

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

ANA LÚCIA SACCARO

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A
REABILITAÇÃO DE UM PATRIMÔNIO INDUSTRIAL**

São Leopoldo

2021

ANA LÚCIA SACCARO

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A
REABILITAÇÃO DE UM PATRIMÔNIO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Goelzer Meira

São Leopoldo

2021

S119a Saccaro, Ana Lúcia.
Avaliação de estratégias de eficiência energética para a reabilitação de um patrimônio industrial / Ana Lúcia Saccaro. – 2021.
102 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2021.
“Orientador: Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Goelzer Meira.”

1. Patrimônio industrial. 2. Eficiência energética.
3. Reabilitação de edificações. I. Título.

CDU 72:621.3

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

ANA LÚCIA SACCARO

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A
REABILITAÇÃO DE UM PATRIMÔNIO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 13 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Roberto Wander – PPGEM Unisinos

Prof. Dra. Maria Fernanda de Oliveira – Unisinos

Prof. Dr. Daniel Reis Medeiros – Unisinos

Prof. Dra. Ana Lúcia Goelzer Meira – Unisinos

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos, que de alguma forma, contribuíram para a minha formação e para a realização desta dissertação.

Em especial, à minha família. À minha irmã, Alice, por ser minha confidente, minha maior incentivadora e por sempre me acolher. Aos meus pais, Cornélio e Solange, por me ensinarem o valor do conhecimento, e por não medirem esforços em acreditar e apoiarem as minhas escolhas. Sou grata a vocês por todas as minhas conquistas, devido ao amor, carinho e estímulo recebidos de forma incondicional.

Ao meu orientador, prof. Dr. Daniel Reis Medeiros, por me apresentar o tema da eficiência energética e por me proporcionar autonomia e confiança para pesquisar e aprender. À minha coorientadora, prof. Dra. Ana Lúcia Goelzer Meira, por compartilhar comigo tanto conhecimento e me mostrar novas perspectivas a respeito do patrimônio arquitetônico. Obrigada a ambos, pela sua disponibilidade, pelos seus conselhos e contribuições.

À prof. Dra. Maria Fernanda de Oliveira e ao prof. Dr. Paulo Roberto Wander pelas importantes contribuições para a melhoria desta pesquisa.

À prof. Dra. Izabele Colusso, por me receber na disciplina de Atelier de Projeto IX, durante meu estágio docência. Obrigada pela confiança e por me possibilitar explanar sobre os temas desta dissertação com os alunos. A excelência de sua didática se tornou referência para as minhas práticas profissionais.

À prof. Dra. Maria Alice Medeiros Dias por acompanhar minha formação acadêmica e por acreditar no meu potencial. Ao prof. Dr. Márcio Rosa D'Avila por me introduzir a importância da sustentabilidade e por me incentivar a seguir na área.

À Thais Mazzotti Balestro, pela amizade e por acolher minhas alegrias e incertezas. Obrigada por estar presente, mesmo à distância, com teus gestos de apoio e incentivo.

Aos meus colegas de mestrado, Fabiana, Gabriel, Kerstyn, Susiê e Guilherme, por tornarem essa experiência tão gratificante.

Por fim, gostaria de agradecer e reconhecer o profissionalismo da Vanessa Cortelletti, por me ajudar a lidar com as mais variadas situações, para que eu possa seguir meus propósitos com clareza e persistência.

RESUMO

A memória social é um importante valor afetivo a ser considerado na preservação e reabilitação de uma edificação. E o modo como estas são requalificadas influencia no consumo de energia e de recursos naturais. Esta pesquisa tem como finalidade avaliar o comportamento de diferentes estratégias para reabilitar uma edificação industrial de interesse histórico, de modo a apresentar melhoras em seu desempenho energético, através da simulação computacional. A edificação, objeto de estudo deste trabalho, localizada em Caxias do Sul/RS, é a primeira expansão da empresa Saccaro Móveis, a qual é reconhecida mundialmente no segmento mobiliário, pelo design e alto padrão, através do valor artesanal de suas peças. Assim, são definidas diretrizes de intervenção que consideram a preservação do patrimônio arquitetônico industrial e a racionalização do uso de energia. Além disso, é avaliado o desempenho energético da envoltória e dos sistemas de iluminação e climatização da edificação, individualmente e no conjunto. Por fim é verificada a redução do consumo de energia dos modelos propostos. Para tanto, a metodologia utilizada é a simulação computacional de desempenho energético, através do *software EnergyPlus*. A partir disso, o objeto de estudo é simulado com sua materialidade original. Posteriormente são ensaiadas três envoltórias, sendo que na primeira é alterado o vidro comum, para vidros dos tipos insulado, laminado e insulado laminado. Na segunda envoltória é acrescentado o isolamento térmico na cobertura, e na terceira, é utilizado também nas paredes da envoltória. Assim, verifica-se que a Envoltória 02 apresenta desempenho energético superior às demais. Por conseguinte, é simulado neste modelo a utilização de estratégias passivas, como a ventilação natural e o controle de iluminação artificial. Este conjunto de estratégias resulta na redução de 18% do consumo anual total de energia elétrica em comparação com a Envoltória Base. Logo, é possível observar a importância da relação entre o clima, a materialidade e as estratégias passivas para a racionalização do consumo de energia elétrica em uma edificação.

Palavras-chave: Patrimônio Industrial. Eficiência Energética. Reabilitação de Edificações.

ABSTRACT

Social memory is an important affective value to be considered in the preservation and rehabilitation of a building. The way they are designed or requalified influences the consumption of energy and natural resources. This research aims to evaluate the behavior of different strategies for rehabilitating an industrial building, which has historical interest, in order to present improvements in its energy performance, through computer simulation. The study case of this research, located in *Caxias do Sul/RS*, is the first expansion of *Saccaro Móveis*, which is a worldwide-recognized company in the furniture industry, for its design and high standards, through the handcrafted value of its furnishings. Thus, are defined intervention guidelines which consider the preservation of industrial architectural heritage and the rationalization of energy use. Furthermore, are evaluated the energy performance of its envelope, lighting and air conditioning systems, individually and as a whole. In the end, it is verified the energy consumption reduction of the proposed models. For this purpose, it is used energy performance computer simulation, through EnergyPlus software, as the methodology. From this, firstly the study case is simulated with its original materiality. Then, are simulated three envelopes, and in the first one the common glass is changed to insulated, laminated and laminated insulating glass types. In the second envelope is added thermal insulation in the rooftop, and in the third one, is applied also in the walls of the envelope. Thus, is verified that the Envelope 02 presented a better energy performance than the others. Consequently, this model is simulated considering passive strategies, like natural ventilation and lighting control. This set of strategies results in an 18% reduction in annual total end uses energy consumption compared to the Base Envelope. Then, is possible to observe the importance of the relationship between climate, materiality and passive strategies to minimize the energy consumption in a building.

Key-words: Industrial Heritage. Energy Efficiency. Building Rehabilitation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Processo para projeto de edificações com baixo consumo energético | 32 |
| Figura 2 – Benefícios da Eficiência Energética | 34 |
| Figura 3 – Programas de eficiência energética e o racionamento de energia..... | 36 |
| Figura 4 – Participação setorial no consumo de eletricidade | 37 |
| Figura 5 – Consumo de energia elétrica no Brasil 1990-2017..... | 38 |
| Figura 6 – Diagrama da metodologia | 44 |
| Figura 7 – Localização do Objeto de Estudo na escala da cidade | 45 |
| Figura 8 – Desenvolvimento do bairro Ana Rech entre 2002 e 2020 | 46 |
| Figura 9 – Localização e entorno do Objeto de Estudo..... | 47 |
| Figura 10 – Objeto de Estudo na década de 1970 | 48 |
| Figura 11 – Planta baixa do pavimento térreo do objeto de estudo | 49 |
| Figura 12 – Planta baixa do segundo pavimento do objeto de estudo | 50 |
| Figura 13 – Planta baixa do terceiro pavimento do objeto de estudo..... | 50 |
| Figura 14 – Planta baixa do pavimento térreo do Estudo Preliminar..... | 53 |
| Figura 15 – Planta baixa do segundo pavimento do Estudo Preliminar | 53 |
| Figura 16 – Planta baixa do terceiro pavimento do Estudo Preliminar | 54 |
| Figura 17 – Modelagem do objeto de estudo com o <i>plugin Euclid</i> , perspectiva das fachadas norte e oeste..... | 55 |
| Figura 18 – Modelagem do objeto de estudo com o <i>plugin Euclid</i> , perspectiva das fachadas sul e leste..... | 55 |
| Figura 19 – Zonas Térmicas do Objeto de Estudo | 56 |
| Figura 20 – Materialidade Envolvente Base..... | 64 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Temperatura e umidade relativa do ar de Bento Gonçalves RS | 58 |
| Gráfico 2 – Horários de ocupação e operação da edificação | 59 |
| Gráfico 3 – Consumo de energia elétrica mensal dos ambientes da Envoltória Base | 65 |
| Gráfico 4 – Proporção do consumo anual de energia elétrica dos ambientes da Envoltória Base | 65 |
| Gráfico 5 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 01 | 66 |
| Gráfico 6 – Comparação do consumo mensal de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 01 | 68 |
| Gráfico 7 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 02 | 69 |
| Gráfico 8 – Comparação do consumo mensal de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 02 | 71 |
| Gráfico 9 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 03 | 72 |
| Gráfico 10 – Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, resfriamento e climatização total dos ambientes das Envoltórias Base e 03 | 74 |
| Gráfico 11 – Comparação do consumo de energia anual para climatização dos ambientes da Envoltória 02, sem e com ventilação natural | 77 |
| Gráfico 12 – Comparação do consumo anual para climatização dos ambientes entre as Envoltórias Base, 02 e 02 com ventilação natural | 78 |
| Gráfico 13 – Consumo anual de energia elétrica para iluminação dos ambientes da Envoltória 02, sem e com controle da iluminação artificial | 79 |
| Gráfico 14 – Consumo anual total de energia elétrica dos ambientes dos Modelos Energéticos | 82 |
| Gráfico 15 – Consumo anual total de energia elétrica dos ambientes das Envoltórias Base e Final | 83 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Materialidade original dos elementos construtivos do objeto de estudo | 49 |
| Quadro 2 – Zonas Térmicas do Objeto de Estudo | 56 |
| Quadro 3 – Modelos Energéticos Propostos | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Propriedades termo físicas dos materiais..... | 60 |
| Tabela 2 – Valores de referência dos vidros | 61 |
| Tabela 3 – Taxas típicas de dissipação de calor para iluminação..... | 61 |
| Tabela 4 – Taxas típicas de dissipação de calor para os equipamentos elétricos | 62 |
| Tabela 5 – Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 01 | 67 |
| Tabela 6 – Redução do consumo de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 01 | 68 |
| Tabela 7 - Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 02..... | 70 |
| Tabela 8 – Redução do consumo de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 02 | 71 |
| Tabela 9 – Variação do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 03..... | 73 |
| Tabela 10 – Variação do consumo anual de energia elétrica para aquecimento e resfriamento dos ambientes da Envoltória 03 | 74 |
| Tabela 11 – Resumo comparativo do desempenho energético das Envoltórias | 75 |
| Tabela 12 – Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes das Envoltórias Base, 02 e 02 com ventilação natural..... | 78 |
| Tabela 13 – Redução do consumo anual de energia elétrica para iluminação dos ambientes..... | 80 |
| Tabela 14 – Redução do consumo anual total de energia elétrica..... | 83 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AIA | The American Institute of Architects |
| ANSI | American National Standards Institute |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| CBCS | Conselho Brasileiro de Construção Sustentável |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| DOE | The United States Department of Energy |
| IAB | Instituto dos Arquitetos do Brasil |
| ICOMOS | Conselho Internacional de Monumentos e Sítios |
| IEA | International Energy Agency |
| IES | Illuminating Engineering Society |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| IPHAN | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional |
| LABEEE | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PBE | Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| TICCIH | The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage |
| USGBC | The United States Green Building Council |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Tema e Delimitação | 14 |
| 1.2 Objetivos | 15 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.3 Justificativa | 15 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 2.1 Patrimônio arquitetônico industrial | 17 |
| 2.1.1 Breves considerações sobre a industrialização e a imigração italiana | 17 |
| 2.1.2 Patrimônio industrial e a memória afetiva..... | 19 |
| 2.2 Reabilitação arquitetônica e desenvolvimento sustentável | 25 |
| 2.3 Eficiência energética nas edificações | 29 |
| 2.3.1 Energia: consumo e eficiência..... | 29 |
| 2.3.2 A normalização e os programas nacionais..... | 34 |
| 2.4 Simulação computacional de desempenho energético | 39 |
| 2.4.1 O modelo de energia | 39 |
| 2.4.2 Por que utilizar a simulação de desempenho energético? | 41 |
| 3 METODOLOGIA | 44 |
| 3.1 Objeto de Estudo | 44 |
| 3.1.1 Diretrizes para a intervenção arquitetônica do Objeto de Estudo..... | 51 |
| 3.1.2 Estudo Preliminar da proposta de intervenção no Objeto de Estudo | 52 |
| 3.2 Simulação Computacional | 54 |
| 3.2.1 Parâmetros gerais para a simulação computacional | 58 |
| 3.2.2 Parâmetros para a envoltória da edificação | 59 |
| 3.2.3 Parâmetros para a iluminação, equipamentos elétricos e climatização da edificação | 61 |
| 3.2.4 Parâmetros para a ventilação natural e controle de iluminação | 63 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 64 |
| 4.1 Envoltória Base | 64 |
| 4.2 Envoltória 01 | 66 |
| 4.3 Envoltória 02 | 69 |
| 4.4 Envoltória 03 | 72 |

| | |
|---|------------|
| 4.5 Avaliação do Desempenho Energético do Objeto de Estudo | 75 |
| 4.5.1 Modelos energéticos e o consumo de energia para climatização | 75 |
| 4.5.2 Estratégias passivas: ventilação e iluminação natural | 76 |
| 4.5.3 Potencialidades e limitações dos modelos energéticos..... | 80 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 85 |
| REFERÊNCIAS..... | 87 |
| APÊNDICE A – RESUMO DOS DADOS DO OBJETO DE ESTUDO..... | 95 |
| APÊNDICE B – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA BASE..... | 96 |
| APÊNDICE C – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 01 | 97 |
| APÊNDICE D – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02..... | 98 |
| APÊNDICE E – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 03 | 99 |
| APÊNDICE F – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02 COM VENTILAÇÃO NATURAL..... | 100 |
| APÊNDICE G – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02 COM CONTROLE DE ILUMINAÇÃO | 101 |
| APÊNDICE H – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA FINAL | 102 |

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um requisito fundamental na busca por uma arquitetura mais sustentável e racional. Por sua vez, o patrimônio arquitetônico industrial está associado ao desenvolvimento da sociedade. Preservá-lo auxilia na construção das identidades locais. Associar conceitos como eficiência energética e patrimônio arquitetônico industrial é um desafio, pois são dois importantes temas da arquitetura que, geralmente, são abordados separadamente, mas que podem ser integrados, potencializando-os.

