

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

André Ferreira Misk

AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA  
ENVOLTÓRIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS POR MEIO DE UM MÉTODO  
SIMPLIFICADO

Florianópolis

2019

André Ferreira Misk

AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA  
ENVOLTÓRIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS POR MEIO DE UM MÉTODO  
SIMPLIFICADO

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade  
Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ana Paula Melo, Dr<sup>a</sup>.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Misk, André Ferreira

AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA  
ENVOLTÓRIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS POR MEIO DE UM  
MÉTODO SIMPLIFICADO / André Ferreira Misk ; orientadora,  
Ana Paula Melo, 2019.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Engenharia Civil. 3. Eficiência  
Energética em Edificações. 4. Instrução Normativa Inmetro  
para a Classe de Eficiência Energética de Edificações  
Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). 5. Viabilidade  
Econômica. I. Melo, Ana Paula. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

André Ferreira Misk

**AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA  
ENVOLTÓRIA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS POR MEIO DE UM  
MÉTODO SIMPLIFICADO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 20 de Novembro de 2019.

---

Prof<sup>a</sup>. Luciana Rohde, Dr<sup>a</sup>.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup> Ana Paula Melo, Dr<sup>a</sup>  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Arq. Renata De Vecchi, Dr<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a professora Ana Paula Melo, pela orientação durante este trabalho, pelas correções rápidas e detalhistas, e por sempre se mostrar de bom humor, otimista e disponível. Obrigado professora.

Ao professor Roberto Lamberts, pelo extenso legado que vem construindo nas últimas quatro décadas e por fomentar a eficiência energética no Brasil quando pouco se conhecia sobre esse tema. Um visionário.

Ao colega e doutorando Rodolfo pelo companheirismo, sempre prestando ajuda nos momentos delicados.

Ao doutorando Leonardo, pelos inúmeros ensinamentos que passou nos últimos meses, sempre com muita didática e paciência.

Ao futuro doutorando Marcelo, por sempre se mostrar à disposição.

À mestranda Letícia que sempre auxiliou em meus questionamentos.

A todos do LabEEE, por criarem um ambiente que favorece o aprendizado e a cooperação entre os pesquisadores.

E a todos os professores que participaram da minha jornada acadêmica, em especial o professor Prudêncio, Wellington, Alexandre, Jano e Roberto.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aplicar o método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) em um edifício de escritórios, localizado em Florianópolis. Através da caracterização do edifício comercial de referência, foram calculadas as cargas térmicas e também foram analisadas medidas de eficiência energética. A partir das medidas que reduziram o valor das cargas térmicas do edifício, foram elaborados pacotes de medidas, com a finalidade de atingir maiores reduções desses valores e, com o cálculo da redução da tarifa de energia elétrica para cada conjunto de medidas, foi realizada a análise de viabilidade econômica. Foram analisadas medidas referentes aos vidros da edificação, com alterações nos valores do fator solar e da transmitância térmica; medidas relacionadas às paredes e cobertura, onde variou-se os valores de transmitância, absorvância e capacidade térmica, e também medidas associadas aos percentuais de abertura da fachada, os quais alternaram entre 30%, 50% e 80%. Observou-se que a utilização de vidros com baixo fator solar influenciou substancialmente os valores de carga térmica, chegando a reduções de até 22,51% em relação ao edifício de referência. Notou-se que o isolamento térmico das paredes externas proporcionou aumento das cargas de resfriamento e que o isolamento da cobertura associado às baixas absorvâncias térmicas do telhado também resultou em valores de cargas térmicas elevados. De acordo com a INI-C, a classificação da eficiência energética da edificação base com a aplicação das medidas e de suas composições atingiu nível “B” para as medidas de melhor desempenho, e “A” para os melhores pacotes. Através da análise de viabilidade econômica observou-se que nenhum dos pacotes foi viável economicamente, devido ao alto preço dos vidros. Portanto, foi elaborado um pacote extra, sem a alteração desses elementos, obtendo-se uma economia em relação ao caso base e uma etiqueta da envoltória com classe de eficiência energética nível “C”.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética em Edificações. INI-C. Viabilidade Econômica.

## ABSTRACT

This paper aims to apply the simplified method established in the Inmetro's Normative Instruction for the energy efficiency class of commercial, service and public buildings (INI-C) in an office building, located in Florianopolis. Through the characterization of the reference commercial building, its thermal loads were calculated and energy efficiency measures were analyzed. By clustering the energy efficiency measures that lowered the cooling loads, different configurations of measures were elaborated, in order to achieve higher reductions of these values and, by calculating the reduction of the electricity tariff for each group of energy efficiency measures, an economic viability analysis was performed. Measures related to the building's glazing system were analyzed, varying the values of the solar heat gain coefficient (SHGC) and thermal transmittance, as well as of those associated with the walls and roof, varying the values of transmittance, absorptance and thermal capacity, and also correlated to the window-to-wall ratio, alternating its values between 30%, 50% and 80%. It was observed that the use of a low SHGC glazing system influenced substantially the thermal loads' values, reaching reductions of 22,51% in comparison with the reference building. It was noticed that the thermal insulation of the external walls increased the cooling loads of the building and that the roof insulation, associated with low values of solar absorptance, also resulted in high values of thermal loads. According to the INI-C, the energy efficiency classification of the measures and groups of measures applied to the reference building reached a "B" class for the best measures and an "A" class for the best packages of measures. None of the packages analyzed were economically viable, due to the high prices related to the glazing system, which was observed through the economic viability analysis. Therefore, an extra package was elaborated, without alterations regarding this component, resulting in savings when compared to the reference building and a "C" energy efficiency class.

**Keywords:** Building Energy Efficiency. INI-C. Economic Viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada .....	25
Figura 2 - Edifício base .....	36
Figura 3 - Zonas térmicas do edifício base.....	38
Figura 4 - Valores de carga térmica do edifício base por pavimento e por zonas térmicas.....	49
Figura 5 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos vidros .....	52
Figura 6 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos materiais das paredes .....	54
Figura 7 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas às tonalidades das paredes .....	56
Figura 8 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos materiais da cobertura .....	58
Figura 9 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas às tonalidades da cobertura .....	59
Figura 10 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos percentuais de abertura da fachada .....	61
Figura 11 - Comparação das cargas térmicas de paredes de concreto com diferentes PAF's.....	62
Figura 12 - Reduções das cargas dos pacotes de eficiência energética em relação ao edifício base.....	64



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado .....	24
Tabela 2 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.....	26
Tabela 3 - Valores de referência para edificações de escritórios de acordo com o Anexo A da INI-C .....	37
Tabela 4 - Variáveis de entrada consideradas na escolha das medidas de eficiência energética.....	39
Tabela 5 - Medidas de eficiência energética aplicadas no edifício base .....	41
Tabela 6 - Valores de carga térmica de resfriamento do edifício base.....	49
Tabela 7 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.....	50
Tabela 8 - Impacto da medida de eficiência energética 1 nas cargas térmicas da envoltória.....	51
Tabela 9 - Impacto da medida de eficiência energética 2 nas cargas térmicas da envoltória.....	51
Tabela 10 - Comparação da medida de eficiência energética 1 e 3 nas cargas térmicas da envoltória .....	52
Tabela 11 - Impacto das medidas de eficiência energética 4, 5 e 6 nas cargas térmicas da envoltória .....	53
Tabela 12 - Impacto de diferentes cenários nas cargas térmicas da envoltória.....	55
Tabela 13 - Impacto das medidas de eficiência energética 7 e 8 nas cargas térmicas da envoltória.....	56
Tabela 14 - Impacto das medidas de eficiência energética 9, 10 e 11 nas cargas térmicas da envoltória .....	57
Tabela 15 - Impacto das medidas de eficiência energética 12 e 13 nas cargas térmicas da envoltória .....	59
Tabela 16 - Impacto das medidas de eficiência energética 14 e 15 nas cargas térmicas da envoltória .....	60
Tabela 17 - Composição dos pacotes de medidas de eficiência energética .....	63
Tabela 18 - Redução das cargas dos pacotes de eficiência energética em relação ao edifício base.....	63

Tabela 19 - Classes da etiqueta da envoltória das medidas de eficiência energética .	65
Tabela 20 - Classificação dos pacotes de medidas de eficiência energética .....	65
Tabela 21 - Reduções dos pacotes de medidas de eficiência energética em relação ao edifício base.....	67
Tabela 22 - Indicadores financeiros para os pacotes de medidas de eficiência energética .....	69
Tabela 23 - Indicadores financeiros do pacote extra de medidas de eficiência energética .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

CEP - Consumo de Energia Primária

CEPR - Consumo de Energia Primária da Edificação Referência

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

CGT - Carga Térmica

CGTR – Carga Térmica de Resfriamento

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural

EIA – Energy Information Administration

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

HQE - *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – *International Energy Agency*

INI-C – Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

GT-Edificações - Grupo Técnico para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações no País

LEED - *Leadership in Energy & Environmental Design*

MEE – Medidas de Eficiência Energética

MME – Ministério de Minas e Energia

OCDE - Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PEN - Política Energética Nacional

PIS - Programa de Integração Social

PNE – Plano Nacional Energético

Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade, para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

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

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

VFD - Inversores de Frequência Variável

VPL - Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....	18
<b>2.1.1</b>	<b>Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) .....</b>	<b>22</b>
2.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIAS ENERGÉTICA .....	27
2.3	ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA .....	30
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	33
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
3.1	EDIFÍCIO de referência .....	35
3.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	38
3.3	MÉTODO SIMPLIFICADO .....	42
<b>3.3.1</b>	<b>ENVOLTÓRIA .....</b>	<b>42</b>
3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1	MÉTODO SIMPLIFICADO .....	48
<b>4.1.1</b>	<b>EDIFÍCIO BASE .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.2</b>	<b>MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>50</b>
4.1.2.1	<i>Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Ao Vidro.....</i>	50
4.1.2.2	<i>Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Às Paredes .....</i>	53
4.1.2.3	<i>Medidas de Eficiência Energética Relacionadas À Cobertura .....</i>	57
4.1.2.4	<i>Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Ao Percentual de Abertura de Vidro na Fachada.....</i>	60

<b>4.1.3</b>	<b>PACOTES DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.4</b>	<b>CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>64</b>
4.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	71
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2018 (EPE, 2018), o consumo mundial anual de energia elétrica para o ano de 2015 foi de 21.167,8 TWh, sendo que a América do Sul e Central aparecem na 5ª colocação, com 5% de participação. Ainda, o aumento da população mundial, o surgimento de novos polos consumidores e a modernização das cidades, refletiu na taxa do consumo final de eletricidade no mundo, aumentando 3,3% ao ano no período de 1974 a 2016 (IEA, 2018).

Na classificação entre os países, em levantamento realizado pela Energy Information Administration (EIA) de 2015, o Brasil empata com a Alemanha e o Canadá, com 2,5% do consumo mundial, ocupando a sexta colocação. Em âmbito nacional, há uma concentração expressiva na região Sudeste do Brasil, principalmente na cidade de São Paulo, que tem a participação de 27,7% do consumo nacional de eletricidade.

A nível setorial, a demanda de energia elétrica para o setor de edificações no Brasil em 2017 foi de 50,88% do total produzido, sendo o setor comercial o responsável por consumir 18,90%, com aumento médio de 1,41% nos últimos 4 anos, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Visando o panorama futuro de energia no Brasil, o Plano Nacional Energético 2050 (PNE 2050), instrumento fundamental para o planejamento de longo prazo do setor energético do país, concluiu que o setor de serviços, que inclui os edifícios comerciais, é o que apresentou maior aumento do consumo final de energia nas últimas duas décadas da previsão, 2040 e 2050 (MME, 2018). Em relação ao período de 2015 a 2050, no cenário de maior crescimento do consumo final do setor de serviços, o PNE 2050 sugere a expansão dos segmentos relacionados à tecnologia da informação, sendo o crescimento do consumo em função do aumento da participação de segmentos com uso mais intensivo de energia, principalmente da eletricidade.

Por outro lado, espera-se que a adoção de medidas de eficiência energética (MEE), como consumo máximo e etiquetas comparativas sejam ampliadas no setor de serviços e induza à redução do consumo médio de eletricidade.

As MEE's são fundamentais para a redução do consumo de eletricidade e, conseqüentemente, trazem economia durante a fase de ocupação do imóvel. Para usufruir de forma mais eficiente de seus benefícios, estas devem ser incorporadas ainda na fase de

concepção dos projetos, atuando na disposição dos elementos construtivos e especificações dos materiais empregados. Todavia, devido ao maior custo inicial e à falta de conhecimento sobre os benefícios da sua aplicação, as medidas de eficiência energética são pouco aplicadas nas construções comerciais (ELI, 2017).

Apesar de não ser a alternativa ideal, a aplicação das MEE's na fase de ocupação do imóvel ainda influi significativamente na redução do consumo. Moura e Motta (2013) enfatizaram que para se alcançar a eficiência energética na construção civil, há soluções que podem ser abordadas na fase de projeto, implementadas na fase de construção e adotadas na fase de utilização da edificação, sendo possível a racionalização do consumo de energia até mesmo em edifícios já existentes, que não foram concebidos sob princípios sustentáveis.

Com o intuito de medir o impacto das MEE's no consumo elétrico da edificação antes mesmo de aplicá-las, é possível desenvolver modelagens preditivas que expressam o consumo futuro do objeto de estudo. Apesar de depender de fatores climáticos, construtivos e comportamentais dos ocupantes, tornando o cenário complexo de se prever, diversas abordagens são propostas para solucionar as situações de comportamento não linear, entre elas os métodos baseados em inteligência artificial. A partir da comparação do cenário base (sem aplicação de MEE's) com cenários modelados, é possível analisar a alternativa com maior impacto no consumo final de energia elétrica.

Como a implantação das diferentes alternativas acarretam em soluções com preços variados, é necessário realizar uma análise econômico-financeira para identificar qual opção é a mais rentável ao longo dos anos. Uma das maneiras de justificar e apresentar ao usuário as vantagens de adotar determinadas estratégias para o projeto é apresentar o estudo do *payback*. O *Payback*, também chamado de Tempo de Recuperação de Capital, estabelece o tempo necessário para recuperar o capital investido, ou seja, em qual intervalo de tempo as medidas consideradas no projeto ou no próprio período de ocupação retornarão ao investidor.

Frente a isso, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência de medidas de eficiência energética nas cargas térmicas de um edifício de escritórios, localizado em Florianópolis. Com base nos resultados obtidos, será analisado o retorno do investimento das composições de MEE's através do *payback* corrigido, do valor presente líquido e da taxa interna de retorno.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é analisar a aplicação de medidas de eficiência energética na envoltória de uma edificação comercial de escritórios localizada na cidade de Florianópolis, por meio do método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Calcular a carga térmica e a classe de eficiência energética da envoltória de uma edificação base através do método simplificado da INI-C;
- Analisar o comportamento de medidas de eficiência energética através do método simplificado da INI-C;
- Analisar a viabilidade econômica dos pacotes de medidas de eficiência energética, através do *payback* corrigido, do valor presente líquido e da taxa interna de retorno.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Diferentemente de outros tempos, nos dias de hoje o ser humano não mais precisa se adequar às condições ambientais e climáticas preexistentes de onde vive. De acordo com o MME (2011), ocorre atualmente uma uniformização mundial dos estilos arquitetônicos das edificações, a qual desconsidera as características climáticas locais, devido ao fenômeno de globalização dos profissionais e do meio produtivo. Isso faz com que possamos nos adaptar a diversos tipos climáticos com um mesmo padrão construtivo, através, principalmente, do uso de sistemas artificiais de iluminação e climatização. Porém, este estilo de vida não é saudável do ponto de vista da conservação energética do planeta, aumentando drasticamente o consumo de energia se comparado a quando o ambiente e clima da localidade regia o aspecto construtivo das edificações. Este quadro de gasto excessivo de energia passou a se alterar quando o planeta vivenciou as suas primeiras crises energéticas e a população mundial se viu na necessidade de implantar maneiras mais eficientes de consumir energia, proporcionando as mesmas condições ambientais, porém com um menor consumo de energia.

A partir da crise do petróleo do ano de 1973, passou a surgir uma maior preocupação em relação à conservação de energia. Os países industrializados haviam se unido para a formação da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), cujo objetivo era garantir o suprimento de energia, diminuindo a dependência dos países membros ao petróleo e seus derivados. Porém, no início da década de 80, houve um aumento na oferta do petróleo e uma redução do seu preço, diminuindo assim a preocupação com relação à segurança do suprimento de energia. A partir desse cenário, os fundos de financiamento das atividades de conservação e diversificação das fontes primárias locais de energia foram bastante reduzidos. No final dessa mesma década, o impacto das emissões de poluentes no comportamento climático global tornou-se uma preocupação mundial, principalmente após a reunião do Conselho Mundial de Energia no Canadá. Em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, Eco-92, foram discutidas alternativas ao uso de combustíveis fósseis e metas de redução das emissões dos gases contribuintes ao efeito estufa, as quais foram formalizadas no Protocolo de Kyoto de 1997.

A fim de fazer-se cumprir as metas sem interferir o nível de produção industrial e sem um racionamento que afetasse o modo de vida das pessoas, tornou-se imprescindível um

aumento da eficiência em toda a cadeia energética. Em países como a França, Holanda, Suécia e Espanha foram desenvolvidas agências públicas de eficiência energética, responsáveis também pelo desenvolvimento de energias renováveis. Além disso, na Dinamarca, França e Reino Unido foram estabelecidos departamentos de administração de energia designados ao tema eficiência energética. Os Estados Unidos, ainda na década de 70, formularam suas primeiras normas de conservação e eficiência energética, quando ocorreu a crise de suprimento de petróleo (DIXON et al., 2010). A União Europeia seguiu o mesmo caminho e instrumentou mecanismos legais na mesma época, ao fixar metas de redução da demanda de energia e de emissão de poluentes, a serem atingidas pelos estados-membros (FOUQUET, 2013).

Além das diretrizes técnicas já existentes e o surgimento de movimentos ambientais, foram desenvolvidos, a partir do início da década de 1990, procedimentos de certificação ambiental para a classificação dos edifícios de acordo com sua sustentabilidade, sendo os pioneiros o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) no Reino Unido, o *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED) nos Estados Unidos e o *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments* (HQE) na França (GONÇALVES; BODE, 2015).

No Brasil, as mudanças no preço do petróleo na década de 70 motivaram a substituição de derivados do petróleo, a formação de programas de eficiência energética e aumento da produção local, a fim de diminuir a dependência externa. O primeiro esforço do poder público em termos de conservação de energia se deu em 1981, com a criação do Programa Conserve, que visava promover a conservação de energia na indústria, o desenvolvimento de produtos e processos eficientes e a substituição de energéticos importados por fontes nacionais (ALTOÉ et al., 2017). Perante um contexto internacional de preocupações ambientais, em 1985 o governo instituiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Sua missão foi promover o uso racional de energia elétrica em todo país e entre suas principais iniciativas está a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Em 1991 foi instituído o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) com a finalidade de estimular o uso racional de recursos energéticos no país, mas focado em fontes de energia não renováveis. A Agência Nacional de Energia Elétrica foi criada em 1996, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, conforme políticas e diretrizes do governo federal. Já em 1997 foi lançada a Política Energética Nacional (PEN), onde foram estabelecidos princípios em relação ao aproveitamento racional das fontes de energia, visando

à conservação energética e a preservação do meio ambiente. Além da PEN, foram também estabelecidos o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo.

Buscando soluções para a crise no setor de energia, em outubro de 2001 foi promulgada a Lei nº 10.295, chamada de “Lei da Eficiência Energética”. Esta lei foi o principal marco legal na área de eficiência energética do país, a qual lançou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Estabeleceu-se neste documento que o Poder Executivo ficaria a cargo de desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados e das edificações construídas no país (BRASIL, 2001). Em dezembro do mesmo ano foi publicado o Decreto nº 4.059, o qual regulamentou a Lei nº 10.295 ao estabelecer níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética. Por meio do mesmo decreto, o Procel desenvolveu, em 2003, o “Procel Edifica”, que promove os objetivos do referido decreto em edificações, a fim de torná-las mais sustentáveis. Formou-se ainda, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) e, exclusivamente para edificações, o Grupo Técnico para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações no País (GT-Edificações), com o objetivo de regulamentar os procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações e promover o consumo consciente de energia.

