



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS EM RIO VERDE – GO

CHRISTYAN MARQUES SILVA CHAVES

Rio Verde, GO
2025
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS
EM RIO VERDE – GO**

CHRISTYAN MARQUES SILVA CHAVES

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano –
Campus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção do
Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Bruna Oliveira Campos

Rio Verde
Março, 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C512s Marques Silva Chaves, Christyan
Simulação Computacional de Edificação Residencial com
Diferentes Sistemas de Coberturas em Rio Verde – GO /
Christyan Marques Silva Chaves. Rio Verde 2025.

42f. il.

Orientadora: Prof^ª. Ma. Bruna Oliveira Campos.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220084 -
Bacharelado em Engenharia Civil - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).

1. Eficiência Energética. 2. Desempenho. 3. Sustentabilidade. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Christyan Marques Silva Chaves

Matrícula:

2018102200840025

Título do trabalho:

Simulação Computacional de Edificação Residencial com Diferentes Sistemas de Coberturas em Rio Verde - GO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

Local

18 / 03 / 2025

Data

Documento assinado digitalmente



CHRISTYAN MARQUES SILVA CHAVES

Data: 18/03/2025 18:28:46-0300

Verifique em <https://valida.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 18 dias do mês de março de dois mil e vinte e cinco , às 09:30 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Profa. Bruna Oliveira Campos (orientadora), Prof. Michell Macedo Alves e Prof. João Aires Ferreira Barbosa Júnior , para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado Simulação Computacional do Consumo Energético de uma Edificação Residencial com Diferentes Sistemas de Coberturas em Rio Verde – GO de Christyan Marques Silva Chaves , estudante do curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2018102200840025 . A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Mediador de TC.

Rio Verde, 18 de março de 2025.

Bruna Oliveira Campos

Orientadora

Michell Macedo Alves

Membro da Banca Examinadora

João Aires Ferreira Barbosa

Júnior Membro da Banca

Examinadora

Heitor Cardoso Bernardes

Mediador de TC

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruna Oliveira Campos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/03/2025 11:21:16.
- Joao Areis Ferreira Barbosa Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/03/2025 14:01:18.
- Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/03/2025 12:32:40.
- Heitor Cardoso Bernardes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/03/2025 15:04:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 14/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 687088

Código de Autenticação: ac8bdd5c5a



RESUMO

CHAVES, Christyan Marques-Silva. **Simulação Computacional de Edificação Residencial com Diferentes Sistemas de Coberturas em Rio Verde – GO. 2025.** 38 p. Monografia (Curso Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025.

A eficiência energética em edificações é fundamental para reduzir o consumo de energia e minimizar os impactos negativos no ambiente, especialmente em um contexto de crescente preocupação com a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas. Este trabalho realizou uma simulação computacional utilizando o *software Energy Plus* para analisar o consumo energético de uma edificação residencial localizada em Rio Verde – GO. O objetivo foi identificar a influência dos sistemas de coberturas cerâmica, isotérmica, fibrocimento e telhado verde no desempenho energético da edificação e propor soluções que otimizem o consumo de energia. Nesse sentido, a pergunta que norteia esta pesquisa é: Quais fatores influenciam o consumo energético de edificações e como é possível otimizar o desempenho energético utilizando diferentes sistemas de cobertura e orientações solares? Para responder a essa pergunta, foram simulados diferentes cenários, variando tipos de telhas, cerâmica, isotérmica, fibrocimento e telhado verde, e orientação solar, a fim de avaliar o comportamento térmico e o impacto dessas variáveis no consumo energético. A metodologia utilizada incluiu a modelagem detalhada da edificação, a simulação dos cenários e a análise dos resultados para identificar as principais fontes de consumo energético. Os resultados indicaram que os sistemas de coberturas com telha isotérmica e telha cerâmica são bem equivalentes quando se trata de conforto térmico. Entretanto, a análise detalhou que a telha isotérmica apresentou uma leve vantagem na redução do consumo de energia em condições de altas temperaturas, enquanto a telha cerâmica se destacou em situações de temperaturas mais amenas. Em relação à orientação solar da edificação, a fachada frontal voltada para o sul demonstrou os melhores resultados em termos de conforto térmico e eficiência energética, enquanto a fachada oeste apresentou os piores resultados, devido à maior incidência solar direta durante o período da tarde, aumentando a carga térmica no interior da edificação. A simulação energética demonstrou ser uma ferramenta eficaz para prever o desempenho energético de edificações e propor diretrizes para promover construções mais sustentáveis e econômicas. O estudo evidencia que, ao aplicar tecnologias de simulação na fase de projeto, é possível prever e otimizar o consumo de energia.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Desempenho, Sustentabilidade

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões Gerais da Edificação	27
Tabela 2. Ambientes e Zonas Térmicas.....	27
Tabela 3. Propriedades dos materiais	28
Tabela 4. Energia consumida mensalmente para condicionamento de ar nos Cenários A, B, C e D	31
Tabela 5. Comportamento de chuva e temperatura ao longo do ano.	32
Tabela 6. Comparativo de custo para implantação e manutenção dos cenários.....	35
Tabela 7. Consumo energético para ar-condicionado conforme posição da fachada frontal ..	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo do processo de transferência de calor por condução	14
Figura 2. Exemplo do processo de transferência de calor por convecção	16
Figura 3. Exemplo do processo de transferência de calor por radiação	17
Figura 4. Diagrama dos softwares de simulação computacional	21
Figura 5. Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa	24
Figura 6. Localização da edificação simulada.....	25
Figura 7. Planta baixa da edificação simulada	26
Figura 8. Zonas térmicas da edificação simulada.....	27
Figura 9. Cargas internas da edificação simulada	29
Figura 10. Consumo energético para condicionamento de ar entre os Cenários A, B, C e D.	33

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BEN – Balanço Energético Nacional

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

ISO – *International Organization for Standardization*

MME – Ministério de Minas e Energia

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

HVAC - *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivo Geral.....	8
1.2	Objetivos Específicos	8
1.3	Justificativa.....	8
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1	Envoltório	10
2.3	Mecanismos de Transferência de Calor.....	13
2.3.1	Transferência de calor por condução	14
2.3.2	Transferência de calor por convecção	15
2.3.3	Transferência de calor por radiação.....	16
2.3.4	Transferência de calor em superfícies e tetos	17
2.4	Simulação Computacional em Edificações	18
2.4.1	EnergyPlus	18
2.4.2	SketchUp e Open Studio	19
2.5	Procel Edifica	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Determinação dos Parâmetros Iniciais da Simulação	25
3.1.1	Localização da edificação simulada	25
3.1.2	Dimensões e elementos construtivos da edificação.....	25
3.1.3	Cargas internas da edificação.....	28
3.1.4	Simulações Energéticas	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um dos pilares do desenvolvimento sustentável, especialmente no setor da construção civil, onde o consumo de energia tem impacto direto tanto no ambiente quanto na economia. Reduzir o consumo energético em edificações é uma prioridade, considerando o esgotamento dos recursos naturais e a intensificação das mudanças climáticas. Nesse sentido, a otimização do uso de energia em construções não é apenas uma questão econômica, mas também uma responsabilidade ambiental.

O setor de edificações, responsável por uma parte significativa do consumo de energia no Brasil, tem experimentado um aumento contínuo nesse indicador. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), o consumo energético nas residências cresceu 4,1% entre 2022 e 2023. Esse aumento se deve ao crescimento populacional, ao aumento das edificações e à crescente demanda por conforto térmico e o uso de dispositivos eletrônicos. Nesse contexto, a construção civil tem um papel crucial ao incorporar práticas que promovam a eficiência energética desde o projeto até a execução das obras.

Além disso, o Comitê Brasileiro da Construção Civil da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vem atualizando normas importantes relacionadas ao desempenho energético de edificações, como a NBR 15215-2 (ABNT, 2024a), que trata de iluminação natural. Tais atualizações são fundamentais para acompanhar as novas tecnologias e práticas construtivas, garantindo edificações mais eficientes e sustentáveis.

Este estudo foca na análise da edificação residencial a qual está localizada no município de Rio Verde - GO. A proposta é identificar por meio da alteração dos sistemas de cobertura e orientação solar qual cenário apresenta os maiores consumos e por meio disso analisar qual a melhor posição para esta edificação e qual o melhor sistema de cobertura cerâmica, isotérmica, fibrocimento ou telhado verde, visto que esses fatores influenciam diretamente no consumo energético. Isso será realizado levando em consideração o custo do material de cada cenário o que permitirá uma análise não apenas dos fatores cobertura e orientação, mas também do custo para aquisição dos mesmos.

Com base nos resultados dessa investigação, foram compreendidas as diretrizes para melhorar o desempenho energético da edificação, buscando uma maior eficiência e redução de custos. As recomendações podem envolver desde a escolha de materiais mais adequados até alterações na orientação da edificação, visando maximizar o conforto térmico.

1.1 Objetivo Geral

Analisar o consumo energético de uma edificação residencial por meio da simulação computacional dos sistemas de coberturas, cerâmica, isotérmica, fibrocimento e telhado verde e com base nisso propor soluções técnicas que reduzam o consumo energético.

1.2 Objetivos Específicos

Compreender o comportamento térmico de uma edificação residencial localizada em Rio Verde – GO, considerando os sistemas de cobertura, telhas isotérmicas, cerâmicas, fibrocimento e telhado verde.

Estudar o impacto das orientações solares na eficiência energética da edificação, identificando as configurações mais favoráveis para reduzir o consumo de energia.

Propor soluções práticas para otimização do consumo energético, alinhadas a utilização de materiais com boa condutividade térmica.

Avaliar o uso do *software EnergyPlus* como ferramenta para previsão e análise do desempenho energético de edificações em diferentes cenários.

1.3 Justificativa

O consumo energético nas edificações tem se tornado uma preocupação crescente, especialmente em regiões que experimentam um aumento significativo na demanda por energia elétrica, como é o caso de Rio Verde – GO. Neste cenário, torna-se essencial adotar estratégias que promovam a eficiência energética nas construções, tanto para reduzir custos operacionais quanto para mitigar os impactos negativos no ambiente. A simulação computacional surge como uma ferramenta estratégica que permite prever e otimizar o desempenho energético de uma edificação antes mesmo de sua construção, possibilitando a escolha de materiais e soluções arquitetônicas mais adequadas.

A justificativa deste trabalho, que se concentra na simulação computacional do consumo energético de uma edificação em Rio Verde – GO, está diretamente relacionada à urgência de se buscar soluções mais sustentáveis para o setor da construção civil.

O setor residencial tem se destacado como um dos maiores consumidores de energia elétrica no Brasil, representando aproximadamente 30% do consumo total em 2022, ficando atrás apenas do setor industrial, que contribuiu com 36,2% do consumo total (BRSA, 2022).

Em cidades em crescimento, como Rio Verde - GO, o aumento populacional e a expansão urbana intensificam a demanda por energia no setor residencial. De acordo com o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de Rio Verde atingiu 225.696 habitantes, um aumento de 21,83% em relação a 2010 (IBGE, 2022).