Diversos valores podem ser atribuídos a uma edificação para defini-la como patrimônio, sendo os mais tradicionais os de interesse histórico e artístico. O patrimônio arquitetônico industrial, contudo, ainda não é reconhecido amplamente pela sociedade e, geralmente, valores afetivos são atribuídos por alguns grupos sociais mais sensibilizados com a atividade industrial. (KÜHL, 2006). Nesta pesquisa será destacada a importância do valor afetivo relacionado com a memória social para a preservação e reabilitação de edificações relacionadas às atividades industriais.

A sustentabilidade é um conceito atual, que compreende questões ambientais, sociais e econômicas. Em relação às edificações, está relacionada com o consumo eficiente de água e energia, além de outros aspectos como promover a qualidade do ar no interior dos ambientes, beneficiar-se da iluminação natural e proporcionar conforto térmico, acústico e visual aos usuários. Também pode se relacionar a sustentabilidade com a reabilitação de edificações históricas por minimizar a extração de recursos naturais e maximizar o reuso a fim de gerar menos resíduos e prolongar sua vida útil.

Nos últimos anos, considerando os impactos ocasionados ao meio ambiente, devido à alta emissão de gases de efeito estufa, à poluição e às mudanças climáticas, surge a necessidade de se repensar a economia e a forma de construir e produzir. Reabilitar uma edificação histórica, além de preservar o valor afetivo previamente mencionado, é uma forma de aplicar a sustentabilidade baseada em um modelo circular. Por isso, é considerada a sua reutilização, tornando-a mais eficiente, reduzindo o consumo de energia, e evitando o desperdício de recursos e materiais, a fim de minimizar o impacto no meio natural. (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; ARUP, 2019).

O desempenho das edificações é fundamental para aprimorar a forma como construímos, utilizando menos recursos, mas garantindo o conforto e segurança necessários aos usuários. A eficiência no consumo de energia é parte de um conjunto de medidas para uma edificação ter um desempenho eficaz e auxiliar no desenvolvimento sustentável. A simulação computacional para avaliar o desempenho energético de um modelo é um importante recurso para ser utilizado nas etapas de projeto. Isso porque permite aos profissionais experimentarem alternativas e avaliar como resultaria o comportamento da edificação, próximo de um determinado contexto real.

Como objeto de pesquisa e proposta de reabilitação, o estudo de caso desta dissertação é a edificação que corresponde à primeira expansão da empresa Saccaro Móveis. Construída na década de 1970, localiza-se em Caxias do Sul, município colonizado por imigrantes italianos, no estado do Rio Grande do Sul. Com o posterior crescimento da empresa e a mudança do pátio fabril nos anos 1990, essa edificação por muitos anos foi utilizada como depósito, até tornar-se obsoleta. Está situada na área central do bairro Ana Rech, próxima de outras importantes edificações históricas, local que concentra o desenvolvimento e a história da localidade. Através da sustentabilidade, na relação entre a reabilitação e a eficiência energética, será possível preservar a memória da edificação que marcou o início de uma empresa reconhecida no Brasil e no exterior, pelos seus produtos conceituados através de atributos artesanais e de design.

1.1 Tema e Delimitação

O presente trabalho se insere na temática da eficiência energética aplicada à reabilitação de edificações históricas, especificamente de uso industrial. Tem sua ênfase na eficiência energética da reabilitação de um patrimônio industrial para uso comercial.

Avalia-se as intervenções das propostas, quanto à materialidade, sistemas de climatização e iluminação, e estratégias passivas, em relação ao consumo de energia elétrica, sem abordar os custos de investimento. Verifica-se o comportamento energético dos modelos em relação ao clima, que é

predominantemente ameno durante os meses de verão e frio nos meses de inverno, a partir de simulação computacional pelo período de um ano.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar, através de simulação computacional, o comportamento de diferentes estratégias para reabilitar uma edificação industrial de interesse histórico, de modo a apresentar melhoras em seu desempenho energético.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Definir diretrizes de intervenção que considerem a preservação do patrimônio arquitetônico industrial e a racionalização do uso de energia;
- b) Propor modelos energéticos aplicando as diretrizes definidas, e que apresentem eficiência energética em relação ao modelo base;
- c) Avaliar o desempenho energético da envoltória e dos sistemas de climatização e iluminação, individualmente e no conjunto;
- d) Verificar a redução do consumo de energia dos modelos propostos.

1.3 Justificativa

Tendo como relevância os fatores social, ambiental, econômico e histórico, esta pesquisa enfoca dois assuntos atuais, que são a racionalização do consumo de energia e a valorização do patrimônio industrial. É relevante reabilitar edificações históricas a novos usos, a fim de promover a sua preservação para manter a identidade e a memória de seus usuários, permanecendo e ressignificando-se na história da localidade.

A sustentabilidade e o patrimônio são dois temas fundamentais na discussão e na formação da arquitetura e urbanismo. São contemplados por inúmeros conteúdos, mas a escolha pela abordagem da integração da eficiência energética e da reabilitação da arquitetura industrial, permite contribuir na reflexão acerca de

como podem ser trabalhados juntos, apesar da sua diversidade. As particularidades de cada tema são importantes para contribuir na discussão de como estamos considerando o passado e o presente. É possível na arquitetura e urbanismo relacionar o que é existente com novas intervenções, não somente no sentido físico, da materialidade, mas no sentido da memória coletiva também. No contexto atual é importante abordá-las em conjunto, porque permite ampliar a capacidade de visualizar e desenvolver a interdisciplinaridade, de forma que uma complementa e enriquece a outra.

Considerar a racionalização de energia no processo de projeto de uma edificação é importante porque minimiza os impactos indesejáveis entre ambiente natural e construído. A forma como as edificações são projetadas ou requalificadas influenciam diretamente no consumo de energia e de recursos naturais, podendo ser diminuídos se partirem de um projeto que considere a eficiência do consumo de energia no seu processo e ocupação, através da simulação computacional. Utilizar ferramentas que possibilitam simular e avaliar o desempenho energético de uma edificação é importante porque permite avaliar a sua envoltória e os sistemas implantados, a fim de verificar um resultado próximo da realidade.

Reabilitar uma edificação é significativo porque diminui os resíduos gerados pela construção civil, além de otimizar o edifício integrando os sistemas naturais e artificiais de forma a evitar o desperdício de materiais e de energia. (CIANCIARDI; BRUNA, 2004). É fundamental projetar e estudar uma edificação para destinar a energia de forma consciente na utilização de sistemas que apresentem melhoras no desempenho energético, beneficiando-se da infraestrutura disponível, além de ressignificar a memória do local edificado para os usuários e a cidade.

A escolha do objeto de estudo foi devido ao seu valor de memória tanto para a família Saccaro quanto para a comunidade que trabalhou e participou do desenvolvimento da empresa de móveis de mesmo nome. O senso de coletividade é uma das riquezas que a herança da imigração italiana marcou na região. Além disso, com o desenvolvimento urbano do local em que a edificação se encontra, reflete-se quão privilegiada é a sua implantação, e ao mesmo tempo, quão obsoleta está na paisagem devido à sua subutilização. A possibilidade de reabilitá-la é reconhecer o seu potencial de uso para requalificar também o entorno, além de preservar a memória dos usuários, que através das atividades realizadas nesta edificação, teve importância para o desenvolvimento do bairro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e referenciais acerca do patrimônio arquitetônico industrial, da sustentabilidade, da eficiência energética, e da simulação do desempenho do modelo de energia.

2.1 Patrimônio arquitetônico industrial

2.1.1 Breves considerações sobre a industrialização e a imigração italiana

A industrialização transformou o mundo e se desenvolve, embora de maneira diferente, até os dias de hoje. Iniciada na Inglaterra, com a Revolução Industrial, proporcionou a transformação dos meios de produção, até então artesanais, e que passaram a ser aprimorados com o uso de máquinas devido ao surgimento das indústrias. Através da nova forma de produção de mercadorias a economia mundial sofreu grandes alterações, impactando a extração e exploração de recursos naturais e ocasionando mudanças no estilo de vida das pessoas.

A evolução da industrialização no Brasil está associada com o processo de imigração europeia. Isso se reflete no Rio Grande do Sul, especialmente nas regiões da capital, Porto Alegre, e da Serra Gaúcha. O objeto de estudo deste trabalho se relaciona, particularmente, com a imigração italiana nesta última região.

Após a independência do país, foram aprovadas, em 1850, duas importantes leis: a Lei de Terras, a qual delibera que o único meio para se adquirir terras deveria ser pela sua compra, e a Lei Eusébio de Queiroz, a qual proibia a entrada e a comercialização de escravos no Brasil. Isso incentivou, por meio do Governo Imperial, a vinda de colonos europeus livres e iniciou um lento processo de substituição da mão de obra escrava pela livre. (GIRON; BERGAMASCHI, 2004). A implantação desta legislação ocasionou importantes mudanças, principalmente no desenvolvimento industrial e na produção cafeeira no estado de São Paulo, pois o capital, o qual previamente era destinado à compra de escravos, passou a fomentar o setor industrial. (DIAS, 2018).

Dois grandes contingentes de imigrantes europeus chegaram ao Brasil na segunda metade do século XIX: os alemães e os italianos. A partir de 1877 começaram a chegar os primeiros imigrantes italianos a São Paulo, estabelecendo-

se principalmente como mão de obra para indústrias ou fazendas cafeeiras, e também como pequenos proprietários rurais. O loteamento de terras e a sua aquisição pelos imigrantes, gerou capital que proporcionou a expansão das lavouras cafeeiras e das indústrias do estado. (GIRON; BERGAMASCHI, 2004). As famílias pioneiras da indústria paulistana estavam vinculadas ao comércio cafeeiro, e são de origem italiana, entre elas os Crespi, os Scarpa e os Matarazzo, sendo estes os fundadores das Indústrias Reunidas Fábricas Matarazzo, que por anos foi um dos maiores complexos industriais do país, atuando em diversos segmentos. (COSTA, 2001; DIAS, 2018).

O crescimento dos lucros obtidos com a exportação do café foi fundamental para desenvolver melhorias e o crescimento das indústrias, pois foi necessário investir em equipamentos que tratassem a matéria-prima e também as suas embalagens, como as indústrias de sacarias de juta. Com isso, a presença de capital estrangeiro no país aumentou, especialmente dos ingleses, os quais investiram em minas, estradas, usinas e serviços públicos, como transportes urbanos e telégrafos, sendo relevante para a disponibilidade de energia, a qual é essencial para o desenvolvimento da indústria. (COSTA, 2001).

No Rio Grande do Sul, a partir de 1875, os imigrantes italianos foram trazidos por companhias comerciais, com sede nas principais cidades do norte da Itália, as quais foram responsáveis pela propaganda e viagem dos imigrantes às terras localizadas no nordeste do estado. (GIRON; BERGAMASCHI, 2004). De acordo com Costa (2001), para muitos historiadores a industrialização no Rio Grande do Sul iniciou somente com as imigrações alemã e italiana, sendo que dois fatores foram fundamentais, um de gênero fundiário e outro de gênero cultural. O primeiro visava a ocupação das terras a fim de minimizar o interesse espanhol e assim, desenvolveu-se a produção de bens e otimizou a aplicação produtiva do excedente. E o segundo, visto que entre os imigrantes havia muitos artesãos e operários, o saldo da produção foi aplicado na criação de pequenas oficinas e indústrias, o que rapidamente ocasionou um crescimento industrial variado, abrangendo os setores têxtil, alimentício, vinícola e calçadista.

O município de Caxias do Sul se originou da colônia Caxias, assim denominada em 1877, a qual foi a primeira colônia demarcada com o objetivo de sediar imigrantes italianos. (GIRON; BERGAMASCHI, 2004). Segundo Costa (2001), a cidade teve um rápido crescimento, tornando-se um importante centro econômico.

A autora destaca a presença de uma significativa quantidade de oficinas e pequenas indústrias na região central, dentre elas cervejarias, curtumes, ferrarias, funilarias, mercearias, artefatos de vime, olarias e louças de barro. Na década de 1930, o perfil econômico de Caxias era definido pelas indústrias relacionadas à fabricação de vinho e cooperativas madeireiras.

Já nos anos 1940, com a estagnação das vinícolas, expandiram-se a indústria têxtil, siderúrgica e metalúrgica, configurando o município como um polo industrial. A partir da década de 1980, foi comum a desocupação das edificações industriais, principalmente na região central, devido a alguns fatores como a desatualização das antigas instalações e a necessidade de atender novos padrões tecnológicos, e o alto custo de adquirir novos lotes para a expansão do pátio fabril, obrigando a busca por terras em áreas periféricas do município.

A indústria se transformou e se adaptou durante o passar do tempo, deixando um patrimônio arquitetônico com importância simbólica pelo desenvolvimento de ideias e produtos, pelo convívio social e pela formação da memória em todo o processo de fabricação dos seus produtos. Portanto, o patrimônio industrial tem significância tanto para a arquitetura, relativo ao valor do espaço construído e do desenvolvimento urbano, quanto valor afetivo relacionado ao tempo e às pessoas daquele tempo. Preservá-lo, por meio da atribuição de novos usos e significados, mantém viva essa memória e permite a construção de novas. Cabe esclarecer que o abandono de estruturas industriais é um fenômeno que ocorre em muitos países e, desde os anos 1970, deu origem a projetos de requalificação visando atender novas atividades de interesse social.

