aberturas de janelas de 10% da área do piso, e alteração arquitetônica, obteve-se o valor de R\$ 14.457,44.

Considerando que os resultados obtidos e apresentados pelas Figuras 18 a 21 em que as áreas de vãos de abertura entre 10 e 16,7% da área de piso tiveram temperaturas inferiores ao modelo real e com diferenças entre 2 a 3°C, pode-se utilizar as esquadrias com áreas menores, visto que o aumento da área permite maiores trocas de calor.

Por outro lado, a proposta de reforma permitirá que as janelas sejam mantidas fechadas durante o dia e abertas à noite ou em horários em que a temperatura externa é menor que a interna. Além de melhorar o conforto térmico, essa reforma promove melhor ventilação natural, o que contribui para a qualidade do ar e a higiene dos ambientes, tornando-os mais aseados. Outro benefício importante é a realocação do banheiro para a área privativa da residência, melhorando a funcionalidade do espaço.

4.3.2. Orçamento SINAPI para Substituição do Telhado Convencional por Telha metálica termoacústicas

Conforme discutido nos resultados, a proposta de incorporação da telha metálica termoacústica nos modelos simulados foi uma solução que trouxe uma redução da temperatura interna.

A substituição do telhado cerâmico por telha metálica termoacústicas é estimado em R\$ 20.154,36, com a mesma base de preços da SINAPI e apresentado pela Tabela 7. Essa alternativa é especialmente recomendada para regiões com alta exposição solar, sendo capaz de reduzir significativamente as temperaturas internas dos ambientes, o que pode levar a uma menor necessidade de climatização artificial e, conseqüentemente, à redução de gastos com energia elétrica a longo prazo.

Embora essa seja a intervenção 30% mais cara que a reforma da edificação, a substituição do telhado deve ser considerada como a melhor escolha em termos de eficiência térmica e há um indício de ser a solução mais adequada para melhorar o conforto ambiental da residência.

Tabela 7: Estimativa de valores para substituição do telhado convencional por telha metálica termoacústica

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
2.1	97647	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	M2	89,93	R\$ 3,95	R\$ 355,22
2.2	104803	REMOÇÃO CALHAS E RUFOS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_09/2023	M	21,40	R\$ 5,18	R\$ 110,85
2.3	94216	TELHAMENTO COM TELHA METÁLICA TERMOACÚSTICA E = 30 MM, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	M2	93,05	R\$ 200,02	R\$ 18.611,86
2.4	94231	RUFO EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO NÚMERO 24, CORTE DE 25 CM, INCLUSO TRANSPORTE VERTICAL.	M	21,40	R\$ 50,30	R\$ 1.076,42
TOTAL						R\$ 20.154,36

4.3.3. Orçamento SINAPI para Adição de Placas de Poliestireno Expandido (EPS) nas Paredes Externas

A adição de placas de EPS nas paredes externas terá um custo de R\$ 5.507,88, segundo dados da base de preços do SINAPI e especificado na Tabela 8.

CONCLUSÃO

a) SUBSTITUIÇÃO DO TELHADO CONVENCIONAL POR TELHA METÁLICA TERMOACÚSTICA

As telhas metálicas termoacústicas oferecem o melhor isolamento térmico, especialmente durante o dia, quando as temperaturas externas são mais elevadas. Elas reduzem significativamente o ganho de calor e mantêm os ambientes mais frescos, mesmo nos horários mais quentes.

Embora seja a intervenção mais cara (R\$ 20.154,36), os benefícios são substanciais. A redução no uso de sistemas de climatização artificial pode gerar uma economia de energia a longo prazo, compensando o investimento inicial. O conforto térmico diurno é melhorado de forma consistente, tornando essa solução a mais eficiente para regiões com alta incidência solar.

b) POÇO PARA VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é eficaz durante a noite e no início da manhã, proporcionando um resfriamento passivo quando as temperaturas externas são mais baixas. No entanto, sua eficácia diminui durante o dia, especialmente em dias muito quentes.