Em 2004, o governo instituiu a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através da Lei nº 10.847, com o intuito de atuar na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor de energia e assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país. A EPE tornou-se a empresa estatal responsável por apresentar ao Estado as pesquisas referentes ao consumo de energia (BRASIL, 2004).

Já em 2005, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) também passou a ter participação no processo e, através de pesquisas relacionadas ao Procel Edifica, foi desenvolvido o sistema brasileiro de etiquetagem de eficiência energética de edificações. O mesmo discute e define o processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a qual classifica o nível de eficiência energética de edifícios de acordo com seu respectivo regulamento técnico. Apesar de ter sido estabelecido em 2005, a primeira etiqueta para edifícios comerciais foi fornecida apenas quatro anos mais tarde, em 2009.

Em 2007, o Ministério de Minas e Energia, através da EPE, lançou um estudo pioneiro no Brasil, sendo a primeira vez no país a se desenvolver um trabalho de planejamento de longo prazo de caráter energético: o Plano Nacional de Energia 2030. Essa coletânea de mais de cem notas técnicas tem como objetivo fornecer insumos para a formulação de políticas energéticas

segundo uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas (EPE, 2007). Nas pesquisas foram considerados fatores como o aumento populacional, investimento em energias renováveis e mudanças socioeconômicas. Em 2015, foi lançado o Plano Nacional Energético 2050 (PNE 2050), com as mesmas diretrizes do PNE 2030, porém com projeções até o ano de 2050. Segundo a EPE, o PNE 2050 deve incorporar as tendências e a evolução percebidas nos últimos anos e consolidar o ciclo de planejamento energético em um contexto em que consensos envolvendo agentes públicos e privados tenham se tornado mais complexos, em que o debate sobre mudanças climáticas tenha se tornado ainda mais influente e também frente às rápidas alterações na oferta, transformação e uso da energia promovida pelas inovações tecnológicas.

Retrocedendo para 2009, foi lançada a 1ª versão do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que contém os requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações, a fim de obter a ENCE emitida pelo INMETRO. Atualmente, encontra-se em vigor a Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010, complementada pelas Portarias Inmetro nº 17, de 16 de janeiro de 2012 e Portaria Inmetro nº 299 de 19 de junho de 2013 (BRASIL, 2010). Desde 2009 até 2018, foram emitidas 224 etiquetas pertencentes às edificações comerciais, de serviços e públicas, sendo 93 relativas às edificações já construídas (PROCEL, 2019).

Existem hoje dois procedimentos de etiquetagem: um para edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e outro para edifícios residenciais (RTQ-R). Em ambos os regulamentos, a ENCE classifica a eficiência da edificação do nível “A”, mais eficiente, ao “E”, menos eficiente, podendo ser fornecida para o empreendimento em fase de projeto ou para a obra construída.

A avaliação da edificação pode ser realizada através de dois métodos: o prescritivo e a simulação computacional. O primeiro é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão linear múltipla (BRASIL, 2010), e consiste na análise de determinadas características de geometria e de materiais da edificação. Já o uso da simulação computacional envolve o uso de *softwares* específicos e deve ser adotado para edificações com geometrias complexas e medidas inovadoras de aumento de eficiência energética.

A etiquetagem em vigor não fornece uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação, apenas um indicador adimensional, e por essa razão essa limitação não permite que a economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas seja

quantificada. Além disso, alguns autores evidenciam a existência de limitações no RTQ-C, como Carlo e Lamberts (2010), que avaliaram o Método Prescritivo e relataram as limitações constatadas durante o seu desenvolvimento. Dentre as mais relevantes estão a necessidade de simular a ventilação natural, os limites de uso de diferentes volumetrias para análise da envoltória e a pequena precisão de vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas. Caldeira (2011), considerou que os critérios adotados no RTQ-C devem ser mais restritivos e que, portanto, o nível “A” seria o mínimo recomendado como padrão dos edifícios para atender aos objetivos de redução de consumo de energia elétrica, de emissões de CO<sub>2</sub> e de conforto térmico que um edifício eficiente deve cumprir. Giaretta, Teixeira e Westphal (2012), a partir da avaliação de um estudo de caso no Rio de Janeiro, encontraram dificuldades na aplicação do RTQ-C e relacionaram a complexidade da tarefa, principalmente, com a determinação das variáveis e entendimento do processo.

Devido a essas e outras limitações, desde 2012 o Procel Edifica e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) vêm desenvolvendo ações para melhoria do atual método de avaliação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, bem como de edificações residenciais. Visando utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência, o Procel Edifica e o CB3E lançaram uma nova proposta para a avaliação de eficiência energética das edificações, a Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

### **2.1.1 Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**

A nova proposta apresentada compara o edifício segundo as características da edificação real com as condições de referência, que equivalem à classe energética nível “D”, fazendo uso do consumo de energia primária. Vale frisar que esta nova proposta de aperfeiçoamento do RTQ-C esteve em consulta pública em 12 de julho de 2018, através de publicação no Diário Oficial da União, portaria número 248, e que teve prazo de 60 dias para manifestação.

Considerar a análise da energia primária em edificações facilita a estimativa do impacto ambiental gerado pelo consumo, e a tendência é que as normas sejam aperfeiçoadas para ponderarem essa variável (BAVARESCO e GHISI, 2016). Além disso, através desse tipo

de análise é possível comparar o consumo energético, de forma quantitativa, de acordo com a fonte de energia, seja ela elétrica ou térmica, com fatores de conversão e de emissão de dióxido de carbono.

Os métodos de avaliação da nova proposta são o simplificado, anteriormente denominado prescritivo, e a simulação computacional.

O método simplificado é menos flexível que o de simulação, porém de mais fácil aplicação, e abrange grande parte das soluções arquitetônicas mais difundidas no mercado construtivo, bem como seus sistemas de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. Segundo Klein (2019) este método envolve a inserção, em um metamodelo, de dados relativos à geometria da edificação, aos materiais utilizados na edificação e à potência utilizada para iluminação e equipamentos. Um metamodelo nada mais é que um modelo que se utiliza de parâmetros de outros modelos.

Já o método de simulação permite a comprovação da conformidade com uma maior diversidade de estratégias de projeto, possibilitando mais flexibilidade quando comparado ao método simplificado (DESTRO, 2019). É constituído de uma modelagem computacional da geometria da edificação, em conjunto com diversos parâmetros físicos de entrada, como temperatura do ar e do solo, radiação solar, ventilação natural, entre outros. Nesse método, a estimativa da carga térmica para as condições real e de referência é realizada através de programas de simulação energética, como o EnergyPlus. Tais programas de simulação apresentam linguagem complexa e exigem várias etapas de inserção de dados, por isso é de suma importância que seja utilizado por um analista com maior capacidade técnica e experiência, para evitar que os resultados encontrados diverjam da realidade. Todos os outros procedimentos de cálculo para o consumo energético e para o nível de eficiência energética são similares ao método simplificado.

Para a utilização do método simplificado da INI-C, certos valores dos parâmetros da edificação devem ser respeitados, conforme apresentado na Tabela 1. Caso algum valor encontre-se fora dos limites expostos, deve-se optar pelo método de simulação computacional. Também recomenda-se a simulação para edificações que possuam formas complexas e que possuam soluções de desempenho inovadoras.

Tabela 1 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado

Parâmetros	Limites	
	Valor Mínimo	Valor Máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,2	0,8
Absortância solar da parede ( $\alpha_{par}$ )	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 kJ/m <sup>2</sup> K	450 kJ/m <sup>2</sup> K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m <sup>2</sup> K	450 kJ/m <sup>2</sup> K
Contato com o solo	Sem contato	Em contato
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Percentual de abertura zenital	0%	3%
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m <sup>2</sup> K	5,07 W/m <sup>2</sup> K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m <sup>2</sup> K	4,40 W/m <sup>2</sup> K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m <sup>2</sup> K	5,7 W/m <sup>2</sup> K

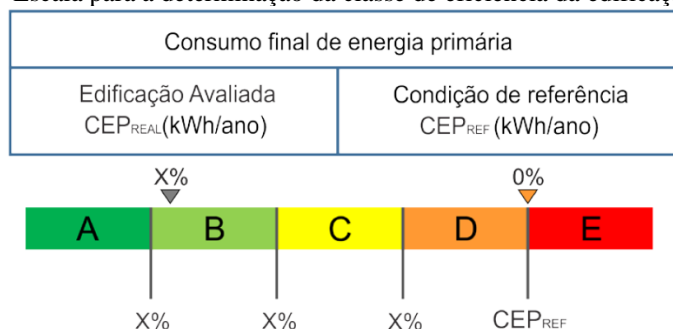
Fonte: CB3E, 2017

No escopo do novo método de avaliação da INI-C, as características avaliadas são: envoltória, sistema de condicionamento de ar, sistema de iluminação e sistema de aquecimento de água. Além disso, pode ser apresentada informação quanto ao uso racional de água e emissões de dióxido de carbono da edificação.

A ENCE pode ser obtida para todos os sistemas em conjunto (ENCE geral), para diferentes combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória da edificação (ENCE parcial). Para a obtenção da ENCE geral, a eficiência energética das edificações deve ser avaliada por meio do seu desempenho quanto ao consumo estimado de energia primária e pelo seu potencial de geração local de energia renovável. O consumo de energia primária (CEP) da edificação avaliada deve ser comparado com o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (CEPR). A condição de referência deve ser adotada conforme a tipologia da edificação e suas respectivas características, descritas no Anexo A da INI-C. A partir do percentual de economia da edificação real em relação à de referência, a classe de eficiência é definida de acordo com a escala apresentada na Figura 1.



Figura 1 - Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada



Fonte: CB3E, 2017

Em relação à definição do grupo climático em que a edificação está inserida, o novo regulamento deixa de adotar a proposta de divisão do território brasileiro em oito zonas climáticas, conforme proposto na NBR 15220, publicada em 2005. Conforme demonstra Roriz (2012), inúmeras críticas ao zoneamento foram apresentadas em artigos publicados em eventos científicos nacionais. Durante a elaboração do zoneamento, foram aplicados procedimentos que agregaram elevados níveis de incerteza ao mapa climático, provocando análises equivocadas sobre a adequação climática de diferentes edificações e resultando em zonas com baixa homogeneidade climática, além de um número total de zonas insuficiente para refletir a diversidade climática do Brasil. Tendo em vista a necessidade de revisão do zoneamento, Roriz (2014) apresentou o resultado mais atual, após a realização de ajustes sugeridos nos grupos de discussão sobre a nova classificação de climas brasileiros. O autor dividiu o território brasileiro em zonas que refletem, do melhor modo possível, a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações. Na classificação sugerida, os climas são subdivididos de acordo com a temperatura média anual, amplitude média anual, desvio padrão da temperatura média e desvio padrão da amplitude, totalizando 24 grupos climáticos, onde o Grupo 1 representa a zona climática mais fria e o Grupo 24 a zona climática mais quente. A única variação refere-se ao Grupo Climático 1, que foi subdividido nas categorias 1A e 1B, visto que alguns climas englobados por esse Grupo apresentam diferenças significativas (CB3E, 2017).

Quanto às etapas do método simplificado, o primeiro passo é a elaboração da escala relativa à classe de eficiência energética da envoltória da edificação. A envoltória é composta pelos elementos em contato com o exterior, que compõem o edifício e os fechamentos dos ambientes internos em referência ao ambiente externo, ou seja, todos os planos externos da edificação, como fachadas, cobertura, marquises, aberturas e todo e qualquer elemento que os compõem. Como citado anteriormente, é possível obter-se a ENCE parcial da edificação, a

partir da classificação da eficiência energética da sua envoltória. A envoltória, assim como a edificação, é avaliada sob a condição real e de referência, porém nessa etapa é comparada a carga térmica anual de resfriamento ( $CgTr$ ) e não mais o consumo em energia primária (CEP). Após calculada a  $CgTr$  da envoltória nas condições real e de referência, o primeiro passo é a determinação do fator de forma da edificação, que é o resultado da divisão entre a área da envoltória e o volume total do edifício. A área da envoltória refere-se à soma das áreas das paredes externas com a área da cobertura e o volume total é calculado através da soma das multiplicações entre a área de cada pavimento e seu pé-direito. Em seguida, é obtido o coeficiente de redução da carga térmica anual da classe A para a classe D, através do fator de forma e o grupo climático no qual a edificação está inserida, classificado a partir da nova divisão proposta por Roriz (2014). De acordo com a nova classificação, a cidade de Florianópolis encontra-se no grupo climático 1-B. É utilizada a Tabela 5.13 da INI-C para a obtenção do coeficiente, referente às edificações de escritórios. Depois, o coeficiente encontrado é utilizado para definir o intervalo dentro do qual a edificação será classificada, que é subdividido em três partes, cada qual referindo-se a uma classe da escala de eficiência energética, que varia de A até D, quando a edificação possui cargas menores que as de referência. Caso a condição real apresente carga térmica total anual superior à condição de referência, sua classificação final será E. Os intervalos são calculados multiplicando-se a carga térmica total da edificação de referência pelo coeficiente de redução da classe D para classe A, e dividindo-se o valor encontrado por 3. Por fim, é preenchida a Tabela 2 com os valores da carga térmica de referência e dos intervalos calculados, e é feita a comparação da carga térmica da edificação real com os limites expostos abaixo, identificando-se a classe de eficiência energética da envoltória.

Tabela 2 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CgT_{TREF} - 3i$	$> CgT_{TREF} - 2i$	$> CgT_{TREF} - i$	$> CgT_{TREF}$
Limite inferior	$< CgT_{TREF} - 3i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF} - 2i$	$\leq CgT_{TREF}$	–

Fonte: CB3E, 2017

Para que seja possível a conversão da carga térmica, definida em kWh/(m<sup>2</sup>ano), em consumo de energia elétrica, também definido em kWh/(m<sup>2</sup>ano), é necessário dividir a carga térmica total anual da edificação proveniente da envoltória pela eficiência energética do sistema de condicionamento de ar.

Após a análise da envoltória, avalia-se o sistema de condicionamento de ar, que pode ser dividido em sistemas de condicionamento de ar etiquetados e não etiquetados pelo INMETRO. Posteriormente, para a determinação da eficiência energética do sistema de iluminação, opta-se por três maneiras para avaliar o seu desempenho: método do edifício completo, método das atividades do edifício e método da potência ajustada. Finalmente, o sistema de aquecimento de água é avaliado em relação ao seu desempenho energético e seu consumo de energia.

Como citado, a obtenção da classe de eficiência energética global da edificação somente pode ser obtida por meio da avaliação de todos os sistemas parciais aplicáveis à edificação: envoltória, sistema de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. Para a sua determinação, é necessário calcular, com base no consumo total de energia elétrica e térmica da edificação real, o consumo em energia primária utilizando-se os fatores de conversão e, por fim, realizar a comparação com a edificação de referência.

## 2.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIAS ENERGÉTICA

Devido à capacidade do ser humano de se adaptar aos diversos tipos climáticos com um mesmo padrão construtivo, o consumo energético das edificações tem aumentado significativamente. Porém, se a escolha dos seus componentes e sistemas forem baseadas nas condições climáticas e ambientais do local em que a mesma se encontra, haverá um bom desempenho térmico e energético. Edificações construídas em uma determinada localidade podem gerar excelentes resultados energéticos e apresentar um ótimo custo-benefício, mas quando altera-se a região em que a mesma é implementada, a sua instalação pode se tornar inviável financeiramente (FERREIRA et al., 2016).

Como forma de tornar mais efetiva a preocupação com o clima da região em que a edificação está inserida e o desempenho térmico da mesma, foi lançada em 2005 a NBR 15220, norma brasileira que contém os requisitos mínimos de desempenho térmico para edificações de acordo com a sua zona bioclimática. A norma dividiu o país em oito zonas bioclimáticas, agrupando cidades com características climáticas semelhantes e definindo as estratégias para ventilação natural, sombreamento de aberturas e propriedades térmicas dos materiais da envoltória. Da mesma forma, em 2008, foi lançada a NBR 15575, com o objetivo de garantir o atendimento dos desempenhos mínimos das edificações residenciais e entre estes requisitos a serem atendidos foi incluído o desempenho térmico, onde a norma traz os critérios mínimos a

serem atendidos pela edificação de acordo com a sua zona. Com o objetivo de tornar o zoneamento bioclimático brasileiro mais fiel à diversidade climática do país, resultando em uma maior precisão da caracterização climática de cidades brasileiras, Roriz propôs uma nova revisão do zoneamento em 2012, a qual foi aprimorada e novamente publicada em 2014, em sua versão mais atual.

Dado o contexto histórico, diversas edificações já construídas passaram por estudos de implementação de medidas de eficiência energética, tendo em vista que em sua fase de projeto essas considerações não foram realizadas. As propriedades do edifício impostas na fase de construção são fundamentais, uma vez que alterações futuras nesse âmbito têm um custo e um risco superior. Porém existe margem para melhoria e economia energética em toda a cadeia de valor, envolvendo tanto a construção como a operação e manutenção dos edifícios ao longo da sua vida útil (TEIXEIRA, 2013).

Eli (2017) analisou como medidas de eficiência energética influenciaram a demanda de energia para resfriamento de uma edificação multifamiliar de baixa renda, utilizando dados climáticos de São Paulo e Salvador. Em sua pesquisa foram consideradas alterações nas paredes e coberturas, adotados diferentes valores de absorvância térmica da envoltória da edificação, assim como modificações no sombreamento e aumento do fator de abertura. Foram analisadas medidas isoladas e, posteriormente, agrupadas em pacotes. O estudo indicou como melhores medidas de eficiência energética para São Paulo, a redução da absorvância da cobertura e o uso de isolamento nas paredes e cobertura. Porém, devido ao alto custo do tipo de cobertura com isolamento, foram utilizadas telhas de fibrocimento com laje pré-moldada com EPS. Em Salvador, a cobertura com isolamento e a redução da absorvância da cobertura foram as medidas de eficiência energética que apresentaram os melhores resultados, porém optou-se novamente pela substituição por telhas de fibrocimento com laje pré-moldada com EPS, por questões financeiras. O pacote ideal para essa cidade considerou um aumento de 75% nas aberturas para ventilação e redução da absorvância solar das paredes de 0,50 para 0,30 e na cobertura de 0,80 para 0,40. Como o uso de venezianas influencia diretamente o conforto térmico das edificações, essa medida também foi considerada no pacote ideal, apesar de não produzir reduções significativas nos valores de carga térmica. Quando analisada a classe de eficiência energética, calculada através da escala desenvolvida para o novo regulamento de etiquetagem de edificações residenciais, os resultados para São Paulo, após a aplicação das MEE's apresentaram nível "B" para o pavimento térreo e tipo e "A" para a cobertura. Para o caso base os níveis eram os mesmos, com exceção da cobertura que possuía classificação "C". Em

Salvador atingiu-se nível “B” para o pavimento térreo, tipo e cobertura, havendo uma melhora quando comparado ao caso base, que era nível “C” para o térreo, “D” para o tipo e “E” para a cobertura.