2.1.2 Patrimônio industrial e a memória afetiva

Segundo o Artigo 216 da Constituição da República Federativa do Brasil (1988, p.119), o patrimônio cultural brasileiro é formado por “bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira”. De acordo com o Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural (GUEDES; MAIO, 2016) “o bem cultural é entendido como aquele bem que deve ser protegido, em virtude de seu valor e de sua representatividade para determinada

sociedade”. Há várias categorias de patrimônio, e no caso desta dissertação será sobre o patrimônio industrial.

No Brasil, durante o século XX, identificam-se diversas posturas em relação aos bens patrimoniais, as quais ocorreram de modo diferente em cada lugar e momento histórico. Assim parte-se do pressuposto de que os conceitos de patrimônio, temporalidade e territorialidade são relacionados, pois a cada tempo e local a sociedade e o Estado definem o que se tornará patrimônio ou não; o que irá transformar-se em memórias, a fim de adquirir e readquirir significados ou não. (MEIRA, 2008).

As cartas internacionais, decorrentes de encontros de especialistas, apresentam conceitos, diretrizes e métodos a serem observados nos diversos países. A Carta de Veneza, de acordo com o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios – ICOMOS – (1964, p.1), explana sobre a conservação e restauração de monumentos e sítios. Seu primeiro artigo define que

“A noção de monumento histórico compreende a criação arquitetônica isolada, bem como o sítio urbano ou rural que dá testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Estende-se não somente às grandes criações, mas também às obras modestas que tenham adquirido, com o tempo, uma significação cultural”.

Assim, a carta definiu o conceito que permite equiparar o patrimônio industrial, que é constituído por edificações utilitárias sem requintes arquitetônicos, à categoria de monumento histórico. Ela tem a finalidade de implantar diretrizes para a conservação e a restauração dos monumentos de maneira a preservar tanto a obra de arte quanto o testemunho histórico. A carta também apresenta as principais diretrizes de intervenção, e aqui serão adotadas as seguintes: as intervenções novas devem estabelecer uma distinção entre elementos novos e os antigos e ostentar a marca do nosso tempo, ou seja, devem ser contemporâneas, e devem ter caráter reversível para permitir, no futuro, eventuais alterações.

O primeiro documento internacional relacionado ao patrimônio industrial foi a Carta de Nizhny Tagil, documento do *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage* (TICCIH, 2003). A definição estabelece que o patrimônio é composto pelas evidências da cultura industrial que apresentam valor histórico, tecnológico, social, arquitetônico ou científico, sendo formado por edificações, máquinas, oficinas, armazéns, fábricas e moinhos, locais de

processamento, espaços onde a energia é gerada, transmitida e utilizada, ou também de ambientes utilizados para atividades sociais relacionadas às indústrias, como habitações, locais religiosos e educacionais.

A carta ressalta que a importância pela preservação do patrimônio industrial consiste nos valores em que apresenta. O valor social tem significativa importância na identidade de vidas de homens e mulheres. O valor científico e tecnológico na evolução da manufatura e da construção. E pode haver o estético relacionado à qualidade arquitetônica, de design e planejamento. Eles são essenciais à implantação e disposição do sítio, à documentação escrita assim como aos registros intangíveis, os quais existem nas memórias e nos hábitos das pessoas e que são considerados um recurso único e insubstituível.

A preservação do patrimônio industrial é um tema importante, porém ainda é pouco discutido. As questões de ordem prática, como o uso ou questões econômicas, deixam de ser únicas e determinantes e passam a ter um cunho indicativo, quando há percepção das razões por que se preserva. A preservação deve visar o respeito pelos aspectos imateriais e pelas marcas do tempo, como a memória coletiva, e por isso as intervenções devem ser fundamentadas pelos motivos do por que se preserva. (KÜHL, 2010). Portanto os valores de cunho cultural, científico e social estão diretamente relacionados à motivação da preservação.

A Declaração de Amsterdã (CONSELHO DA EUROPA, 1975) considera que a preservação da continuidade histórica do ambiente é fundamental para a manutenção ou para a criação de um modo de vida que permita às pessoas descobrirem sua identidade e sentirem-se seguras com as transformações que a sociedade enfrenta. Além disso, como preocupação da sociedade contemporânea, a conservação das edificações existentes contribui para economizar e diminuir o desperdício de recursos naturais.

A Declaração considera que a conservação do patrimônio arquitetônico deve ser descentralizada, ou seja, não deve ser tarefa somente de especialistas. Estima que a opinião e a participação pública dos cidadãos são essenciais. É importante levar em consideração as realidades sociais e físicas existentes nas comunidades urbanas ou rurais e assim atribuir à conservação das edificações, funções que respondam às condições atuais de vida e garantam sua sobrevivência, respeitando o seu caráter.

Patrimônio remete à herança acumulada ao longo do tempo, tendo o reconhecimento de determinados valores pelas pessoas, entre eles artístico, econômico ou afetivo, de um determinado bem. Atualmente novos parâmetros são introduzidos no entendimento de um bem como patrimônio, deixando de ser apenas algo que se herda, mas algo que compõe o costume e a experiência de um grupo social. (MESQUITA; PIEROTTE, 2018).

A partir da elaboração de documentos e diretrizes conduzidos pelos órgãos de patrimônio e setores vinculados verifica-se uma ampliação do conceito de patrimônio, que previamente era restrito a monumentos históricos isolados. Atualmente é mais abrangente, considerando a inclusão de variadas tipologias arquitetônicas, onde se insere o patrimônio industrial, e atenta-se que o limite temporal se estendeu para épocas mais recentes, além de ponderar também ambientes urbanos e a memória social. (LESSA, 2016). Kühl (2006) observa que a industrialização teve grande importância na arquitetura pela construção de tipologias que atualmente possuem valor histórico, formal, memorial e/ou simbólico, sendo relevantes também na difusão de técnicas construtivas como alvenaria de tijolos e na utilização do ferro.

Uma cidade transforma-se quando deixa de ser um núcleo em que os cidadãos se conhecem, quando a zona urbana se expande e surge a necessidade de se organizar. A cidade, além de ser lugar de abrigo, torna-se também um local de relações e deslocamentos. O contexto urbano que se forma não teria profundidade histórica e seria indiferenciado caso não tivesse o papel da memória de seus habitantes. O conteúdo afetivo que as pessoas atribuem aos locais são fundamentais para significá-los. (CAMPELLO, 1994).

O patrimônio industrial não se limita apenas a bens arquitetônicos ou conjuntos de objetos inativos ou obsoletos. Pelo contrário, é um campo de investigação vivo, em que apresenta uma memória social devido a relação de trabalho entre as pessoas na forma como se relacionavam e conviviam, e entre seus instrumentos. Esta conexão está sempre se renovando, e vivenciar e acompanhar esse processo tem relevante significado histórico pela construção de laços afetivos. (MELLO E SILVA, 2012). A memória afetiva é um aspecto fundamental a ser considerado na preservação de uma edificação por ser um dos principais indicadores sociais da importância de um bem para a sociedade. Essa dimensão

afetiva se aplica ao caso da antiga estrutura da Saccaro Móveis – objeto de estudo aqui apresentado.

Cada estrutura industrial tem o seu valor e a sua contribuição cultural na sociedade, pois estão associadas ao desenvolvimento econômico da região em que estão inseridos, além do valor afetivo e das memórias proporcionadas, sendo estas individuais ou coletivas. As indústrias também são patrimônio cultural pelo valor de uso, sendo um instrumento de conhecimento e saber. A sua conservação transforma espaços obsoletos introduzindo usos contemporâneos, os quais contribuem para a requalificação do meio em que se encontram, visando proporcionar um novo desenvolvimento econômico e cultural, mas acima de tudo a recuperação de um local para o desfrute das pessoas. (ALVES, 2017).

O patrimônio arquitetônico contempla o reconhecimento de identidades e o valor afetivo que é atribuído a edificação ou espaço, de forma singular ou coletiva, pelas memórias ali vividas. De acordo com Olender (2017), o valor afetivo é um importante agente e indicador da relevância de um bem na memória de uma população, embora frequentemente não seja considerado na sua preservação. Segundo o autor, a memória social não deve ser confundida com a história, pois não é simplesmente a recordação de fatos passados, mas uma interpretação coletiva e compartilhada do que ocorreu, em que foram criadas relações afetivas de reciprocidade e pertencimento entre as pessoas. Diante disso, o valor afetivo é um vínculo subjetivo que remete a identidade de um grupo social em relação a um determinado bem em determinada localidade. (MENESES, 2009).

A expansão urbana das cidades aliada à especulação imobiliária provoca reações entre conselhos e órgãos, entre técnicos e comunidades, em relação ao que deve ou não ser preservado. Muitas edificações industriais são demolidas sem questionar os critérios de valoração e métodos que visem a proteção de sua memória fabril e coletiva, desconsiderando a importância que tiveram para o desenvolvimento da região em que se encontram. Patrimônios e memórias que aos poucos vão se perdendo. (MOURA; KOEHNTOPP, 2018).

Quando importantes exemplares da arquitetura industrial começaram a ser demolidos no início dos anos 1950 na Inglaterra, o debate acerca da importância de preservar o patrimônio industrial começou a se fortalecer. (KÜHL, 2006). Muitas edificações industriais ficaram obsoletas no espaço urbano em que estavam inseridas e com isso tornaram-se ruínas e vazios urbanos. Assim surge o conceito

de *friches industrielles* o qual designa espaços edificados ou não, desocupados ou sem utilização, que previamente abrigava atividades industriais ou associadas à indústria. Com a abordagem deste conceito na França, percebeu-se a importância da conscientização sobre a preservação do patrimônio industrial obsoleto, analisando as possibilidades de ser reutilizado a fim de requalificar o espaço urbano e manter vivo importantes aspectos das identidades de um local, e das relações que ali foram criadas. (MENDONÇA, 2001).

O patrimônio industrial é composto, na maioria dos casos, por grandes estruturas, com valor arquitetônico, onde ocorria o funcionamento de determinada linha de produção. Seu conceito vai além por ser parte do cotidiano de homens e mulheres que lhe conferiam valor de pertencimento, compreendendo a rotina, o tipo de industrialização e tecnologias utilizadas no momento, além do modo de vida destas pessoas. As indústrias são um dos fatores que colaboraram para o desenvolvimento da sociedade, sendo possível compreender as transformações ocorridas, destacando-se por ser um local de relações entre o meio físico e humano, ou seja, entre o espaço e as memórias. (MESQUITA; PIEROTTE, 2018).

Embora o conceito de patrimônio tenha sido ampliado a partir dos anos 1970, as edificações industriais do século XX ainda sofrem com a falta de reconhecimento em função da distância estética e da proximidade temporal das construções – geralmente, no caso brasileiro, exemplares do século XX. Tornam-se, assim, passíveis ao risco de demolição. As edificações de arquitetura de linhas simples e retilíneas, as quais foram construídas com materiais e técnicas disponíveis no seu tempo e que também não eram de autoria de profissionais conceituados, são mais dificilmente valorizadas. A maioria das edificações industriais não são reconhecidas, pois não são considerados aspectos relacionados à memória social, afetando a sua conservação e ocasionando significativas perdas para as futuras gerações. (LESSA, 2016).

Moura e Koehtopp (2018) fazem uma breve análise sobre a importante problemática acerca da preservação, que é a questão do que e como preservar. Os autores ressaltam o interesse de evitar que uma edificação seja considerada de forma isolada, em que muitas vezes são consideradas apenas as questões formais e arquitetônicas do imóvel. É fundamental considerar também seus mais variados aspectos como entorno, contexto urbano e social, história e memórias coletivas. Na

edificação que corresponde à primeira expansão da empresa Saccaro Móveis todos esses aspectos estão presentes.

2.2 Reabilitação arquitetônica e desenvolvimento sustentável

A fim de relacionar a importância da reabilitação das edificações como um meio sustentável, primeiramente será abordada a origem da sustentabilidade nas edificações a partir dos movimentos ambientalista, de conservação e preservação, de acordo com Keeler e Vaidya (2018). Eles foram a base para explicar e definir o conceito da sustentabilidade contemporânea, que será considerado no desenvolvimento deste trabalho.

Segundo os autores, o princípio das edificações sustentáveis deriva do resultado cumulativo de movimentos com um propósito comum. Origina-se nos primórdios da humanidade, onde já havia um grande apego à natureza, em razão da sobrevivência dos nossos ancestrais ser dependente dela, pois seus recursos eram fonte de abrigo e alimentação. Sempre fez parte do comportamento humano extrair da natureza os recursos necessários, em razão da abundância em que se encontravam. Porém, com o tempo, o aumento populacional, as extrações irresponsáveis e a poluição causaram a escassez de recursos, a exaustão do solo e a extinção de espécies, gerando um desequilíbrio ambiental e climático.

O movimento ambientalista está diretamente relacionado à justiça social e ambiental, ou seja, é fundamental o equilíbrio entre a necessidade do homem de se sustentar e a responsabilidade de usufruir dos recursos naturais. É caracterizado pelo ativismo de conservação em diferentes épocas. Em torno de 1730, um Marajá pretendia derrubar inúmeras árvores de um vilarejo na Índia para a construção de edificações. Este fato sensibilizou uma matriarca do vilarejo que organizou o protesto, em que as pessoas abraçavam as árvores impedindo suas derrubadas. Quase quatrocentas pessoas perderam suas vidas, mas em resposta, as árvores passaram a ser protegidas por legislação. Em 1970, também na Índia, ocorreu um movimento similar a este, e mais recentemente na África, quando Wangari Maathai – Nobel da Paz de 2004 – convocou cidadãos a plantar espécies a fim de evitar a erosão do solo e resgatar florestas.

Em decorrência da Revolução Industrial, surgiram conflitos sociais que estavam diretamente relacionados aos impactos ambientais provocados. Neste período, o planeta tornou-se um objeto, com valor econômico de posse, sendo desvinculado da natureza. Posteriormente, com o desenvolvimento da química moderna aumentou a aplicação de inseticidas, herbicidas e pesticidas, impactando os ecossistemas existentes, a cadeia alimentar, a água e os seres humanos. No final da década de 1970, com o aumento dos acidentes químicos e industriais surgiu um novo movimento chamado de Novo Ambientalismo, marcado por um ativismo passional e que demandava por novas políticas públicas para assuntos ambientais.