Apesar de ser mais barata que a substituição do telhado (R\$ 14.457,44), a ventilação natural por si só não é suficiente para manter o conforto térmico durante o dia. Porém, quando combinada com outras soluções, como a troca do telhado, oferece um excelente retorno, especialmente em termos de conforto noturno e renovação de ar. O custo pode ser considerado relativamente baixo, tendo em vista que esta modificação traz benefícios ao conforto dos habitantes da residência ao ventilar os ambientes, permitindo a renovação do ar, assim como a reformulação arquitetônica trazendo o banheiro para a área íntima da residência. Esses pontos fazem desta uma solução atrativa, especialmente em combinação com outro método.

c) ADIÇÃO DE EPS NAS PAREDES EXTERNAS

O EPS contribui para o isolamento térmico, mas sua eficácia é limitada quando comparada às telhas metálicas. Funciona bem em ambientes onde o ganho de calor pelas paredes é significativo, mas não tem um impacto tão expressivo quanto o telhado.

Com um custo relativamente baixo (R\$ 5.507,88), o EPS é uma solução interessante para quem busca uma melhoria no conforto térmico com orçamento limitado. Embora não seja a intervenção mais eficaz isoladamente, o custo acessível torna-a viável, especialmente quando usada em conjunto com outras soluções, como o telhado metálico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Í. D. **Metodologia do trabalho científico**. Recife: UFPE, 2021.

ANDRADE ET.AL. **Engenharia no século XXI**. Belo Horizonte: Poisson, 2019.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Conforto ambiental em estabelecimentos assistenciais de saúde**. 1. ed. Brasília: Anvisa, 2014

ARAÚJO, H. F. de. **Desempenho térmico de paredes: uma análise de parâmetros térmicos, custos/m² e custo-benefício no município de Barreiras-BA**. raduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, 2018.

AREND, M. **A Industrialização do Brasil ante a nova divisão internacional do trabalho**. Rio de Janeiro: IPEA, 2015.

BAJAY ET.AL. **Geração distribuída e eficiência energética**. 1^a. ed. Campinas: IEI Brasil, 2018.

BAZZARELA, A. **Metodologia científica**. Indaial: UNIASSELVI, 2013.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. D. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

BISOLOS, G. **Análise do desempenho térmico em edifícios residenciais: estudo comparativo entre métodos de avaliação para a Zona Bioclimática 2**. São Leopoldo: UNISINOS, 2018. Dissertação de mestrado.

CA. **Conceitos básicos de conforto ambiental**, 2020. Disponível em: <https://ca-2.com/conceitos-basicos-de-conforto-ambiental/>. Acesso em: 29 Março 2024.

CÂNDIDO, C. **Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CARVALHO, A. R.; MARTAU, Betina Tschiedel. **O olhar do século XXI sobre desempenho termo energético na arquitetura moderna: análise de conteúdo, limitações e lacunas**. In: **14º Seminário Docomomo Brasil**, 27 a 29 de outubro de 2021, Belém: Docomomo Brasil, 2021

CARVALHO ET.AL. **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância**. Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019.

CARVALHO, I. B.; FREITAS, Ruskin M. D. **Desempenho térmico em habitações de interesse social**. CONIC, 2017.

CAVALCANTE, Z. V. **A importância da Revolução Industrial no mundo da tecnologia**. EPCC, Maringá, 2013.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipola Comunicações, 2013.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004

FERREIRA, J. F. D. C. **Desenvolvimento Sustentável**: Apontamentos sobre o conceito. Maringá: UniedSul, 2021.

FERRER, W. M. H. **Manual prático de metodologia da pesquisa científica**: noções básicas. Marília: UNIMAR, 2023.

FILGUEIRAS, A. C. P. **Estudo do desempenho térmico das envoltórias de edificações residenciais multipiso em Aracaju/SE**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2019.

FONTANELLA, M. S. **Percepção do ambiente térmico**: preferências subjetivas e conforto térmico. Ouro Preto: UFOP, 2009. Dissertação de mestrado.

FRAINER, J. **Metodologia científica**. Indaial: UNIASSELVI, 2020.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GONÇALVES, E. C. S. **Conforto ambiental**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S/A, 2018.

GOUVÊA, T. C. **Avaliação do conforto térmico**: uma experiência na indústria da construção. Campinas: UNICAMP, 2004. Dissertação de mestrado.