Ao utilizar *software* de simulação energética, o presente trabalho permite antecipar o desempenho da edificação em relação ao seu consumo energético, possibilitando a tomada de decisões fundamentadas. Isso garante que, ainda na fase de projeto, sejam feitas escolhas que levem à redução do consumo energético ao longo da vida útil da edificação, gerando economia financeira para os moradores e contribuindo para a redução dos impactos negativos no ambiente da construção.

Além disso, a simulação oferece uma visão abrangente sobre as melhores práticas construtivas, especialmente em regiões com climas específicos como o de Rio Verde - GO, que requerem soluções adequadas para conforto térmico e eficiência energética. A análise computacional permite testar e comparar diferentes cenários de uso de materiais e tecnologias, propondo diretrizes que poderão ser aplicadas em outras construções residenciais da região.

Os programas de simulação computacional são utilizados para a análise de desempenho energético, permitindo que diferentes propostas, como sistemas de iluminação, materiais construtivos e climatização, sejam testados e avaliados. De acordo com Nobre *et al.* (2022), essa tecnologia possibilita a previsão do comportamento térmico de edificações antes mesmo de sua construção, permitindo otimizações que resultam em maior eficiência energética e menor impacto negativo ambiental.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Diante da crescente demanda por edificações energeticamente eficientes, é fundamental que o setor da construção civil siga normas específicas que regulamentam o uso racional de energia. No Brasil, essas normas são desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e visam garantir que as edificações alcancem padrões de eficiência energética, minimizando o consumo de recursos e os impactos negativos no ambiente.

Uma das normas mais importantes nesse contexto é a NBR ISO 50001 - Sistema de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso, que estabelece uma estrutura para implementar, manter e melhorar o desempenho energético de uma organização ou edificação. Essa norma orienta na criação de indicadores de desempenho energético (IDE), além de destacar a necessidade de monitoramento, medição e análise do uso de energia, com o objetivo

de identificar oportunidades de redução de consumo e garantir a eficiência contínua (ABNT, 2021).

Outra norma relevante é a NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, que define requisitos para o desempenho térmico de edificações habitacionais, assegurando enfatiza o uso de materiais e soluções construtivas que favoreçam o isolamento térmico e o aproveitamento da ventilação e iluminação natural, reduzindo a necessidade de climatização artificial e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica (ABNT, 2021).

Além disso, as normas NBR 16401-1 (ABNT, 2020a) e NBR 16401-2 (ABNT, 2020b), que tratam dos Sistemas de ar-condicionado e ventilação para sistemas centralizados e individuais, respectivamente, oferecem diretrizes detalhadas para o dimensionamento e operação eficiente desses sistemas. Essas normas visam garantir que os sistemas de climatização sejam projetados e instalados de forma eficiente, reduzindo o consumo de energia e prolongando a vida útil dos equipamentos por meio de manutenção adequada (ABNT, 2020ab).

Por fim, a NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão estabelece critérios para garantir a segurança e eficiência nas instalações elétricas de baixa tensão. A norma trata, entre outros aspectos, do dimensionamento correto de circuitos e cabos, o que contribui para a redução das perdas elétricas e aumento da eficiência do sistema, além de recomendar o uso de dispositivos de proteção e controle do consumo elétrico, visando à eficiência energética e segurança e conforto térmico (ABNT, 2004).

Essas normas são importantes para promover a segurança e eficiência energética nas edificações, permitindo que construtores e projetistas adotem soluções que contribuam para a economia de energia e a sustentabilidade ambiental. A aplicação adequada dessas diretrizes, associada a ferramentas como a simulação computacional do desempenho energético, oferece um caminho para a construção de edificações mais sustentáveis e com menor impacto negativo ambiental.

2.1 Envoltório

O envoltório de uma edificação desempenha um papel fundamental na regulação do desempenho térmico, pois controla a interação entre o ambiente interno e as condições climáticas externas.

Almeida e Ribeiro (2019) indicam que o desempenho térmico do envoltório é uma das principais variáveis a serem consideradas em projetos de edificações, especialmente em regiões

com climas severos. Ainda os autores supracitados, defendem que o uso de vidros de alto desempenho e revestimentos com propriedades térmicas adequadas pode reduzir em até 30% a demanda por sistemas de climatização.

Além disso, conforme Mello e Silva (2021), o envoltório deve ser projetado considerando o contexto climático e as especificidades de cada zona bioclimática.

Dessa forma, a conformidade com as normas vigentes e a utilização de ferramentas de simulação computacional, como destaca Bandeira (2021), são estratégias eficazes para avaliar e otimizar o desempenho térmico de edificações. A legislação brasileira fornece diretrizes claras sobre o comportamento térmico dos elementos do envoltório, sendo necessário aplicar essas recomendações para garantir edificações energeticamente eficientes e confortáveis.

2.2 Materiais

O isolamento térmico é fundamental para reduzir o consumo de energia em edificações, especialmente em regiões com climas extremos. Segundo Spinelli *et al.* (2017), o uso de materiais com baixa condutividade térmica em telhados e paredes externas é crucial para alcançar conforto térmico com o menor gasto energético possível. A NBR 15220 (ABNT, 2024c) continua sendo uma das principais normas brasileiras que orientam o projeto de envoltórios, definindo requisitos mínimos de transmitância térmica (U) para coberturas e paredes externas em cada zona bioclimática do Brasil. Essa norma é complementar à NBR 15575 (ABNT, 2021) que especifica os critérios para o desempenho térmico e energético das edificações habitacionais, estabelecendo padrões de qualidade para a construção civil

De acordo com Thomaz (2019), a eficiência energética de uma construção pode ser significativamente influenciada por fatores como a área e o tipo de material das janelas, o tipo de revestimento utilizado nas paredes e as proteções solares aplicadas. A escolha desses elementos pode reduzir as cargas térmicas e aumentar o conforto dos ocupantes.

Elementos construtivos, como paredes, coberturas, portas e janelas, desempenham um papel central no conforto térmico de uma edificação. Pimenta *et al.* (2015) destacam que quanto menor for a condutividade térmica e maior a capacidade térmica dos materiais usados nesses elementos, menor será a troca de calor. A NBR 15575 (ABNT, 2024c) reforça a importância de utilizar materiais com baixa condutividade térmica e alta capacidade térmica, assegurando que as edificações ofereçam um desempenho energético eficiente. Essa norma também estipula os parâmetros para o isolamento adequado de portas e janelas, considerando tanto o conforto térmico quanto a redução no uso de sistemas de climatização artificial.

As coberturas frias que são sistemas de telhados projetados para reduzir a absorção de calor é uma solução econômica e eficaz para reduzir o consumo energético em ambientes climatizados e melhorar o conforto térmico em ambientes não climatizados. Synnefa, Santamouris e Akbari (2019) evidenciam que essas coberturas refletem mais radiação solar e absorvem menos calor, reduzindo as temperaturas superficiais e, conseqüentemente, a carga térmica interna. A NBR 16401-1 Sistemas de Ar-Condicionado e Ventilação, Parte 1: Sistemas Centralizados (ABNT, 2024a) e a NBR 16401-2 Sistemas Individuais (ABNT, 2024b), enfatizam a necessidade de estratégias passivas, como o uso de coberturas frias, para complementar os sistemas de climatização, resultando em uma redução significativa no consumo de energia.

Além disso, Stavrakakis, Androutsopoulos e Vyörykkä (2016) destacam que em espaços não climatizados, as coberturas frias diminuem as temperaturas internas máximas, promovendo maior conforto térmico. A NBR 15220 (ABNT, 2024) também abrange o uso de coberturas e revestimentos com alta refletividade, que ajudam a mitigar o ganho térmico nas edificações e melhorar o desempenho energético global.

Além de melhorar o conforto térmico e a eficiência energética das edificações, a adoção de estratégias como o uso de materiais de baixa condutividade térmica e coberturas frias traz vantagens ambientais e econômicas. Ao reduzir o consumo de energia, diminui-se também a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigar o aquecimento global. Do ponto de vista econômico, a conformidade com as normas da NBR 50001 (ABNT, 2018) – Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos, ajuda a reduzir os custos operacionais, promovendo a sustentabilidade tanto ambiental quanto financeira.

O uso de coberturas frias é uma abordagem econômica, passiva e eficaz para reduzir o consumo de energia em ambientes climatizados, além de diminuir o desconforto térmico e as temperaturas internas máximas em espaços que não são climatizados. Estudos recentes mostram que coberturas frias, ao refletirem a radiação solar e absorverem menos calor, contribuem para a redução das temperaturas superficiais, resultando em menores demandas energéticas para climatização (NIKHADE, 2024).

De acordo com Santamouris *et al.* (2020) e Levinson e Akbari (2022), essas coberturas podem reduzir significativamente a temperatura interna e o uso de ar condicionado, o que as torna uma solução viável em áreas urbanas e climas quentes.

2.3 Mecanismos de Transferência de Calor

A transferência de energia térmica ocorre por três mecanismos principais: condução, convecção e radiação. Todos esses processos dependem de uma diferença de temperatura e acontecem do ponto mais quente para o mais frio, exceto na radiação térmica, que pode ocorrer em ambas as direções. (INCROPERA *et al.*, 2017)

A condução ocorre dentro de sólidos ou entre corpos em contato direto, onde o calor se transfere através das partículas de um material. Segundo Pirró (2018), a condução pode ser entendida como a transmissão de energia entre partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância, resultando de suas interações. Um exemplo é o aquecimento de uma parede, onde o calor é transferido da superfície exposta ao sol para as camadas internas.

A convecção é a transferência de calor que ocorre em fluidos (líquidos ou gases) em movimento, envolvendo tanto a condução nas camadas mais próximas à superfície quanto o transporte de calor pelas correntes de fluido. Conforme Pirró (2018), a convecção pode ser dividida em natural e forçada. A convecção natural ocorre devido às diferenças de densidade no fluido provocadas por variações de temperatura, enquanto a convecção forçada é causada por influências externas, como ventiladores ou bombas.

A radiação térmica é o único dos três processos que não requer um meio material para ocorrer, sendo possível no vácuo. A radiação ocorre através da emissão de ondas eletromagnéticas por uma superfície. De acordo com Pirró (2018), a radiação térmica pode transferir energia tanto de uma superfície mais fria para uma mais quente quanto o contrário, mas, no equilíbrio térmico, o fluxo líquido de energia será sempre da superfície mais quente para a mais fria.

A compreensão dos mecanismos de transferência de calor condução, convecção e radiação é essencial para projetar edificações que promovam conforto térmico e eficiência energética. A análise adequada desses processos permite a seleção de materiais e técnicas construtivas que minimizam a troca indesejada de calor, otimizando o desempenho térmico das edificações. Por exemplo, a escolha de materiais com alta resistência térmica pode reduzir significativamente a perda de calor, resultando em menor consumo de energia para aquecimento ou resfriamento dos ambientes (PCC, 2024). Além disso, estratégias como o uso de isolantes térmicos eficazes e o controle da ventilação natural são fundamentais para manter temperaturas internas confortáveis, independentemente das condições climáticas externas. A implementação

dessas soluções contribui para a sustentabilidade energética das edificações e para o bem-estar dos ocupantes.