Paralelamente ao ambientalismo, havia os movimentos de conservação e preservação norte-americanos, os quais buscavam o controle da poluição e a melhora da saúde pública, porém divergiam na relação do homem com a natureza. O primeiro acreditava que o meio ambiente deveria ser manipulado com sabedoria e responsabilidade para o uso dos seres humanos, enquanto o segundo visava a proteção da natureza por ser um local de estudo, reflexão e lazer, e que sem ela a humanidade não existiria. Ambas as vertentes acreditavam que as empresas privadas e o setor da agricultura corporativa deveriam ser fiscalizados pelo governo, para haver um controle sobre a utilização e o manejo dos recursos naturais, garantindo de forma eficaz a sua abundância e também o valor econômico.

Segundo Keeler e Vaidya (2018) a definição de sustentabilidade nas edificações provém destes movimentos. Primeiramente era relacionada às ideias de serem autossuficientes e ecológicas, porém atualmente também são consideradas as edificações integradas, pois consideram o ciclo de vida dos materiais e sistemas, além de buscarem a eficiência, o alto desempenho e a flexibilidade. A edificação sustentável deve minimizar os problemas ambientais, como a escassez dos recursos naturais, o descarte de materiais e resíduos, e as emissões de carbono. Embora não possa sanar todas as adversidades ela deve:

- Lidar com a demolição e a gestão dos resíduos gerados pela construção e pelos usuários;
- Buscar a eficiência no uso dos recursos, racionalizando o consumo de solo, água e energia, a fim de cooperar na recuperação dos recursos naturais;

- Visar o consumo eficiente de energia dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e equipamentos;
- Proporcionar um ambiente interno saudável.

O termo sustentabilidade tem sido amplamente utilizado, quase ao ponto de perder a sua credibilidade, entretanto seu princípio é suprir as necessidades do presente sem prejudicar a capacidade de atender às necessidades do futuro, segundo a ASHRAE (2018). Ainda de acordo com esta instituição, as construções sustentáveis não têm um conceito absoluto ou definitivo, são modos de se pensar, de forma a ter um objetivo a ser buscado e um processo a ser seguido. Portanto a sustentabilidade nas edificações corresponde a um projeto consciente, que visa adotar estas estratégias a fim de minimizar os impactos gerados ao meio ambiente.

A ideia de reabilitar as edificações surgiu na Europa em função dos grandes centros urbanos estarem carentes de espaços para novas construções, expandindo suas periferias, embora houvesse muitas edificações obsoletas ou inutilizadas nas áreas centrais. (BARRIENTOS, 2004; MOTA; QUALHARINI, 2018). O termo reabilitação surge na língua inglesa como “*refurbishment*”, de origem britânica e “*rehabilitation*”, de origem norte-americana, sendo utilizado para identificar as alterações que promovem uma recuperação geral das funcionalidades da edificação, modificando ou não o seu uso original. (MARQUES DE JESUS, 2008).

A reabilitação, de acordo com Appleton (2003 *apud* CROITOR; MELHADO, 2009), deve melhorar o desempenho da construção, a partir do conjunto de operações que visem aumentar a qualidade da edificação, atingindo níveis funcionais mais restritos aos quais a edificação foi previamente concebida. Também é definida como um conjunto de ações que objetivam recuperar e beneficiar as edificações, por meio da implantação de mecanismos que promovam a sua atualização tecnológica. (BARRIENTOS, 2004).

Conservação e reabilitação são consideradas os pilares da sensibilidade ecológica com o *habitat*, conectados ao ideal de sustentabilidade dos ambientes construído e urbano. (BARRIENTOS, 2004). A reabilitação e a sustentabilidade complementam-se entre si, na medida em que novos usos são definidos para as edificações, evitando o descarte de materiais que conseqüentemente geram um grande impacto ao nosso *habitat*. (QUALHARINI; OSCAR; SILVA, 2019).

A reabilitação das edificações é uma proposta de arquitetura sustentável por não desperdiçar energia para sua demolição, minimizar a geração de resíduos e requalificar o entorno urbano. Conservar ou reabilitar uma edificação é fundamental na utilização sustentável de recursos naturais, na otimização do uso do solo em que há infraestrutura e disponibilização de serviços. Além disso, evita o consumo de energia e emissões de CO₂ associados com a demolição e com o transporte dos entulhos, diminuindo a quantidade de resíduos no meio ambiente (MUNARIM, 2014). A reutilização das edificações promove a valorização do patrimônio construído, tornando-se atrativa para os usuários e contribuindo para a qualidade de vida dos seus ocupantes. (VARGAS; CASTILHO, 2015).

Para se aproximar de uma realidade mais sustentável, deve-se prever a redução de impactos gerados ao meio ambiente. A fim de adaptar, atualizar e requalificar um espaço construído e o seu entorno, a reabilitação objetiva buscar a requalificação de edificações em áreas consolidadas, incorporando tecnologias que promovam a redução da extração de recursos naturais, prejudiciais ao meio ambiente. (CBCS, 2013). Para Qualharini, Oscar e Silva (2019) a reabilitação, além de buscar atender aos requisitos funcionais, é uma aliada da sustentabilidade. Utilizando de estratégias para adaptar a edificação a um novo uso, deve procurar melhorar o desempenho do edifício em questões de conforto, eficiência energética e de racionalização do consumo de água.

De forma a contribuir para a otimização do espaço construído, a reabilitação tem como finalidade readequar e reinserir edificações subutilizadas à estrutura da cidade, visando a sustentabilidade e podendo contribuir para o desenvolvimento socioeconômico urbano. (CIANCIARDI; BRUNA, 2004). Justifica-se a reabilitação como meio de desenvolver a sustentabilidade pelo aproveitamento da infraestrutura existente da região em que o edifício está implantado, e por gerar redução do custo e do impacto que uma demolição causa, seguido pela reconstrução. (CROITOR; MELHADO, 2009).

Segundo Cianciardi, Monteiro e Bruna (2004) utilizar parâmetros de sustentabilidade ecológicos na recuperação, prevenção e restauração de edificações pode contribuir para garantir um desenvolvimento urbano sustentável. De acordo com os autores a reabilitação é uma correta interface entre o ambiente construído e a natureza, em que a reciclagem e o reuso prolongam a vida útil dos materiais utilizados na edificação, minimizando a aplicação de novos recursos naturais. Além

disso, também destacam o uso da flexibilidade, a fim de buscar o equilíbrio e a elasticidade entre os sistemas implantados.

Reabilitar uma edificação faz parte dos princípios de sustentabilidade pela reutilização do edifício existente, de forma a recuperar seus ambientes convertendo-os em espaços mais eficientes e saudáveis. Para isso, pode-se adotar tecnologias que promovam melhor uso e racionamento dos sistemas, evitando o consumo intensivo de novos materiais que seriam necessários para recomeçar a edificação do zero. (QUALHARINI; OSCAR; SILVA, 2019).

2.3 Eficiência energética nas edificações

2.3.1 Energia: consumo e eficiência

A energia é proveniente de recursos renováveis ou não renováveis e, independente da sua origem, a racionalização do consumo de energia secundária é uma das premissas da sustentabilidade. Inicialmente, os recursos energéticos referem-se à energia primária que é extraída e usada para gerar fontes de energia para as edificações. A origem da energia primária pode ser classificada como renovável, ou seja, que tem o potencial de se regenerar, mas que não significa que tem um fornecimento infinito, pois geralmente depende das condições naturais, e que é gerada a partir do sol, vento, água e biomassa. Também pode ser considerada como não renovável, pois apresenta limitações e não se regenera, como é o caso do petróleo bruto, carvão, gás natural e urânio. Fonte de energia é o termo que se refere à energia *in loco* (energia secundária), que é a forma na qual a energia chega nas edificações e que é possível medir o seu consumo, sendo a eletricidade uma dessas fontes. (ASHRAE, 2017).

As fontes de energia são medidas de acordo com os combustíveis que são consumidos, sendo que a energia elétrica é mensurada em watts (W) e o seu consumo é medido em quilowatt-hora (kWh). (KEELER; VAIDYA, 2018). *Energy Use Intensity* (EUI), ou intensidade do consumo de energia, é uma métrica amplamente utilizada para descrever o desempenho energético de uma edificação, sendo definida pelo uso anual de energia (kWh), dividido pela área da edificação (m²), obtendo resultados do consumo em kWh/m²ano. Ao padronizar o uso de energia, o

objetivo é comparar o desempenho energético de diferentes edifícios com tamanho, programa e clima semelhantes. (REINHART, 2018). O local e o clima em que a edificação está implantada, o tipo e os horários de ocupação são os principais fatores que influenciam na intensidade do consumo de energia. (KEELER; VAIDYA, 2018).

Os impactos do uso de energia cresceram na medida que as edificações e os hábitos de consumo dos usuários se modificaram. O edifício é um local de abrigo que deve proporcionar aos ocupantes conforto térmico e visual, e responder às necessidades de ocupação e utilização de equipamentos. O papel do arquiteto era garantir essas condições, entretanto, com a introdução de novos materiais e tecnologias em meados do século XX, os profissionais passaram a desconsiderar as estratégias passivas que garantiam o conforto e amenizavam os impactos do clima nas construções. (KEELER; VAIDYA, 2018).

Posterior à segunda guerra mundial, os arquitetos encarregaram aos engenheiros mecânicos e eletricitas a responsabilidade de garantir o conforto através da implantação de equipamentos que suprissem esta demanda. Isso porque eles garantiam melhor conforto do que as técnicas passivas, devido às mudanças na forma de se construir, ou seja, plantas maiores foram possíveis de serem edificadas, diminuindo as possibilidades de interação entre o meio interno e externo. O consumo de energia começou a aumentar desproporcionalmente em relação à consciência dos impactos gerados no meio ambiente. (KEELER; VAIDYA, 2018). É indiscutível que o acesso às fontes de energia promove o desenvolvimento econômico e o bem-estar social, entretanto, como profissionais é fundamental considerar estratégias de projeto que visem a eficiência da edificação e dos seus sistemas, consumindo menos energia e de melhor forma.

A eficiência energética, de acordo com Patterson (1996), é um termo que se refere a utilizar uma quantidade de energia inferior ao usual para produzir a mesma quantidade de serviço. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) um edifício é energeticamente mais eficiente ao apresentar um baixo consumo de energia em condições ambientais similares a outro. Barros, Borelli e Gedra (2015) definem que a energia é uma matéria prima que alimenta processos e transformações com a finalidade de obter-se um resultado, sendo este algo material, como um produto, ou sendo abstrato, como o conforto térmico. É importante verificar o resultado do uso de energia a fim de gerenciar o consumo, e assim criar um indicador que faça a

relação entre o consumo e o resultado para então buscar a eficiência deste processo, reduzindo o uso de energia para atender às mesmas necessidades.

O desempenho das edificações, incluindo a eficiência energética, está se tornando um serviço de projeto tão fundamental quanto atender às necessidades básicas de programa, orçamento e segurança. A abordagem multidisciplinar do desempenho das construções deve começar na concepção do projeto e utilizar as ferramentas de simulação durante todas as etapas do processo projetual, pois a modelagem contínua e interativa, além de refinar as decisões de projeto, otimiza a eficiência energética, o conforto, a saúde e o bem-estar dos ocupantes. (AIA, 2019).

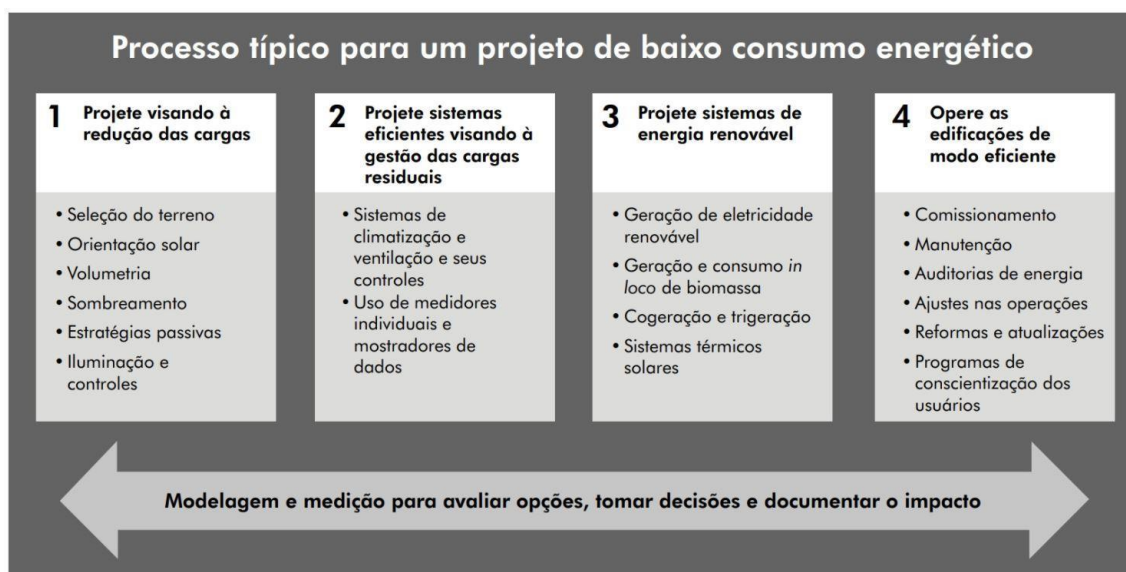
O uso do petróleo como insumo energético foi internacionalmente importante, a medida que a economia foi se modernizando, após a segunda grande guerra. O término deste período ocorreu no final dos anos 1970 com a crise do petróleo, em que se iniciou o debate acerca da flexibilidade dos sistemas energéticos. (POMPERMAYER; FURTADO, 1998). Após a crise do petróleo, vários países investiram recursos em pesquisas para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e em sistemas mais eficientes, direcionadas principalmente ao desempenho energético de edificações, as quais demandam um consumo considerável de energia elétrica na maior parte dos países. (MENDES *et al.*, 2005).