KAWANO, B. R. **Introdução à engenharia**. Indaial: UNIASSELVI, 2016.

LACCHINI, A. S. **Desempenho termoenergético de edificações industriais**. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

LAMBERTS ET.AL. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 2011.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. (Org.). **Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC, 2010.

LAMBERTS ET.AL. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2012.

LAROCCA, A. G.; PERES, M. F. P.; CATÂNIO, R. **Conforto Ambiental**. Maringá: UNICESUMAR, 2017.

LEDER ET.AL. **Arquitetura e conforto ambiental nos trópicos**: coletânea de estudos e pesquisas do LABCOM - UFPB de 2009 a 2018. João Pessoa: Editora da UFPB, 2019.

MAIA ET.AL. **Expansão urbana**: despossessão, conflitos, diversidade na produção e consumo do espaço. João Pessoa: Editora UFPB, 2020.

MAIA, A. P. **O conforto térmico**: um contexto para estudar termologia no ensino médio. Mossoró: UFERSA, 2020. Dissertação de mestrado.

MARRA, N. C. S. N. **Avaliação do conforto térmico em conjunto habitacional de interesse social – Simulação computacional com o programa Solene Microclima**. Belo Horizonte: UFMG, 2017. Dissertação de mestrado.

MENEZES, C. A. A. D. **Conforto térmico em casas de painéis pré-moldados de concreto**. São Paulo: UNICAMP, 2004. Dissertação de mestrado.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influencia da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. Concepcion: Bío, 2015. Tese de doutorado.

OLIVEIRA, L. A. D. **Conforto térmico em edificações**. Guaratinguetá: UNESP, 2003. Dissertação de mestrado.

OLIVEN, R. G. **Urbanização e mudança social no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro Eldestein de Pesquisas Sociais, 2010.

REZENDE, J. O. **Energia elétrica e sustentabilidade**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.

RODRIGUES, C. F. D. S. O processo de industrialização brasileiro: repercussão e perspectivas. **UFCG**, Campina Grande, 2017.

SANTOS, C. B. **A importância dos vãos envidraçados para o conforto térmico**. Porto: FEUP, 2021. Dissertação de mestrado.

SCHLINDWEIN, E. **Construção Civil**. Indaial: UNIASSELVI, 2009.

SILVA ET.AL. **Zonas bioclimáticas brasileiras e estratégias projetuais**, 2020.

SILVA, A. M. D. **Metodologia da pesquisa**. Fortaleza: EDUECE, 2015.

SILVA, B. H. P. da. **Simulação do comportamento térmico de paredes para as condições climáticas do município de Barreiras, Bahia**. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, 2021.

SILVA, L. M. da. **Análise do desempenho térmico em coberturas a partir de simulação computacional no município de Barreiras, Bahia**. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, 2022.

TABARELLI, G. **Influência do sistema de coberturas no comportamento térmico de edificações multifamiliares na zona bioclimática brasileira 2**. Santa Maria: UFSM, 2017.

UGREEN. **Desempenho Térmico: Como dados climáticos ajudam na avaliação?** UGREEN, 2022. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/desempenho-termico-comodados-climaticos-ajudam-na-avaliacao/>>. Acesso em: 14 agosto de 2024.

VEIGA, R. K.; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; MAZZAFFERO, L.; PEREIRA, H. A. C.; MELO, A. P.; VERSAGE, R.; SORGATO, M.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 9.0.1**. Florianópolis, julho 2020.