2.3.1 Transferência de calor por condução

Coelho (2019) defende que a condução é a forma de transferência de calor que ocorre em uma substância estática devido unicamente a um gradiente de temperatura nela existente. Já de acordo com Silva e Andrade (2017), a condução é o processo pelo qual a energia térmica se move de uma região com temperatura elevada para outra com temperatura inferior, ocorrendo dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso, ou entre diferentes meios que estão em contato direto. Esse mecanismo pode ser visualizado como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas dentro de uma substância, devido às interações entre elas.

Conforme Pereira e Costa (2018), ao considerar uma barra de aço cilíndrica feita de um material conhecido, cuja superfície lateral está isolada e suas extremidades são mantidas a temperaturas diferentes, sendo $T_1 > T_2$, a diferença de temperatura provoca a transferência de calor por condução de T_1 para T_2 . A taxa de transferência de calor q_x pode ser determinada conhecendo-se as variáveis de diferença de temperatura ΔT , o comprimento da barra Δx e a área da seção transversal A .

Diante ao exposto, é ilustrado na Figura 1 o processo de transferência de calor por condução em uma barra de aço onde se visualiza um local com temperatura mais elevada (fogo) e outro com temperatura inferior (mão) e diante disso o processo de transferência de calor por meio da barra da temperatura mais elevada para a temperatura inferior.

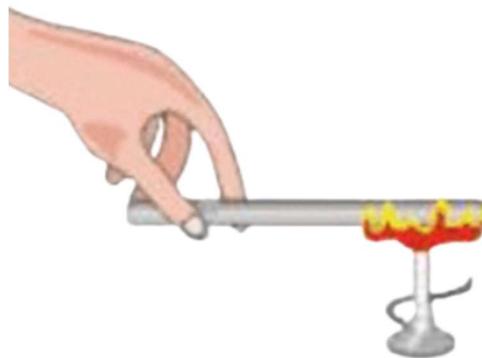


Figura 1. Exemplo do processo de transferência de calor por condução

Fonte: Adaptado de Conexão Escola, 2025. Disponível em:

https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino_fundamental/conducao-conveccao-e-irradiacao-como-diferencia-las/

A transferência de calor que se deu através dos componentes da barra é chamada de condução e é explicada pela lei de Fourier. Esta lei, em sua expressão unidimensional, obtida pela Equação (1):

$$q_x = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

q_x = taxa de transferência de calor na direção x (W)

k = condutividade térmica (W/m.K)

dT = variação (T) que corresponde a temperatura

dx = variação (x) que corresponde a coordenada na direção em que ocorre o processo de transferência de calor.

O sinal negativo da variável k se dá pois o calor é sempre transferido na direção decrescente da temperatura.

2.3.2 Transferência de calor por convecção

Segundo Çengel e Ghajar (2020), a convecção é o processo pelo qual a energia é transferida entre uma superfície sólida e um fluido em movimento, seja ele líquido ou gasoso. Esse processo envolve a combinação da condução, que ocorre nas camadas de fluido adjacentes à superfície, e do movimento do fluido, que transporta calor para diferentes regiões. A convecção é um mecanismo fundamental na transferência de calor, especialmente em aplicações de engenharia térmica, como sistemas de climatização, trocadores de calor e processos de resfriamento, onde a eficiência depende diretamente das propriedades do fluido e da superfície.

Considerando um fluido de velocidade V e temperatura T_∞ escoando sobre uma superfície de forma arbitrária e de área A_s presumimos que essa superfície está em temperatura uniforme, T_s , e se $T_s \neq T_\infty$, implica-se que a transferência por convecção irá ocorrer. Devido as condições de escoamento variarem de ponto a ponto sobre essa superfície, q^n e h também variam ao longo da superfície.

Diante ao exposto, na Figura 2 é apresentado por meio da ilustração o processo de transferência de calor por convecção em que se visualiza o aquecimento do fluido (água) e por meio desse fluido o calor é transferido para diversas regiões.

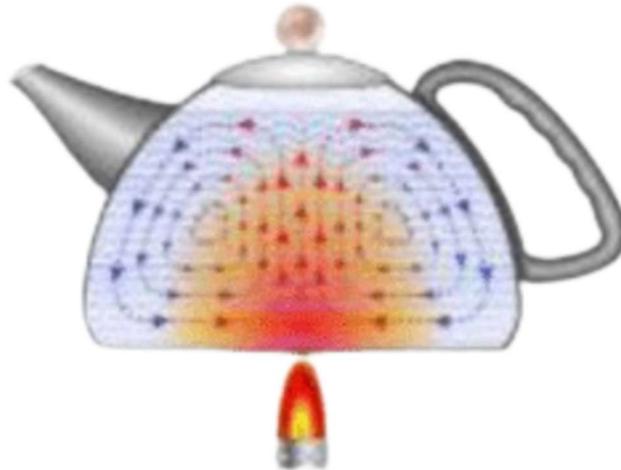


Figura 2. Exemplo do processo de transferência de calor por convecção

Fonte: Adaptado de Conexão Escola, 2025. Disponível em:

https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino_fundamental/conducao-conveccao-e-irradiacao-como-diferencia-las/

A taxa de transferência de calor total q pode ser obtida pela integração do fluxo local sobre toda a superfície. Definindo um coeficiente médio h para toda a superfície, diante disto, a taxa total de transferência de calor também pode ser representada conforme Incropera e Dewitt (2018) na Equação 2:

$$q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde:

q = taxa de transferência de calor (W)

h = coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m².k)

A = área da superfície onde se ocorre a transferência de calor

T_s = temperatura da superfície (°C)

T_∞ = temperatura do fluido suficiente longe da superfície (°C)

2.3.3 Transferência de calor por radiação

A intensidade com que a energia é emitida pela matéria depende da temperatura do corpo, e o fenômeno pode ser observado no aquecimento de uma barra de ferro que muda de cor à medida que sua temperatura aumenta. Como o processo de radiação térmica ocorre por

meio de ondas eletromagnéticas, ele não necessita de um meio material, sendo que os meios materiais geralmente dificultam o processo (COELHO, 2019).

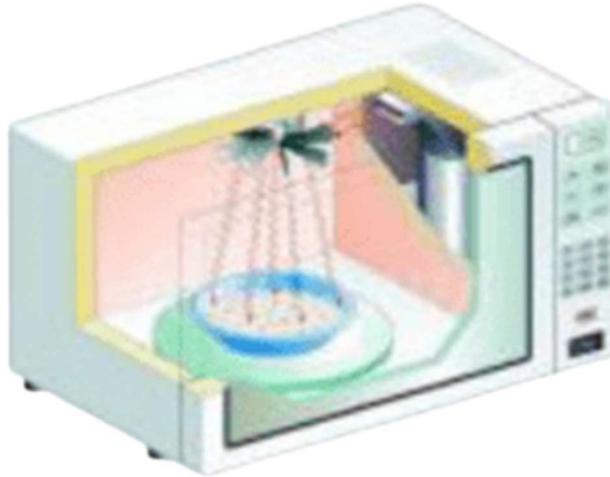


Figura 3. Exemplo do processo de transferência de calor por radiação

Fonte: Adaptado de Conexão Escola, 2025. Disponível em:

https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino_fundamental/conducao-conveccao-e-irradiacao-como-diferencia-las/

Conforme Zhang e Li (2020), a radiação é a energia liberada pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas devido a alterações nas disposições eletrônicas de átomos ou moléculas. O calor transferido por radiação não requer um meio material intermediário e pode ocorrer no vácuo sem perda significativa de intensidade. Segundo Wang e Chen (2019), a radiação térmica liberada por superfícies tem sua origem na energia térmica da matéria e a taxa de emissão de energia por unidade de área (W/m^2) é chamada de poder emissivo, conforme previsto pela lei de Stefan-Boltzmann. Existe-se um limite superior para o poder emissivo, que é previsto pela lei de *Stefan-Boltzmann* o qual é ilustrado pela Equação (3).

$$E_b = \sigma \cdot T_s^4 \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

E_b = emissão de energia por unidade de área devido a radiação (W/m^2)

T_s = temperatura absoluta da superfície (K)

σ = constante de *Stefan-Boltzmann* ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

2.3.4 Transferência de calor em superfícies e tetos

De conformidade com Incropera *et al.*, (2017) a taxa de transferência de calor através de qualquer seção de parede ou teto de uma edificação pode ser determinada pela Equação (4).

$$Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o) = \frac{A \cdot (T_i - T_o)}{R}$$

Eq. (4)

Onde:

Q= taxa de transferência de calor (W)

T_i = Temperatura interna do ar (°C)

T_o = Temperatura externa do ar (°C)

A= área de transferência de calor

U= coeficiente global de transferência de calor (fator U)

R= $1/U$ é a resistência global unitária (valor R)

2.4 Simulação Computacional em Edificações

Segundo Conceição (2022), progresso da tecnologia da informação, com o surgimento de *softwares* especializados para várias áreas, teve impacto no procedimento de planejamento de construções. Há ferramentas de modelagem e simulação gráfica que podem ajudar na elaboração do projeto arquitetônico, analisando diferentes soluções para garantir que a proposta final atenda aos padrões de eficiência e qualidade ambiental.

Em conformidade com Didoné e Pereira (2010), a tarefa de se fazer uma avaliação do desempenho energético em uma edificação é considerada uma atividade complexa, pois está circundada de uma grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares.

2.4.1 EnergyPlus

Desenvolvido para o Escritório de Tecnologia de Edificações (BTO) do Departamento Americano de Energia (DOE) o programa *EnergyPlus* é um programa de acesso gratuito em sua versão estudante, amplamente utilizado para predizer consumo de energia (para aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação e outras cargas). Um dos principais objetivos do *EnergyPlus* é a criação de uma estrutura modular organizada que torne mais fácil a adição de recursos e *links* para outros programas (DOE, 2017).

Com base nos atributos físicos de um edifício, incluindo sua estrutura e sistemas mecânicos associados, o *EnergyPlus* realiza cálculos para determinar as necessidades de aquecimento e resfriamento, garantindo que os valores de controle térmico sejam mantidos

dentro dos parâmetros desejados. Além disso, o *EnergyPlus* avalia o desempenho ao longo de um sistema de climatização secundário e o consumo de energia dos equipamentos principais da planta. (DOE, 2017).

Vinculado aos dados de construção da edificação inseridos pelo usuário, levando em consideração as características físicas da mesma, arquivo climático da região onde a habitação se encontra, período anual e os sistemas mecânicos associados, o programa *EnergyPlus* faz o cálculo das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento necessários para manter o conforto térmico como também a energia consumida para tal ato (LBNL, 2010). Desta forma, devido a consideração de inúmeros detalhes relacionados ao desempenho térmico e energético das edificações, o *EnergyPlus* se destaca como uma ferramenta robusta que oferece simulações realistas. Esses detalhes incluem a capacidade de simular com precisão a transferência de calor por condução, convecção e radiação através de superfícies, a interação entre o ambiente externo e interno, além de modelos complexos de sistemas de climatização, ventilação, iluminação e aproveitamento de energia solar (LBNL, 2010).