Santos (2017) em seu estudo identificou medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação de salas de aula dos Blocos A, B, C e D do Campus Sede da UTFPR Curitiba, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica e incentivar o uso de sistemas eficientes de iluminação. O sistema de iluminação dos ambientes mostrou-se suficiente para cumprir os requisitos mínimos de iluminância exigidos pela NBR 8995-1 de 2013, porém apresentou alta densidade de potência, o que sugere a utilização de equipamentos pouco eficientes. De acordo com as medições e simulações, ficou evidente o grande potencial de aproveitamento de luz natural e de redução do consumo de energia elétrica através da utilização de lâmpadas e luminárias mais eficientes, equipamentos de controle de ofuscamento que permitam o aproveitamento da luz natural, equipamentos de acionamento automático e um melhor dimensionamento da iluminação. O redimensionamento da quantidade de luminárias utilizadas nas salas analisadas proporcionou uma economia de aproximadamente 380,9kWh/mês. Esta medida somada à substituição das lâmpadas fluorescentes por LED proporcionou uma economia total de aproximadamente 635,5kWh/mês em relação à situação encontrada inicialmente. Além disso, realizando a substituição das luminárias analisadas por equipamentos dimerizáveis, houve uma economia total de aproximadamente 654,6kWh/mês. Finalmente, a utilização de sensores de presença para redução de desperdícios da iluminação acarretou em uma redução no consumo de 14kWh/mês. Sendo assim, os ambientes analisados consumiram cerca de 167kWh/mês, o qual representa uma redução de 80% da energia anteriormente utilizada, portanto uma economia significativa no consumo de energia elétrica dos blocos de edifício analisados.

Em sua análise da viabilidade econômico-financeira da implantação de medidas de eficiência energética em um hotel situado na ilha portuguesa de São Miguel, na Região dos Açores, Reis (2016) propôs alternativas aos sistemas energéticos e de iluminação da edificação. As propostas de implementação do sistema solar térmico, a substituição da iluminação por LED's, a instalação de válvulas reguladoras de vazão nas torneiras dos chuveiros e aplicação de isolamento térmico em tubulação e trocadores de calor assumiram caráter vantajoso do ponto de vista energético e econômico. No sistema de iluminação atingiu-se 74.114kWh/ano de economia com a aplicação de LED's, o que significou 7% de redução na fatura energética. As válvulas reguladoras resultaram em uma redução do consumo energético anual de 72.205kWh,

gerando uma economia de 15.385,83 euros ao ano. Devido à aplicação do isolamento na tubulação de água quente, atingiu-se uma redução de 45,4% em perdas de calor, portanto uma economia de 6.615,29 kWh/ano. Por fim, com a aplicação do isolamento térmico nos cinco trocadores de calor, houve uma redução das perdas térmicas da ordem dos 1.998,60 W, deixando de serem consumidos 17.507,30 kWh/ano.

### 2.3 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A partir da previsão do impacto das medidas de eficiência energética, estima-se a redução ou aumento do consumo final de energia elétrica. Para que o usuário aprove tais intervenções é necessário, além da redução do consumo, a apresentação dos principais indicadores econômicos para a análise financeira do investimento, que são: o *payback* corrigido, o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

O *payback* é um método bastante aplicado nos estudos de viabilidade de projetos, sendo utilizado na sua forma simples ou corrigida. Na forma simples não são consideradas as taxas de juros, inflação do período ou o custo de oportunidade. Já na forma corrigida são considerados os valores do fluxo de caixa do período para o valor presente (ELI, 2017). O valor presente líquido é um método de avaliação de fluxos de caixas descontados, proporcionando uma comparação entre o valor do investimento e o valor dos retornos esperados, na forma de fluxo de caixa líquido (BROM & BALIAN, 2007 *apud* ROSSAROLA, 2016). A Taxa Interna de Retorno é o retorno do investimento expresso na forma de uma taxa de juros, ou seja, a taxa que iguala os recebimentos futuros aos investimentos feitos no projeto (HOCHHEIM, 2015). Assim, a TIR iguala as saídas e as entradas de um investimento realizado, produzindo um VPL igual a zero. Por fim, a Taxa Mínima de Atratividade é a menor taxa que um investidor aceita como rentabilidade para um investimento, ou seja, a taxa a partir da qual o investidor considera que está tendo ganhos financeiros.

Há inúmeros trabalhos científicos que fizeram uso dos conceitos apresentados, a fim de analisar a viabilidade econômica e financeira dos projetos de suas pesquisas. Silva (2015) analisou técnica e economicamente medidas de eficiência energética nos processos executados pela companhia mineira Doña Inés de Collahuasi, em Puerto Patache, Chile, calculando o VPL, a TIR e o *Payback* para cada MEE. O estudo demonstrou que os sistemas de bombeamento, os compressores de ar, as correias transportadoras, os agitadores e o sistema de iluminação são os

responsáveis pela maior parcela do consumo em Puerto Patache. O uso de inversores de frequência variável (VFD) nas bombas que transportam concentrado de cobre resultou em uma TIR de 40% e um período de recuperação do capital de 3 anos. Além disso, foi estimado um abatimento de 213 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano com a intervenção do VFD. Os compressores de ar correspondem aos motores de maior consumo em Puerto Apache e tiveram reduções expressivas de consumo energético. Ao aplicar os VFD's para o controle da velocidade desses motores, foi alcançada uma economia de 1.132.028kWh em um ano. O investimento para essa intervenção foi de 345.845 dólares, o que gerou uma rentabilidade de 21% e um período de retorno de 6 anos. Estimou-se a economia resultante da redução da velocidade das correias transportadoras, em específico a correia modelo 320CV25. A velocidade passou de 1,0 m/s para 0,9 m/s, implicando em 5,4 kW de economia para cada redução de 0,1 m/s. A economia em um ano é de 7.342 dólares e uma redução de 59,54 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas, considerando velocidade de 0,8 m/s. Em relação aos agitadores, a TIR encontrada foi de 9% e o *payback* de 11 anos. Por fim, o sistema de iluminação consome grandes quantidades de energia, sendo sua economia na redução de consumo significativa quando comparada à economia em relação aos motores. Para o projeto apresentado com maior custo-benefício, ou seja, menor investimento e mais rápido retorno, chegou-se a um VPL de 211.017,99 dólares, uma TIR de 23% e período de retorno de 4 anos.

Como forma de incentivar o uso de edifícios históricos, Klein (2019) realizou a classificação da eficiência energética da Casa de Câmara e Cadeia de Florianópolis e propôs medidas de aumento de eficiência energética, assim como realizou a análise econômico financeira. O edifício histórico teve a envoltória e o sistema de iluminação classificados de acordo com os métodos da nova etiquetagem de edifícios comerciais do PBE Edifica. No estudo, foram consideradas medidas que não afetariam a estética da edificação, portanto foram analisadas a troca das lâmpadas fluorescentes por LED, a substituição dos vidros e o isolamento térmico da cobertura. A primeira medida de eficiência energética considerada foi a troca das lâmpadas fluorescentes de 54 W por lâmpadas LED de 24 W. Em seguida, a troca dos vidros por outros com menor fator solar foi analisada. Pelo fato de ser um edifício histórico, optou-se por não modificar a estética da edificação com o uso de vidros espelhados ou escurecidos, portanto analisou-se o uso do vidro laminado incolor Eco Lite, com espessura de 8 mm, transmitância térmica de 5,7 W/m<sup>2</sup> e fator solar de 0,57. Por fim, para o isolamento da cobertura foram exploradas duas possibilidades: aplicação de lã de vidro acima do forro de madeira do

edifício, com espessuras de 2,5 cm e 5,0 cm. Quando analisadas em conjunto, o pacote de medidas mais eficiente foi o isolamento da cobertura com espessura de 2,5 cm, a substituição por lâmpadas LED e a troca dos vidros, o qual, segundo o método simplificado, resultou em uma redução de 15% em relação à carga térmica do caso base real. Porém, em relação à análise econômica, observou-se que somente a medida de eficiência energética de troca das lâmpadas fluorescentes por LED e o conjunto de troca das lâmpadas LED e isolamento da cobertura com camada de 2,5 cm de lã de vidro apresentaram TIR acima da TMA, VPL positivo e *Payback* Corrigido abaixo de 10 anos. O mesmo pacote incluindo a troca dos vidros resultou em um VPL negativo, de -R\$25.393,37. Quando analisadas individualmente, a única medida viável economicamente foi a substituição por lâmpadas LED, onde foram consideradas reduções no consumo tanto no sistema de iluminação, quanto na carga térmica de refrigeração, a qual acarretou em um VPL de R\$11.221,21, TIR de 163,5% e *Payback* Corrigido de 1 ano. Ambas as medidas de troca de vidros e isolamento da cobertura resultaram em um VPL negativo, de -R\$28.605,80 e -R\$8.124,39, respectivamente.

Eli (2017) em sua pesquisa apresentou como medidas de eficiência energética podem influenciar na demanda de energia para resfriamento de uma edificação multifamiliar de baixa renda, como também realizou as análises econômicas dessas intervenções. Foram analisados os climas de São Paulo e Salvador para a mesma edificação, e surpreendentemente, os pacotes de MEE's ideais para ambas as cidades foram os mesmos. Ambos os pacotes são constituídos por paredes de bloco cerâmico, laje da cobertura com EPS e uso de telha de fibrocimento e pintura da cobertura com baixa absorvância (0,40), porém se diferenciam pelo uso, ou não, de venezianas nos dormitórios. O investimento para implantação das medidas em São Paulo foi de R\$ 1.423,10 para o pacote com venezianas, pacote 5; porém, o pacote sem uso de venezianas, pacote 6, não apresentou custo para implantação, resultando em um lucro de R\$ 684,24 com relação aos componentes construtivos do caso base. A aplicação destes pacotes resultou na redução na conta de energia de R\$ 1.140,25 e R\$ 1.139,71, para o pacote 5 e 6, respectivamente, ou seja, 51,02% e 51,00%. Em Salvador não houve investimento para implantação dos pacotes, visto que o seu custo foi menor do que o caso base, resultando em um lucro de R\$ 801,26 na implantação do pacote 5 e de R\$ 1.850,16 para o pacote 6. As reduções por ano na conta de energia elétrica ficaram em R\$ 14.747,50 para o pacote 5 e R\$ 14.737,11 para o 6, o que equivale a 67,97% e 67,93%, respectivamente, em relação ao caso base. Em ambos os casos, devido ao menor custo de investimento, foi optado pelo uso do pacote 6.



Trianni et al., (2014) listaram inúmeras medidas de eficiência energética e seus respectivos períodos de *payback*, dados em curto, médio e longo prazo. Baseando-se em diversos estudos que revisaram as características de diferentes MEE's, o objetivo do artigo foi desenvolver um quadro inovador e ao mesmo tempo compreensível dessas medidas, apoiando-se em dezessete atributos agrupados em seis categorias, tais como econômicas, ambientais, energéticas e assim por diante. Com relação aos períodos de *payback*, as MEE's estão distribuídas com uma preponderância em direção aos curtos e médios prazos, totalizando 32 e 39 medidas, respectivamente, do total de 88 levantadas pelo estudo. Como exemplificado pelo sistema de iluminação, das 13 medidas de eficiência listadas, 10 possuem períodos de *payback* de curto e médio prazo, assim como pelo sistema HVAC, que conta com 30 medidas, de 38, com período de retorno de curto ou médio prazo. Alguns exemplos de MEE's com *paybacks* de curto prazo em relação ao sistema de iluminação são: utilizar sensores fotossensíveis, instalar temporizadores em interruptores, manter lâmpadas e refletores limpos, reduzir a iluminação para níveis mínimos necessários. Em relação ao sistema HVAC, foram elencados: evitar a operação simultânea de aquecedores e resfriadores de ambientes, instalação de temporizador ou termostato em equipamentos de ar condicionado, reduzir a ventilação de ar do edifício a níveis mínimos de segurança, reprogramar e rearranjar sistemas de aquecimento de múltiplas fontes.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o consumo crescente de energia elétrica observado nas últimas décadas, fez-se necessário o desenvolvimento de diversos programas e instrumentos que desenvolveram políticas de conservação de energia, a fim de reduzir o consumo e tornar as edificações, bem como outros produtos, mais eficientes. Tendo em vista este cenário, a concepção de edificações com a aplicação de medidas de eficiência energética, desde o seu planejamento, vem se mostrando uma alternativa cada vez mais popular entre os novos empreendimentos, de forma a reduzir o consumo energético na fase de ocupação do imóvel, tornando-se um incentivo e um diferencial para o comprador.

Os trabalhos expostos neste capítulo exploraram como as medidas de eficiência energética aplicadas tanto em edificações comerciais, quanto em residenciais, impactam na eficiência energética e reduzem a tarifa de energia elétrica, produzindo economias anuais que são consideradas nas análises de viabilidade econômica. A partir da aplicação da simulação

computacional e de metamodelos, é possível estimar as reduções nas cargas térmicas, e consequentemente na tarifa, com a aplicação de medidas de eficiência energética. A consideração de análises econômicas nas aplicações de medidas de eficiência energética é de grande relevância na aprovação, ou não, de projetos mais eficientes. Medidas com elevadas reduções no consumo energético de edificações podem se mostrar inviáveis após calculados os indicadores financeiros. Frente a isso recomenda-se que sejam realizadas essas análises ao avaliar medidas com diferentes custos e impactos nas tarifas de energia elétrica.

Ainda que este trabalho tenha como objetivo a análise de um edifício comercial, a bibliografia demonstra que há potencial de ganhos energéticos em ambas as categorias de edificações. Portanto, a revisão de estudos relacionados à adoção de soluções eficientes, tanto em edificações comerciais quanto em residenciais, se faz necessário, para que haja o entendimento do seu impacto no consumo da edificação e proporcione insumos para uma discussão mais rica dos resultados.

A grande maioria dos trabalhos analisados neste capítulo considera a substituição do sistema de iluminação por outro mais eficiente, normalmente optando-se pelo uso de lâmpadas do tipo LED. Apesar de ter uma influência considerável no consumo de energia elétrica da edificação, esta medida é considerada usual em trabalhos de avaliação de medidas de eficiência energética. Destaca-se que, no presente trabalho, optou-se pela avaliação dos componentes relacionados exclusivamente à envoltória.

### 3 MÉTODO

O método adotado para este trabalho consiste, primeiramente, em determinar a carga térmica de resfriamento da envoltória do edifício base analisado. O procedimento de cálculo foi baseado no método simplificado da nova proposta para a avaliação de eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas, a INI-C.

Em um segundo passo, foram aplicadas medidas de eficiência energética na edificação de referência e, após a análise dos resultados, foram definidos os pacotes de medidas, compostos pelas MEE's que contribuiram para a redução das cargas térmicas de resfriamento. Posteriormente, foi realizada a classificação da eficiência energética da envoltória para cada medida de eficiência energética, assim como para os pacotes de medidas, pelo método simplificado da INI-C.

Em seguida, foi realizada a análise de viabilidade econômica dos pacotes de MEE's e foi estipulado o pacote mais rentável para a edificação, do ponto de vista financeiro. A decisão da melhor composição de medidas foi baseada no *payback* corrigido, no valor presente líquido e na taxa interna de retorno.

Por fim, foi apontada a configuração que melhor desempenhou do ponto de vista energético e financeiro.

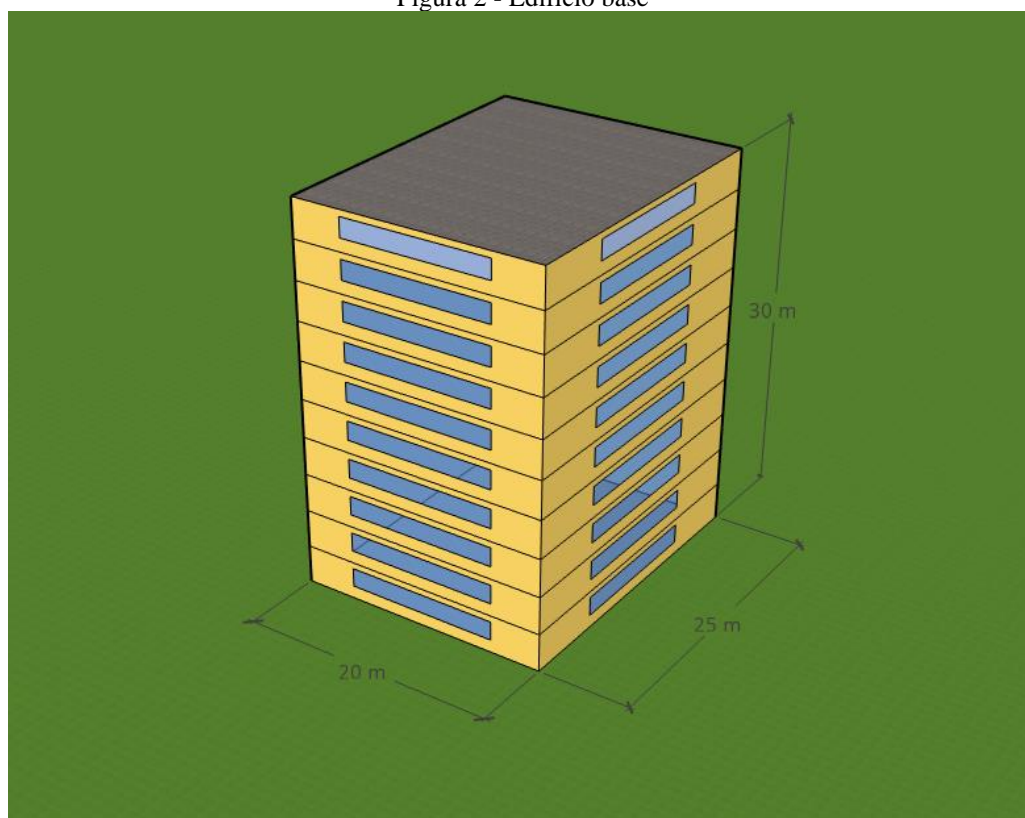
#### 3.1 EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

Com o objetivo de definir o desempenho energético mínimo admissível nas edificações comerciais, de serviço e públicas, o relatório elaborado pelo CB3E (2017) propôs edifícios de referências das principais tipologias referentes a essas edificações. Edifícios de referência são edificações que representam os quesitos funcionais, geométricos, de performance energética e de custos, incluindo as condições climáticas interiores e exteriores (COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2012), ou seja, pretendem representar o estoque típico e médio dos edifícios em termos de condições climáticas e uso (CORGNATI et al., 2013). Para a determinação dos parâmetros térmicos e geométricos da tipologia representativa utilizada, foi realizado um levantamento que contemplou diferentes fontes de pesquisa, o qual foi apoiado por um questionário direcionado às construtoras, com o objetivo de levantar as características arquitetônicas e construtivas do parque edificado nacional referente às edificações comerciais menos eficientes do ponto de vista energético.

Tendo como base o estudo realizado pelo CB3E (2017), as características arquitetônicas, as propriedades térmicas dos materiais e as propriedades de ocupação, iluminação e condicionamento de ar da edificação base utilizada foram definidas como sendo as mais representativas, ou seja, foram selecionadas as características com maior ocorrência no parque edificado, relacionadas às edificações consideradas menos eficientes.

O modelo de referência definido foi o de escritório médio, considerando-se 10 pavimentos, sendo composto pelo pavimento térreo, oito pavimentos tipo e a cobertura, e área de 500m<sup>2</sup> por pavimento, sem subdivisões internas, com a proporção geométrica de 20 m por 25 m e pé direito de 3 m, representado pela Figura 2.

Figura 2 - Edifício base



Fonte: Autor

Visto que o objetivo deste trabalho é analisar a influência de medidas de eficiência energética na envoltória do edifício comercial base, os demais valores referentes às propriedades arquitetônicas da edificação e outras considerações foram retiradas dos valores de referência para edificações de escritórios, localizados no Anexo A da INI-C, descritos na Tabela 3. Destaca-se que todas as edificações de referência descritas no anexo A da INI-C são classificadas com nível “D” de eficiência energética.