ANEXO A

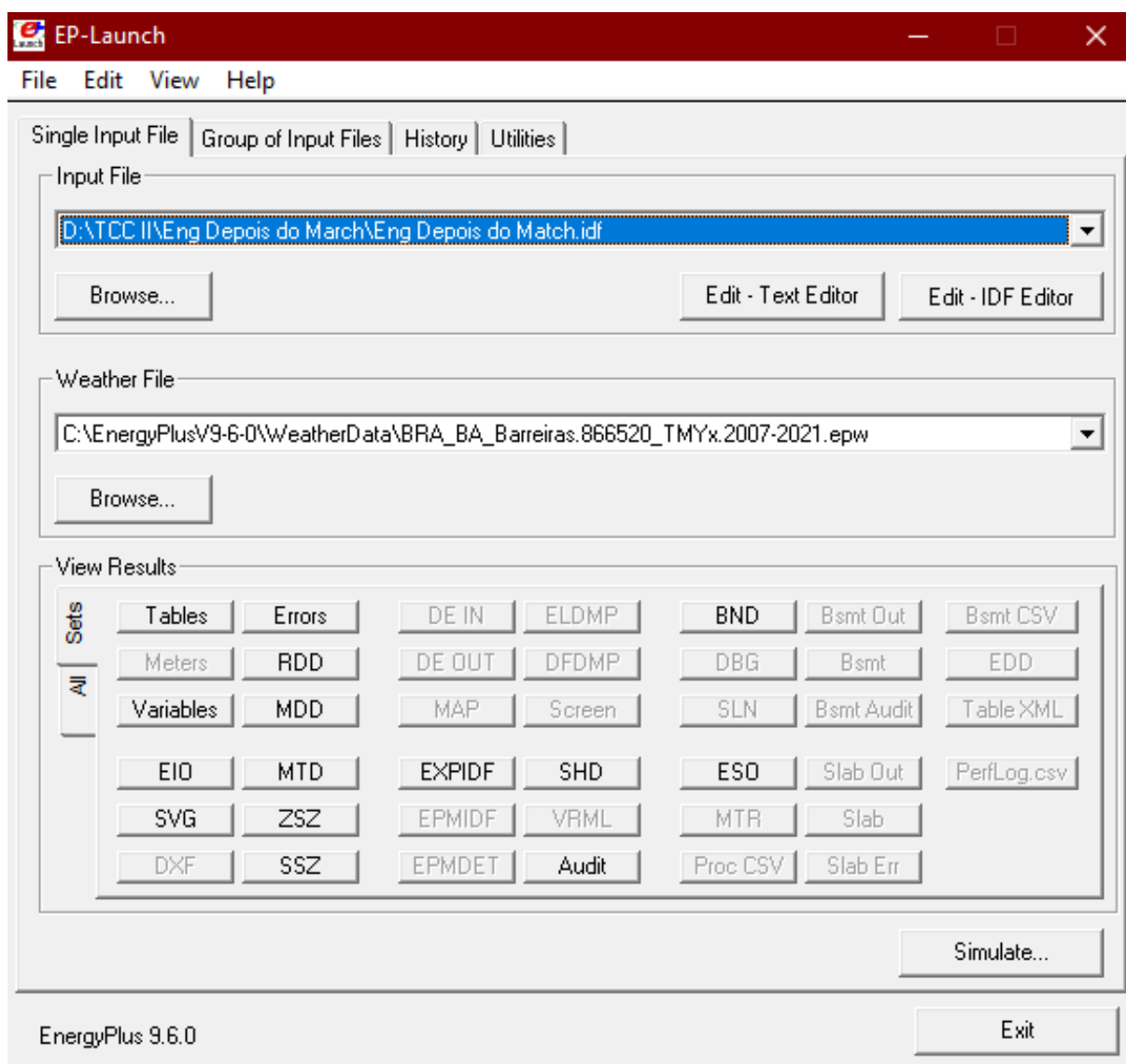
Procedimentos de Parametrização Utilizados para Simulação

Interface Inicial

A interface do EnergyPlus possui duas ferramentas principais: o EP-Launch e o IDF Editor.

- **EP-Launch:** Gerenciador de simulação que permite a seleção de arquivos de entrada e arquivos climáticos, a execução de simulações e a análise de relatórios de erro.