O *EnergyPlus* permite a análise de diferentes cenários climáticos e comportamentais ao longo do tempo, ajustando-se às condições de ocupação da edificação e aos padrões de uso de energia. Isso torna o *software* uma escolha para arquitetos e engenheiros que buscam otimizar o consumo de energia de suas edificações, garantindo que as simulações não apenas reflitam o comportamento térmico real dos materiais e sistemas, mas também ajudem a prever o impacto de mudanças no projeto sobre o desempenho energético. Por conta dessas capacidades, o *EnergyPlus* tem sido utilizado em simulações de eficiência energética e projetos de construções sustentáveis (USDOE, 2024).

2.4.2 SketchUp e Open Studio

O *SketchUp* é uma ferramenta utilizada para modelagem 3D, sendo especialmente útil para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, incluindo a modelagem de edifícios. Este *software* permite a criação de desenhos e extrusão de plantas simples, bem como a modelagem de escadas e construção de telhados de forma eficiente e intuitiva (SKETCHUP, 2025.)

Segundo Gonçalves e Silva (2021), a interface gráfica do *SketchUp* é uma das suas principais vantagens, pois oferece uma interação direta com o usuário. Através de dispositivos de entrada, como o teclado e o mouse, o usuário pode acessar facilmente comandos, definir configurações e inserir valores nas caixas de diálogo, o que facilita a manipulação de modelos 3D complexos com precisão e rapidez.

O *software SketchUp* se destaca por sua agilidade e simplicidade na criação de objetos e estudos volumétricos. Além disso, a qualidade das apresentações e a capacidade de intercambiar dados com diversos programas CAD são características importantes que tornam o *SketchUp* uma ferramenta versátil para profissionais de arquitetura e design. Sua facilidade de uso também o coloca como uma das ferramentas preferidas para modelagem 3D. (SKETCHUP, 2025.) Conforme Silva e Oliveira (2020), a intuitividade da interface e a compatibilidade com outros *softwares* de CAD fazem do *SketchUp* uma escolha ideal para estudos preliminares e apresentações de projetos arquitetônicos.

Já o *OpenStudio* é conhecido como uma ferramenta de código aberto desenvolvida pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) para auxiliar na modelagem e simulação energética de edificações, oferecendo uma plataforma robusta para profissionais de arquitetura, engenharia e áreas correlatas. Sua principal finalidade é proporcionar análises detalhadas de desempenho térmico, consumo energético e eficiência operacional em diferentes estágios do ciclo de vida de um edifício. O *OpenStudio* é compatível com o mecanismo de simulação *EnergyPlus*, amplamente reconhecido por sua capacidade de realizar simulações avançadas e precisas de sistemas de climatização, iluminação, materiais construtivos e estratégias de operação (GONÇALVES e SILVA, 2021). A interface gráfica do *OpenStudio* se destaca pela sua intuitividade, facilitando o uso da ferramenta mesmo por profissionais sem conhecimentos avançados em programação.

Conforme Silva e Oliveira (2020), a integração do *OpenStudio* com o *SketchUp* representa um diferencial significativo, pois permite a modelagem geométrica detalhada no *SketchUp* e a exportação dos dados para simulações no *OpenStudio*. Essa integração simplifica a definição de parâmetros físicos e térmicos do edifício, assegurando que a modelagem e a simulação ocorram de forma contínua e eficiente.

Além da modelagem geométrica, o *OpenStudio* oferece funcionalidades específicas para a definição e simulação de sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), iluminação e materiais construtivos. Segundo Gonçalves e Silva (2021), a segmentação de edifícios em zonas térmicas permite análises de cargas térmicas diferenciadas por ambiente, possibilitando o desenvolvimento de estratégias customizadas para otimização do consumo energético e do conforto ambiental. Essa abordagem permite uma avaliação detalhada de diferentes cenários, facilitando a tomada de decisões fundamentadas para alcançar melhores resultados em termos de eficiência energética.

A flexibilidade do *OpenStudio* também se manifesta através da possibilidade de automação de processos por meio de *scripts* em Ruby, o que otimiza tarefas repetitivas e

permite personalizar simulações complexas (SILVA e OLIVEIRA, 2020). Os resultados gerados podem ser visualizados em relatórios detalhados e gráficos, fornecendo informações analíticas sobre o desempenho energético do edifício. Esses relatórios auxiliam na identificação de pontos críticos e na proposição de soluções para maximizar a eficiência energética.

O desenvolvimento contínuo do OpenStudio, impulsionado por uma comunidade ativa de desenvolvedores e usuários, assegura que a ferramenta permaneça atualizada com as tendências e necessidades do setor de construção sustentável (GONÇALVES e SILVA, 2021). Essa característica torna o OpenStudio uma plataforma adaptável e escalável, capaz de atender a projetos de diversas complexidades e escalas.

Conforme supracitado, o OpenStudio, ao ser integrado com o *SketchUp* e compatível com o *EnergyPlus*, constitui uma solução científica robusta para simulações energéticas em edificações. Sua capacidade de realizar análises detalhadas e a flexibilidade oferecida por sua interface intuitiva e funcionalidades avançadas fazem dele uma ferramenta essencial para a concepção e avaliação de edifícios sustentáveis e eficientes. Tais características atendem às exigências de práticas construtivas responsáveis, orientadas para a eficiência energética e a redução do impacto ambiental.

Na Figura 4 é apresentado um diagrama que ilustra e descreve a função de cada software na simulação computacional da edificação em que o SketchUp é responsável pela modelagem 3D, OpenStudio pela transferência de dados de modelagem para o EnergyPlus e por fim realizado o cálculo das cargas de aquecimento e resfriamento e a energia gasta para tal ato.

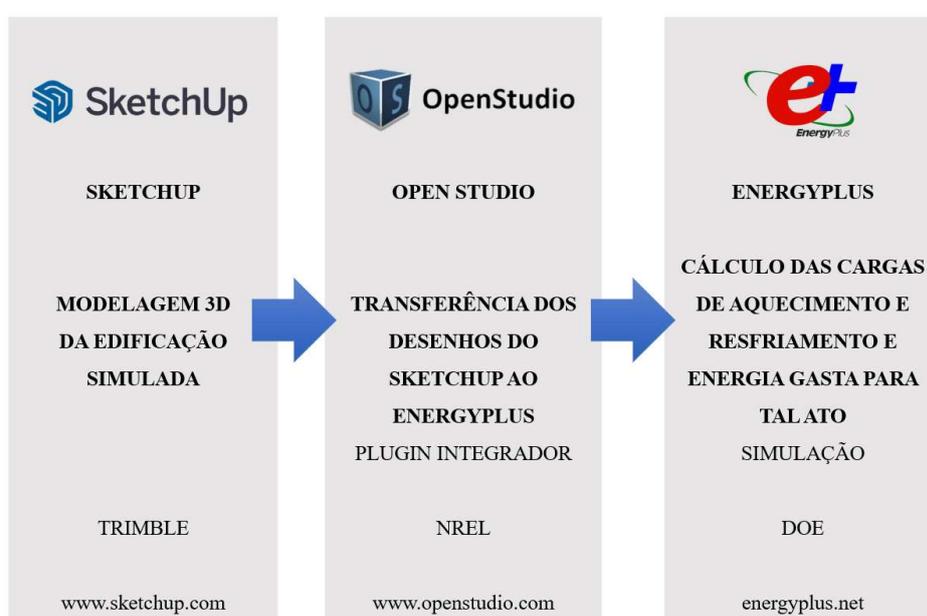


Figura 4. Diagrama dos softwares de simulação computacional

Fonte: Adaptado de Sousa, 2022

Além dos softwares EnergyPlus e OpenStudio que são programas de simulação energética mais relevantes e mais utilizados por sua capacidade de realizar simulações computacionais detalhadas do desempenho energético de edifícios, também se tem outros *softwares* disponíveis para esse fim como DesignBuilder, que oferece uma interface amigável para o EnergyPlus, facilitando a modelagem e a análise do consumo energético; o TRNSYS, que se destaca pela simulação de sistemas energéticos complexos, incluindo o comportamento térmico de edificações e o uso de fontes renováveis; e o IES VE, uma plataforma abrangente que integra diversas ferramentas de simulação para avaliar o desempenho ambiental e energético de edifícios. Outros exemplos incluem o eQuest, com foco em sistemas HVAC e análise de consumo de energia, o HOT2000, que se especializa em edificações residenciais no contexto canadense, e o DesignBuilder, que também oferece uma robusta análise térmica e energética. Esses softwares, quando utilizados de forma integrada, permitem uma avaliação mais precisa e eficiente, auxiliando no desenvolvimento de soluções sustentáveis e na redução do impacto ambiental das construções.

2.5 Procel Edifica

Em conformidade com Librelotto (2023) o Selo Procel Edificações é uma ferramenta de adesão voluntária que visa reconhecer as construções com as melhores classificações em eficiência energética dentro de uma categoria específica, incentivando os consumidores a escolherem e utilizarem imóveis mais eficientes. O setor de edificações é de grande relevância no mercado de energia elétrica, pois é responsável por aproximadamente 50% do consumo de eletricidade no Brasil.

Os objetivos da certificação Procel Edifica:

- Informar o nível de eficiência energética das edificações;
- Redução do consumo energético;
- Incentivo as inovações tecnológicas eficientes;
- Garantia de edificações energeticamente mais eficientes;

Diante a isso, o sistema avalia 5 categorias da edificação, sendo eles: envoltória, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar, ganhos internos e consumo energético.

Conforme o *site* PBE Edifica (2023) esse programa já avaliou mais de 240 edificações desde 2009, dentre as edificações comerciais, de serviços e públicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvida uma pesquisa de campo de cunho exploratório onde se teve como enfoque a formulação de questões acerca da realização da simulação termo energética. O objeto de estudo foi uma edificação residencial com área construída de 101,13 m², composta por sala de estar/ tv, sala de jantar, cozinha gourmet, banheiro, dois quartos, suíte e circulação, localizada na Rua João Barbosa de Faria, quadra 19, lote 25, parte B no Bairro Parque das Laranjeiras – Prolongamento na cidade de Rio Verde - Goiás. Fez-se a análise do consumo energético por meio da simulação computacional energética com o auxílio dos *softwares* *SketchUp* (versão 2023), *OpenStudio* (versão 1.6.0) e do *software* *EnergyPlus* (versão 8.7.0).