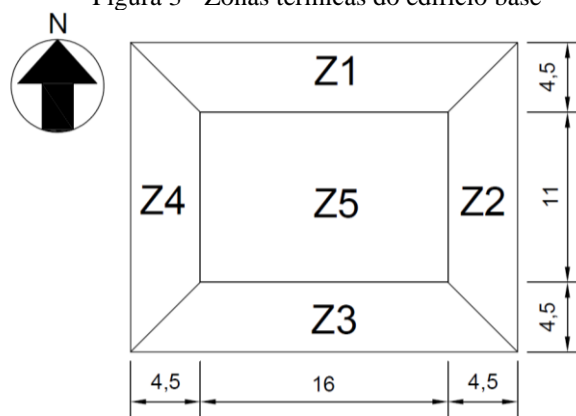
Tabela 3 - Valores de referência para edificações de escritórios de acordo com o Anexo A da INI-C

Uso típico	Edificação de escritórios
	Condição de referência
<b>Geometria</b>	
Pé-direito ( piso a teto ) ( m )	3
<b>Aberturas</b>	
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	50
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	0
<b>Parede</b>	
Upar - Transmitância da parede externa ( W/m <sup>2</sup> K )	2,39
αPAR - Absortância da parede ( adimensional )	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede ( kJ/m <sup>2</sup> K )	150
<b>Cobertura</b>	
Ucob - Transmitância da cobertura ( W/m <sup>2</sup> K )	2,06
αcob - Absortância da cobertura ( adimensional )	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura ( kJ/m <sup>2</sup> K )	233
<b>Vidro</b>	
FS - Fator solar do vidro ( adimensional )	0,82
Uvid - Transmitância do vidro ( W/m <sup>2</sup> K )	5,7
AHS - Ângulo Horizontal de sombreamento ( ° )	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento ( ° )	0
AOV - Ângulo de obstrução vertical ( ° )	0
<b>Iluminação e ganhos</b>	
DPI - Densidade de potência de iluminação ( W/m <sup>2</sup> )	14,1
Ocupação ( m <sup>2</sup> /pessoa )	10
DPE - Densidade de potência de equipamentos ( W/m <sup>2</sup> )	9,7
Horas de ocupação ( horas )	10
Isolamento do piso	Sem isolamento

Fonte: Adaptado de CB3E, 2017

Dada a definição da tipologia da edificação, as zonas térmicas devem ser divididas de acordo com os parâmetros que as definem e suas áreas calculadas (CB3E, 2017). Como define a nova proposta de avaliação da eficiência energética da INI-C, as zonas térmicas perimetrais devem ser limitadas em espaços de 4,50 metros de profundidade, enquanto que as zonas térmicas internas são localizadas em espaços acima dos 4,50 m de profundidade com relação à parede externa. Como os lados do edifício são superiores a 9 metros, haverá a análise do núcleo central da edificação, ou seja, haverá uma zona interna, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Zonas térmicas do edifício base



Fonte: Autor

A inserção de uma zona interna na análise térmica da edificação faz sentido devido à dimensão do comprimento e da largura do edifício. Como o menor lado possui 20 metros de extensão, estando 11 metros acima do mínimo exigido para a consideração de uma zona interna, é evidente que o núcleo central da edificação terá um comportamento térmico diferente das zonas perimetrais, as quais estarão em contato direto com as aberturas da fachada.

Como as características térmicas, de ocupação e de iluminação dos pavimentos intermediários se mantêm constantes, não haverá mudanças nas zonas térmicas. Porém como o térreo está em contato com o solo e a cobertura exposta ao ambiente externo, a análise dessas zonas térmicas se dará de forma independente. Visto isso, haverá três análises de zonas distintas: do pavimento térreo, dos pavimentos intermediários e da cobertura.

### 3.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para a redução do consumo de energia elétrica relativo à envoltória da edificação, foram analisadas 15 medidas de eficiência energética distintas. As propriedades consideradas, representadas pela Tabela 4, foram relacionadas aos materiais e aspectos construtivos relativos ao envidraçamento da fachada, paredes e cobertura, somando-se nove parâmetros a serem avaliados: fator solar do vidro, percentual de abertura da fachada, transmitância das paredes, cobertura e vidros e absorvância e capacidade térmica das paredes e cobertura. As soluções adotadas pelas MEE's foram baseadas no Anexo V da Portaria INMETRO N° 50/2013 e no sítio <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/> do ProjetEEE. Salienta-se que os nove parâmetros avaliados respeitaram os limites impostos pelo método simplificado, segundo demonstra a Tabela 1 do capítulo anterior deste trabalho, retirada do capítulo 4 da INI-C.

Tabela 4 - Variáveis de entrada consideradas na escolha das medidas de eficiência energética

<b>Parâmetros</b>
<b>Vidro</b>
Fator solar do vidro (FS)
Transmitância térmica do vidro ( $U_{vid}$ )
<b>Paredes</b>
Transmitância térmica da parede externa ( $U_{par}$ )
Capacidade Térmica da parede ( $CT_{par}$ )
Absortância solar da parede ( $\alpha_{par}$ )
<b>Cobertura</b>
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )
Capacidade Térmica da cobertura ( $CT_{cob}$ )
Transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ )
<b>Fachada</b>
Percentual de abertura da fachada (PAF)

Fonte: Autor

Em relação aos tipos de vidro analisados, adotou-se para a MEE 1 a linha COOL-LITE SKN, vidro duplo monolítico com fator solar de 0,27 e transmitância térmica de 3,22 W/(m<sup>2</sup>K), altamente seletivo, que possui baixa reflexão e permite grande passagem de luz ao ambiente interno. Para a MEE2 foi considerado o vidro de controle solar Eco Lite, laminado com incolor, com fator solar igual a 0,57 e transmitância térmica de 5,7 W/(m<sup>2</sup>K), possuindo baixa reflexão e também reduzindo a entrada de calor. O vidro da linha Silver green, adotado na MEE 3 e também laminado com incolor, garante uma alta durabilidade, uma baixa transmissão de luz, um fator solar reduzido de 0,29 e transmitância térmica de 5,67 W/(m<sup>2</sup>K), resultando em um considerável isolamento térmico da edificação, porém, ainda abaixo do proporcionado pelo vidro duplo adotado na MEE 1.

As aplicações consideradas nas paredes levaram em conta a utilização de um bloco cerâmico maior em relação ao caso base, a adoção de placa de gesso, placa cimentícia, uso de lã de rocha como isolante térmico e pintura das paredes externas com cores claras e escuras. Para a absortância térmica da parede foi mantido o valor de 0,5 do caso base nas MEE's 4, 5 e 6, enquanto que a transmitância térmica e a capacidade térmica foram variadas de acordo com a medida analisada. Na análise da MEE 4 optou-se por variar apenas a dimensão do bloco cerâmico, que passou de 9x19x19 cm para 14x19x29 cm. Já nas MEE's 5 e 6, foram analisadas duas configurações com isolamento térmico proveniente de lã de rocha, com uma camada de 4 cm e outra de 7,5 cm, respectivamente, e utilização de placa de gesso de 1,25 cm no interior da edificação e placa cimentícia de 1 cm no exterior. Devido à baixa transmitância térmica da solução com 9 centímetros de espessura de lã de rocha, a qual não atendia os limites da Tabela

1, não foi possível realizar a sua análise. Para as MEE's 7 e 8, alterou-se somente a cor da pintura da parede externa em relação ao caso base, obtendo-se, respectivamente, absorptâncias térmicas de 0,3, relativas às cores claras, e 0,8, referentes às cores escuras.

Finalmente, na cobertura foram analisadas duas combinações com a aplicação de telha metálica, com o uso de poliestireno e poliuretano como isolantes, e outra com telha de fibrocimento, porém com a substituição da laje maciça de concreto por laje pré-moldada. Assim como na análise das paredes, a absorptância térmica da cobertura também foi mantida com o mesmo valor do caso base, a 0,80, para as MEE's 9, 10 e 11, porém, foi novamente analisado o impacto da variância da absorptância térmica no resultado da carga térmica, a partir da aplicação de cores claras e ligeiramente escuras nas MEE's 12 e 13 respectivamente. Na verificação da MEE 9 alterou-se apenas o tipo de laje, que passou de maciça para pré-moldada, com camada de 4 cm de concreto, 7 cm de poliestireno e 1 cm de argamassa. Na verificação das MEE's 10 e 11 foi analisada, respectivamente, a utilização de telha metálica com aplicação de poliestireno e poliuretano como isolante térmico. Como comentado, nas MEE's 12 e 13 alterou-se apenas as cores da pintura da telha da cobertura, utilizando-se tons claros ( $\alpha_{cob} = 0,30$ ) e vagamente escuros ( $\alpha_{cob} = 0,50$ ), respectivamente.

Além disso, considerou-se além do caso base, mais dois percentuais de abertura da fachada: 30% para a MEE 14 e 80% para a MEE 15.

As medidas de eficiência energética adotadas na análise podem ser observadas na Tabela 5 abaixo. Salienta-se que a MEE 8 e a MEE 15 não são consideradas medidas de eficiência energética, mas foram analisadas para avaliar o seu impacto nas cargas térmicas de resfriamento da edificação.



Tabela 5 - Medidas de eficiência energética aplicadas no edifício base

Componente Construtivo	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				
	Caso Base	MEE 1	MEE 2	MEE 3	MEE 6
<b>Vidro</b>	Vidro simples incolor 6 mm FS = 0,82 Uvid = 5,7 W/m <sup>2</sup> K	Vidro CEBRACE COOL-LITE SKN 144 II monolítico 6 mm FS = 0,27 Uvid = 3,22 W/m <sup>2</sup> K	Vidro CEBRACE Eco Lite incolor laminado com incolor 8 mm FS = 0,57 Uvid = 5,7 W/m <sup>2</sup> K	Vidro GUARDIAN Silver 20 green laminado com incolor 8 mm FS = 0,29 Uvid = 5,67 W/m <sup>2</sup> K	
	<b>Paredes</b>	Caso Base Argamassa interna (2,5 cm) Bloco cerâmico furado (9 cm) Argamassa externa (2,5 cm) Upar = 2,39 W/m <sup>2</sup> K αpar = 0,50 CTpar = 150 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 4 Argamassa interna (2,5 cm) Bloco cerâmico furado (14 cm) Argamassa externa (2,5 cm) Upar = 1,85 W/m <sup>2</sup> K αpar = 0,50 CTpar = 161 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 5 Placa de gesso (1,25 cm) Lã de rocha (4 cm) Placa cimentícia (1 cm) Upar = 0,90 W/m <sup>2</sup> K αpar = 0,50 CTpar = 29 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 6 Placa de gesso (1,25 cm) Lã de rocha (7,5 cm) Placa cimentícia (1 cm) Upar = 0,53 W/m <sup>2</sup> K αpar = 0,50 CTpar = 32 kJ/m <sup>2</sup> K
<b>Cobertura</b>	Caso Base Telha de fibrocimento Câmara de ar (>5 cm) Laje maciça de concreto (10 cm) Ucob = 2,06 W/m <sup>2</sup> K αcob = 0,80 CTcob = 233 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 9 Caso base com pintura clara Upar = 2,39 W/m <sup>2</sup> K αpar = 0,30 CTpar = 150 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 10 Telha metálica (0,1 cm) Poliuretano (4 cm) Telha metálica (0,1 cm) Câmara de ar (>5 cm) Laje maciça de concreto (10 cm) Ucob = 0,68 W/m <sup>2</sup> K αcob = 0,80 CTcob = 229 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 11 Telha metálica (0,1 cm) Poliuretano (4 cm) Telha metálica (0,1 cm) Câmara de ar (>5 cm) Laje maciça de concreto (10 cm) Ucob = 0,55 W/m <sup>2</sup> K αcob = 0,80 CTcob = 230 kJ/m <sup>2</sup> K	MEE 13
	<b>PAF</b>	Caso Base 0,5	MEE 14 0,3	MEE 15 0,8	

Fonte: Autor

Para a análise dos ganhos energéticos das medidas de eficiência energética expostas acima, primeiramente, foi calculada a carga térmica proveniente da envoltória da edificação de referência, segundo o método simplificado, ou seja, com os valores adotados referentes à Tabela 3, retirada do Anexo A da INI-C. Em seguida, foi avaliada a eficiência energética de cada MEE, individualmente, com o objetivo de mensurar a sua capacidade de redução da carga térmica da edificação. A partir dos resultados obtidos, as MEE's foram agrupadas em diferentes configurações e novamente avaliadas, a fim de se escolher o pacote ideal para a edificação, com maior eficiência energética. Posteriormente, foi realizada a classificação de eficiência energética da envoltória a partir da aplicação das medidas de eficiência energética e dos pacotes de medidas, assim como a viabilidade econômica das composições de medidas.

### 3.3 MÉTODO SIMPLIFICADO

Segundo a INI-C, a aplicação do método simplificado só é possível se os parâmetros da edificação em análise atenderem os critérios definidos na Tabela 1 do capítulo anterior. Como o edifício base é baseado nos valores da condição de referência para edificações de escritórios e as medidas de eficiência energética foram aplicadas de acordo com os limites estabelecidos pela Tabela 1, seguiu-se os procedimentos do método simplificado, sem maiores problemas. Caso contrário, para edificações que não atendem a um ou mais critérios, deve-se utilizar o método de simulação.

#### 3.3.1 ENVOLTÓRIA

Para áreas totalmente ou parcialmente condicionadas artificialmente, os critérios para a avaliação do desempenho térmico da envoltória encontram-se no item B.I.1.1 da INI-C e foi definido através da carga térmica total anual da edificação em sua condição real e de referência, sendo equivalentes ao valor da carga térmica de refrigeração. Primeiramente, para a determinação do nível de eficiência energética da envoltória, foi calculado o valor da carga térmica para refrigeração, a qual baseia-se em metamodelos de análise que utilizam redes neurais artificiais para diferentes realidades climáticas brasileiras (CB3E, 2017). A aplicação das variáveis de entrada no metamodelo para o cálculo da determinação da carga térmica requer algumas considerações: definição do uso da tipologia, divisão da edificação em zonas térmicas, determinação dos parâmetros de entrada da edificação real e de referência por zona térmica e

cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração e carga térmica total de refrigeração. A determinação dos valores dos três primeiros passos já foi descrita neste capítulo, restando apenas o cálculo da carga térmica da envoltória.

Inicialmente, foi estimada a carga térmica da envoltória da edificação para a condição de referência, ou seja, com as características físicas do edifício base e propriedades térmicas de referência, assim como para a edificação com a aplicação das MEE's, considerada como a condição real. Como indica o item B.I.1.1.4 da INI-C, após serem definidos os parâmetros de entrada, os mesmos devem ser inseridos na interface web do metamodelo, disponível no sítio [http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index\\_with\\_angular.html#](http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#). O metamodelo da interface *web* utiliza as mesmas redes neurais desenvolvidas na linguagem R, adotadas neste trabalho. O usuário apenas necessita inserir os dados de entrada e a cidade onde a edificação está localizada, para que o metamodelo associe corretamente os dados climáticos com o local especificado e possa calcular a carga térmica de refrigeração. Os valores de saída estimados encontram-se em kWh/(m<sup>2</sup>ano) para cada zona térmica e, após multiplicá-los pelas respectivas áreas e somá-los, a plataforma disponibiliza o valor da carga térmica total de refrigeração da edificação, em kWh/ano.

No presente trabalho, a rede neural foi aplicada através da linguagem de programação R. Porém, os parâmetros de entrada necessários foram exatamente os mesmos utilizados para o funcionamento do metamodelo virtual, com a vantagem de se alterar as variáveis de entrada com grande facilidade e agilidade, obtendo-se diferentes resultados em um intervalo de tempo muito menor. Para inserir os parâmetros de entrada no código foram utilizadas planilhas de Excel no formato “comma-separated values” (“.csv”), que viabilizam a sua leitura através da linguagem de programação. O código desenvolvido em R utiliza vetores para salvar os parâmetros de saída calculados pela rede neural, logo, cada valor dos vetores diz respeito a um dos parâmetros de saída de cada zona térmica. Dessa maneira, o código utilizou-se dos valores estimados pela rede neural para dar continuidade aos cálculos e predizer o valor da carga térmica de resfriamento da envoltória da edificação.

Como citado anteriormente, além das variáveis de entrada é preciso informar os dados climáticos referentes à cidade em que o edifício está localizado, como: latitude, altitude, velocidade do vento, radiação solar, temperatura média anual, amplitude média anual, e o desvio padrão da temperatura e amplitude média. Para a análise em estudo, foi considerado que a edificação está situada na cidade de Florianópolis e, através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram obtidos os dados pertencentes à área escolhida.

Para a determinação da classe de eficiência energética da envoltória da edificação, após calculada a sua carga térmica nas condições real e de referência, se faz necessária a obtenção do fator de forma, do coeficiente de redução de carga térmica anual da classe D para a classe A e do valor do intervalo dentro do qual a envoltória será classificada. Este procedimento é detalhado no tópico 2.1.1 deste trabalho. Com esses valores em mãos, é preenchida a Tabela 2 e é definida a classe de eficiência energética da envoltória da edificação real inserindo-se o valor da sua carga térmica de resfriamento em seu devido intervalo.

O procedimento descrito acima foi realizado para todas as medidas de eficiência energética analisadas, assim como para os pacotes de medidas, a fim de apontar a configuração que obteve o melhor desempenho energético.

### 3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A partir da redução do consumo de energia elétrica devido a aplicação das medidas de eficiência energética, podemos mensurar a viabilidade econômica desse investimento, visto que há um desembolso inicial para a compra, substituição ou alteração de equipamentos e aspectos construtivos da edificação e uma redução no custo da tarifa ao longo dos anos. O edifício analisado foi considerado em fase de projeto, de forma que para a análise econômica dos vidros foi considerada a diferença dos preços entre o vidro de referência e os vidros adotados na MEE 1, 2 e 3. Para a análise das tintas das paredes externas, como foi alterado apenas a sua coloração, não acarretou custos extras, porém, em relação à pintura da cobertura, como a referência considera somente o uso de telha de fibrocimento, houve um custo associado à tinta utilizada para esse serviço. Com relação à redução do percentual de abertura da fachada para 30%, a análise considerou a redução no uso de vidros e o aumento no uso de paredes.

Para determinar se houve viabilidade financeira ou não, foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* Corrigido.

O VPL é obtido pela soma de todos os valores do fluxo de caixa trazidos pela data presente, a partir da taxa de desconto, que nesse caso será a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Para que o investimento seja viável, é necessário que o VPL seja maior do que zero. O seu cálculo foi feito a partir da Equação 1, demonstrada abaixo:

$$VPL = Vp + \sum_{t=1}^n \frac{Vf}{(1+TMA)^t} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido

Vp = Valor presente

n = Número de períodos

TMA = Taxa Mínima de Atratividade

Vf = Valores futuros

Para definir o valor da TMA deve-se levar em conta o valor da taxa básica de juros, a Selic, que é referência para investimentos de renda fixa. Com a baixa da taxa Selic nos últimos meses, tem-se que um rendimento de 5,5% ao ano, ou seja, 100% da Selic, é um investimento considerado aceitável. Tendo em vista as variações no preço de energia e as manutenções e danos aos novos equipamentos investidos, conclui-se que o investimento em medidas de eficiência energética possui um risco maior que investimentos comuns em renda fixa. Para tanto, a TMA adotada para esta análise será de 7,5%.

A Taxa Interna de Retorno é a taxa de desconto para a qual tem-se  $VPL = 0$ , ou seja, a taxa que iguala os recebimentos futuros aos investimentos realizados no projeto, como indica a Equação 2. Portanto, para a viabilidade do projeto é necessário que a TIR seja superior à TMA.

$$\sum_{t=0}^n \frac{Vf}{(1+TIR)^t} = 0 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde,

Vf = Valores futuros

TIR = Taxa Interna de Retorno

n = Número de períodos

O *Payback* Corrigido mede o tempo necessário para recuperar o capital investido, ou seja, é uma avaliação do risco através do tempo. A ideia deste indicador é selecionar o projeto que reponha o investimento no menor espaço de tempo, pois quanto mais prolongada é a recuperação do capital, mais incertezas e maiores as chances de se ter um cenário diferente daquele considerado nas hipóteses iniciais da análise. Para tanto, mesmo com valores de VPL e TIR que aprovem a viabilidade do projeto, *Paybacks* com valores muito altos inviabilizam o investimento. Levando-se em consideração a TMA adotada e optando-se por uma abordagem

mais conservadora, definiu-se que o tempo de recuperação do capital não deverá ultrapassar 6 anos.