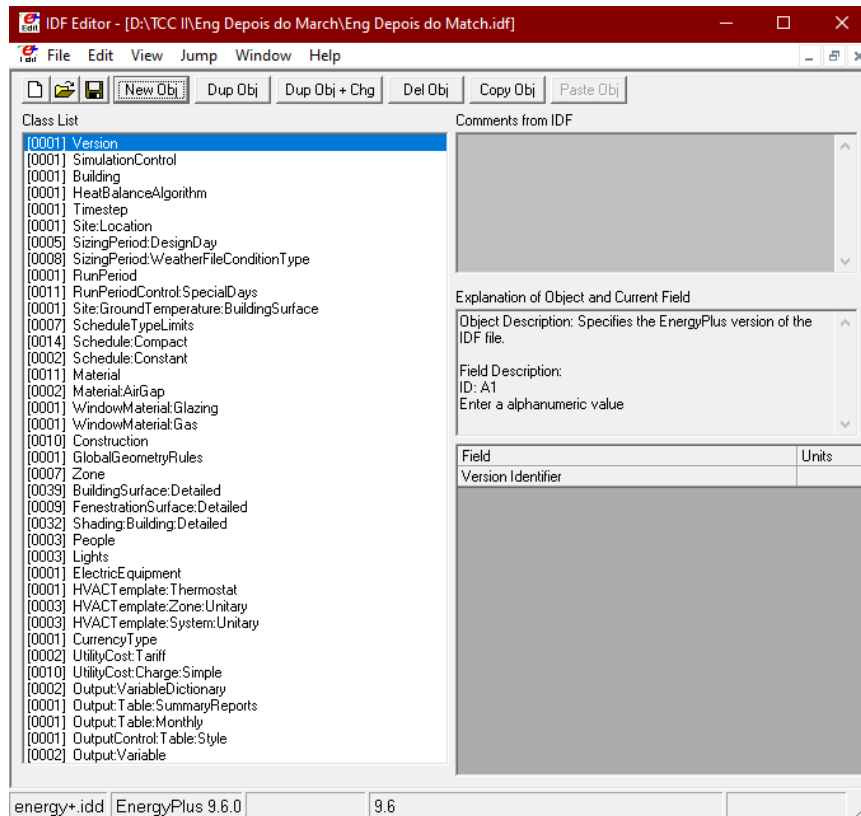
Figura 22 – EP-Launch



Fonte: O Autor.

IDF Editor: Ferramenta para criar ou editar arquivos de dados de entrada (.IDF). Permite a visualização e edição dos objetos de entrada como em uma planilha eletrônica, fornecendo listas de opções e faixas de valores válidos para facilitar a inserção de dados.

Figura 23 – Interface IDF Editor

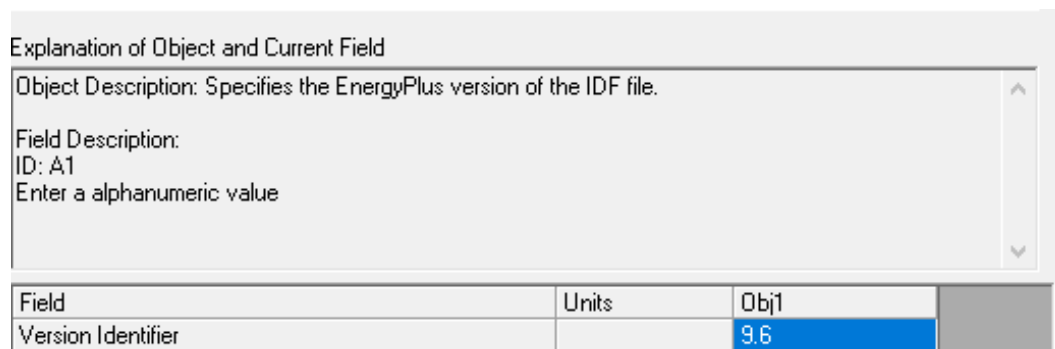


Fonte: O Autor.

Configuração de Arquivos no EnergyPlus

- **Versão (Version):** Define a versão do arquivo IDF utilizado na simulação.

Figura 24 - Version



Fonte: O Autor.

Controle de Simulação (SimulationControl): Configurações para definir os tipos de cálculos a serem realizados durante a simulação.

Figura 25 - Controle de Simulação

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Note that the following 3 fields are related to the Sizing:Zone, Sizing:System, and Sizing:Plant objects. Having these fields set to Yes but no corresponding Sizing object will not cause the sizing to be done. However, having any of these fields set to No, the corresponding Sizing object is ignored. Note also, if you want to do system sizing, you must also do zone sizing in the same run or an error will result.		
Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		Yes
Do System Sizing Calculation		Yes
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		No
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		1

Fonte: O Autor.