Para uma edificação apresentar um consumo de energia eficiente, deve ser considerada a integração de soluções arquitetônicas passivas e a redução das cargas energéticas dos materiais, equipamentos e sistemas utilizados, como ilustra a figura 1. Conforme Keeler e Vaidya (2018) analisar o terreno é importante para se considerar a influência do entorno no sombreamento e insolação, o potencial de resfriamento passível da edificação através de dados de temperatura e umidade, variação de temperatura diurna e noturna, e da direção e velocidade do vento. Analisar a volumetria e a orientação da edificação permite aproveitar a iluminação e ventilação natural, além de planejar os ambientes sem a necessidade de resfriamento ou aquecimento maiores.

Os autores salientam que a envoltória da edificação influencia nas trocas térmicas, portanto, dependendo do clima do local deve ser avaliado se a envoltória deve limitar, através da utilização de vedações e materiais de isolamento, ou permitir a transferência de calor. As esquadrias e o envidraçamento são as áreas com menor isolamento térmico, por isso devem ser avaliados três fatores para sua escolha. A transmitância térmica, que mede a taxa de ganho e perda térmica por condução,

sendo que um valor baixo significa baixa condutividade. O coeficiente de ganho térmico, que é a razão entre a radiação solar admitida e a quantidade de radiação incidente no sistema da janela, ou seja, é o quanto de calor uma janela permite passar. E a transmitância de luz visível que especifica a porcentagem de luz visível que incide e transpassa ao interior.

Figura 1 – Processo para projeto de edificações com baixo consumo energético



Fonte: Keeler e Vaidya (2018) *apud* Prasad Vaidya/Killer Banshee Studios [2018?].

Nem sempre as estratégias passivas são suficientes para garantir o conforto térmico e visual nos ambientes, por isso é importante integrar com sistemas de climatização e iluminação eficientes. Como já mencionado anteriormente, um projeto que almeje a eficiência energética necessita da integração dos profissionais durante sua concepção. O condicionamento de ar é responsável pelo consumo de 30% a 40% do consumo de energia das edificações (ASHRAE, 2017), e para ser eficiente, pode-se definir zonas térmicas na edificação, de forma a planejar os usos internos e otimizar as áreas climatizadas, de forma a distribuir e dimensionar os equipamentos de maneira adequada. (KEELER; VAIDYA, 2018).

Quanto à iluminação artificial, os autores abordam a necessidade de escolher luminárias e lâmpadas que sejam coerentes quanto à atividade, que possam ser desligadas quando não utilizadas ou que possam ser controladas de modo manual

ou automático. Os controles de iluminação podem ser por interruptores ou *dimmers*, porém os controladores automáticos são um recurso seguro para minimizar a utilização de energia. Controlar a iluminação artificial quando há iluminação natural disponível, proporciona autonomia e flexibilidade aos usuários, pois ao mesmo tempo em que promovem o bem-estar nos ambientes, melhorando o projeto de iluminação, minimizam o consumo de energia.

A economia segue um modelo linear, no qual a produção e o consumo fundamentam-se na extração dos recursos para elaborar produtos, que conseqüentemente geram resíduos que apresentam significativos graus de desperdício, ocasionando desvalorização econômica e ambiental. (CCDRLVT, 2018). De encontro, a Economia Circular (EC) apresenta uma perspectiva sistêmica para o desenvolvimento econômico a fim de melhorar os negócios, a sociedade e o meio ambiente, com o objetivo de desvincular o crescimento econômico e o consumo de recursos. É uma estrutura que se baseia na redução, reutilização, recuperação e reciclagem a fim de promover a maior durabilidade pelo maior tempo possível dos bens. (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; MATERIAL ECONOMICS, 2019; SERRA, 2019).

A economia circular nas cidades é uma oportunidade para projetar edificações que sejam duradouras, flexíveis e de fácil manutenção. Além disso, a utilização de materiais, componentes e sistemas que proporcionam eficiência energética minimizam a criação de resíduos e desperdícios, pois apresentam melhor desempenho gastando menos. No caso dos edifícios, é fundamental considerar a reforma e a reabilitação a fim de melhorar seu uso e operação. Além disso, reabilitar edificações obsoletas no meio urbano faz proveito da infraestrutura existente, densificando a cidade e requalificando o local, sem a necessidade de urbanizar áreas periféricas, mantendo sua diversidade natural. A melhoria da eficiência nas edificações existentes por meio deste conceito cíclico também auxilia na redução das emissões de gases de efeito estufa, pois faz o reuso das edificações, minimiza a geração de resíduos da demolição e evita a extração de recursos para a realização de uma construção nova. (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; ARUP, 2019).

A eficiência energética nas edificações promove múltiplos benefícios. Ela vai muito além da redução da demanda de energia, pois sinaliza uma mudança e tem importante papel na obtenção de melhorias sociais e econômicas. Ela não deve ser considerada um custo, mas sim um investimento que proporciona economia de

capital, maior segurança, melhor saúde e bem-estar. Além disso, reduz a emissão de gases poluentes, as faturas, permite expandir o acesso de energia a mais usuários, utilizando da infraestrutura existente, e gera uma valorização do bem. A figura 2 ilustra os benefícios, sendo importante salientar que alguns são diretos ou são produtos de uma cadeia de efeitos. (IEA, 2014).

Figura 2 – Benefícios da Eficiência Energética



Fonte: Adaptado de IEA (2014).

2.3.2 A normalização e os programas nacionais

Internacionalmente a preocupação em proporcionar maior eficiência e sustentabilidade às edificações, tanto em projeto quanto em operação, levou os setores técnicos envolvidos a se organizarem para desenvolver diretrizes que contemplassem esses aspectos. Foram elaboradas normas, que frequentemente são atualizadas, que sugerem parâmetros relacionados ao edifício, com um alto nível de detalhamento, relacionado às características dos materiais e à definição dos níveis de eficiência que os equipamentos devem apresentar. Devem ser

considerados no projeto, execução, operação e manutenção da edificação. (MOREIRA, 2017).

As normas norte americanas, *Standard* 90.1-2019 e *Standard* 189.1-2017, são reconhecidas e amplamente utilizadas como referencial na área de eficiência energética, inclusive nos *softwares* de simulação energética. A primeira tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos necessários de eficiência energética em edificações, exceto para as residenciais de pequeno porte, quanto ao projeto, construção e planejamento para operação e manutenção, e quanto ao consumo de energia *in loco*, e de recursos energéticos renováveis. (ANSI/ASHRAE/IES, 2019). A segunda tem como princípio estipular as condições mínimas necessárias para a localização, projeto, construção e operação de construções sustentáveis de alto desempenho, a fim de reduzir as emissões das edificações e de seus sistemas, promover o conforto e bem-estar dos ocupantes, promover a eficiência hídrica, proteger a biodiversidade e o ecossistema local, entre outros fatores, visando o desenvolvimento sustentável. (ANSI/ASHRAE/ICC/USGBC/IES, 2017).

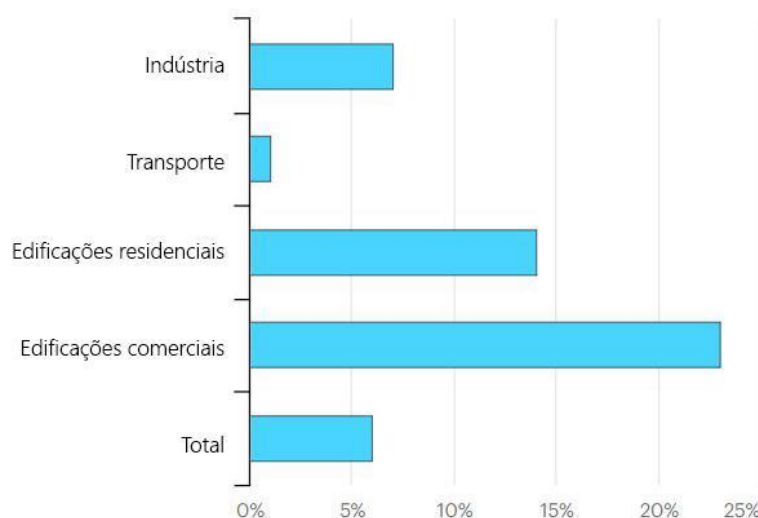
Na metade da década de 1980, no Brasil, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o PROCEL, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. Ele promove ações para aumentar a eficiência dos bens e serviços, além de desenvolver hábitos e conhecimento sobre o consumo consciente de energia, colaborando para a sustentabilidade do país. (BRASIL, 2006a). Em 1993 foi criado o Selo PROCEL, o qual tem como objetivo classificar equipamentos e eletrodomésticos quanto ao seu consumo e eficiência de energia, para conhecimento do consumidor. (BRASIL, 2006b).

No Brasil, fortaleceu-se o debate acerca do racionamento de energia no início dos anos 2000, após a crise energética sofrida. O poder público e entidades civis tornaram-se conscientes da necessidade de racionalizar o consumo de energia em equipamentos e edificações, além de toda população rever seus hábitos de uso a fim de torná-los mais eficientes (SERAFIN, 2010). Em dezembro de 2001 foi implementada, a partir da Lei nº 10.295, a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que pretende aplicar de forma eficiente os recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. É importante pois tem como diretriz a determinação dos níveis referenciais do consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética para aparelhos e máquinas comercializados no Brasil. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MOREIRA, 2017)

Quando regulamentada a Lei nº 10.295, foi criado o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações, o qual faz a avaliação da eficiência energética em edificações, com a criação de indicadores referenciais de consumo de energia. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Em 2003 foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, o PROCEL Edifica, o qual promove o uso racional de energia elétrica em edificações, a fim de conservar os recursos naturais e diminuir os impactos ao meio ambiente. (BRASIL, 2006c). Desde 2009 o PROCEL, em parceria com o INMETRO, lançou as etiquetas do Programa Brasileiro de Etiquetagem, o PBE Edifica, o qual objetiva identificar as edificações que adquiriram os melhores níveis de eficiência energética em determinada categoria. No caso de edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados os sistemas da envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar. (BRASIL, 2006d).

Embora muitos países tenham implantado legislação e normas específicas, estas ainda devem ser fortalecidas e expandidas para atender tanto às novas edificações, quanto às existentes. De acordo com os dados da Agência Internacional de Energia (2018) em 2017 foi economizado 6% do uso de energia devido aos programas nacionais de eficiência energética. A introdução de medidas para a diminuição do consumo de energia em edificações e eletrodomésticos reduziu em 14% nos imóveis residenciais e 23% nos comerciais, conforme ilustra a figura 3.

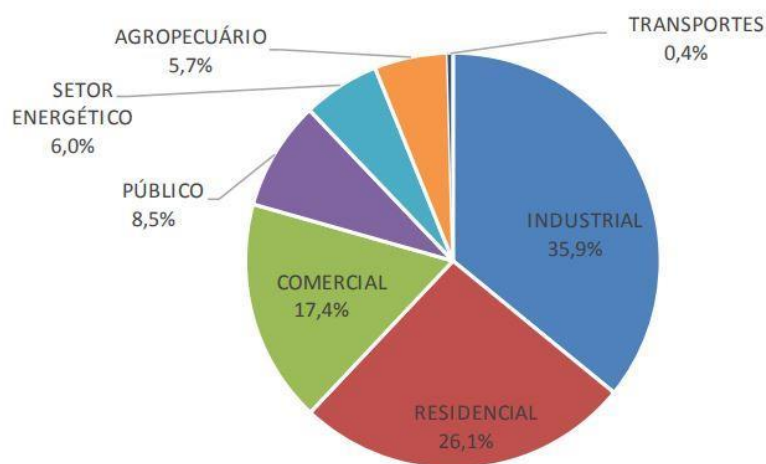
Figura 3 – Programas de eficiência energética e o racionamento de energia



Fonte: Adaptado de IEA (2018).

O Balanço Energético Nacional 2020 (BRASIL, 2020), com os dados base de 2019, apresentou a participação por setor do consumo de eletricidade. Os mais significativos foram os setores industrial, residencial e comercial, concentrando quase 80% do uso de energia elétrica disponível do país, conforme demonstra a figura 4.

Figura 4 – Participação setorial no consumo de eletricidade

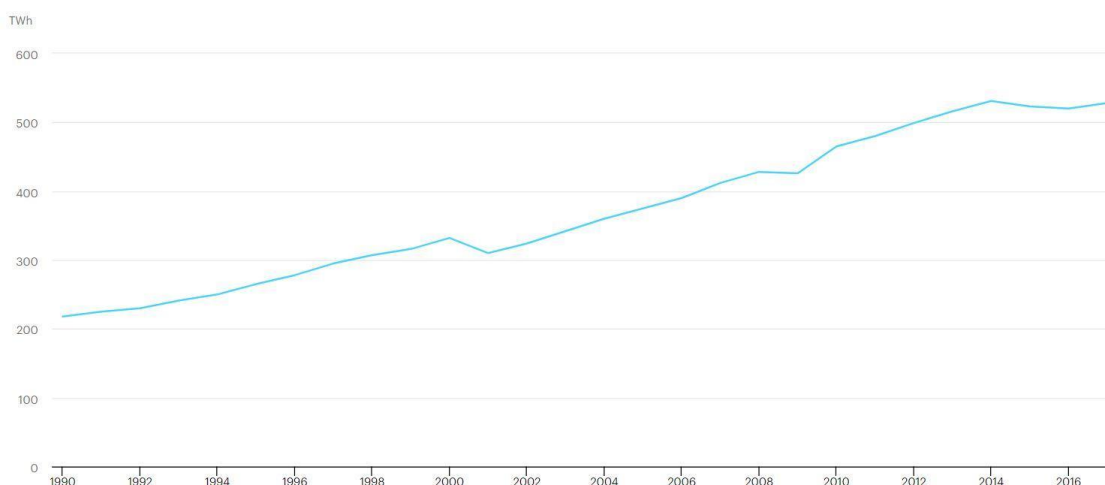


Fonte: Balanço Energético Nacional (2020).

Requalificar edificações, através do uso de novas tecnologias, é uma oportunidade para gerar melhorias no seu desempenho energético. (CBCS, 2014). O crescimento populacional e o aumento dos padrões de consumo, a partir da facilidade de incorporar equipamentos elétricos nos hábitos contemporâneos, demandam maior consumo de energia, sendo fundamental utilizar materiais e aparelhos mais eficientes, que sejam compatíveis com as características ambientais do local de implantação da edificação. (SARTORI, 2018).