Para a estimativa do custo das medidas de eficiência energética aplicadas foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), o qual disponibiliza mensalmente os valores referentes aos materiais e insumos empregados na construção civil. Para este trabalho foi utilizado o arquivo referente ao mês de setembro de 2019, considerando a opção desonerada do SINAPI. Para as medidas 1, 2 e 3, referentes aos vidros, foi realizada pesquisa de mercado para obter seus preços, visto que o SINAPI não relaciona esses produtos em seu banco de dados.

Em relação ao custo da energia elétrica, foi considerado o valor da tarifa em conjunto com os três impostos aplicados: referente ao Programa de Integração Social (PIS), a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Tendo o mês de setembro de 2019 como referência, as alíquotas praticadas pelas CELESC foram, respectivamente, 0,99%, 4,56% e 25%. O grupo de tarifação em que a edificação comercial foi considerada é o B3, referente às edificações de pequeno porte, o qual é cobrada uma taxa de 0,46978 reais por quilowatt hora (CELESC, 2019). O valor final da tarifa é calculado segundo a Equação 3, e para esta análise foi encontrado o valor de 0,67643 R\$/kWh.

$$Tarifa = \frac{Tarifa\ homologada}{[1-(PIS+COFINS+ICMS)]} \quad \text{Eq. (3)}$$

Para a conversão da carga térmica anual de resfriamento relativa à envoltória da edificação em consumo de energia elétrica, é necessário dividir o valor de carga térmica pela eficiência energética do sistema de condicionamento de ar, conforme mostrado na Equação 4.

$$CEE = \frac{CgT}{SPLV} \quad \text{Eq. (4)}$$

O valor adotado para a eficiência energética do sistema de condicionamento de ar será de 3,24 W/W, referente ao nível A de eficiência energética das máquinas de ar condicionado do tipo split. As unidades do consumo energético, assim como a carga térmica, são em função da área da zona térmica, portanto, para obter-se o valor total de consumo de um edifício, é necessário considerar o valor das áreas de todas as suas zonas térmicas.

Com o valor da tarifa de energia elétrica e do consumo energético calculados, o total cobrado ao consumidor, em reais, para refrigeração da edificação é obtido pela Equação 5 abaixo, sendo a unidade da tarifa em R\$/kWh, do consumo em kWh/(m<sup>2</sup>ano), a área da zona térmica em m<sup>2</sup> e o consumo total em R\$/ano.

$$\textit{Consumo total} = \textit{Tarifa} * \textit{CEE} * \textit{Área ZT} \quad \text{Eq. (5)}$$

## 4 RESULTADOS

Seguindo o proposto pelos capítulos anteriores, foram apresentados nessa seção os resultados referentes à determinação da carga térmica de resfriamento da envoltória do edifício de referência, bem como da aplicação das medidas de eficiência energética e das composições de medidas, agrupadas em pacotes, segundo o método simplificado da INI-C. Em seguida, de acordo com a eficiência energética de cada MEE e dos pacotes de medidas, foi realizada a classificação de eficiência energética, ou seja, foi realizado o cálculo da etiquetagem de cada caso, bem como a análise de viabilidade econômica das composições de medidas. Ao final, foi apontada a solução que apresentou a maior redução de carga térmica e que obteve os melhores indicadores financeiros.

### 4.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

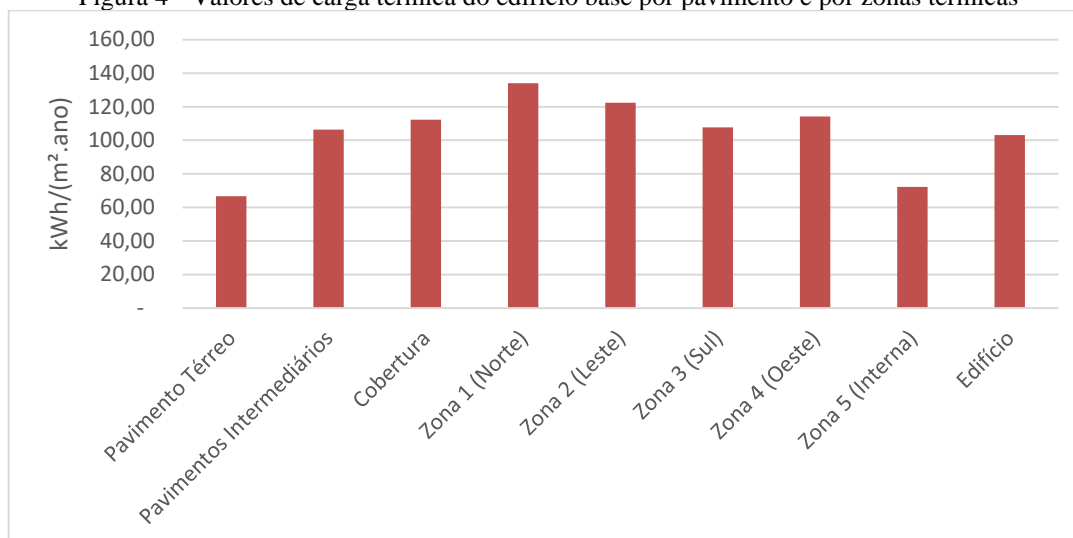
#### 4.1.1 EDIFÍCIO BASE

Para o caso do edifício base, localizado em Florianópolis, as cargas térmicas de resfriamento podem ser visualizadas na Figura 4 e na Tabela 6. Os valores das cargas térmicas foram normalizados pela área, a fim de facilitar as comparações dos resultados dos diferentes cenários analisados. As cargas das zonas térmicas dos pavimentos térreo, tipo e da cobertura foram somadas e divididas pelas suas respectivas áreas, obtendo-se um valor de carga térmica por zona referente a todo o edifício.

Em relação ao pavimento térreo, no qual ocorre perdas térmicas do edifício para o solo, a carga térmica foi a mais baixa quando comparada aos pavimentos intermediários e à cobertura, totalizando 66,71 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). Os pavimentos intermediários tiveram valores de carga de resfriamento acima do pavimento térreo, com 106,45 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) cada, pela ausência do contato com o solo, porém, com um número ainda abaixo quando comparado à cobertura, a qual recebe radiações térmicas mais elevadas e, conseqüentemente, ocasionando em uma carga maior, de 112,32 kWh/(m<sup>2</sup>.ano).



Figura 4 - Valores de carga térmica do edifício base por pavimento e por zonas térmicas



Fonte: Autor

A fachada voltada para o Norte, referente à zona térmica 1, foi a que resultou em valores de carga térmica mais elevados, seguido da fachada voltada para o Leste, Oeste e Sul. Devido à incidência solar em Florianópolis ser mais predominante nas fachadas voltadas para o Norte, esta zona térmica resultou em cargas de 134,07 kWh/(m².ano), enquanto que a zona térmica voltada para o Sul, a que menos recebe incidência solar, obteve cargas de 107,74 kWh/(m².ano). Nota-se que a zona térmica interna foi a que menos gerou carga térmica, com um valor de 72,29 kWh/(m².ano), provavelmente, por estar afastada dos limites da envoltória, onde ocorre maiores trocas térmicas com o ambiente externo.

Tabela 6 - Valores de carga térmica de resfriamento do edifício base

Edifício Base	
Local	CgT (kWh/(m².ano))
Pavimento Térreo	66,71
Pavimentos Intermediários	106,45
Cobertura	112,32
Zona 1 (Norte)	134,07
Zona 2 (Leste)	122,46
Zona 3 (Sul)	107,74
Zona 4 (Oeste)	114,13
Zona 5 (Interna)	72,29
Edifício	103,06

Fonte: Autor

Para a determinação da classe de eficiência energética da envoltória da edificação, após a determinação da carga térmica de resfriamento é necessário obter o fator de forma, que nesse caso equivale a 0,213, resultado da divisão da área da envoltória (3200 m²) pelo volume

total da edificação (15000 m<sup>3</sup>). Com o valor do fator de forma e sabendo-se que o clima de Florianópolis pertence ao grupo 1-B, obtém-se o coeficiente de redução da carga térmica anual da classe A para a classe D segundo a tabela 5.13 da INI-C, que é igual a 0,25. Em seguida é calculado o intervalo dentro do qual a edificação será classificada, o qual é dividido em três partes iguais a 42.943,49 kWh/ano. A partir disso, é possível estabelecer os limites das classes de eficiência energética da Tabela 7, na qual todos os valores de carga térmica calculados posteriormente serão comparados, a fim de obter-se a sua etiqueta.

A edificação de referência resultou em um valor de carga térmica de 515.321,87 kWh/ano e recebe nível “D” de eficiência energética.

Tabela 7 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite Superior	-	386.491,40	429.434,89	472.378,38	515.321,87
Limite Inferior	386.491,40	429.434,89	472.378,38	515.321,87	-

Fonte: Adaptado de CB3E, 2017

## 4.1.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 4.1.2.1 Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Ao Vidro

De maneira geral, observa-se que a aplicação de vidros com menor fator solar influencia consideravelmente os valores de carga térmica para refrigeração da envoltória, na análise da edificação base para o clima de Florianópolis. Com a aplicação da MEE 1, referente à colocação de vidros duplos, houve uma economia significativa nas cargas, com uma redução de 22,51% em relação à edificação de referência. Como o vidro possui um baixo fator solar, este componente impacta as cargas térmicas principalmente no período em que há luz solar, no período da manhã e da tarde. Conseqüentemente, como pode ser visto na Tabela 8, a fachada Norte foi a que mais sofreu reduções, justamente pelo fato de receber maior radiação solar.

Tabela 8 - Impacto da medida de eficiência energética 1 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 1 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 1
Pavimento Térreo	66,71	50,56	24,21%
Pavimentos Intermediários	106,45	81,97	23,00%
Cobertura	112,32	92,32	17,81%
Zona 1 (Norte)	134,07	89,33	33,37%
Zona 2 (Leste)	122,46	85,85	29,89%
Zona 3 (Sul)	107,74	77,87	27,72%
Zona 4 (Oeste)	114,13	83,09	27,20%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	0,00%
Edifício	103,06	79,86	22,51%

Fonte: Autor

Em contrapartida, o pavimento da cobertura foi o que obteve menores reduções nas cargas térmicas, pelo fato de ser uma cobertura e, portanto, possuir pouca área envidraçada exposta à radiação solar, assim como por propiciar perdas de carga interna pela grande interação com o ambiente externo.

A MEE 2 contou com a aplicação de um vidro laminado de 8 milímetros, que possui o mesmo valor de transmitância térmica do caso de referência, porém com um fator solar de 0,57. Essa medida também possibilitou uma maior redução das cargas térmicas da fachada Norte em relação às outras fachadas, alcançando uma diferença máxima de 17,35% em comparação ao caso base. A cobertura, assim como na aplicação da MEE 1, apresentou a menor variação das cargas de refrigeração, atingindo 8,58% de redução. Pela razão de possuir um vidro com fator solar com valor de quase duas vezes o do vidro duplo, esta medida resultou em uma menor redução das cargas térmicas do edifício, no valor de 11,01%, praticamente metade da redução do vidro da MEE 1.

Tabela 9 - Impacto da medida de eficiência energética 2 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 2 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 2
Pavimento Térreo	66,71	59,58	10,68%
Pavimentos Intermediários	106,45	94,36	11,36%
Cobertura	112,32	102,69	8,58%
Zona 1 (Norte)	134,07	110,81	17,35%
Zona 2 (Leste)	122,46	104,69	14,51%
Zona 3 (Sul)	107,74	93,77	12,97%
Zona 4 (Oeste)	114,13	99,79	12,57%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	0,00%
Edifício	103,06	91,72	11,01%

Fonte: Autor

Em relação à MEE 3, composta por um vidro laminado de 8 milímetros que possui fator solar de 0,29 e transmitância térmica de 5,67 W/m<sup>2</sup>K, pôde-se observar um resultado muito similar à MEE 1, que apresenta fator solar 0,27 e transmitância de 3,22 W/m<sup>2</sup>K, evidenciando a pouca, ou nenhuma, influência de um vidro com baixa transmitância térmica nas cargas desta edificação. A Tabela 10, assim como a Figura 5, mostram que, com um fator solar quase idêntico, os resultados da MEE 1 e da MEE 3 mostraram-se muito próximos.

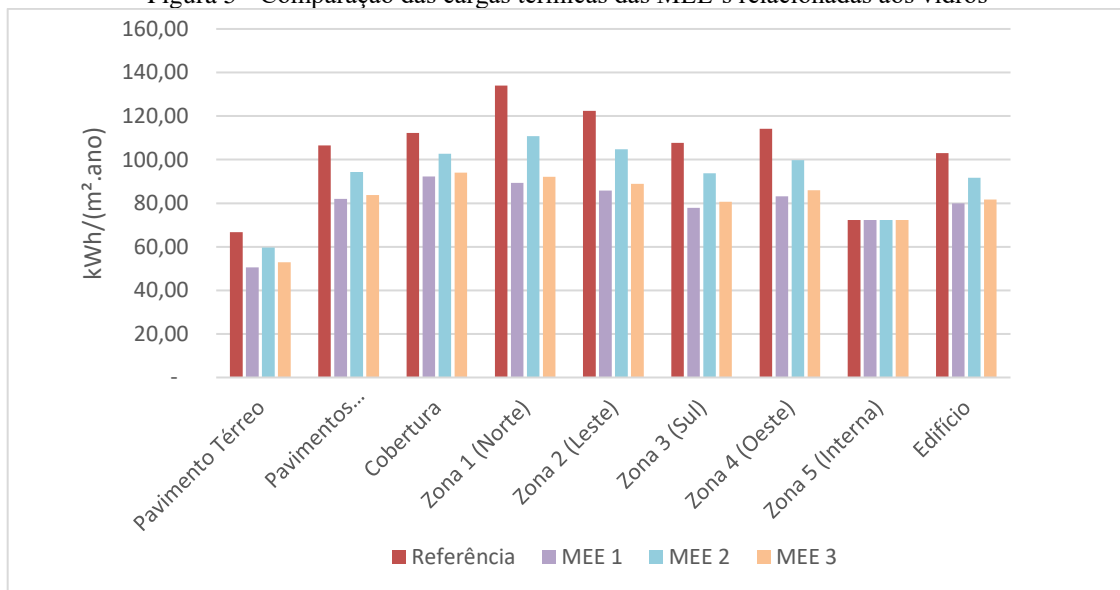
Tabela 10 - Comparação da medida de eficiência energética 1 e 3 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 1 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 3 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 1	Redução MEE 3
Pavimento Térreo	66,71	50,56	52,96	24,21%	20,60%
Pavimentos Intermediários	106,45	81,97	83,75	23,00%	21,33%
Cobertura	112,32	92,32	93,97	17,81%	16,34%
Zona 1 (Norte)	134,07	89,33	92,07	33,37%	31,33%
Zona 2 (Leste)	122,46	85,85	88,90	29,89%	27,41%
Zona 3 (Sul)	107,74	77,87	80,60	27,72%	25,19%
Zona 4 (Oeste)	114,13	83,09	85,94	27,20%	24,71%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	72,29	0,00%	0,00%
Edifício	103,06	79,86	81,69	22,51%	20,74%

Fonte: Autor

Assim como os resultados relacionados à MEE 1 e MEE 2, o cenário com a adoção do vidro da MEE 3 apresentou reduções mais significativas na fachada Norte, com variação de 31,33% em comparação ao caso base. Da mesma forma, o pavimento da cobertura obteve reduções de 16,34% nas cargas térmicas, o menor valor apresentado pela Tabela 3.

Figura 5 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos vidros



Fonte: Autor

Observa-se que nas medidas de eficiência energética relacionadas aos vidros não ocorre reduções nas cargas de resfriamento associadas à zona interna, pois essa zona não possui paredes e, portanto, medidas relacionadas a esse componente não apresentam alterações nas suas cargas térmicas. Esse resultado se repete nas MEE's relacionadas às alterações nas paredes e no percentual de abertura da fachada. Pelo fato de ter contato físico apenas com o piso e com o teto, elementos internos da edificação, as cargas das zonas internas sofreram alterações apenas com a aplicação das MEE's relacionadas à cobertura. Ao calcular individualmente as cargas de cada zona térmica, o metamodelo não leva em consideração as trocas térmicas das zonas perimetrais com a zona interna.

#### 4.1.2.2 Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Às Paredes

As medidas de eficiência energética relacionadas às propriedades dos materiais das paredes externas são apresentadas na Tabela 11.

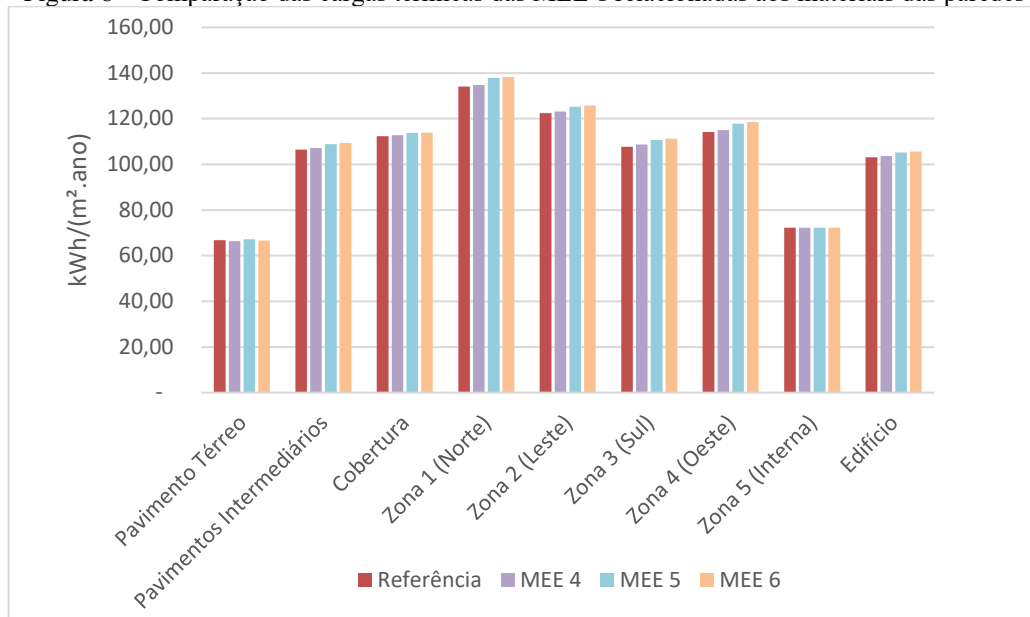
Tabela 11 - Impacto das medidas de eficiência energética 4, 5 e 6 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 4 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 5 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 6 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 4	Redução MEE 5	Redução MEE 6
Pavimento Térreo	66,71	66,33	67,12	66,65	0,57%	-0,62%	0,08%
Pavimentos Intermediários	106,45	107,08	108,87	109,34	-0,59%	-2,27%	-2,72%
Cobertura	112,32	112,74	113,71	113,93	-0,37%	-1,24%	-1,43%
Zona 1 (Norte)	134,07	134,77	137,77	138,24	-0,52%	-2,76%	-3,11%
Zona 2 (Leste)	122,46	123,18	125,26	125,75	-0,59%	-2,28%	-2,68%
Zona 3 (Sul)	107,74	108,62	110,61	111,21	-0,81%	-2,66%	-3,22%
Zona 4 (Oeste)	114,13	114,98	117,80	118,45	-0,74%	-3,21%	-3,78%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	72,29	72,29	0,00%	0,00%	0,00%
Edifício	103,06	103,57	105,18	105,53	-0,49%	-2,05%	-2,40%