Construção (Building): Parâmetros da edificação, como nome, orientação, tipo de terreno e níveis de tolerância para carga térmica e temperatura.

Figura 26 - Construção

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Describes parameters that are used during the simulation of the building. There are necessary correlations between the entries for this object and some entries in the Site:WeatherStation and Site:HeightVariation objects, specifically the Terrain field. Field Description: ID: A1		
Field	Units	Obj1
Name		Casa Modelo
North Axis	deg	0
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value	W	0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteri
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Fonte: O Autor.

Intervalo de Tempo (Timestep): Fração de tempo usada nas interações de cálculos, com valor que deve ser divisor inteiro de 60.

Figura 27 - Timestep

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Specifies the "basic" timestep for the simulation. The value entered here is also known as the Zone Timestep. This is used in the Zone Heat Balance Model calculation as the driving timestep for heat transfer and load calculations.

Field Description: Number in hour: normal validity 4 to 60: 6 suggested Must be evenly divisible into 60 Allowable values include 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, and 60 Normal 6 is minimum as lower

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		4

Fonte: O Autor.

Localização (Site): Define a localização geográfica da edificação, incluindo latitude, longitude, fuso horário e altitude.

Figura 28 - Localização

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Specifies the building's location. Only one location is allowed. Weather data file location, if it exists, will override this object.

Field Description:
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Units	Obj1
Name		Barreiras_BA_BRA Design_Conditions
Latitude	deg	-12,15
Longitude	deg	-45
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	471,9

Fonte: O Autor.

Dias Típicos de Simulação (SizingPeriod): Dados climáticos para dias típicos de simulação.

Figura 29 - Dias Típicos de Simulação

Explanation of Object and Current Field						
Object Description: The design day object creates the parameters for the program to create the 24 hour weather profile that can be used for sizing as well as running to test the other simulation parameters. Parameters in this include a date (month and day), a day type (which uses the appropriate schedules for either sizing or simple tests), min/max temperatures,						
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Barreiras Ann Htg 9	Barreiras Ann Htg 9	Barreiras Ann Clg 4	Barreiras Ann Clg 15	Barreiras Ann Clg 25
Month		5	5	10	10	10
Day of Month		21	21	21	21	21
Day Type		WinterDesignDay	WinterDesignDay	SummerDesignDay	SummerDesignDay	SummerDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	13.4	14.1	38.2	37.7	37.2
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	0	0	10.7	10.7	10.7
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name						
Humidity Condition Type		Wetbulb	Wetbulb	Dewpoint	Dewpoint	Dewpoint
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	13.4	14.1	26.1	24.4	23.7
Humidity Condition Day Schedule Name						
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryA					
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg					
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC					
Barometric Pressure	Pa	95783	95783	Units: (J/kg) for Obj3	95783	95783
Wind Speed	m/s	6.71	6.71	3.35	3.35	3.35
Wind Direction	deg	0	0	0	0	0
Rain Indicator		No	No	No	No	No
Snow Indicator		No	No	No	No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No	No	No	No
Solar Model Indicator		ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky
Beam Solar Day Schedule Name						
Diffuse Solar Day Schedule Name						
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance	dimensionless					
ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance	dimensionless					
Sky Clearness		0	0	1	1	1

Fonte: O Autor.

Período de Simulação (RunPeriod): Elementos necessários para simulação de um período específico.

Figura 30 – Período de Simulação

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specify a range of dates and other parameters for a simulation. Multiple run periods may be input, but they may not overlap.		
Field Description: descriptive name (used in reporting mainly) Cannot be not blank and must be unique ID: A1		
Field	Units	Obj1
Name		Periodo
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
Begin Year		2021
End Month		12
End Day of Month		31
End Year		2021
Day of Week for Start Day		
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Treat Weather as Actual		
First Hour Interpolation Starting Values		

Fonte: O Autor.

Material (Material): Propriedades físicas e térmicas dos materiais da edificação, como densidade, calor específico e condutividade, conforme a NBR 15220.