Schaedler (2024), em seu estudo utilizou uma metodologia baseada em simulação computacional para avaliar o desempenho termoenergético de uma residência de 69 m² de área construída em alvenaria. Seu trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de diferentes estratégias construtivas e materiais, considerando os avanços tecnológicos disponíveis na época. Para isso, ele empregou modelagem tridimensional e ferramentas de simulação energética, permitindo uma abordagem detalhada e precisa sobre o comportamento térmico da edificação ao longo do tempo. Sua pesquisa contribui significativamente para a engenharia civil e arquitetura, fornecendo diretrizes para o projeto de edificações mais eficientes e sustentáveis.

Dentre os *softwares* utilizados por Schaedler (2024), destacam-se o *Google SketchUp* e o *OpenStudio*. O *SketchUp* é uma ferramenta amplamente usada para modelagem tridimensional, permitindo a criação de geometrias detalhadas e facilitando a visualização do projeto. Já o *OpenStudio* atua como um intermediário entre o modelo 3D e os *softwares* de simulação energética, permitindo a configuração de materiais, sistemas de climatização e condições ambientais. Juntos, esses programas possibilitam a integração com o *EnergyPlus*, *software* responsável pela execução das simulações térmicas e energéticas da edificação.

No presente estudo, foi adotada abordagem semelhante à de Schaedler (2014), utilizando a simulação computacional para avaliar o desempenho termoenergético da residência localizada em Rio Verde – GO. Assim, a escolha dos *softwares* *Google SketchUp*, *OpenStudio* e *EnergyPlus* foi essencial para a análise térmica detalhada do projeto, garantindo a integração

dos fatores climáticos locais com a modelagem tridimensional e os cálculos energéticos necessários para um estudo aprofundado da eficiência térmica da edificação.

Desta maneira, para que este trabalho fosse realizado, dividiu-se nas seguintes etapas (Figura 5):

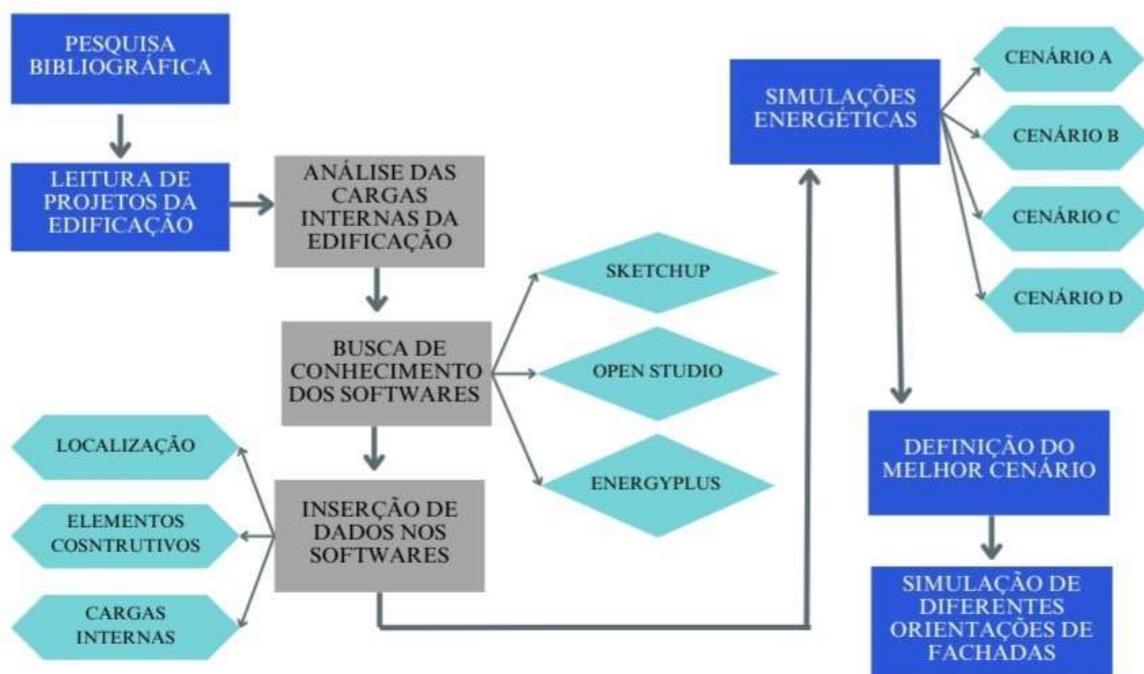


Figura 5. Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa

Fonte: Da pesquisa, 2024

- (1) Busca nas bases de dados dos periódicos *capes* e *web of science* por artigos científicos relacionados ao tema;
- (2) Leitura de projeto arquitetônico da edificação e elétrico;
- (3) Análise das cargas internas da edificação;
- (4) Exploração e busca de conhecimento acerca dos *softwares SketchUp, OpenStudio e EnergyPlus*;
- (5) Lançamento dos dados de entrada nos *softwares* para a realização de diferentes simulações computacionais. Sendo esses:
Localização da edificação;
Dimensões e elementos construtivos da edificação; Cargas internas da edificação;
- (6) Realização de simulações energéticas;
- (7) Análise dos resultados das simulações energéticas;

Desta forma, a análise do consumo energético foi realizada através da elaboração de tabelas e gráficos com os dados obtidos por meio do relatório emitido pelo *software EnergyPlus*

e diante disso foi proposto diretrizes para a melhoria do consumo energético da edificação analisada.

3.1 Determinação dos Parâmetros Iniciais da Simulação

3.1.1 Localização da edificação simulada

A residência simulada está localizada na cidade de Rio Verde – GO, nas coordenadas de latitude $17^{\circ} 47' 53''$ S e longitude $50^{\circ} 55' 41''$ W e altitude de 715 m, conforme indicado na Figura 6. A posição geográfica de uma edificação é uma variável importante em sua simulação, pois quando não se tem o devido cuidado com as especificidades do local de implantação como a orientação solar, estas edificações podem incorrer em residências de baixa eficiência energética, gerando assim um desconforto aos habitantes e um consumo maior de energia.



Figura 6. Localização da edificação simulada
Fonte: Google Earth, 2025

3.1.2 Dimensões e elementos construtivos da edificação

A edificação utilizada para simulação é composta por 09 ambientes sendo esses: sala de estar/ jantar, cozinha, banheiro, lavanderia, dois quartos, uma suíte e circulação para acesso a suíte, quartos e banheiro. A Figura 7 apresenta a planta baixa da edificação.

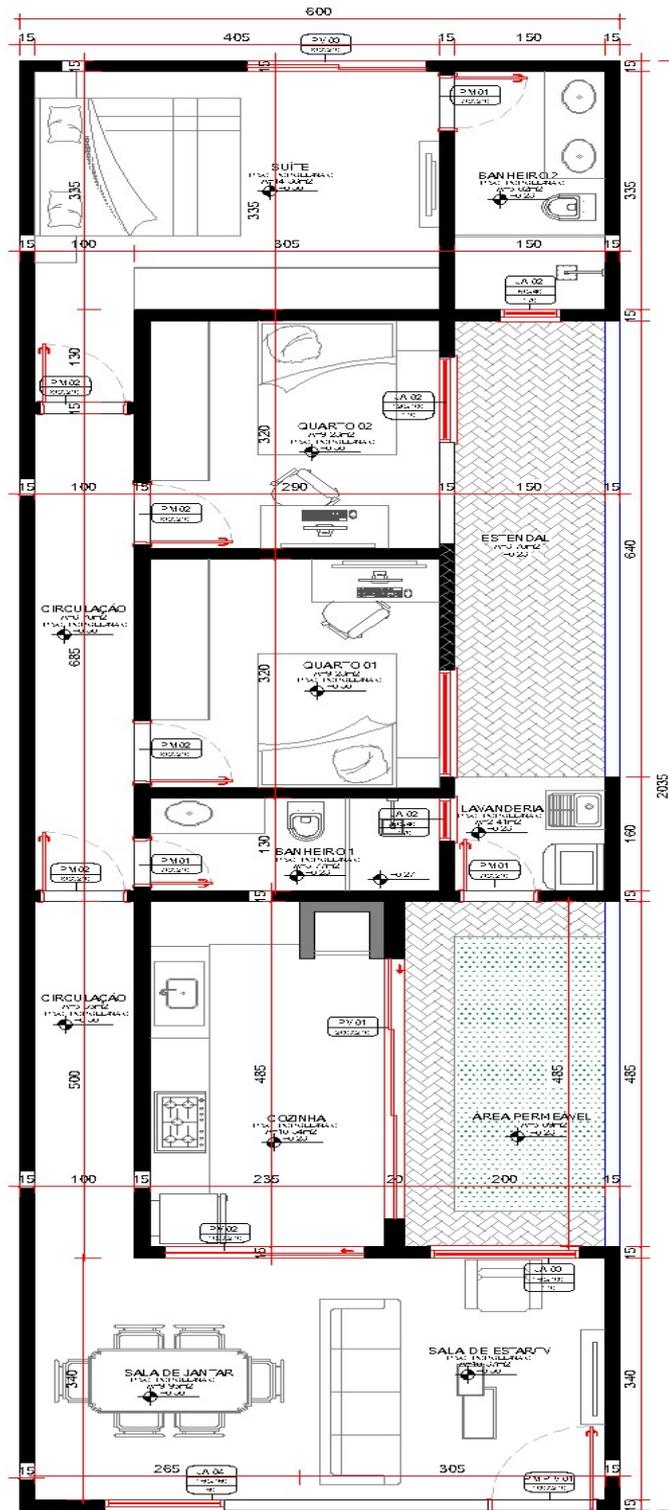


Figura 7. Planta baixa da edificação simulada
Fonte: Da pesquisa, 2024

A Tabela 1 apresenta as dimensões gerais da edificação enquanto a Tabela 2 informa os ambientes que compõe a edificação, sua área em metro quadrado (m²) e sua respectiva zona térmica e cores as quais as correspondem e que são apresentadas na Figura 8.