Fonte: Autor

A MEE 4, que adotou o tijolo de dimensões 14x19x29 cm, apesar de isolar mais as paredes quando comparado ao caso de referência, resultou em cargas térmicas praticamente iguais aos do edifício base, com um aumento de 0,49%. Seguindo o mesmo raciocínio, tanto a MEE 5 quanto a MEE 6 adotaram placas de gesso no interior e placas cimentícias no exterior, com camadas de lã de rocha com espessuras de 4 cm e 7,5 cm, respectivamente, isolando mais as paredes. Porém, os resultados das cargas térmicas demonstraram um aumento sutil em relação ao caso base, de 2,05% para a MEE 5 e 2,40% para a MEE 6, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos materiais das paredes



Fonte: Autor

Uma hipótese para esse comportamento das cargas de resfriamento seria que, ao isolar termicamente as paredes externas, o calor proveniente do ambiente externo teria mais dificuldade de entrar na edificação, porém, o calor gerado pelas cargas internas do edifício também teria dificuldade de se dissipar. Como forma de apoiar essa hipótese, foram analisados alguns cenários e calculadas as cargas térmicas através do metamodelo da INI-C. Primeiramente, considerou-se que um edifício de escritório do tipo *call center*, com as mesmas características do edifício base, porém com paredes isoladas e com um aumento nos valores de densidade de potência de equipamentos de  $9,7 \text{ W/m}^2$  para  $25 \text{ W/m}^2$  e uma ocupação de  $2,5 \text{ m}^2/\text{pessoa}$ , quatro vezes o valor de referência, resultaria em cargas bem superiores às da edificação do caso base. Nesse caso, as cargas internas ficariam armazenadas devido ao isolamento térmico das paredes, fazendo com que a carga térmica para refrigeração aumentasse significativamente. Todavia, não foi o que aconteceu, tendo um acréscimo de  $4,11 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$ , com uma variação relativa de apenas  $1,73\%$  nas cargas em relação à mesma edificação, mas sem o isolamento nas paredes. Foi analisado o mesmo cenário, porém, com a adoção dos vidros duplos da MEE 1, pois era possível que o calor proveniente das cargas internas do *call center* estivesse dissipando-se a partir do vidro simples de referência, que ocupa  $50\%$  da fachada e possui transmitância térmica de  $5,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , resultando em pouca variação nas cargas. Mais uma vez o resultado não se mostrou significativo, tendo um aumento de  $2,70 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$  nas cargas, ou seja,  $1,31\%$  em relação ao edifício com cargas internas elevadas e vidro duplo, porém sem isolamento nas paredes. Investigando uma possível explicação em

relação ao clima, foram calculadas as cargas térmicas considerando a MEE 6, parede isolada, em um clima mais quente, de João Pessoa, e outro mais ameno, de Curitiba. O esperado era que, com a parede isolada, no clima com maiores temperaturas e radiação solar de João Pessoa, a dificuldade da entrada do calor do exterior para o interior da edificação resultaria em menores cargas de resfriamento com a adoção da MEE 6. Mesmo dificultando a saída do calor das cargas internas, devido ao clima mais quente do Nordeste, as cargas deveriam ser reduzidas. Seguindo a mesma lógica, no cenário contrário, em Curitiba, era previsto que as cargas térmicas aumentassem, pois, devido ao clima mais ameno, evitar a entrada de calor na edificação seria muito menos influente no resultado das cargas térmicas do que evitar a saída de calor devido à carga interna. A variação na carga, apesar de pequena para o clima de João Pessoa, seguiu o que foi previsto, com uma redução de 1,56%. Como exposto acima, em relação à MEE 6 para o clima de Florianópolis, houve um aumento de 2,40% nas cargas e, analisando um clima ainda mais ameno, como o de Curitiba, notou-se um aumento mais considerável, de 9,01%.

Portanto, conclui-se que, isolando as paredes externas termicamente, para climas mais amenos como o de análise, em Florianópolis, e para a edificação considerada, há um aumento das cargas térmicas, mesmo que pequeno, como mostra a Tabela 12, pois as cargas geradas pelo armazenamento do calor interno são maiores que aquelas geradas pelo calor do ambiente externo para o interno.

Tabela 12 - Impacto de diferentes cenários nas cargas térmicas da envoltória

	<i>Call Center</i> com paredes isoladas	<i>Call Center</i> com vidros duplos e paredes isoladas	João Pessoa com paredes isoladas	Florianópolis com paredes isoladas	Curitiba com paredes isoladas
Redução (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	-4,11	-2,70	3,11	-2,47	-5,93
Redução (%)	-1,73	-1,31	1,56	-2,4	-9,01

Fonte: Autor

Os resultados das cargas de refrigeração das MEE's 7 e 8, que atuaram na tonalidade da pintura das paredes externas, com cores mais claras e mais escuras, de absorvências térmicas iguais a 0,3 e 0,8, respectivamente, estão expostos na Tabela 13 e na Figura 7.

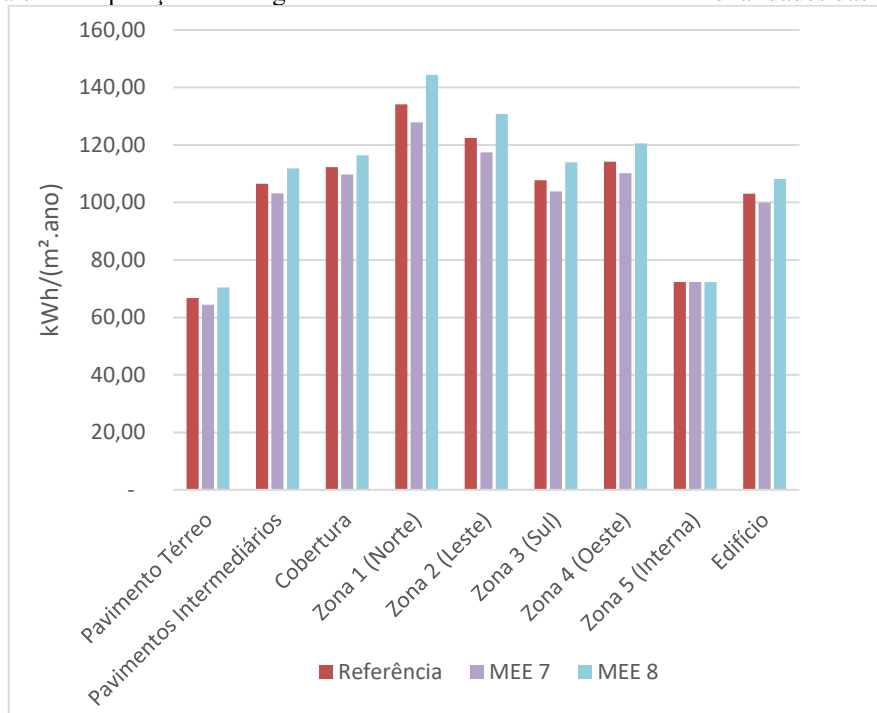
Tabela 13 - Impacto das medidas de eficiência energética 7 e 8 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 7 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 8 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 7	Redução MEE 8
Pavimento Térreo	66,71	64,45	70,37	3,39%	-5,49%
Pavimentos Intermediários	106,45	103,17	111,85	3,09%	-5,07%
Cobertura	112,32	109,70	116,45	2,34%	-3,67%
Zona 1 (Norte)	134,07	127,90	144,34	4,60%	-7,66%
Zona 2 (Leste)	122,46	117,39	130,76	4,14%	-6,77%
Zona 3 (Sul)	107,74	103,88	113,97	3,59%	-5,78%
Zona 4 (Oeste)	114,13	110,14	120,55	3,50%	-5,62%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	72,29	0,00%	0,00%
Edifício	103,06	99,95	108,16	3,02%	-4,94%

Fonte: Autor

Como demonstrado acima, houve uma redução de 3,02% nas cargas de refrigeração ao aplicar cores claras nas paredes externas da edificação base, pois há menos absorção de radiação solar por esse componente. Da mesma forma, foram calculadas as cargas de resfriamento para analisar a influência de cores escuras nas fachadas do edifício, as quais absorvem mais radiação, que resultaram em um aumento de 4,94% em relação ao caso base.

Figura 7 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas às tonalidades das paredes



Fonte: Autor



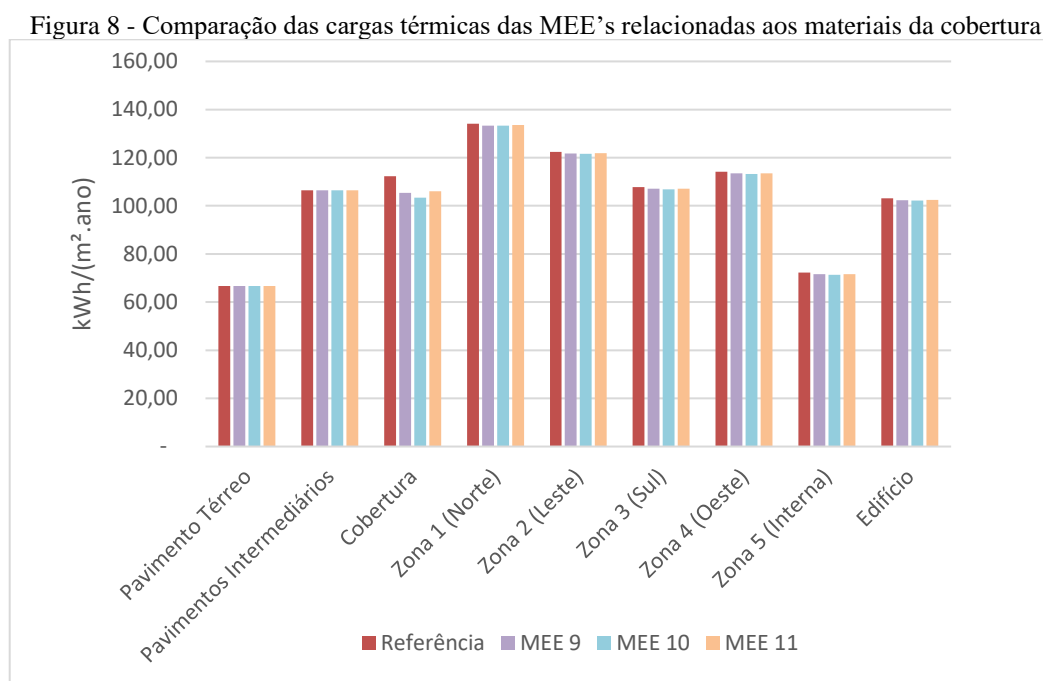
#### 4.1.2.3 Medidas de Eficiência Energética Relacionadas À Cobertura

Na análise dos resultados das medidas de eficiência energética relacionadas aos aspectos construtivos da cobertura, notou-se que, pelo fato do edifício em estudo possuir dez pavimentos e, portanto, seus valores de carga térmica serem predominantemente resultado da interação térmica dos pavimentos intermediários, houve pouca influência da adoção dessas alternativas nas cargas de resfriamento do edifício. A carga térmica proveniente da cobertura equivale a apenas 10,90% da carga térmica total do edifício de referência, portanto, as reduções no seu valor influenciaram pouco a carga de resfriamento da edificação. Apesar de a MEE 9, referente ao isolamento da cobertura com uso de telha de fibrocimento e laje pré-moldada com preenchimento de poliestireno, reduzir em 6,13% a carga térmica do pavimento da cobertura, isso corresponde a 0,67% da carga total do edifício. O mesmo ocorreu com a MEE 10 e 11, que também isolaram a cobertura, mas com a utilização de duas camadas de telhas metálicas preenchidas com poliestireno e poliuretano, respectivamente. Nesses dois casos, houve uma redução nas cargas do edifício de 0,86% e 0,60%, respectivamente, como pode ser visualizado na Tabela 14 e na Figura 8.

Tabela 14 - Impacto das medidas de eficiência energética 9, 10 e 11 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 9 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 10 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 11 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 9	Redução MEE 10	Redução MEE 11
Pavimento Térreo	66,71	66,71	66,71	66,71	0,00%	0,00%	0,00%
Pavimentos Intermediários	106,45	106,45	106,45	106,45	0,00%	0,00%	0,00%
Cobertura	112,32	105,43	103,44	106,09	6,13%	7,91%	5,55%
Zona 1 (Norte)	134,07	133,36	133,26	133,56	0,53%	0,60%	0,38%
Zona 2 (Leste)	122,46	121,77	121,61	121,87	0,57%	0,70%	0,49%
Zona 3 (Sul)	107,74	107,10	106,91	107,14	0,60%	0,77%	0,56%
Zona 4 (Oeste)	114,13	113,44	113,24	113,48	0,61%	0,79%	0,58%
Zona 5 (Interna)	72,29	71,59	71,32	71,60	0,96%	1,34%	0,95%
Edifício	103,06	102,38	102,18	102,44	0,67%	0,86%	0,60%

Fonte: Autor



Fonte: Autor

Diferentemente do que ocorreu com o isolamento das paredes, o isolamento da cobertura surtiu efeito positivo na redução das cargas térmicas da edificação, mesmo que com valores reduzidos. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que a referência utiliza uma absorvância térmica muito elevada, referente à telha de fibrocimento, com valor de 0,80, o limite superior para a utilização do método simplificado da INI-C. A fim de apoiar a hipótese acima, foram calculados, considerando a medida de eficiência energética relacionada à cobertura que mais reduziu a carga térmica, a MEE 10, os valores de carga considerando as absorvâncias térmicas das MEE's 12 e 13, ou seja, valores menores, de 0,3 e 0,5. Ao inserir no metamodelo as informações da edificação base, mas com o isolamento da cobertura proposto pela MEE 10 e com a absorvância térmica da MEE 13, de 0,5, houve um aumento das cargas de 0,45%. Inserindo-se os mesmos dados, porém com uma absorvância ainda menor, de 0,3, ocorreu novamente um aumento das cargas, ligeiramente maior, de 1,14%. Esses resultados sustentam a hipótese de que, ao realizar o isolamento da cobertura em conjunto com uma absorvância térmica alta, a qual absorve mais calor proveniente da radiação solar, implica em uma redução das cargas térmicas da edificação, para o clima de estudo. Porém, quando são utilizadas cores mais claras na cobertura, reduzindo os seus valores de absorvância e, conseqüentemente, absorvendo menos calor do ambiente, o isolamento térmico da cobertura armazena o calor gerado pelas cargas internas da edificação, o que resulta em um aumento das cargas de resfriamento. Apesar de também armazenar o calor interno no caso da aplicação da absorvância

de 0,8, o calor externo que o isolamento evita no interior do edifício faz com que a carga final seja menor que as cargas da configuração sem isolamento.

Como citado acima, os valores de absorvância das MEE's 12 e 13 influenciam consideravelmente as cargas térmicas da edificação, como pode ser observado na Tabela 15 e na Figura 9.

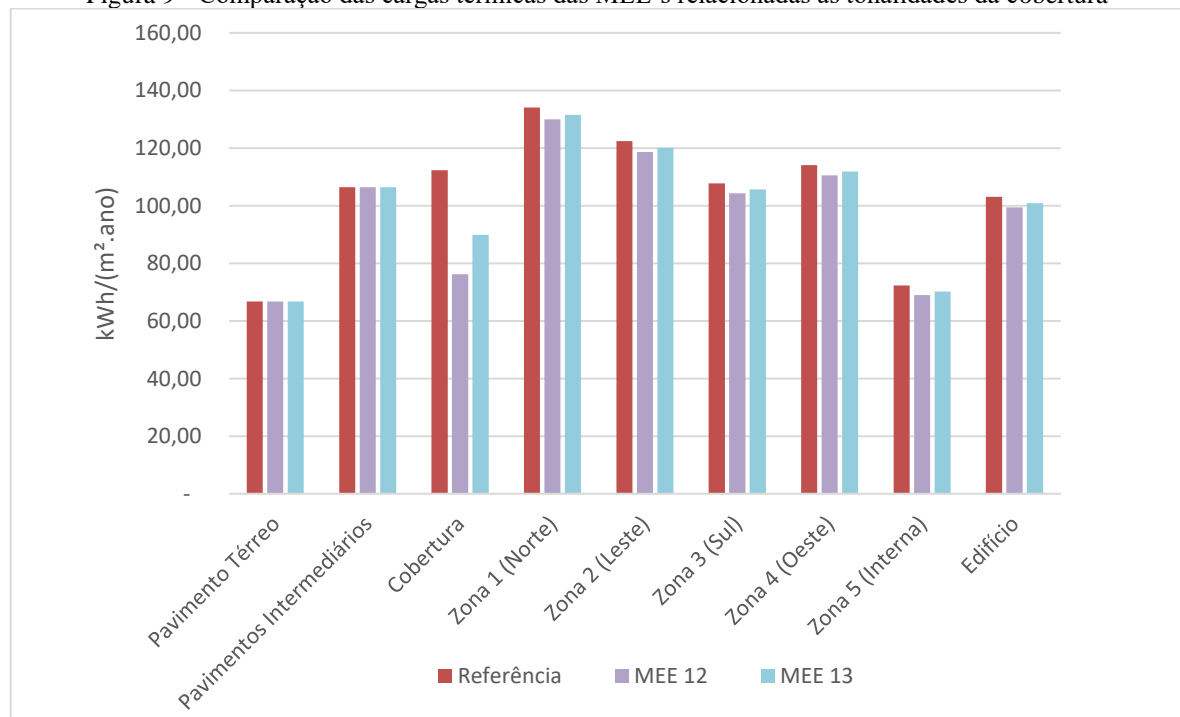
Tabela 15 - Impacto das medidas de eficiência energética 12 e 13 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 12 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 13 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 12	Redução MEE 13
Pavimento Térreo	66,71	66,71	66,71	0,00%	0,00%
Pavimentos Intermediários	106,45	106,45	106,45	0,00%	0,00%
Cobertura	112,32	76,24	89,90	32,12%	19,97%
Zona 1 (Norte)	134,07	129,93	131,50	3,08%	1,91%
Zona 2 (Leste)	122,46	118,66	120,11	3,10%	1,92%
Zona 3 (Sul)	107,74	104,32	105,62	3,18%	1,97%
Zona 4 (Oeste)	114,13	110,53	111,90	3,16%	1,96%
Zona 5 (Interna)	72,29	68,93	70,19	4,64%	2,90%
Edifício	103,06	99,46	100,82	3,50%	2,18%

Fonte: Autor

Com uma redução nas cargas do pavimento da cobertura de 32,12% com a aplicação da MEE 12 e de 19,97% com a adoção da MEE 13, essas medidas reduzem a carga térmica total da edificação em 3,50% e 2,18%, respectivamente.

Figura 9 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas às tonalidades da cobertura



Fonte: Autor

#### 4.1.2.4 Medidas de Eficiência Energética Relacionadas Ao Percentual de Abertura de Vidro na Fachada

Ao variar o percentual de abertura de vidro na fachada da edificação, notou-se uma grande influência nas cargas térmicas da edificação, conforme mostra a Tabela 16 e a Figura 10.