De acordo com a Agência Internacional de Energia, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu 142,20% entre 1990 e 2017, (IEA, 2018), conforme ilustra a figura 5. Este fato ocorreu, principalmente, devido ao desenvolvimento econômico do país, ao aumento do acesso à energia elétrica pela população e ao crescimento da classe média e da sua demanda por maior consumo elétrico.

Figura 5 – Consumo de energia elétrica no Brasil 1990-2017



Fonte: IEA (2018).

A etapa de projeto é fundamental para introduzir a gestão dos recursos ambientais, sendo uma alternativa para economizar água e energia, reduzir a produção de resíduos, além de diminuir os custos ao longo da vida útil da edificação (LAMBERTS *et al.*, 2007). Um projeto ecologicamente responsável é um processo criativo, no qual se utilizam critérios sustentáveis na arquitetura, como a redução dos gastos com os sistemas empregados, a redução da contaminação do solo, do ar e da água, o melhoramento do conforto térmico do edifício, preferencialmente de forma passiva, racionalizando o uso da energia e reduzindo os desperdícios derivados do ciclo de vida da edificação (HERNÁNDEZ, 2008).

A requalificação de edificações é um processo para implantar melhorias, sendo um dos seus objetivos melhorar o desempenho energético, podendo gerar uma redução de 15 a 30% do consumo de energia. Além disso, as estratégias podem melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar interno, aumentando a produtividade dos usuários que ali convivem. A requalificação pode contribuir significativamente para reduzir o consumo de energia, melhorando o desempenho da edificação em diversos aspectos. (REGNIER *et al.*, 2018).

2.4 Simulação computacional de desempenho energético

2.4.1 O modelo de energia

Na década de 1970 surgiram as primeiras ferramentas para realizar a simulação computacional de edificações. (MENDES *et al.*, 2005). Estudos consideráveis começaram a surgir na década de 1980, devido aos avanços da computação e da otimização de métodos matemáticos. (NGUYEN *et al.*, 2014). Entretanto foi somente a partir da década de 1990, com a popularização dos computadores, que foi possível desenvolver *softwares* mais modernos e precisos. (MENDES *et al.*, 2005).

Quando abordado o assunto sobre simulação, é importante esclarecer que geometria tridimensional e modelo são elementos com significados distintos. De acordo com Groat e Wang (2013) na literatura sobre simulação, a palavra representação caracteriza imagens estáticas que representam um objeto real, sendo possível retratá-lo devido às suas qualidades mensuráveis. A geometria tridimensional é um modo de representação, que através dos recursos atuais permite visualizar o projeto arquitetônico de forma dinâmica. É citado pelos autores o exemplo do *software Sketchup*, o qual permite observar infinitas perspectivas, planta baixa, cortes e afins da edificação, a partir da inserção e operação das suas dimensões pelo usuário. Já o modelo é um sistema geral que simula a realidade a ser estudada, o qual produz dados mensuráveis do comportamento da edificação, através da inteligente capacidade computacional que permite interações sob variáveis de entrada do cenário real.

O modelo computacional é uma simulação da realidade, que através do uso dos *softwares* é possível gerar dados sobre o seu comportamento em certo contexto. É um ambiente de experimentações em que se pode comparar e avaliar diversos cenários com entradas variáveis, e observar os efeitos conforme os resultados mudam. A simulação energética não tem como objetivo produzir resultados de alta veracidade do desempenho do modelo em relação ao edifício real, mas sim de possibilitar testar o desempenho previsto de uma edificação e realizar alterações pertinentes e bem embasadas no projeto e nas suas especificações, a fim de apresentar respostas sobre o comportamento da edificação simulada. O desempenho energético decorre da relação entre os sistemas da edificação, a qual

está inserida em um determinado contexto local e climático, e o comportamento dos usuários que a ocupam e a operam. (KEELER; VAIDYA, 2018).

A simulação do desempenho de edificações pode ser compreendida como modelos matemáticos complexos, que utilizam diversas variáveis interdependentes e multidisciplinares. É utilizada para comparar um projeto a outro referencial, ou para fazer um comparativo entre alternativas de projeto a fim de avaliar a operação esperada com o cenário real. No caso da simulação de uma edificação, é possível explorar, investigar e compreender as situações geradas a partir das questões térmicas e o consumo de energia de determinado modelo. (MENDES *et al.*, 2005; CARLO, 2008).

Ao utilizar a simulação computacional para a avaliação térmica e energética de edificações, é necessário aplicar diversos parâmetros para configurar o modelo de experimento a fim de obter resultados coerentes. Entre os parâmetros de entrada destaca-se o clima, que é representado por dados meteorológicos representativos do local, informações sobre a edificação, como propriedades físicas, térmicas e geométricas dos componentes e da materialidade. Também devem ser especificadas as cargas internas, os equipamentos eletrônicos utilizados, sistemas de iluminação e de climatização do ar. Cada sistema incorporado a uma simulação requer uma grande quantidade de parâmetros, sendo fundamental entender o quão preciso devem ser os valores inseridos, caso contrário é passível de gerar equívocos e imprecisões no resultado da simulação, influenciando uma interpretação incorreta do modelo. (SILVA; ALMEIDA; GHISI, 2017).

Além das propriedades térmicas e físicas que compõem a edificação, a forma como os seus ocupantes utilizam os sistemas implementados, como iluminação, equipamentos e climatização do ar, implicam diretamente na quantidade de energia que será consumida. (YI; SRINIVASAN; BRAHAM, 2014). É importante especificar na simulação os horários de operação dos sistemas e equipamentos da edificação durante o período de um ano, a fim de obter uma estimativa do seu consumo durante a variação das estações do ano e considerando os dias e turnos de funcionamento.

A qualidade da simulação depende da precisão física e dos parâmetros do modelo, que de acordo com Hensen e Lamberts (2019) a verificação e a validação são testes distintos para garantir tal fim. Segundo os autores, a verificação tem como finalidade identificar imprecisões que podem surgir e ocasionar erros no modelo,

quando este passa por modificações, isto é, está relacionada com o fato de construí-lo de forma correta. A validação tem como objetivo fundamentar que o comportamento do modelo é preciso, consistente e de acordo com os objetivos do estudo escolhido, ou seja, significa que se preocupam em avaliar a sua precisão comportamental.

Estudos sobre simulação mostram divergências nos resultados do consumo de energia gerados pelo modelo em relação a situação real. Isso porque alguns parâmetros são previstos como estimativas do contexto real, como é o caso dos horários de funcionamento. É importante considerar que os modelos energéticos, durante o projeto, são úteis para realizar análises comparativas, sendo ferramentas para auxiliar no processo decisório. (KEELER; VAIDYA, 2018). De acordo com os autores é relevante considerar a acuidade e a precisão dos modelos de energia. A acuidade é a variação entre os resultados e o cenário real, sendo que, quanto mais assertivas forem as informações inclusas na simulação, menores serão as chances de o consumo apresentar grandes diferenças durante a operação do edifício. E a precisão está relacionada com o método de desenvolvimento e fundamentação dos dados de entrada, pois o modelo deve reproduzir resultados similares independente de quem realizar a simulação.

2.4.2 Por que utilizar a simulação de desempenho energético?

A utilização da simulação do desempenho energético apresenta significativos valores quanto à racionalização do consumo de energia e quanto ao desempenho e conforto da edificação. Durante o processo de projeto é possível a otimização de energias renováveis, sistemas passivos, materialidade da envoltória e dos sistemas de iluminação e climatização do ar. Para os profissionais proporciona novos conhecimentos e competências. Além disso, permite que as equipes de projeto sejam eficazes em articular a energia como um elemento de eficiência, aumentando a flexibilidade do projeto e a integração dos profissionais. Quanto ao conforto proporciona um ambiente saudável, melhorando o bem-estar físico e psicológico dos usuários. Uma edificação energeticamente eficiente minimiza as mudanças durante a sua construção, possui a integração dos sistemas implantados, além de minimizar os impactos ambientais e apresentar uma valorização no mercado. (AIA, 2019).

A simulação computacional é uma ferramenta importante como suporte para os profissionais que buscam realizar uma análise acerca do comportamento térmico e energético da edificação, os quais são determinados principalmente pelas propriedades da sua envoltória, da tecnologia utilizada para climatização e pelas intenções de uso do edifício. Também é uma ferramenta útil para detectar anormalidades no uso dos recursos energéticos e assim permitir a avaliação das opções disponíveis, passíveis de serem implantadas, a fim de melhorar a sua eficiência energética. (CEBALLOS-FUENTEALBA *et al.*, 2019).

Um modelo computacional de uma edificação pode servir como base para modelos em conformidade e posteriormente como referência operacional, de forma a não desperdiçar o tempo e o investimento da equipe e do cliente, e não gerar agravantes durante a construção da edificação. (AIA, 2019). A utilização da simulação de energia durante o projeto, execução, uso e operação, e posteriormente na reabilitação da edificação, vai ao encontro dos valores de desenvolvimento econômico, ambiental e social.

Mensurar o consumo de energia e entender como é o comportamento do modelo de energia quando comparado com exemplos similares ou de melhores práticas é denominado *benchmarking* de consumo de energia. Frequentemente é realizado em edificações existentes, e é interessante utilizar na simulação energética, a fim de analisar a qualidade do desempenho do modelo e avaliar a eficácia das medidas a serem efetuadas, orientando-as para promover a melhoria do consumo de energia. (KEELER; VAIDYA, 2018).

A simulação energética é útil para inúmeras aplicações, sendo geralmente utilizada em três categorias. A primeira é para a comparação do desempenho de duas ou mais alternativas de projeto, tanto para novas edificações quanto para a reforma e/ou reabilitação de edifícios existentes. A segunda para averiguar a conformidade do modelo em relação à legislação, códigos, ou para pontuar em programas de certificação de construção sustentável. E por fim, tem crescido a sua utilização para prever o consumo de energia e assim possibilitar a implantação de metas para reduzir ou otimizar seu uso. (ASHRAE, 2017).

O *software* de simulação energética *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, é uma ferramenta que possibilita ao usuário inserir os parâmetros de entrada e conseqüentemente gerar parâmetros de saída, os quais permitem a interpretação dos resultados sobre o desempenho de

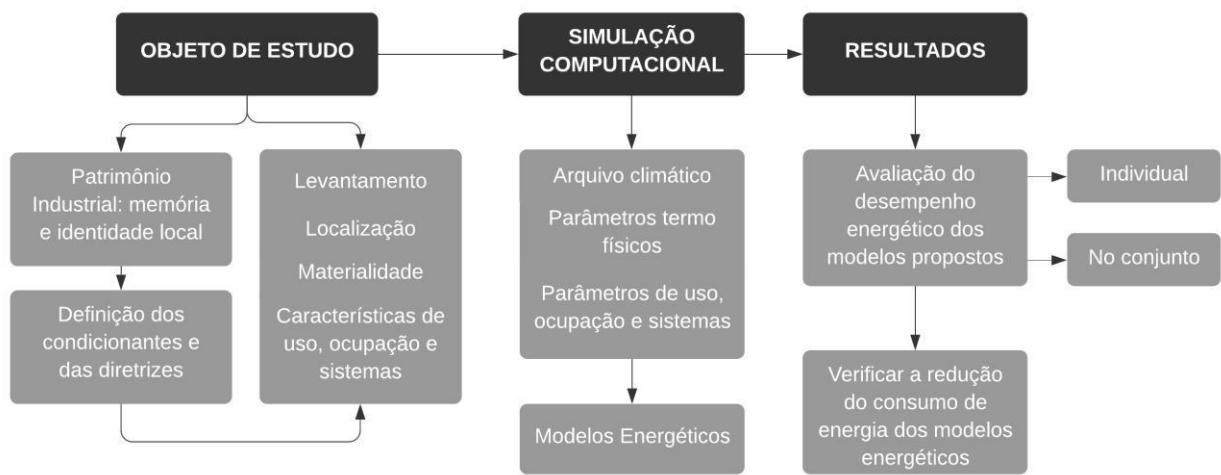
energia do edifício e de seus sistemas. Dentre os recursos do *EnergyPlus* é possível simular as propriedades térmicas da envoltória e dos sistemas, a climatização dos ambientes a partir da criação de zonas condicionadas ou não por sistemas mecânico ou natural, além das cargas internas de equipamentos e de sistemas de iluminação utilizados. (DOE, 2019). O *EnergyPlus* é uma ferramenta que oferece precisão, e o seu desenvolvedor promove melhorias contínuas para aumentar sua capacidade de análise, incluir resultados mais detalhados da simulação, modelar e especificar tecnologias mais inovadoras e complexas, e ampliar sua aplicação, visando o baixo consumo de energia tanto em edificações existentes, quanto em novas. (AIA, 2012; KEELER; VAIDYA, 2018).

Este capítulo apresentou os principais conceitos e referenciais acerca da temática desta dissertação. Destaca-se que a Carta de Veneza define o conceito que assente o patrimônio industrial à categoria de monumento histórico, além de abordar as principais diretrizes para intervenção. Além disso, a memória afetiva é um importante indicador social a ser considerado na preservação das edificações, por vincular a identidade de uma comunidade a um bem. Foi abordada também a importância da sustentabilidade na reabilitação das edificações e na utilização consciente dos recursos naturais, centrando na eficiência energética. Abordá-la nas edificações promove diversos benefícios, entre eles social e econômico, e através da simulação computacional é possível, desde as etapas iniciais de projeto, prever o comportamento da construção em relação ao seu cenário real, gerando melhorias na sua qualidade.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia que será utilizada para a avaliação do desempenho energético de uma edificação histórica, conforme o diagrama representado na figura 6.