Tabela 1. Dimensões Gerais da Edificação

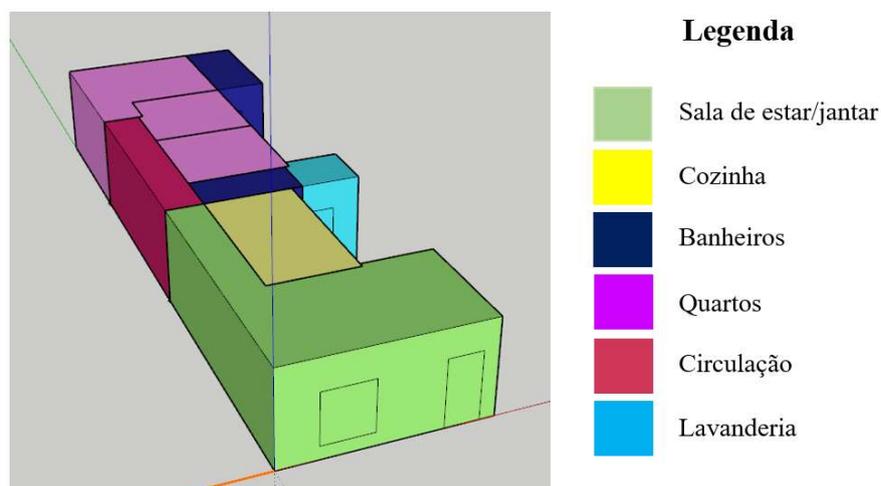
Descrição	Dimensão
Área total da edificação (m ²)	101,11
Perímetro (m)	60,30
Comprimento (m)	20,35
Largura (m)	6,00
Pé direito (m)	2,90

Fonte: Da pesquisa, 2024

Tabela 2. Ambientes e Zonas Térmicas

Zonas térmicas	Ambientes	Área (m ²)
Verde	Sala de Estar / Jantar	20,82
	Circulação 1	5,35
Amarelo	Cozinha	10,34
Azul Escuro	Banheiro	3,77
	Banheiro	5,02
Rosa Escuro	Circulação 2	6,70
Azul Claro	Lavanderia	2,41
Rosa	Quarto 1	9,28
	Quarto 2	9,28
	Suíte	14,86

Fonte: Da pesquisa, 2024

**Figura 8.** Zonas térmicas da edificação simulada

Fonte: Da pesquisa, 2024

A Figura 8 ilustra, por meio de diferentes cores, as zonas térmicas presentes na edificação simulada, levando em consideração o seu uso, sendo assim representadas da seguinte forma: verde (sala de estar/ jantar e circulação vinculada a cozinha), amarelo (cozinha), azul escuro (banheiros), rosa escuro (circulação sem vínculo com a cozinha), azul claro (lavanderia), rosa (quartos).

Para realizar a simulação, configurou-se as paredes internas e externas de tijolos cerâmicos com reboco em argamassa, piso cerâmico, laje em concreto, telhas de concreto, portas internas em madeira oca, portas externas em madeira sólida, janelas em alumínio com vidros escuros, conforme a propriedade de cada material, representados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades dos materiais

Descrição	Espessura (m)	Condutividade térmica (λ)	Material
		(W/m.K)	
Paredes Externas	0,20	0,90	Tijolo cerâmico 6 furos
Paredes Internas	0,15	0,90	Tijolo cerâmico 6 furos
Reboco	0,025	1,15	Argamassa
Piso	0,15	1,05	Cerâmica
Laje	0,2	1,75	Concreto Fck 25 MPa
Telha 1	0,025	0,95	Fibrocimento
Telha 2	0,10	0,02	Aço e Poliuretano
Telha 3	0,07	0,84	Telha cerâmica
Telha 4	0,10	0,40	Telhado verde
Portas Internas	0,03	0,15	Madeira oca
Portas Externas	0,03	0,15	Madeira sólida
Janelas	0,2	226,00	Alumínio
Vidros	0,003	1,00	Vidro temperado

Fonte: Da pesquisa, 2024

3.1.3 Cargas internas da edificação

É compreendido por carga interna a taxa de energia liberada por pessoas, equipamentos elétricos e térmicos, iluminação e infiltração de ar na zona. Na Figura 9 é exposto as cargas internas da edificação de estudo no que diz respeito aos equipamentos elétricos, térmicos e iluminação em que são apresentados os equipamentos e seus respectivos ambientes nas quantidades e referidas potências.

Cargas Internas da Edificação							
Aparelhos Elétricos				Iluminação			
Local	Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Local	Equipamento	Quantidade	Potência (W)
Sala de Estar / Jantar	Televisor	1	300	Sala de Estar / Jantar	Lâmpada	3	150
	Receptor	1	30	Cozinha Gourmet	Lâmpada	2	60
	Fonte	1	60		Circulação	Lâmpada	5
	Condicionador de Ar	1	1600	Banheiro 1	Lâmpada	1	30
Cozinha	Rádio	1	50	Lavanderia	Lâmpada	1	30
	Refrigerador	1	250	Quarto 1	Lâmpada	1	30
	Fogão	1	200	Quarto 2	Lâmpada	1	30
	Microondas	1	750	Quarto Suíte	Lâmpada	1	30
	Liquidificador	1	200	Banheiro 2	Lâmpada	2	30
	Batedeira	1	200				
	Torradeira	1	800				
	Coifa	1	300				
Banheiro 01	Filtro Elétrico	1	70				
	Chuveiro	1	5000				
	Secador	1	1000				
Lavanderia	Máquina Lava e Seca	1	2000				
Quarto 01	Computador	1	300				
	Condicionador de Ar	1	1600				
Quarto 02	Televisor	1	300				
	Computador	1	300				
	Condicionador de Ar	1	1600				
Suíte	Televisor	1	300				
	Computador	1	300				
	Condicionador de Ar	1	1600				
Banheiro 02	Televisor	1	300				
	Chuveiro	1	5000				
	Secador	1	1000				
	Total		25410		Total		1590

Figura 9. Cargas internas da edificação simulada

Fonte: Adaptado de Schaedler, 2014.

Para que seja feita a simulação energética pelo *EnergyPlus* é necessário que seja inserido nos dados de entrada a quantidade de pessoas que habitam a residência, pois esta informação também é considerada uma carga térmica e tem influência nos resultados. Para a simulação realizadas foram consideradas quatro pessoas vivendo na residência, essas sendo distribuídas da seguinte maneira: uma pessoa na sala, uma no quarto, uma na cozinha e outra na suíte.

Deve-se ressaltar que para a simulação realizada não foi considerada energia necessária para aquecimento do ambiente, emissão de calor de fontes como a chama do fogão, calor gerado na cocção dos alimentos ou no aquecimento da água do chuveiro.

O *EnergyPlus* ajusta os sistemas de refrigeração e aquecimento de acordo com as demandas, visando garantir o conforto térmico, levando em consideração as características estruturais do edifício, os padrões climáticos locais, a quantidade de pessoas na residência e as fontes internas de calor.

Conforme foi explicito anteriormente, o *EnergyPlus* precisa que seja fornecido de maneira manual o arquivo climático do local onde se encontra a edificação. Sendo assim, foi utilizado para simulação o arquivo climático da cidade de Rio Verde – GO correspondente ao ano de 2022 (versão mais recente) que é um arquivo de extensão “*edw.*” o qual é portador de todos os dados climáticos do local e é fornecido geralmente por universidades que possuem estações meteorológicas. (CLIMATE ONEBUILDIN, 2024)

3.1.4 Simulações Energéticas

Para efeitos de simulação, foram considerados quatro cenários simulados ao longo de todas as estações do ano. O arquivo climático foi inserido no *software* conforme explicado no item 3.1.3, de modo a garantir a precisão das simulações. Com base nos dados *Climate OneBuilding* (2024) os cenários analisados foram:

- **Cenário A:** Foi simulada uma edificação com telhado de telha fibrocimento, um material convencionalmente utilizado em construções residenciais no Brasil, com condutividade térmica (λ) de 0,95 W/m.K, identificado como Telha 1, na Tabela 3.

- **Cenário B:** Para este cenário, o telhado de telha isotérmica, um material cada vez mais utilizado em projetos que exigem maior conforto térmico, com condutividade térmica (λ) de 0,022 W/m-K, identificado como Telha 2, na Tabela 3.

- **Cenário C:** Para ampliar a análise, foi considerado um terceiro cenário em que o telhado de telhas cerâmicas, material amplamente utilizado em regiões quentes do Brasil por suas boas propriedades térmicas. As telhas cerâmicas possuem uma condutividade térmica (λ) de 0,84 W/m-K, identificado como Telha 3, na Tabela 3. Este tipo de cobertura é popular por proporcionar bom isolamento térmico em climas quentes, embora apresente um desempenho inferior em regiões frias, onde a inércia térmica é menos desejada.

- **Cenário D:** Finalmente, um quarto cenário foi simulado com um telhado verde, uma cobertura vegetal, que combina isolamento térmico com benefícios ecológicos, como retenção de água da chuva e redução da temperatura ambiente externa. Para este cenário, foi considerado um sistema com substrato de 10 cm de espessura e uma condutividade térmica média de 0,40 W/m-K, identificado como Telha 4, na Tabela 3. Esse tipo de cobertura tem ganhado popularidade por melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia em climatização, especialmente em áreas urbanas.

Para a inserção dos parâmetros dos materiais no *software* de simulação, foram consultadas fichas técnicas de fabricantes renomados: Brasilit para as telhas de fibrocimento, (BRASILIT, 2025) Isoart para as telhas isotérmicas (ISOART, 2025), Cerâmica Portobello, (PORTOBELLO, 2025) para as telhas cerâmicas e Ecotelhado para o telhado verde, (ECOTELHADO, 2025). Essas fichas forneceram as informações de condutividade térmica, espessura e outras propriedades relevantes para o cálculo do desempenho energético de cada material.

Os quatro cenários permitem uma análise abrangente das diferentes alternativas de coberturas e seu impacto no consumo de energia, especialmente para climatização. A

comparação entre telhados mais tradicionais, como o de fibrocimento e cerâmica, e soluções mais modernas, como o telhado isotérmico e o telhado verde, possibilita avaliar as melhores práticas de construção com foco na eficiência energética e no conforto térmico ao longo do ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso do *EnergyPlus* no estudo foi uma escolha viável e relevante, considerando a necessidade de avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações sob diferentes cenários de cobertura e orientação solar. Esse *software* é amplamente utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores para modelar o consumo de energia em edificações, incluindo aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação.

A Tabela 4 apresenta os dados correspondentes a energia consumida para condicionamento de ar em (kW/h) mensalmente a fim de manter o conforto térmico da edificação para os cenários A, B, C e D. Para tal, o *software EnergyPlus* considera uma condição de temperatura ambiente de 23°C.

Tabela 4. Energia consumida mensalmente para condicionamento de ar nos Cenários A, B, C e D

Meses	Energia Consumida (kW/h)			
	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Janeiro	44,41	19,57	37,28	33,75
Fevereiro	40,64	16,84	34,49	30,66
Março	37,91	15,21	30,66	27,93
Abril	36,08	16,25	34,29	28,87
Mai	7,39	1,58	10,47	6,48
Junho	0,56	0,03	1,79	0,79
Julho	0,07	0,01	0,46	0,18
Agosto	12,28	7,33	17,78	12,46
Setembro	30,15	17,38	33,37	26,97
Outubro	55,91	30,61	54,3	46,94
Novembro	53,91	26,53	47,39	42,61
Dezembro	57,16	28,51	52,45	46,04
Total	376,47	179,85	354,73	303,68

Fonte: Da Pesquisa, 2024

Diante ao apresentado na Tabela 4 a primeira análise que se é possível analisar a partir dos dados é de que se observa um consumo energético menor para os meses junho e julho. Conforme dados coletados do *site* Clima Tempo referentes a cidade de Rio Verde – GO. Nesses meses a cidade apresenta temperaturas mais baixas chegando a temperaturas mínimas de 16°C

e 17°C respectivamente e baixa precipitação o que pode ocasionar o pouco uso do equipamento de ar-condicionado para resfriamento conforme é ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5. Comportamento de chuva e temperatura ao longo do ano.