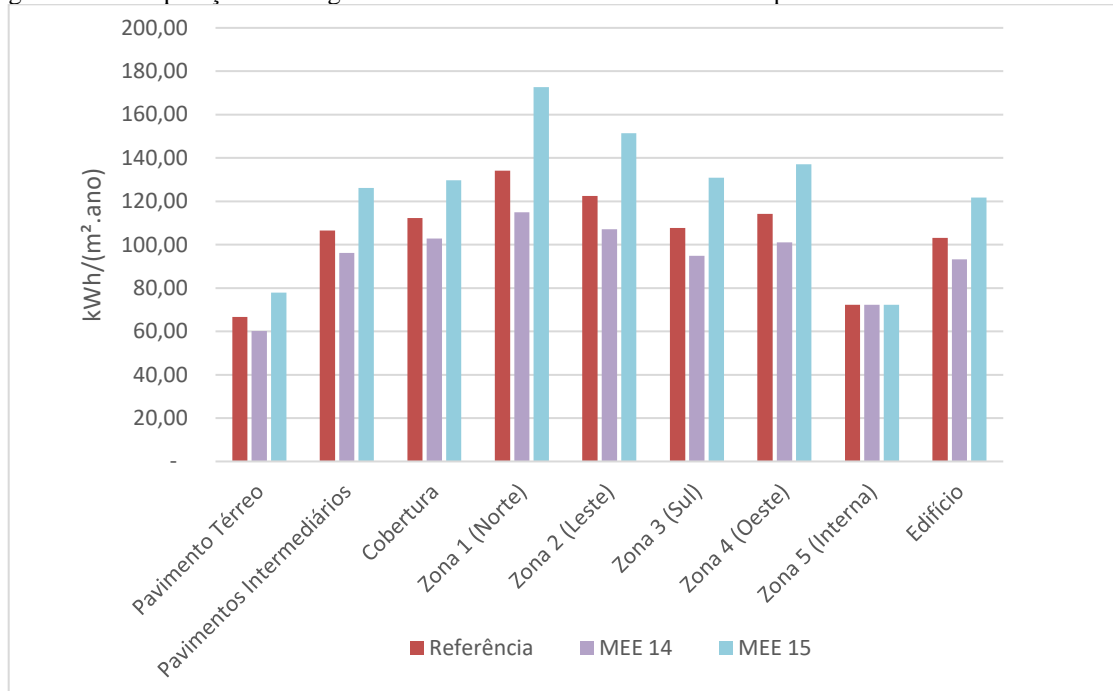
Tabela 16 - Impacto das medidas de eficiência energética 14 e 15 nas cargas térmicas da envoltória

Local	Edifício Base (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 14 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	MEE 15 (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Redução MEE 14	Redução MEE 15
Pavimento Térreo	66,71	60,19	77,89	9,77%	-16,77%
Pavimentos Intermediários	106,45	96,12	126,17	9,71%	-18,52%
Cobertura	112,32	102,86	129,74	8,43%	-15,50%
Zona 1 (Norte)	134,07	114,99	172,72	14,23%	-28,83%
Zona 2 (Leste)	122,46	107,14	151,36	12,51%	-23,59%
Zona 3 (Sul)	107,74	94,85	130,89	11,96%	-21,48%
Zona 4 (Oeste)	114,13	101,01	137,10	11,50%	-20,12%
Zona 5 (Interna)	72,29	72,29	72,29	0,00%	0,00%
Edifício	103,06	93,20	121,70	9,57%	-18,08%

Fonte: Autor

Isso se deve pelo fato de que o vidro, por ser translúcido, permite que a radiação solar entre diretamente na edificação, diferentemente das paredes, que são opacas, absorvendo essa radiação, primeiramente, e depois a transmitindo para o interior. Em geral, através de um vidro comum transmite-se muito mais calor, seja por radiação ou condução, do que através de uma parede. Portanto, adotando-se a medida de eficiência energética 14, a qual considera um percentual de 30% de abertura da fachada e, portanto, permitindo uma entrada menor de calor, observou-se uma redução de 9,57% nas cargas térmicas de resfriamento do edifício. Todavia, ocorreu um aumento de 18,08% nas cargas ao considerar a abertura da fachada com um percentual de 80%, o que foi proposto pela MEE 15.

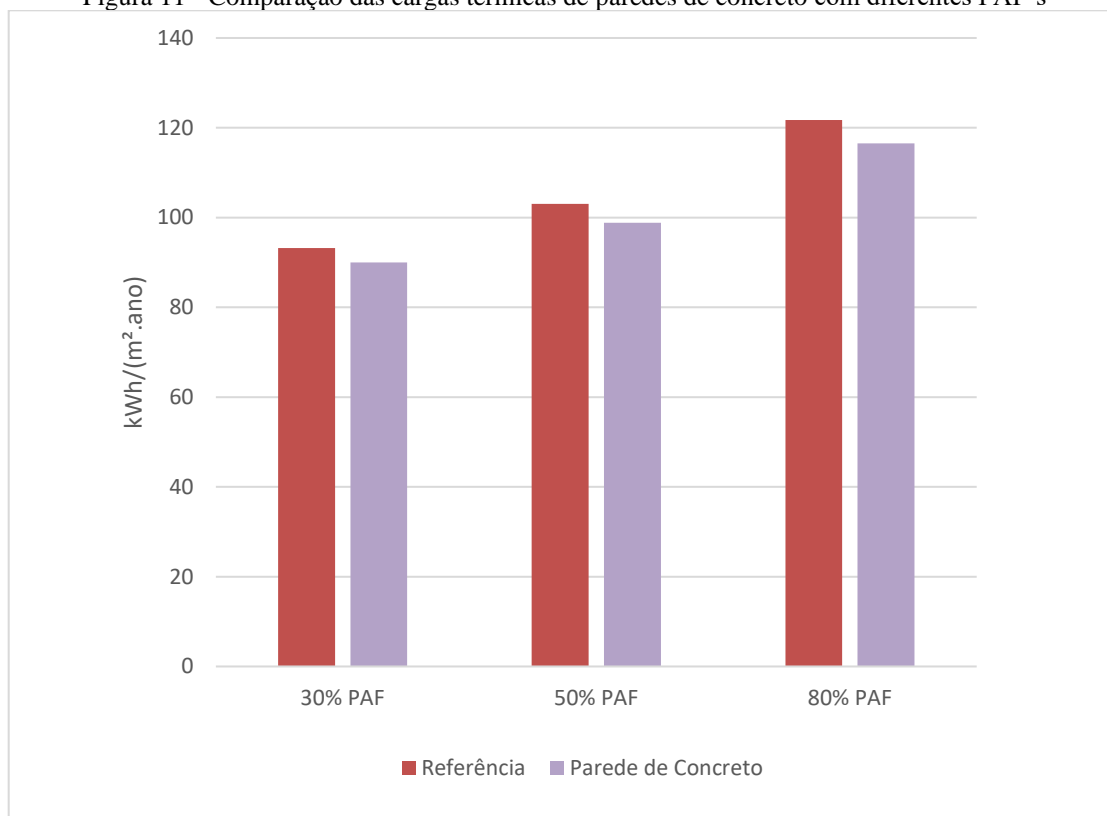
Figura 10 - Comparação das cargas térmicas das MEE's relacionadas aos percentuais de abertura da fachada



Fonte: Autor

Ao considerar paredes externas com uma transmitância térmica maior que a de referência, ou seja, menos isoladas, estimou-se que entraria mais calor na edificação e, conseqüentemente, aumentariam as cargas térmicas para a refrigeração dos ambientes internos. Foram calculadas as cargas adotando paredes de concreto com transmitância de  $4,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  e percentuais de abertura de fachadas de 30%, 50% e 80%. Foi observado, todavia, que as cargas de resfriamento reduziram em todos os casos, segundo demonstrado na Figura 11, sustentando a hipótese de que a edificação, inserida no grupo climático de Florianópolis, apresenta resultados de cargas térmicas melhores ao perder calor interno do que ao evitar a entrada do calor externo no ambiente interno, como foi observado nas MEE's 4, 5 e 6, as quais aumentaram as cargas de refrigeração ao isolar as paredes termicamente.

Figura 11 - Comparação das cargas térmicas de paredes de concreto com diferentes PAF's



Fonte: Autor

### 4.1.3 PACOTES DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para a definição dos pacotes de medidas de eficiência energética foram considerados diferentes cenários, com a adoção das MEE's que melhor desempenharam energeticamente e com aquelas que tiveram um bom ou médio desempenho. Em relação às MEE's 4, 5 e 6, associadas aos materiais das paredes externas, devido ao aumento que proporcionaram nas cargas térmicas do edifício, não foram relacionadas nas configurações de nenhum dos pacotes. Como foram adotadas cores claras para a cobertura, ou seja, aplicadas absorvâncias térmicas baixas, no valor de 0,3, também não optou-se por realizar o isolamento térmico da cobertura, ou seja, as MEE's 9, 10 e 11 não foram selecionadas. Como demonstra o item 4.1.2.3, para a edificação em estudo e para o clima de Florianópolis, executar o isolamento térmico da cobertura em conjunto com uma baixa absorvância térmica resulta em um aumento das cargas térmicas, justificando a exclusão das medidas citadas.

No caso do Pacote 1, foram elencadas as medidas que mais reduziram as cargas da edificação, portanto a MEE 1, 7, 12 e 14. Para o Pacote 2, foram selecionadas as mesmas medidas do Pacote 1, porém com a substituição da MEE 1 pela MEE 3. O Pacote 3 foi elaborado

da mesma forma, com a substituição da MEE 1 pela MEE 2. O Pacote 4 foi configurado da mesma maneira que o Pacote 1, porém com o percentual de abertura da fachada adotado igual a 50%, o valor do caso base. O Pacote 5 contou com as mesmas medidas do Pacote 2, porém com um valor de PAF de 50%. Por fim, o Pacote 6 considerou as medidas do Pacote 3, porém adotou o valor de PAF do caso base, de 50%.

As MEE's 7 e 12 foram selecionadas em todos os pacotes pois estão associadas ao tom das tintas utilizadas para aplicação nas fachadas e na cobertura, respectivamente. Por essa razão, é natural que se adote as medidas que apresentaram os melhores resultados de carga de resfriamento, relacionadas aos tons claros, pois o preço referente às tintas de cores claras é ínfimo frente ao ganho energético proporcionado por esses componentes. A Tabela 17 resume a configuração dos seis pacotes analisados.

Tabela 17 - Composição dos pacotes de medidas de eficiência energética

Pacotes de medidas de eficiência energética				
Pacotes	Vidro	Parede	Cobertura	PAF
<b>Pacote 1</b>	MEE 1	MEE 7	MEE 12	MEE 14
<b>Pacote 2</b>	MEE 3	MEE 7	MEE 12	MEE 14
<b>Pacote 3</b>	MEE 2	MEE 7	MEE 12	MEE 14
<b>Pacote 4</b>	MEE 1	MEE 7	MEE 12	Referência
<b>Pacote 5</b>	MEE 3	MEE 7	MEE 12	Referência
<b>Pacote 6</b>	MEE 2	MEE 7	MEE 12	Referência

Fonte: Autor

Visto que alterou-se somente o tipo de vidro nos três primeiros pacotes, é evidente que os seus resultados de carga comportaram-se segundo a performance dos vidros escolhidos. Como mostra a Tabela 18 e a Figura 12, o Pacote 1, que adotou vidros duplos, foi o que obteve as maiores reduções em relação às cargas térmicas do edifício de referência, seguido do Pacote 2, que utilizou vidros com fator solar muito semelhante ao dos vidros duplos.

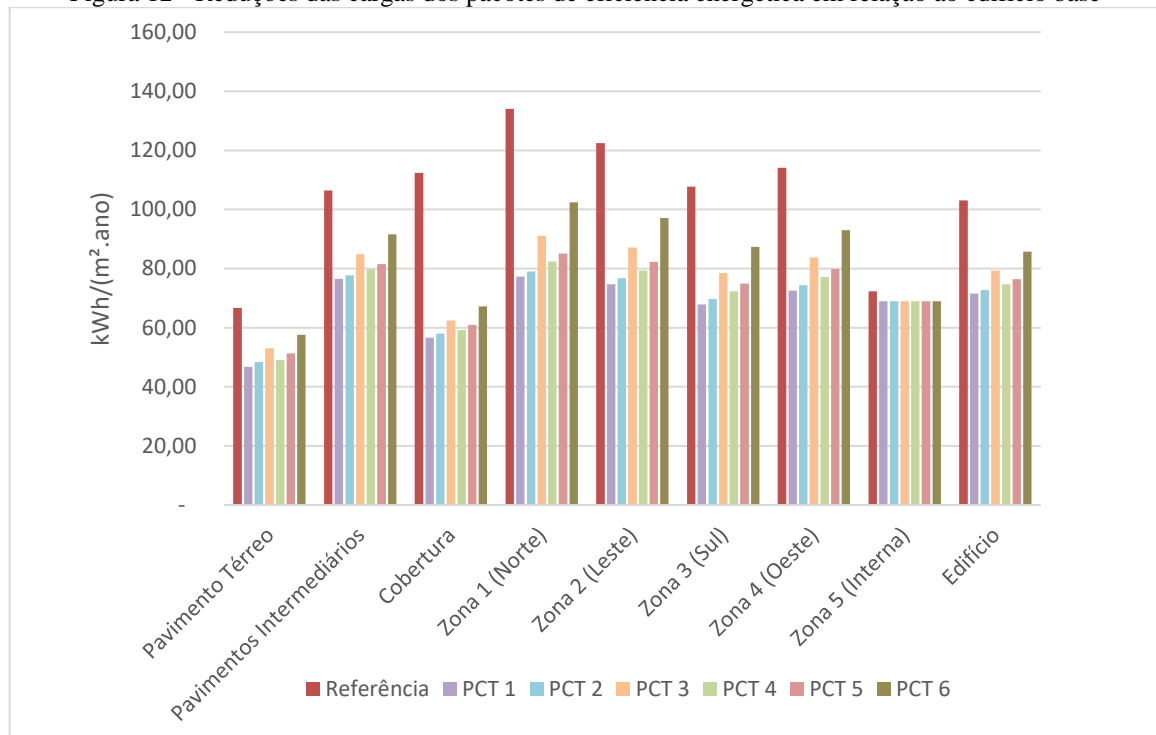
Tabela 18 - Redução das cargas dos pacotes de eficiência energética em relação ao edifício base

Local	Redução em relação ao edifício base					
	PCT 1	PCT 2	PCT 3	PCT 4	PCT 5	PCT 6
Pavimento Térreo	29,95%	27,42%	20,53%	26,55%	23,18%	13,64%
Pavimentos Intermediários	28,09%	27,03%	20,33%	25,05%	23,47%	13,93%
Cobertura	49,58%	48,39%	44,45%	47,28%	45,77%	40,16%
Zona 1 (Norte)	42,39%	41,03%	32,08%	38,54%	36,58%	23,60%
Zona 2 (Leste)	38,98%	37,33%	28,82%	35,18%	32,83%	20,74%
Zona 3 (Sul)	37,00%	35,34%	27,17%	32,90%	30,51%	18,97%
Zona 4 (Oeste)	36,47%	34,85%	26,60%	32,35%	29,99%	18,52%
Zona 5 (Interna)	4,64%	4,64%	4,64%	4,64%	4,64%	4,64%
Edifício	<b>30,55%</b>	<b>29,38%</b>	<b>22,97%</b>	<b>27,57%</b>	<b>25,88%</b>	<b>16,77%</b>

Fonte: Autor

As variações no PAF do Pacote 4 e 5, de 30% para 50%, ainda assim conferiram a terceira e quarta posição para os Pacotes 4 e 5, respectivamente. Devido ao fator solar dos vidros do Pacote 3 e 6 ser quase o dobro dos fatores solares dos vidros dos outros pacotes, essas configurações obtiveram resultados inferiores de carga térmica em relação ao caso base. Ainda assim, todos os Pacotes apresentaram reduções consideráveis em relação ao edifício de referência.

Figura 12 - Reduções das cargas dos pacotes de eficiência energética em relação ao edifício base



Fonte: Autor

#### 4.1.4 CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A partir dos limites expostos na Tabela 7, foi possível realizar a classificação de todas as medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória da edificação, do nível "A" ao nível "E", como pode ser visualizado na Tabela 19, bem como a classificação dos pacotes de medidas, conforme mostra a Tabela 20. Visto que o edifício de referência recebe etiqueta nível "D", apenas quatro das quinze medidas analisadas alcançaram classificação superior, de nível "B" ou "C", ou seja, 73% das medidas receberam classe "D" ou "E".



Tabela 19 - Classes da etiqueta da envoltória das medidas de eficiência energética

Medida de Eficiência Energética		Carga Térmica (kWh/ano)	Classificação de Eficiência Energética
Vidros	MEE 1	399.308,49	B
	MEE 2	458.577,18	C
	MEE 3	408.458,21	B
Paredes	MEE 4	517.865,45	E
	MEE 5	525.882,53	E
	MEE 6	527.671,22	E
	MEE 7	499.742,19	D
	MEE 8	540.802,42	E
Cobertura	MEE 9	511.877,39	D
	MEE 10	510.879,22	D
	MEE 11	512.204,49	D
	MEE 12	497.282,84	D
	MEE 13	504.109,07	D
PAF	MEE 14	465.989,13	C
	MEE 15	608.499,63	E

Fonte: Autor

Como mencionado anteriormente, as medidas de eficiência energética relacionadas aos vidros foram as que melhor atuaram, alcançando níveis “B” e “C”. Em relação às paredes, a única MEE que não recebeu classificação nível “E” foi a MEE 7, associada à baixa absorvância térmica, que obteve nível “D”. Todas as MEE’s que atuaram na cobertura obtiveram nível “D”, sendo a MEE 12, também associada à baixa absorvância térmica, utilizada em todos os pacotes, a que mais reduziu a carga térmica. A MEE 14, que diminuiu o percentual de abertura de fachada de 50% para 30% recebeu classificação nível “C”, enquanto que a MEE 15, que aumentou o PAF para 80%, recebeu nível “E” e foi a que resultou no maior valor de carga térmica.

Tabela 20 - Classificação dos pacotes de medidas de eficiência energética

Pacote de Medidas de Eficiência Energética	Carga Térmica (kWh/ano)	Classificação de Eficiência Energética
PCT 1	357.882,47	A
PCT 2	363.906,24	A
PCT 3	396.955,97	B
PCT 4	373.251,16	A
PCT 5	381.935,78	A
PCT 6	428.914,14	B

Fonte: Autor

Para os pacotes de medidas de eficiência energética, os únicos que não receberam nível “A” de eficiência energética para a envoltória foram os Pacotes 3 e 6, referentes ao vidro com maior fator solar, de 0,57. Esses pacotes receberam nível “B”, sendo que o Pacote 6 situou-se muito próximo ao limite da classificação nível “C”. Nota-se que, para a edificação em estudo, utilizando-se um vidro com baixo fator solar associado às baixas absorvâncias térmicas das paredes e cobertura, já é suficiente para alcançar classificação da envoltória nível “A”. Contudo,

a utilização de um PAF de 30% nos Pacotes 1 e 2, reduzindo-se ainda mais os ganhos solares da edificação, pode-se mostrar vantajoso segundo a análise de viabilidade econômica demonstrada a seguir.

#### 4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a etapa de análise da viabilidade econômica, foram considerados os seis pacotes de medidas de eficiência energética, visto que todos alcançaram classe de eficiência energética superior ao edifício de referência.

Os preços relacionados aos vidros das MEE's 1, 2 e 3 foram obtidos através de pesquisa de mercado, sendo que o vidro duplo, relacionado à MEE 1, foi cotado a 420,00 R\$/m<sup>2</sup> e o vidro laminado da MEE 2 e da MEE 3 a 450,00 R\$/m<sup>2</sup>. O vidro de referência, vidro simples, incolor, de 6 milímetros, foi cotado segundo o código SINAPI 00010491 a 136,94 R\$/m<sup>2</sup>. Visto que a área de abertura das fachadas do edifício equivale a 810 m<sup>2</sup> para um PAF de 30% e 1350 m<sup>2</sup> para um PAF de 50%, o Pacote 1 possuiu um custo inicial de R\$220.274,60, enquanto que para os Pacotes 2 e 3 este custo foi de R\$244.574,60, sendo que para a composição do preço foi realizada considerando a diferença dos custos dos vidros das medidas em relação ao vidro de referência. Da mesma forma, o pacote 4 teve um desembolso inicial de R\$383.981,00 e os Pacotes 5 e 6 de R\$424.481,00, referentes a esse componente.