Figura 31 - Material

Explanation of Object and Current Field								
Object Description: Regular materials described with full set of thermal properties								
Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value								
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Tijolo 9cm	TelhaCeramica	Argamassa Media	Radier Concreto 10	Piso Ceramico 1cm	PVC	Madeira
Roughness		Rough	MediumRough	MediumSmooth	Rough	Smooth	Smooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,045	0,01	0,025	0,1	0,01	0,01	0,035
Conductivity	W/m-K	0,9	0,9	1,15	1,75	0,9	0,2	0,12
Density	kg/m3	1600	1600	1600	2400	1600	1400	608
Specific Heat	J/kg-K	920	920	920	1000	920	100	230
Thermal Absorptance		0,95	0,95	0,9	0,8	0,3		
Solar Absorptance		0,8	0,8	0,4	0,7	0,4		
Visible Absorptance		0,8	0,8	0,4	0,7	0,4		

Fonte: O Autor.

Construção (Construction): Definição das camadas de materiais que compõem os fechamentos da edificação.

Figura 32 - Construção

Explanation of Object and Current Field									
Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer Up to 10 layers total, 8 for windows Enter the material name for each layer									
Field Description:									
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Exterior Roof	Interior Wall	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer		Radier Concreto 10	Argamassa Media	TelhaCeramica	Argamassa Media	Clear 3mm	Clear 3mm	Madeira	Madeira
Layer 2		Piso Ceramico 1cm	Tijolo 9cm		Tijolo 9cm				
Layer 3			F04 Wall air space r		F04 Wall air space r				
Layer 4			Tijolo 9cm		Tijolo 9cm				
Layer 5			Argamassa Media		Argamassa Media				
Layer 6									
Layer 7									
Layer 8									
Layer 9									
Layer 10									

Fonte: O Autor.

Regras de Geometria Global (GlobalGeometryRules): Parâmetros geométricos usados no EnergyPlus, identificando vértices de superfícies com coordenadas cartesianas 3D.

Figura 33 – Regras de Geometria Global

Explanation of Object and Current Field		
Object Description: Specifies the geometric rules used to describe the input of surface vertices and daylighting reference points.		
Field Description: Specified as entry for a 4 sided surface/rectangle Surfaces are specified as view ID: A1		
Field	Units	Obj1
Starting Vertex Position		UpperLeftCorner
Vertex Entry Direction		Counterclockwise
Coordinate System		Relative
Daylighting Reference Point Coordinate System		Relative
Rectangular Surface Coordinate System		Relative

Fonte: O Autor.

Zona (Zone): Características de cada zona térmica, como nome, orientação e coordenadas.

Figura 34 - Zona

Explanation of Object and Current Field								
Object Description: Defines a thermal zone of the building. Every zone contains one or more Spaces. Space is an optional input. If a Zone has no Space(s) specified in input then a default Space named <Zone Name> will be created. If some surfaces in a Zone are assigned to a space and some are not, then a default Space named <Zone Name>-Remainder will be created.								
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Q01	Sala_Cozinha	Q02	w/C01	Quintal	Telhado_Casa	Telhado_Serv
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	21,554577	11,874965	18,749965	10,162739	0	11,974965	6,691074
Y Origin	m	1	1,075	2,05	3,25	1	1	1
Z Origin	m	0	0	0	0	0	3	2,6
Type								
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m							
Volume	m3							
Floor Area	m2							
Zone Inside Convection Algorithm								
Zone Outside Convection Algorithm								
Part of Total Floor Area								

Fonte: O Autor.

Construção Detalhada da Superfície (BuildingSurface): Definição das dimensões de cada superfície da edificação a ser simulada, incluindo nome, tipo de superfície, conexão, exposição à radiação solar e ao vento, e coordenadas dos vértices. Cada superfície é visualizada de "fora-para-dentro" e a inserção dos vértices é feita no sentido anti-horário.