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	20°	28°	240
Fevereiro	19°	27°	206
Março	20°	28°	217
Abril	19°	28°	94
Mai	17°	27°	28
Junho	16°	26°	10
Julho	15°	27°	4
Agosto	17°	29°	11
Setembro	19°	31°	54
Outubro	20°	30°	145
Novembro	20°	29°	221
Dezembro	20°	28°	245

Fonte: ClimaTempo, 2024

Esse resultado destaca a eficiência térmica superior da telha isotérmica, que minimiza a troca de calor entre o ambiente externo e interno, reduzindo a necessidade de climatização artificial.

Dessa forma, a comparação entre os cenários indica que, enquanto a telha isotérmica proporciona uma melhor eficiência energética, a telha cerâmica pode representar uma alternativa viável dependendo das condições climáticas locais e das preferências construtivas. Essa análise reforça a importância da escolha adequada dos materiais de cobertura para otimizar o consumo energético e garantir maior conforto térmico ao longo do ano.

Na Figura 10 é ilustrado de forma gráfico o consumo energético para os quatro cenários analisados.

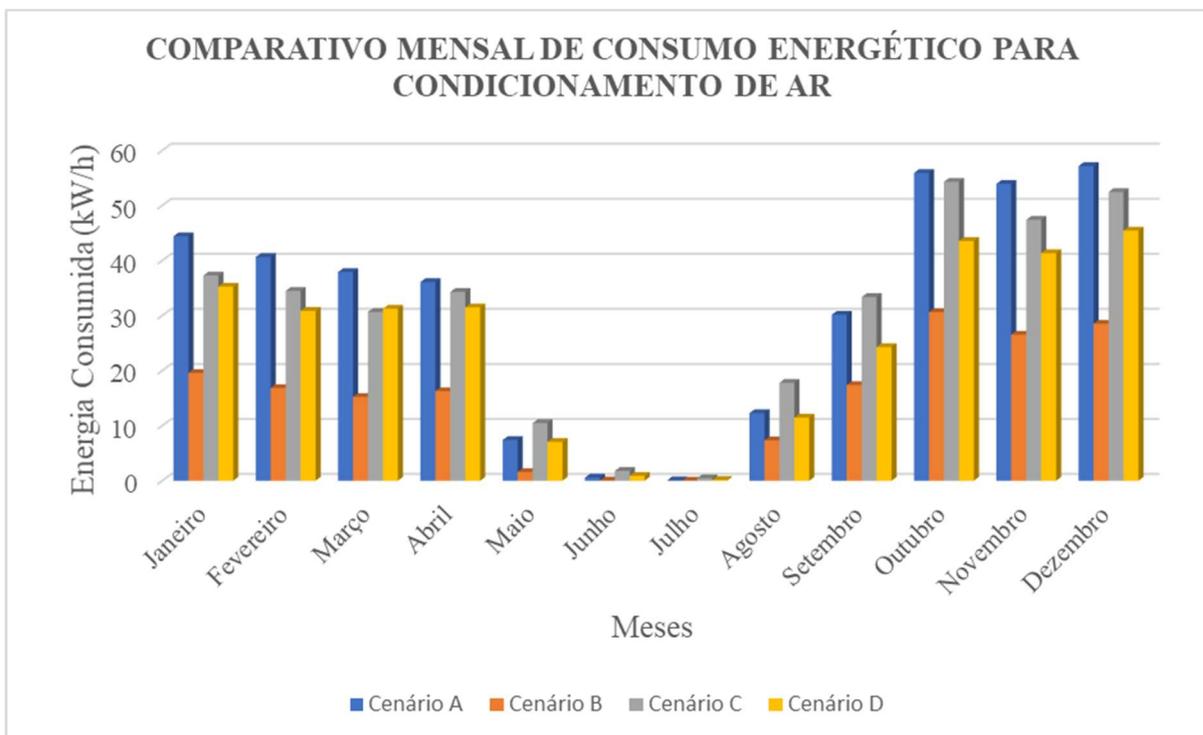


Figura 10. Consumo energético para condicionamento de ar entre os Cenários A, B, C e D

Fonte: Autor, 2024

Em uma análise mais aprofundada da Figura 10 se observa que nos meses de agosto e setembro o consumo do cenário C se apresenta maior que os demais cenários, isso ocorre pelo fato de que nessa etapa do ano este sistema de cobertura se expõe a uma transição de estação em que se encerra o inverno e se inicia a primavera. Embora as temperaturas durante o dia já sejam mais altas em setembro, as noites ainda podem ser frias, o que causa um acúmulo de calor nas construções durante o dia. O calor do dia é armazenado pelos telhados cerâmicos, que, por serem materiais com alta capacidade térmica, demoram mais para esfriar durante a noite.

Segundo o ilustrado na Figura 6 é perceptível de que o cenário “B” apresenta um menor consumo energético o qual é representado pela telha isotérmica e os cenários “A” e “C” são bastante semelhantes mesmo com o cenário “C” apresentando valores de consumo menores, sendo assim, vale ressaltar que os materiais do cenário “A” e cenário “C” são materiais utilizados devido ao seu valor de mercado ser inferior ao valor do material utilizado no cenário “B”.

Nessa vertente, conforme o ilustrado na Figura 6, o cenário “D”, destacou o uso do telhado verde como uma solução inovadora e eficiente, apresentando um consumo energético inferior aos cenários “A” e “C” em alguns meses do ano, isto combinando isolamento térmico com benefícios ecológicos, como retenção de água da chuva e redução da temperatura ambiente

externa. A configuração utilizada considerou um substrato de 10 cm de espessura com condutividade térmica de 0,40 W/m-K, evidenciando o potencial desse sistema para melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia em climatização, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas. Essa abordagem proporciona maior precisão nos cálculos de desempenho energético e na avaliação comparativa entre os diferentes tipos de coberturas.

Na Tabela 6 é apresentado valores para implantação dos cenários citados no trabalho e também de seu custo para manutenção. Importante ressaltar que os valores de implantação de cada sistema foram retirados da base SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil) elaborada pela Caixa Econômica Federal que reúne informações acerca dos custos da construção civil no Brasil. Já o valor de manutenção para cada cenário foi inserido pelo autor por meio de uma análise para cada tipo de cobertura e suas respectivas manutenções necessárias para o período de um ano, considerando para esse valor (troca de telha, limpeza, impermeabilização e funcionabilidade do sistema operacional).

Tabela 6. Comparativo de custo para implantação e manutenção dos cenários.

CENÁRIO A - TELHA FIBROCIMENTO					
ITEM	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL	ORIGEM
TELHAMENTO COM TELHA FIBROCIMENTO	M2	R\$ 48,86	101,11	R\$ 4.940,23	SINAPI
INSTALAÇÃO DE TESOURA EM AÇO PARA VÃOS MENORES QUE 6,00M (CONSIDERADO VÃO 2,40M)	UN	R\$ 178,43	9,00	R\$ 1.605,87	SINAPI
INSTALAÇÃO DE CALHA EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO	M	R\$ 54,56	59,00	R\$ 3.219,04	SINAPI
INSTALAÇÃO DE RUFO METÁLICO EM AÇO GALVANIZADO	M	R\$ 44,46	59,00	R\$ 2.623,14	SINAPI
OUTROS ITENS (MANUTENÇÃO PERIODICA SEMESTRAL)	VB	R\$ 2.500,00	1,00	R\$ 2.500,00	AUTOR
TOTAL				R\$ 12.388,28	
CENÁRIO B - TELHA ISOTÉRMICA					
ITEM	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL	ORIGEM
TELHAMENTO COM TELHA ISOTÉRMICA (TERMOACUSTICA)	M2	153,91	101,11	R\$ 15.561,84	SINAPI
INSTALAÇÃO DE TESOURA EM AÇO PARA VÃOS MENORES QUE 6,00M (CONSIDERADO VÃO 2,40M)	UN	178,43	9,00	R\$ 1.605,87	SINAPI
INSTALAÇÃO DE CALHA EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO	M	54,56	59,00	R\$ 3.219,04	SINAPI
INSTALAÇÃO DE RUFO METÁLICO EM AÇO GALVANIZADO	M	44,46	59,00	R\$ 2.623,14	SINAPI
OUTROS ITENS (MANUTENÇÃO PERIODICA)	VB	R\$ 750,00	2,00	R\$ 1.500,00	AUTOR
TOTAL				R\$ 23.009,89	
CENÁRIO C - TELHA CERÂMICA					
ITEM	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL	ORIGEM
TELHAMENTO COM TELHA CERÂMICA DE ENCAIXE	M2	43,27	101,11	R\$ 4.375,03	SINAPI
INSTALAÇÃO DE TESOURA EM AÇO PARA VÃOS MENORES QUE 6,00M (CONSIDERADO VÃO 2,40M)	UN	178,43	9,00	R\$ 1.605,87	SINAPI
INSTALAÇÃO DE CALHA EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO	M	54,56	59,00	R\$ 3.219,04	SINAPI
INSTALAÇÃO DE RUFO METÁLICO EM AÇO GALVANIZADO	M	44,46	59,00	R\$ 2.623,14	SINAPI
OUTROS ITENS (MANUTENÇÃO PERIODICA)	MÊS	R\$ 1.500,00	2,00	R\$ 3.000,00	AUTOR
TOTAL				R\$ 11.823,08	
CENÁRIO C - TELHADO VERDE					
ITEM	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	VALOR TOTAL	ORIGEM
IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM MANTA ASFALTICA	M2	105,86	101,11	R\$ 10.703,50	SINAPI
PROTEÇÃO MECÂNICA DE SUPERFÍCIE HORIZONTAL COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA	M2	36,72	9,00	R\$ 330,48	SINAPI
DRENO SUBSUPERFICIAL (SEÇÃO 0,40 X 0,40 M), COM TUBO DE PEAD CORRUGADO PERFURADO, DN 100 MM, ENCHIMENTO COM AREIA	M	43,99	20,35	R\$ 895,20	SINAPI
PLANTIO DE GRAMA E PREPARAÇÃO DO SOLO	M2	17,39	101,11	R\$ 1.758,30	SINAPI
ATERRO MANUAL COM AREIA	M3	126,98	2,00	R\$ 253,96	SINAPI
OUTROS ITENS (MANUTENÇÃO PERIODICA)	MÊS	R\$ 600,00	12,00	R\$ 7.200,00	AUTOR
TOTAL				R\$ 13.941,44	

Fonte: Da Pesquisa, 2025

Diante ao exposto na Tabela 6 é perceptível que os cenários A, C e D apresentam valores equivalentes quando se trata de sua implantação destes sistemas para a edificação simulada, mas que é de suma importância citarmos que quando se trata de manutenção, mesmo que o cenário D nos trouxe um valor próximo aos demais em seu valor final, é possível verificar

também por meio da Tabela 6 que o mesmo necessita de uma manutenção com maior frequência visto que este contempla sistemas hidráulicos a serem mantidos, sendo necessária também a poda de sua camada de grama o que deverá ser feito em todo seu prazo de uso. Já o cenário B mesmo apresentando um valor relevante em relação aos demais cenários, podemos visualizar também que sua manutenção não se tem um peso tão grande quanto as demais, visto que essa só será realizada caso tenha necessidade de limpeza desse tipo de cobertura ou troca de telha e por esse motivo o custo foi inserido como verba (VB), já nos cenários A e C se tem uma necessidade periódica da impermeabilização dessas coberturas e também da limpeza das telhas e em casos específicos a troca das mesmas.