Em relação às tintas para a pintura das paredes, como foi apenas alterada a cor da tinta para um tom mais claro, esta medida não teve custo adicional. Já na pintura da cobertura, como a referência considera apenas o uso de telha de fibrocimento, esta medida acarretou em um custo relacionado ao serviço realizado. De acordo com o arquivo SINAPI do mês de setembro de 2019, código 00035693, referente à Tinta Látex Acrílica Econômica de Cor Branca, foi extraído um preço de 9,73 R\$/L. Latas de tintas econômicas com volume de 18 litros rendem até 175m<sup>2</sup>, logo, obteve-se um valor de rendimento de 9,72 m<sup>2</sup>/L e, conseqüentemente, 1,00 R\$/m<sup>2</sup>. A área referente à pintura da cobertura, relacionada à medida de eficiência energética 12, foi equivalente a 500 m<sup>2</sup>. Com isso, obteve-se um valor de R\$500,00 relacionado à pintura da cobertura, para os seis pacotes analisados.

Para a redução do percentual de abertura de vidros na fachada nos Pacotes 1, 2 e 3, de 50% para 30%, houve um aumento na área das paredes externas e uma redução na utilização dos vidros, ambos no valor de 20%. Esse incremento de área e, conseqüentemente, aumento da quantidade de materiais das paredes, acarretou em um custo de R\$62.553,60 para os três

primeiros pacotes, porém, a redução no uso dos vidros gerou uma economia de R\$73.947,60, proporcionando um saldo positivo de R\$11.394,00. Visto que os Pacotes 4, 5 e 6 não alteraram seus valores de PAF em relação ao edifício base, não houve custos ou economias para esses conjuntos de medidas. A composição da parede considerada foi a do caso base, que conta com tijolos de 9x19x19 cm e argamassa interna e externa de 2,5 cm. Os preços dos materiais considerados, tijolos e argamassas de chapisco, emboço e reboco, foram retirados do SINAPI e possuem custo de 57,18 R\$/m<sup>2</sup>, 462,44 R\$/m<sup>3</sup>, 398,87 R\$/m<sup>3</sup> e 311,89 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Conforme o item 3.4 deste trabalho indica, para a obtenção do consumo de energia elétrica é necessário dividir o valor de carga térmica pela eficiência energética do sistema de condicionamento de ar, que nesse caso equivale a 3,24 W/W. O valor total cobrado ao consumidor final é calculado segundo a tarifa de energia elétrica, que vale 0,67643 R\$/kWh. Para o cálculo da redução do custo de energia elétrica dos pacotes em relação ao edifício base, foi necessário obter a diferença das cargas térmicas, do consumo energético e, por fim, da tarifa de energia elétrica, como pode ser visualizado pela Tabela 21.

Tabela 21 - Reduções dos pacotes de medidas de eficiência energética em relação ao edifício base

Pacotes	Redução das cargas térmicas em relação ao edifício base (kWh/ano)	Redução do consumo energético em relação ao edifício base (kWh/ano)	Redução da tarifa de energia elétrica em relação ao edifício base (R\$/ano)
Pacote 1	157.439,40	48.592,41	R\$ 32.869,32
Pacote 2	151.415,63	46.733,22	R\$ 31.611,71
Pacote 3	118.365,90	36.532,68	R\$ 24.711,77
Pacote 4	142.070,71	43.848,98	R\$ 29.660,73
Pacote 5	133.386,09	41.168,55	R\$ 27.847,60
Pacote 6	86.407,73	26.669,05	R\$ 18.039,72

Fonte: Autor

A partir dos valores anuais economizados de energia elétrica através da aplicação dos pacotes de medidas de eficiência energética, foi possível estruturar um fluxo de caixa para cada caso, a fim de calcular os seus indicadores financeiros e apontar se houve, ou não, viabilidade econômica.

Como demonstrado na Tabela 22, devido ao alto preço dos vidros, nenhum dos pacotes se mostrou viável economicamente. Interessante observar que o Pacote 1, mesmo sendo o que apresentou os melhores resultados do ponto de vista energético, proporcionando as menores cargas térmicas, também foi o mais barato. Entretanto, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno ficaram com valores negativos, de -R\$65.991,07 e -3,07%, respectivamente, para o

período de seis anos considerado para o *payback*, necessitando de 10 anos para obter um valor positivo de VPL e para que a TIR atinja a taxa mínima de atratividade. Os outros pacotes apresentaram indicadores financeiros ainda piores, por serem mais caros e proporcionarem reduções de consumo menores que o Pacote 1.

Como o vidro foi o grande responsável pela inviabilidade econômica dos pacotes, apesar de contribuir consideravelmente para a redução no consumo, elaborou-se um pacote extra, considerando apenas as mudanças nas absorções térmicas das paredes externas e da cobertura, assim como a redução do percentual de abertura da fachada. Esse novo pacote teve reduções de 82.612,45 kWh/ano em suas cargas térmicas, quando comparado à edificação de referência, 25.497,67 kWh/ano em relação ao consumo energético e 17.247,37 R\$/ano na tarifa de energia elétrica. A Tabela 23 demonstra seus indicadores financeiros e, como sua configuração de medidas não relacionou alterações no vidro e a redução do valor do PAF gerou uma economia devido ao preço inferior das paredes em relação ao vidro do caso base, o pacote não acarretou em custos adicionais para a sua aplicação. Quando comparado ao caso base, o pacote extra gerou uma economia de R\$9004,00, não havendo necessidade de calcular o *payback* e a TIR, e apresentou um VPL de R\$89.960,49. Conclui-se, portanto, que foi possível elaborar um pacote aplicável para a edificação em estudo, que apresentou economia na sua aplicação e reduziu os valores da tarifa de energia, apesar de ter atingido classe “C” de eficiência energética.

Tabela 22 - Indicadores financeiros para os pacotes de medidas de eficiência energética

Pacote 1			Pacote 2		
Período	Valor	Valor Presente	Período	Valor	Valor Presente
0	-R\$ 220.274,60	-R\$ 220.274,60	0	-R\$ 244.574,60	-R\$ 244.574,60
1	R\$ 32.869,32	R\$ 30.576,11	1	R\$ 31.611,71	R\$ 29.406,24
2	R\$ 32.869,32	R\$ 28.442,89	2	R\$ 31.611,71	R\$ 27.354,64
3	R\$ 32.869,32	R\$ 26.458,50	3	R\$ 31.611,71	R\$ 25.446,18
4	R\$ 32.869,32	R\$ 24.612,56	4	R\$ 31.611,71	R\$ 23.670,86
5	R\$ 32.869,32	R\$ 22.895,41	5	R\$ 31.611,71	R\$ 22.019,41
6	R\$ 32.869,32	R\$ 21.298,05	6	R\$ 31.611,71	R\$ 20.483,17
-	VPL	-R\$ 65.991,07	-	VPL	-R\$ 96.194,09
-	TIR	-3,07%	-	TIR	-6,81%
-	Payback Corrigido	> 6 anos	-	Payback Corrigido	> 6 anos
Pacote 3			Pacote 4		
Período	Valor	Valor Presente	Período	Valor	Valor Presente
0	-R\$ 244.574,60	-R\$ 244.574,60	0	-R\$ 383.981,00	-R\$ 383.981,00
1	R\$ 24.711,77	R\$ 22.987,69	1	R\$ 29.660,73	R\$ 27.591,37
2	R\$ 24.711,77	R\$ 21.383,90	2	R\$ 29.660,73	R\$ 25.666,39
3	R\$ 24.711,77	R\$ 19.892,00	3	R\$ 29.660,73	R\$ 23.875,72
4	R\$ 24.711,77	R\$ 18.504,19	4	R\$ 29.660,73	R\$ 22.209,97
5	R\$ 24.711,77	R\$ 17.213,20	5	R\$ 29.660,73	R\$ 20.660,44
6	R\$ 24.711,77	R\$ 16.012,28	6	R\$ 29.660,73	R\$ 19.219,01
-	VPL	-R\$ 128.581,35	-	VPL	-R\$ 244.758,10
-	TIR	-12,66%	-	TIR	-18,36%
-	Payback Corrigido	> 6 anos	-	Payback Corrigido	> 6 anos
Pacote 5			Pacote 6		
Período	Valor	Valor Presente	Período	Valor	Valor Presente
0	-R\$ 424.481,00	-R\$ 424.481,00	0	-R\$ 424.481,00	-R\$ 424.481,00
1	R\$ 27.847,60	R\$ 25.904,75	1	R\$ 18.039,72	R\$ 16.781,14
2	R\$ 27.847,60	R\$ 24.097,44	2	R\$ 18.039,72	R\$ 15.610,36
3	R\$ 27.847,60	R\$ 22.416,22	3	R\$ 18.039,72	R\$ 14.521,27
4	R\$ 27.847,60	R\$ 20.852,30	4	R\$ 18.039,72	R\$ 13.508,15
5	R\$ 27.847,60	R\$ 19.397,49	5	R\$ 18.039,72	R\$ 12.565,72
6	R\$ 27.847,60	R\$ 18.044,17	6	R\$ 18.039,72	R\$ 11.689,05
-	VPL	-R\$ 293.768,63	-	VPL	-R\$ 339.805,31
-	TIR	-21,52%	-	TIR	-29,04%
-	Payback Corrigido	> 6 anos	-	Payback Corrigido	> 6 anos

Fonte: Autor

Tabela 23 - Indicadores financeiros do pacote extra de medidas de eficiência energética

Pacote Extra		
Período	Valor	Valor Presente
0	R\$ 9.004,00	R\$ 9.004,00
1	R\$ 17.247,37	R\$ 16.044,06
2	R\$ 17.247,37	R\$ 14.924,71
3	R\$ 17.247,37	R\$ 13.883,45
4	R\$ 17.247,37	R\$ 12.914,84
5	R\$ 17.247,37	R\$ 12.013,80
6	R\$ 17.247,37	R\$ 11.175,63
-	VPL	R\$ 89.960,49
-	TIR	-
-	Payback Corrigido	-

Fonte: Autor

## 5 CONCLUSÃO

Para a realização do presente trabalho, foi elaborada uma edificação base, localizada em Florianópolis, segundo as características mais representativas de edifícios comerciais, contidas no relatório elaborado pelo CB3E (2017), e de valores de referência da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). A partir disso, foi possível realizar o cálculo das cargas térmicas de resfriamento desse edifício, com base no método simplificado da INI-C.

Medidas de eficiência energética foram aplicadas ao caso de referência, com o intuito de torná-lo mais eficiente energeticamente, e a partir dos seus resultados nas cargas do edifício, foram elaborados pacotes com diferentes configurações de medidas, que reduziram ainda mais as cargas de resfriamento. Notou-se que vidros com um fator solar reduzido influenciaram significativamente os resultados de carga térmica da edificação, sendo estes componentes adotados em todos os pacotes de medidas. Observou-se também que o isolamento das paredes externas resultou em um aumento das cargas térmicas da obra em estudo, logo, a utilização de paredes de concreto, as quais possuem transmitância térmica mais elevada, contribuiu para a redução das suas cargas de resfriamento. Além disso, constatou-se que o isolamento da cobertura associado às baixas absorvâncias térmicas do telhado na verdade aumentavam as cargas térmicas resultantes da edificação. Salienta-se que o metamodelo, ao calcular os valores de carga térmica para cada zona, individualmente, possui limitações, pois não apresenta a influência da interação das zonas adjacentes, o que não ocorre na realidade. Como exemplo, nota-se que apenas as MEE's relacionadas à cobertura alteraram os valores das cargas da zona interna, sendo que em todos os outros casos essa alteração não foi observada, mesmo com a grande variação dos valores de cargas das zonas perimetrais, as quais deveriam interagir com a zona interna e alterar seus valores de carga térmica.

Utilizando-se a tabela com os limites das classes de eficiência energética do método simplificado, foi calculado a classe de eficiência da envoltória para cada medida e composições de medidas. As medidas, individualmente, alcançaram nos melhores casos a classificação nível "B", referentes às alterações nos vidros, enquanto que as relacionadas às paredes, como a MEE 7 que reduziu os valores de absorvância, e as associadas à cobertura atingiram, no máximo, nível "D". Reduções no percentual de abertura da fachada também se mostraram efetivos, ao categorizar a MEE 14, com PAF de 30%, no nível "C". Todos os pacotes alcançaram nível "A"

de eficiência energética, com exceção dos Pacotes 3 e 6, que utilizaram o vidro com fator solar de 0,57 e atingiram nível “B”.

Com os valores de redução das cargas térmicas de resfriamento calculados, obtidos a partir da comparação dos resultados energéticos das medidas e dos pacotes de medidas em relação à edificação base, foi possível calcular a redução na tarifa de energia elétrica. A partir das economias anuais geradas, foram introduzidos indicadores financeiros com o intuito de validar a viabilidade econômica de cada cenário. Devido ao alto custo relacionado aos vidros, partindo de valores de 420 R\$/m<sup>2</sup>, e como a alteração deste componente estava presente em todas as composições de medidas, foi constatado que nenhum dos cenários apresentou viabilidade econômica. O pacote com menor custo inicial de implantação e que gerou as maiores reduções na tarifa de energia elétrica apresentou um *payback* de 10 anos e valores de VPL e TIR negativos, os quais inviabilizaram a sua implementação. Como o Pacote 1 foi o que obteve os melhores indicadores financeiros e mesmo assim se mostrou inviável, foi elaborado um pacote extra de medidas, considerando apenas reduções nas absorptâncias e no percentual de abertura da fachada. Devido, principalmente, à economia gerada ao utilizar-se valores de PAF de 30% e desconsiderar alterações nos vidros do caso base, o novo pacote demonstrou-se economicamente viável, apresentando economia em comparação ao caso base e resultando em um VPL de R\$89.960,49. Apesar de ter sido classificado com a etiqueta nível “C”, como proporcionou ganhos energéticos e gerou economias ao ser aplicado, recomenda-se, em edificações similares, a pintura das paredes externas e da cobertura com cores claras, para reduções das cargas térmicas da edificação, especialmente em edificações localizadas em climas quentes. Já o isolamento das paredes e cobertura, assim como reduções nos valores do PAF, devem ser analisados com mais cautela nos diferentes casos em que a edificação está inserida, pois dependendo das condições ambientais, podem ser medidas que trazem, ou não, benefícios no preço final da tarifa de energia elétrica, como exemplificado neste trabalho.

## 5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações encontradas para realização deste trabalho foram:

- Análise de apenas algumas medidas de eficiência energética, sendo possível explorar centenas de cenários a partir de um conhecimento mais aprofundado da linguagem de programação R.

- Resultados válidos apenas para um modelo de edificação e somente para o clima de Florianópolis.
- Dificuldade de coletar os preços relacionados aos vidros no arquivo disponibilizado pelo SINAPI.
- Simplificações nos custos de implementação das medidas e dos pacotes de medidas.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a realização de trabalhos futuros, sugere-se:

- Realizar a análise de um edifício com algumas variações das suas características, além de estudá-lo em diferentes climas e aplicar uma lista extensa de medidas de eficiência energética.
- Simular os cenários de estudo em conjunto com a aplicação do metamodelo, com o objetivo de comparar seus resultados e levantar suas discrepâncias e limitações.
- Considerar o cálculo da etiqueta para os outros sistemas parciais para a obtenção da etiqueta geral do edifício.
- Realizar o balanço térmico da edificação para verificar o fluxo de calor por cada componente, a fim de validar as hipóteses levantadas no trabalho.
- Explorar o comportamento do isolamento de paredes externas e coberturas para diferentes climas.



## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15575: EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO. ABNT: RIO DE JANEIRO, 2013.
- Altoé, L., Costa, J. M., Filho, D. O., Martinez, F. J. R., Ferrarez, A. H., & de Viana, L. A. (2017). Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. *Estudos Avancados*, 31(89), 285–297. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>
- Bavaresco, V. M., & Ghisi, E. (2016). *Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária*. 135. Retrieved from [www.cb3e.ufsc.br](http://www.cb3e.ufsc.br)
- BRASIL. (2001). *Presidência da República*. 10–11. Retrieved from [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm)
- BRASIL. (2004). *Presidência da República*. 2004–2007. Retrieved from [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm)
- BRASIL. (2010). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. *Diário Oficial Da União*, 96. Retrieved from [http://docs.wixstatic.com/ugd/5d557a\\_5c69f2b65b08481ebe2c80db6dbace63.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/5d557a_5c69f2b65b08481ebe2c80db6dbace63.pdf)
- Carlo, J. C., & Lamberts, R. (2010). Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 2: método de simulação. *Ambiente Construído*, 10(2), 27–40. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000200002>
- CB3E, C. B. de E. E. em E. (2017). *Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas*. 151. Retrieved from <http://www.cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>

- CELESC. (2019). *Tarifas e taxas de energia Tarifas vigentes*. 1–12. Retrieved from <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>
- Commission, S.-G. of the E. (2012). *COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION*. 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., & Monetti, V. (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. *Applied Energy*, 102, 983–993. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.001>
- DESTRO, C. M. G. (2019). *ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS UNIDADES BÁSICAS DE SAÚDE DO MUNICÍPIO DE SÃO BENTO DO SUL: APLICAÇÃO DA NOVA PROPOSTA BRASILEIRA DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES PARA A ENVOLTÓRIA*.
- Dixon, R. K., McGowan, E., Onysko, G., & Scheer, R. M. (2010). US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities. *Energy Policy*, 38(11), 6398–6408. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.038>
- Eli, L. G. (2017). *AVALIAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR POR MEIO DO REGULAMENTO BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM*.
- EPE. (2018). 2018 Statistical Yearbook - 2017 Baseline. *Ministério Minas E Energia*, 249. Retrieved from <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>
- Fouquet, D. (2013). Policy instruments for renewable energy - From a European perspective. *Renewable Energy*, 49(11), 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.075>
- GONÇALVES, Joana; BODE, Klaus (Orgs.). *Edifício Ambiental. São Paulo, Oficina de Textos, 2015 (Introdução e Cap 1).pdf*. (n.d.).

- Gwinner, S. (2015). *Análisis técnico y económico de proyectos de eficiencia energética en Puerto Patache de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM*. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133784/Analisis-tecnico-y-economico-de-proyectos-de-eficiencia-energetica-en-Puerto-Patache.pdf?sequence=1>
- IEA. (2018). Electricity Information 2018: Overview. *IEA Statistics*, 1–708. <https://doi.org/http://dx.doi.org.ezproxy.lib.ryerson.ca/10.1787/electricity-2011-em>
- Khosravani, H. R., Castilla, M. D. M., Berenguel, M., Ruano, A. E., & Ferreira, P. M. (2016). A comparison of energy consumption prediction models based on neural networks of a bioclimatic building. *Energies*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/en9010057>
- Klein, M. (2019). *Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica*.
- Ministério de Minas e Energia. (2007). PNE. *Plano Nacional de Energia 2030*, 372. Retrieved from [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_2.pdf)
- MME. (2018). *Cenários de Demanda para o PNE 2050*. 34. Retrieved from [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cenários de Demanda.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cenários%20de%20Demanda.pdf)
- Moura, M. de, & Motta, A. L. S. da. (2013). O Fator Energia na Construção Civil. *IX Congresso Nacional de Excelência Em Gestão*, 1–14.
- Nascimento, N. (2011). *A CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES – O CASO DA ETIQUETAGEM NO BRASIL Norma*.
- Procel, S., Selo, M., Info, R., & Educa, S. (2019). *Procel 2019*.
- Reis, M. C., Adélio, D., & Rodrigues, M. (2016). *Avaliação de medidas de eficiência energética dos sistemas de um hotel*.

Roriz, M. (2014). Classificação de Climas do Brasil – Versão 3.0. *Antac*, 1–5.

Roriz, Maurício, Carlos, S., De, S. P. A., Adotado, M., Formulação, N. A., Presente, D. A., ...  
Bioclimáticas, Z. (2012). *SEGUNDA PROPOSTA DE REVISÃO DO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*.

ROSSAROLA, A. (2016). *ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR E EXTERNALIDADES: Estudo de caso de uma empresa industrial em Santa Catarina*. (June).

Santos, G. R. (2017). *Estudo de medidas de eficiência energética aplicadas à iluminação de algumas salas de aula dos blocos A, B, C e D do Campus Curitiba da UTFPR - Sede Centro*. 92.

Trianni, A., Cagno, E., & De Donatis, A. (2014). A framework to characterize energy efficiency measures. *Applied Energy*, 118, 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.042>