Figura 6 – Diagrama da metodologia



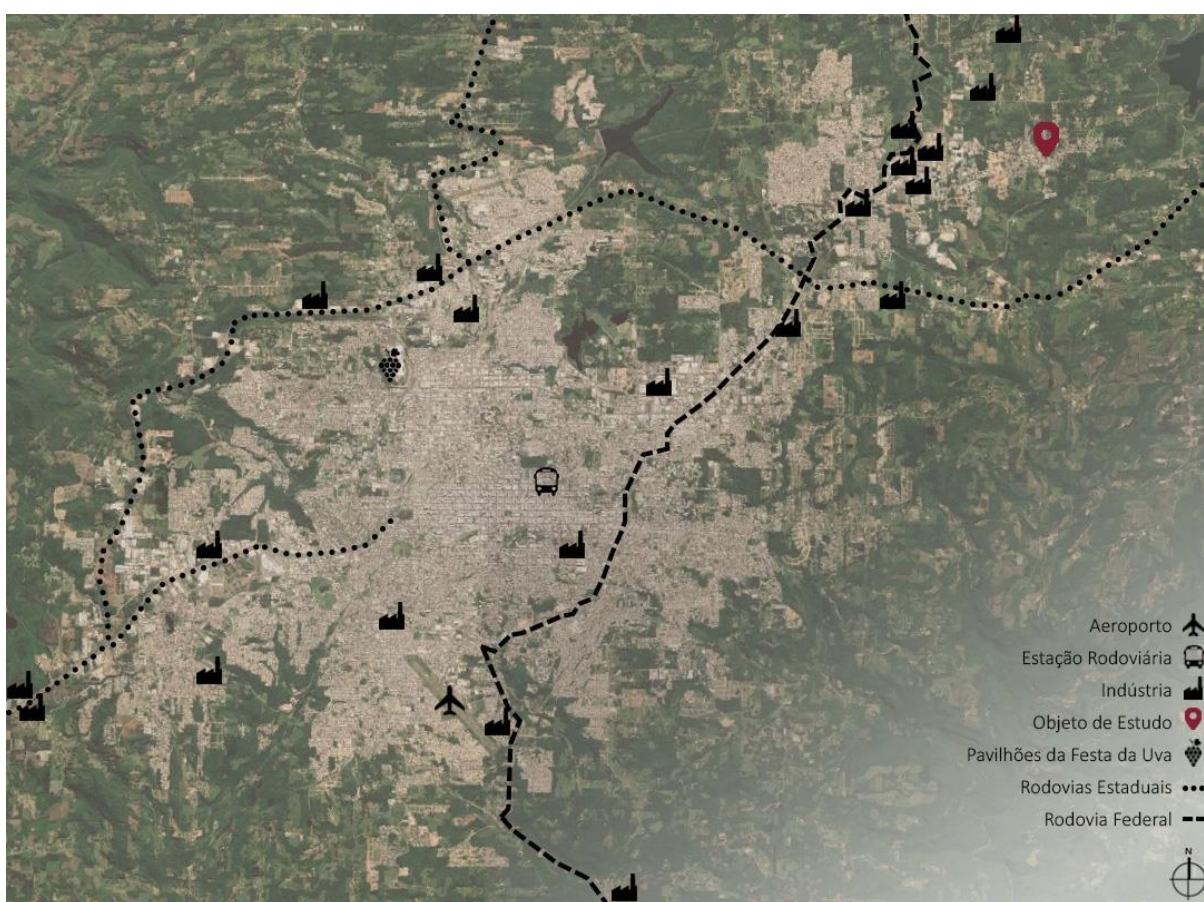
Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Objeto de Estudo

No bairro de Ana Rech, situado na direção norte em relação ao centro da cidade de Caxias do Sul/RS, conforme ilustra a figura 7, desenvolveram-se diversas atividades industriais que refletiram o desenvolvimento do município. Particularmente, interessa a esta pesquisa a empresa Saccaro Móveis, fundada em 1946 por Albino Saccaro, filho de imigrantes italianos. Os vimeiros, planta da qual se extrai o vime, sempre lhe chamaram a atenção, principalmente porque a uva começou a ter grande destaque na economia da cidade e necessitava de cestarias para a colheita. Também os garrafões para o armazenamento de vinho precisavam de suporte para o seu manuseio e transporte. Desde o início a Saccaro começou a produzir cestos e suportes para os garrafões de vinho com o vime, fundando uma indústria e empregando diversas famílias da localidade, em que chegaram a empalhar quase quarenta mil garrafões ao mês.

Entretanto na década de 1960 foi introduzido o suporte plástico para os garrafões, material mais eficaz em relação ao vime. Foi necessário então reinventar-se e pensar em um novo produto. A empresa passou, gradualmente, a produzir móveis, em um pavilhão que posteriormente foi complementado por uma edificação de três pavimentos ao lado – o objeto de estudo deste trabalho – que foi fundamental para o desenvolvimento do negócio.

Figura 7 – Localização do Objeto de Estudo na escala da cidade

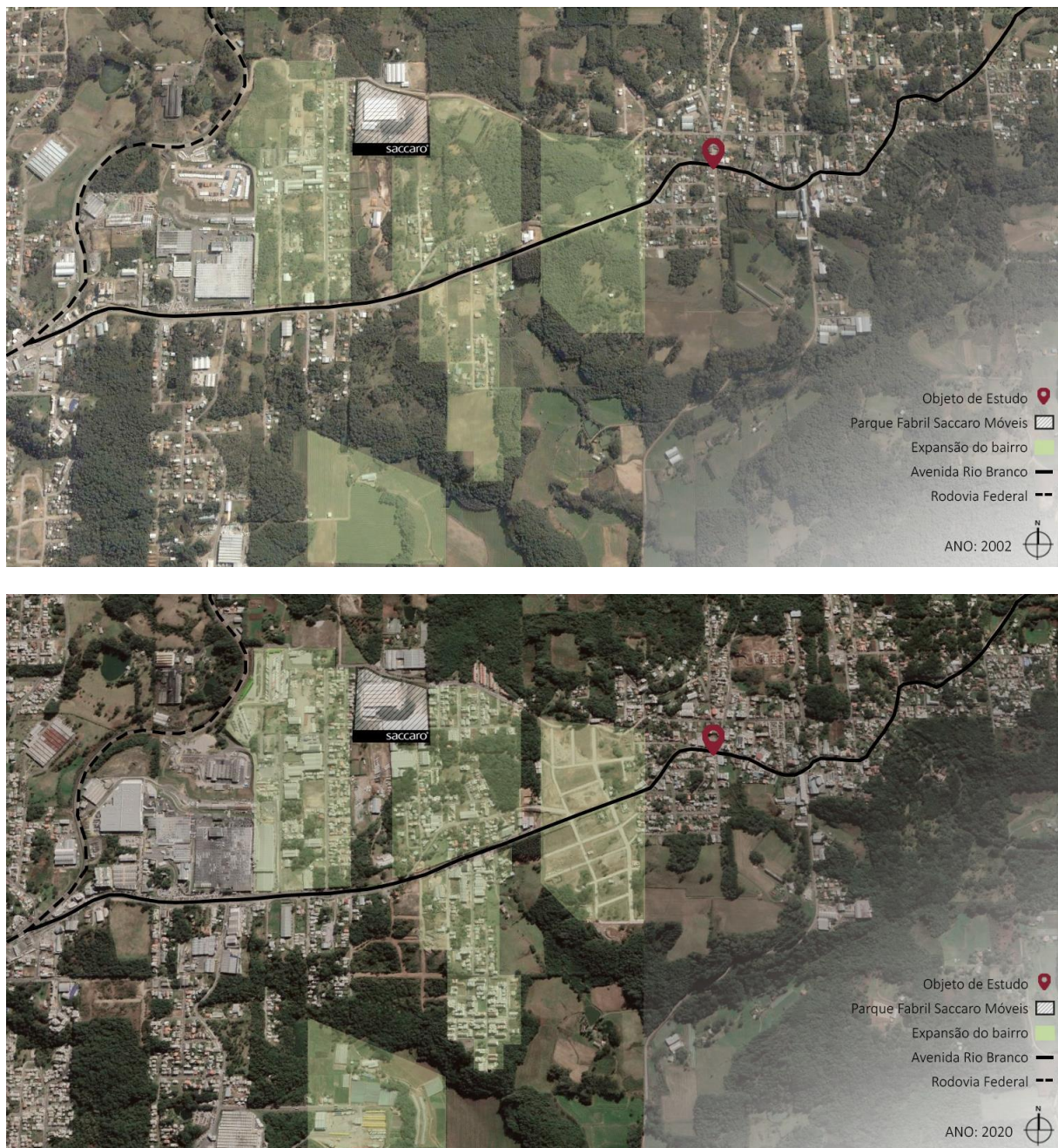


Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Em 1985 os móveis em vime decaíram, e novamente sentiu-se a necessidade de inovação, mas, mesmo visando novos materiais e técnicas, permanentemente buscaram no design valorizar suas origens. A produtividade dos novos produtos reduziu em quantidade, porém melhorou em qualidade. Buscaram parceria com arquitetos e profissionais que fossem aptos a identificar a demanda e a necessidade

do mercado moveleiro. A empresa passou a se chamar Saccaro Móveis, e seus produtos primam pela exclusividade, personalização e conforto. Atualmente seu parque fabril é de aproximadamente 20.000m², localizado ainda em Ana Rech, e seus produtos são encontrados em todo o Brasil, além de serem exportados para todos os continentes.

Figura 8 – Desenvolvimento do bairro Ana Rech entre 2002 e 2020



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Com o posterior crescimento da empresa, no início dos anos 1990, o objeto de estudo tornou-se restrito em área e foi ocupada como depósito por anos. Entretanto, o bairro em que se situa está passando por uma expansão urbana, conforme ilustra a figura 8, e por estar situado a aproximadamente 15km do centro da cidade, o crescimento da demanda por habitações e infraestrutura para comércio e serviço tem aumentado.

Em 2012 o bairro sofreu com a demolição ilegal e parcial do Moinho Farinha Vigorosa Ana Rech, comprometendo a sua estrutura. O moinho fazia parte de um complexo de três edificações, também de valor arquitetônico modesto, porém que compunham a antiga Cooperativa Agrícola de Ana Rech, localizada em frente ao objeto de estudo deste trabalho. Este complexo, datado de 1942, tem significativa importância para a identidade da comunidade pelo seu valor histórico e pelo desenvolvimento econômico que proporcionou. Atualmente, a Cooperativa ainda tem o seu funcionamento ativo com a venda de insumos agrícolas e com a venda de produtos artesanais locais, porém com sua memória parcialmente destruída. A figura 9 ilustra a localização do objeto de estudo e da Cooperativa Agrícola Ana Rech.

Figura 9 – Localização e entorno do Objeto de Estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

Figura 10 – Objeto de Estudo na década de 1970



Fonte: Espaço de Memórias Saccaro Móveis (1977).

A edificação objeto de estudo deste trabalho é originalmente de ocupação industrial, construída em 1977, como ilustra a figura 10. Possui três pavimentos e área aproximada de 655m², conforme demonstram as figuras 11, 12 e 13. Ao longo dos anos sua envoltória sofreu algumas modificações, como a aplicação de reboco e pintura branca no pavimento térreo e pintura branca nos demais pavimentos. Embora seja uma edificação modesta, esta apresenta valor afetivo e significativas memórias por fazer parte do início da empresa. Portanto, requalificar o objeto de estudo justifica-se pela preservação do patrimônio industrial e reforça a intenção de manter viva a história da localidade.

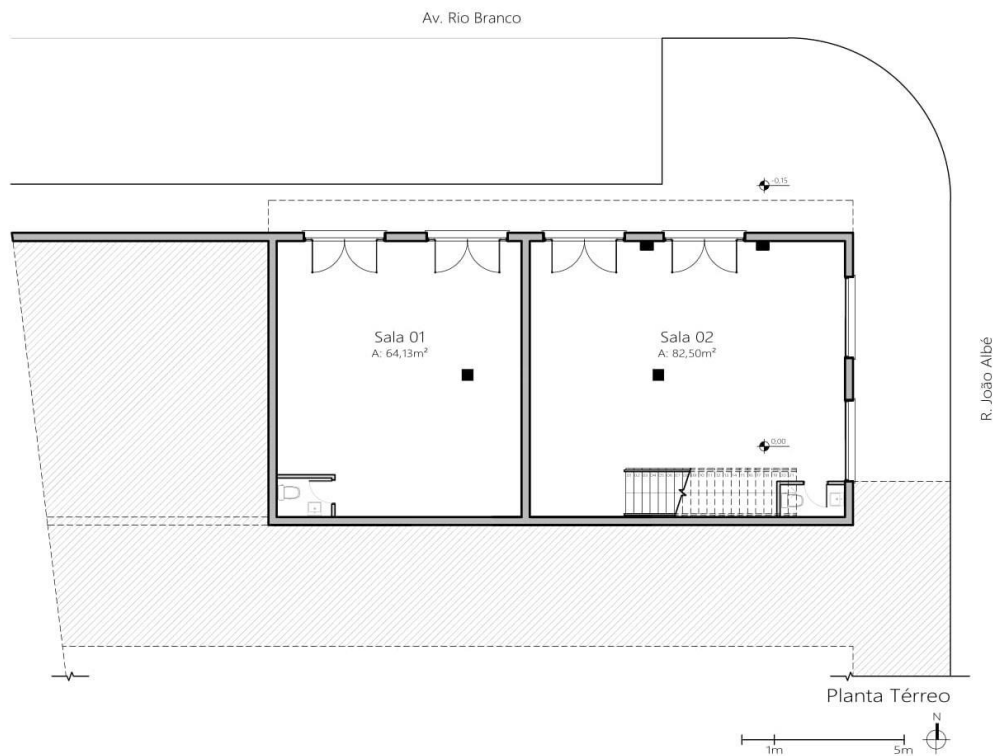
Devido ao seu uso original, a materialidade do objeto de estudo é relativamente simples, sendo sua envoltória atualmente composta por tijolos maciços com reboco e pintura branca no térreo, e nos demais pavimentos sem reboco e com pintura branca, e as aberturas são de ferro com vidro comum. A laje entrepisos é de concreto armado e a sua cobertura é composta por uma água, com tesouras de madeira com telha de fibrocimento. A partir da elaboração do levantamento métrico do objeto de estudo, foi identificada a sua materialidade, conforme descrita no quadro 1.