Desta maneira, é possível aprofundar-se ainda mais nas simulações desta edificação para que a mesma tenha um bom conforto térmico explorando sua posição, visto que quanto maior a incidência solar em suas aberturas maior será o consumo energético para resfriamento da mesma. Diante disso, na Tabela 7 é apresentado o consumo energético de ar-condicionado para diferentes posições de fachada da edificação de estudo onde foi considerado o telhado do cenário “B” já que este foi o cenário que apresentou menor consumo energético para resfriamento.

Tabela 7. Consumo energético para ar-condicionado conforme posição da fachada frontal

Fachada	Consumo Anual (kW/h)
Sul	157,65
Norte	170,11
Leste	179,21
Oeste	198,97

Fonte: Da pesquisa.2024

Conforme exposto na Tabela 7, observa-se que, para esta edificação, a fachada frontal voltada para o sul apresentou um menor consumo energético. Esse resultado pode estar relacionado à presença de aberturas estrategicamente posicionadas, que reduzem a incidência direta da radiação solar nos ambientes mais utilizados. A orientação da fachada e a disposição dos ambientes desempenham um papel essencial na eficiência energética da edificação, uma vez que fachadas com menor exposição solar tendem a demandar menos resfriamento artificial.

Além disso, o posicionamento dos quartos, que são os ambientes que mais utilizam ar-condicionado, voltados para as fachadas leste e sul, pode ter contribuído para essa redução no consumo. Durante o dia, essas fachadas recebem menor carga térmica em comparação com a fachada oeste, que recebe radiação mais intensa no período da tarde. Como resultado, há uma menor necessidade de uso contínuo do sistema de climatização.

Conforme os princípios estabelecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2024c), a que trata do envoltório térmico das edificações citado no decorrer do estudo, observa-se que, a escolha dos materiais e sistemas construtivos desempenha papel essencial no desempenho térmico e na eficiência energética das edificações. A norma destaca a importância de projetar o envoltório considerando parâmetros como isolamento, transmitância térmica e adequação ao clima local, fatores analisados nos cenários propostos. A aplicação desses critérios no estudo evidencia que soluções modernas, como o telhado verde, são capazes de atender aos requisitos normativos e oferecer conforto térmico e sustentabilidade em áreas urbanas.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo demonstrar, por meio do *software EnergyPlus*, a viabilidade de simular o comportamento energético de uma edificação residencial para diferentes sistemas de telhados e orientações solares. O *EnergyPlus* realiza simulações precisas do consumo energético, considerando o balanço de energia entre superfícies e ambientes, utilizando as teorias de transferência de calor por condução, convecção e radiação.

Nesse contexto, diversas ações podem ser adotadas para reduzir o consumo de energia em edificações. Entre elas, destacam-se a implementação de novas tecnologias, o uso de materiais alternativos e mais eficientes e o aproveitamento da iluminação natural durante o dia, minimizando a necessidade de sistemas de climatização, como o ar-condicionado.

Assim, a utilização de softwares como o *EnergyPlus* é de fundamental importância para que as edificações sejam submetidas a testes e avaliações antes mesmos da fase de construção. Isso permite que, ainda durante o projeto, seja possível identificar as características dos materiais, a melhor orientação da edificação, e outros fatores que podem influenciar diretamente o desempenho energético, garantindo uma construção otimizada e mais sustentável.

A análise dos quatro cenários (fibrocimento, cerâmica, isotérmico e telhado verde) permitiu uma visão abrangente das alternativas disponíveis no mercado. A comparação entre telhados tradicionais e soluções modernas mostrou que o telhado verde e o telhado isotérmico oferecem vantagens significativas em eficiência energética e conforto térmico. Esse estudo reforça a importância de práticas construtivas sustentáveis e da escolha consciente de materiais para reduzir o impacto ambiental e otimizar o desempenho das edificações ao longo do ano.

Sendo assim, o uso de materiais alternativos em substituição aos convencionais, quando bem aplicados, pode resultar em um conforto térmico superior para os ocupantes da edificação, o que também reduz o consumo energético. Nesse sentido, as simulações realizadas indicaram que o uso de telhas isotérmicas é uma escolha eficaz para a otimização do desempenho térmico de edificações. Essas telhas são projetadas com camadas de materiais isolantes que minimizam a transferência de calor entre o ambiente externo e interno, mantendo a temperatura mais estável dentro da edificação. Como resultado, há uma redução da necessidade de resfriamento ou aquecimento artificial, o que se traduz em um menor consumo de energia o que pode ser explicado por Spinelli *et al.* (2017) que cita que materiais com baixa condutividade térmica é um elemento crucial para o menor gasto energético.

Portanto, com base nos parâmetros e cenários analisados, conclui-se que o uso de telhas isotérmicas representa uma solução eficaz para melhorar o desempenho energético das edificações, promovendo maior eficiência térmica e reduzindo os custos com energia, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental, visto que também temos outras opções no mercado como o telhado verde que também apresentou bons resultados quando se trata de conforto térmico e sustentabilidade.

Diante disso, a simulação energética pode também ser utilizada em trabalhos futuros para a análise da eficiência de sistemas HVAC, projetos de edifícios sustentáveis, estudo acerca de coberturas ecológicas, outros itens de envoltória como: paredes e esquadrias

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. **NBR 15215-1** – Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2024a.

_____. **NBR 15215-3** – Iluminação natural – Parte 3: Procedimentos para avaliação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024b.

_____. **NBR 15220-2** – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

_____. **NBR 15575** – Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 16401-1** – Sistemas de ar-condicionado e ventilação – Parte 1: Sistemas centralizados. Rio de Janeiro: ABNT, 2024a.

_____. **NBR 16401-2** – Sistemas de ar-condicionado e ventilação – Parte 2: Sistemas individuais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024b.

_____. **NBR 5410** – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 50001** – Sistemas de gestão de energia – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRSA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS ENERGÉTICOS. **Composição familiar e consumo de energia elétrica nos domicílios brasileiros**. 2022. Disponível em: <https://brsa.org.br/wp-content/uploads/wpcf7-submissions/32331/COMPOSICAO-FAMILIAR-E-CONSUMO-DE-ENERGIA-ELETRICA-NOS-DOMICILIOS-BRASILEIROS.pdf>. Acesso em: 30/11/2024

COELHO, J. C. M.. **Energia e Fluidos: Volume 3 - Transferência de Calor** (2ª edição). São Paulo: Blucher, 2019. ISBN 978-85-212-1841-8 (impresso), ISBN 978-85-212-1842-5 (e-book) [oai_citation:1,energia-e-fluidos-vol-3_deg.pdf](file-service://file-tvwLgFjOOX31qELSI1Uondib).

CONCEIÇÃO, N. P.; MIRANDA, T. V. de. (2022). Processos da Tecnologia BIM e seus Impactos na Construção Civil. **Epitaya E-Books**, 1(2), 82-110. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2022397p82>

DOE – Department of Energy. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. EUA: DOE, 2017

GONÇALVES, M. L., SILVA, J. P. **SketchUp e Open Studio: Modelagem para Arquitetura e Design**. São Paulo: Editora Técnica, 2021

PBE EDIFICA - **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/>. Acesso em 19/03/2025.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor**. 6ª ed. LTC, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama> . Acesso em 28/02/2025.

LBNL – LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. **EnergyPlus Engineering**. Reference. Berkeley, EUA: LBNL, 2010

LEVINSON, R., AKBARI, H.. Cool Roofs: Cooling Buildings, Saving Energy, Mitigating Climate Change. In: **Energy and Buildings**, v.54, p. 1-13, 2022

NIKHADE, N.. **Soluções Legais: Como os revestimentos frios estão revolucionando a eficiência energética urbana**. 2024. Disponível em: <https://www.marketresearchintellect.com/pt/blog/cool-solutions-how-cool-roof-coatings-are-revolutionizing-urban-energy-efficiency> . Acesso em:27/02/2025.

MELLO, T. S., SILVA, P.A. Avaliação do Envoltório de Edificações para Climas Tropicais. In: **Engenharia Térmica**, v.18, n.3, p. 92-104, 2021

OLIVEIRA, M. R., *et al.* Impacto do Progresso Tecnológico na Construção Civil. In: **Tecnologia em Construção**, v.12, n.4, p. 45-58, 2016

Resistência térmica – um parâmetro chave no isolamento de edifícios - **PCC Group Product Portal**. Disponível em: <https://www.products.pcc.eu/pt/blog/resistencia-termica-um-parametro-chave-no-isolamento-de-edificios> . Acesso em: 27/02/2025.

PEREIRA, M. A., COSTA, E. S. Transferência de Calor em Superfícies Edificadas: Uma Abordagem Prática. In: **Engenharia e Construção**, v.23, n.1, p. 112-125, 2018

PIRRÓ, J. F. **Transferência de Calor e Suas Aplicações em Edificações**. São Paulo: Editora Técnica, 2018

NOBRE, J.C.A., SOUSA, D.L.P., RIBEIRO, F. S., ANDRADE, L.C.F. Simulação Computacional Sobre Desempenho Térmico em uma Residência Conjunta Localizada em Ananindeua-PA. In: **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.08, n.05, p. 13, 2022.

SCHAEDLER, V. L. **Análise Térmica de Edificações Residenciais: Simulação Computacional**. Porto Alegre: Editora Universidade, 2014.

SILVA, A. R., ANDRADE, C. H. **Transferência de Calor: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SILVA, C. A., OLIVEIRA, A. M. **Introdução ao SketchUp: Modelagem 3D para Arquitetura**. São Paulo: Editora Acadêmica, 2020.

BANDEIRA, J. C. **Análise do Desempenho Térmico do Envoltório de Edificações: Um Estudo de Caso de Conforto Térmico**. Ponta Grossa, 2021.

SPINELLI, R., HATANAKA, R. R., NETO, P.A. Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Materiais de Construção. In: **Engenharia de Construção**, v.29, n.2, p. 55-67, 2017

THOMAZ, V. F. **A Influência da Envoltória no Consumo Energético de Edifícios Bancários**. São Leopoldo, 2019.

STAVRAKAKIS, G. M., ANDROUTSOPOULOS, G. P., VYÖRYKKÄ, T. H. Coberturas Frias: Solução Passiva para Edificações em Climas Quentes. In: **Energy and Buildings**, v.45, p. 24-37, 2016

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., AKBARI, H. Uso de Coberturas Frias em Edificações Urbanas: Impactos no Consumo Energético. In: **Arquitetura Sustentável**, v.56, n.3, p. 71-83, 2019

USDOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus:** Energy Simulation Software. EUA: USDOE, 2013