Figura 35 – Construção Detalhada da Superfície

Explanation of Object and Current Field											
Object Description: Allows for detailed entry of building heat transfer surfaces. Does not include subsurfaces such as windows or doors.											
Field Description: ID: N4 No default value available											
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		117857	D8526F	6896B0	A450D0	90A897	DDE1CC	1085B3	F8058C	587970	222F75
Surface Type		Floor	Wall	Ceiling	Wall	Wall	Wall	Floor	Wall	Wall	Wall
Construction Name		Interior Floor	Exterior Wall	Interior Ceiling	Exterior Wall	Exterior Wall	Exterior Wall	Exterior Floor	Interior Wall	Interior Wall	Exterior Wa
Zone Name		Q01	Q01	Q01	Q01	Q01	Q01	Q02	Q02	Q02	Q02
Space Name											
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Ground	Surface	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition									EEC056		
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	NoSun	NoSun	SunExpose
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	NoWind	NoWind	WindExpos
View Factor to Ground				0							
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	3.445388014362	3.445388014362	0.220388014362	3.445388014362	0.220388014362	0.220388014362	3.025000014362	0.075000014363	3.025000014362	3.02500001
Vertex 1 Y-coordinate	m	4.5	0	4.5	4.5	4.5	0	3.45	3.45	0.075	3.45
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3
Vertex 2 X-coordinate	m	3.445388014362	3.445388014362	0.220388014362	3.445388014362	0.220388014362	0.220388014362	3.025000014362	0.075000014363	3.025000014362	3.02500001
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0	0	4.5	4.5	0	0.075	3.45	0.075	3.45
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0.220388014362	3.445388014362	3.445388014362	0.220388014362	0.220388014362	3.445388014362	0.075000014363	0.075000014363	3.025000014362	0.07500001
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	4.5	0	4.5	0	0	0.075	0.075	3.45	3.45
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0.220388014362	3.445388014362	3.445388014362	0.220388014362	0.220388014362	3.445388014362	0.075000014363	0.075000014363	3.025000014362	0.07500001
Vertex 4 Y-coordinate	m	4.5	4.5	4.5	4.5	0	0	3.45	0.075	3.45	3.45
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	3	3	3	3	3	0	3	3	3
Vertex 5 X-coordinate	m										
Vertex 5 Y-coordinate	m										

Fonte: O Autor.

Detalhamento dos vãos de abertura (FenestrationSurfaceDetailed): constam as descrições das aberturas (portas e janelas) e suas coordenadas cartesianas.

Figura 36 -Superfície de Fenestração Detalhada

Explanation of Object and Current Field										
Object Description: Allows for detailed entry of subsurfaces (windows, doors, glass doors, tubular daylighting devices).										
Field Description:										
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		AC0608	F60220	7C0FB7	D5C1AF	DA3E19	77BA38	8D8A06	51D2AA	786A19
Surface Type		Door	Door	Window	Door	Door	Door	Door	Door	Door
Construction Name		Exterior Door	Exterior Door	Exterior Window	Interior Door	Exterior Door	Interior Door	Interior Door	Exterior Door	Exterior Door
Building Surface Name		FDC554	56FDAD	D8526F	58289D	90A897	20F1AC	7A91B0	DCB888	828F78
Outside Boundary Condition					8D8A06			D5C1AF		
View Factor to Ground										
Frame and Divider Name										
Multiplier										
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	5,097299999999	6,065000014362	3,445388014363	1,150000014363	0,220388014362	9,900000014362	8,825000014363	0,100000014363	1,012226014362
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	-0,075	1,755	0,075	1	0,125	1,05	1,675	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	2,15	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Vertex 2 X-coordinate	m	5,097299999999	6,065000014362	3,445388014363	1,150000014363	0,220388014362	9,900000014362	8,825000014363	0,100000014363	1,012226014362
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	-0,075	1,755	0,075	1	0,125	1,05	1,675	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	6,097299999999	6,865000014362	3,445388014363	1,950000014363	0,220388014362	9,900000014362	8,025000014363	0,100000014363	1,712226014362
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	-0,075	2,895	0,075	0,2	0,925	1,05	0,875	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	6,097299999999	6,865000014362	3,445388014363	1,950000014363	0,220388014362	9,900000014362	8,025000014363	0,100000014363	1,712226014362
Vertex 4 Y-coordinate	m	0	-0,075	2,895	0,075	0,2	0,925	1,05	0,875	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	2,15	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

Fonte: O Autor.