Quadro 1 – Materialidade original dos elementos construtivos do objeto de estudo

| Elementos Construtivos | Materiais |
|------------------------|---|
| Paredes Externas | Pintura branca + Reboco externo (25mm) + Tijolo maciço duplo (198mm) + Reboco interno (25mm) + Pintura branca |
| | Pintura branca externa + Tijolo maciço duplo com assentamento tipo inglês (198mm) |
| Paredes Internas | Reboco (25mm) + Tijolo maciço simples (96mm) + Reboco (25mm) |
| | Painel <i>Drywall</i> (12,5mm) + Montante Metálico (70mm) + Lã de rocha (50mm) + Painel <i>Drywall</i> (12,5mm) |
| Cobertura | Telha de fibrocimento (8mm) sem forro |
| Pisos | Radier de concreto (100mm) + contrapiso (30mm) + cerâmica |
| | Laje de concreto (150mm) |
| Aberturas Externas | Esquadria basculante em ferro com vidro comum (8mm) |
| | Esquadria em alumínio com vidro comum (8mm) |

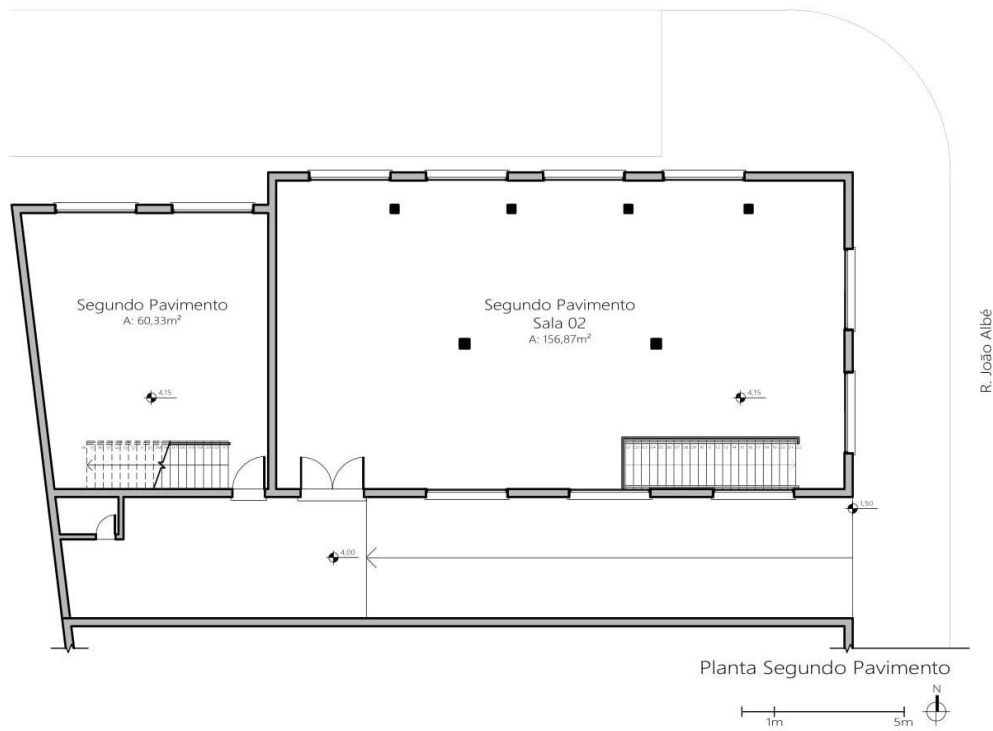
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 11 – Planta baixa do pavimento térreo do objeto de estudo



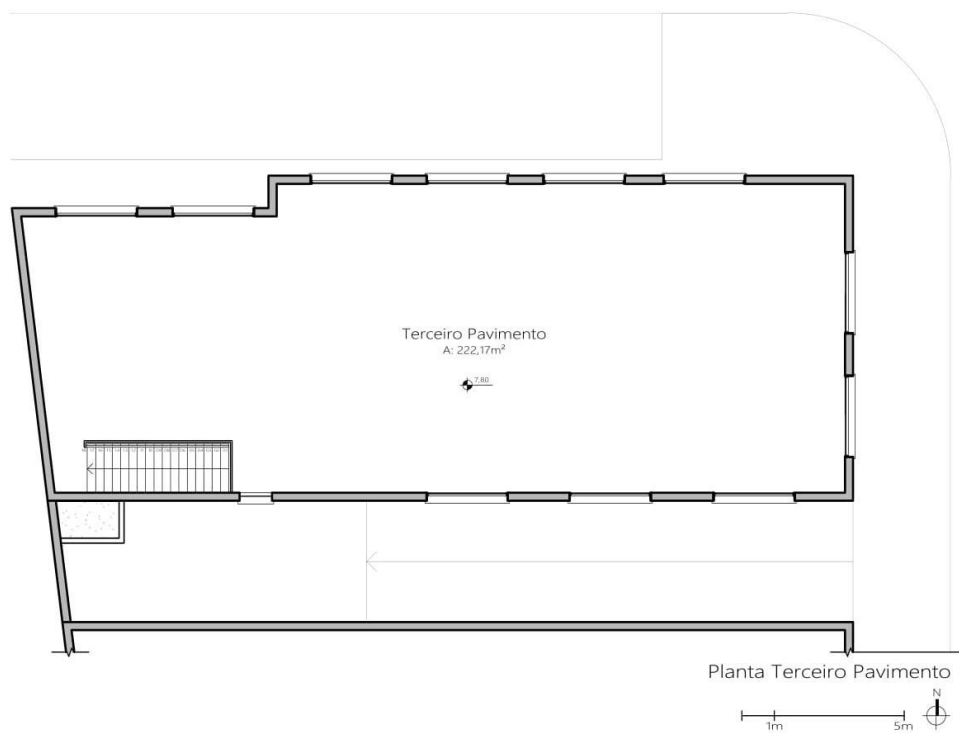
Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

Figura 12 – Planta baixa do segundo pavimento do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

Figura 13 – Planta baixa do terceiro pavimento do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

A modificação de industrial para comercial é uma forma de conferir um novo uso ao espaço que está em sua maioria obsoleto, o qual teve significativa importância tanto para os moradores quanto para o desenvolvimento do bairro, numa região que atualmente está em crescimento. Este trabalho tem a intenção de avaliar as diretrizes a serem propostas para a reabilitação integral da edificação visando às melhorias no desempenho energético. Preservá-lo é importante para valorizar a memória do passado e torná-lo uma oportunidade no presente para novos negócios prosperarem.

3.1.1 Diretrizes para a intervenção arquitetônica do Objeto de Estudo

A partir da fundamentação teórica, são definidas diretrizes de intervenção que consideram a preservação do patrimônio arquitetônico industrial e a racionalização do uso de energia, na reabilitação do objeto de estudo para atividades do tipo comercial e de serviços. De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Caxias do Sul (CAXIAS DO SUL, 2019), a edificação está inserida na Zona Residencial 2, a qual permite atividades de comércio e serviços de pequeno e médio porte, entre elas de comércio varejista, restaurantes e lancherias e atividades de prestação de serviços. O pavimento térreo do objeto de estudo será destinado ao comércio, e os demais pavimentos serão flexíveis para a prestação de serviços ou comércio.

Primeiramente foram estabelecidos os seguintes condicionantes:

- As características originais da envoltória devem ser preservadas;
- A edificação pode ser beneficiada com estratégias passivas de iluminação e ventilação;
- Os sistemas de iluminação e climatização devem viabilizar o baixo consumo energético;

A partir dos condicionantes, foram definidas as seguintes diretrizes:

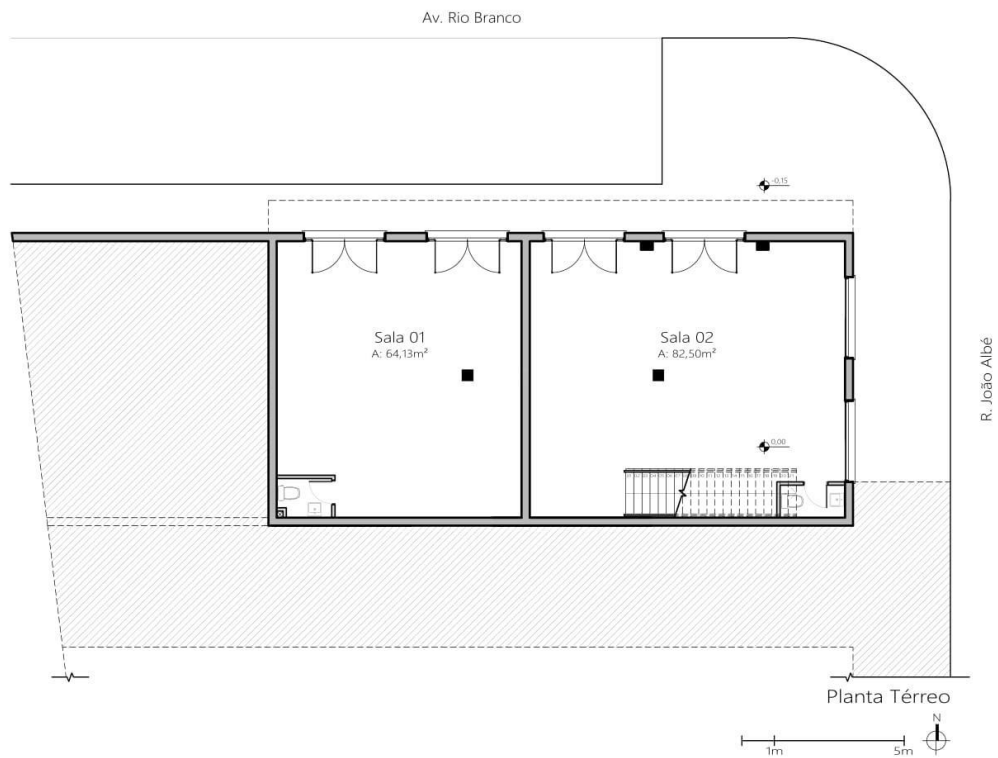
- Distinguir os elementos novos e antigos, de forma a evidenciar a contemporaneidade e apresentar caráter reversível para viabilizar eventuais alterações;

- Realizar a releitura, de forma contemporânea, do desenho das esquadrias, porém modificando a sua materialidade;
- Manter o reboco e pintura branca no pavimento térreo e remover a pintura da envoltória nos demais pavimentos, evidenciando o tijolo e o concreto aparente;
- Definir o *layout* dos ambientes considerando a orientação solar da edificação;
- Utilizar a ventilação natural a partir da ventilação de conforto, ou seja, usar o movimento do ar durante o dia através de diferentes zonas de pressão na edificação, a fim de refrigerar os ambientes (KEELER; VAIDYA, 2018);
- Utilizar controladores automáticos para o uso de iluminação artificial, através de *dimmers*, por serem um método seguro de racionalizar energia (KEELER; VAIDYA, 2018);
- Utilizar iluminação em LED, por proporcionar alta eficácia luminosa e apresentar longa vida útil (KEELER; VAIDYA, 2018);
- Adotar materiais que apresentem transmitância térmica menor ou igual a $2,70W/(m^2.K)$ nas superfícies opacas das paredes da envoltória (ABNT, 2021);
- Adotar um sistema de climatização que refrigere e aqueça os ambientes.

3.1.2 Estudo Preliminar da proposta de intervenção no Objeto de Estudo

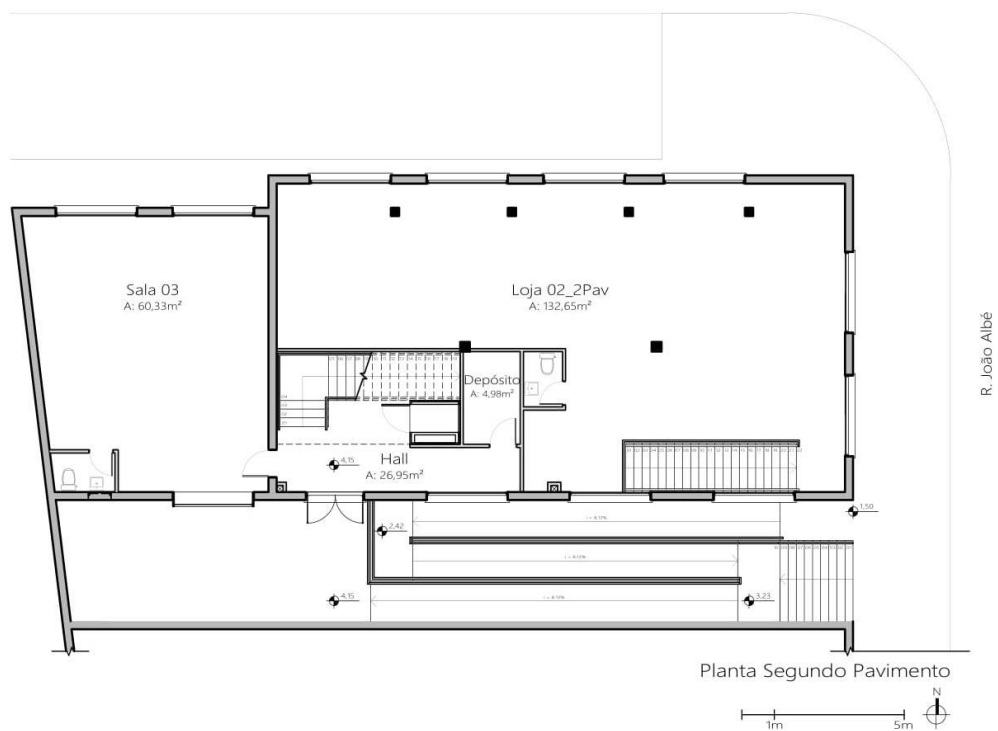
A partir dos condicionantes e diretrizes projetuais, foi desenvolvido um estudo preliminar para a ocupação da edificação. O térreo é composto por duas lojas, uma das quais permanece com área de sobreloja, ambas com acesso pela avenida Rio Branco, como ilustra a figura 14. Os demais pavimentos, demonstrados nas figuras 15 e 16, serão acessados pela rua João Albé, com a criação de um hall que permite acesso para ambos. No segundo pavimento haverá uma sala comercial e depósito, enquanto que no terceiro pavimento haverá quatro salas comerciais.

Figura 14 – Planta baixa do pavimento térreo do Estudo Preliminar



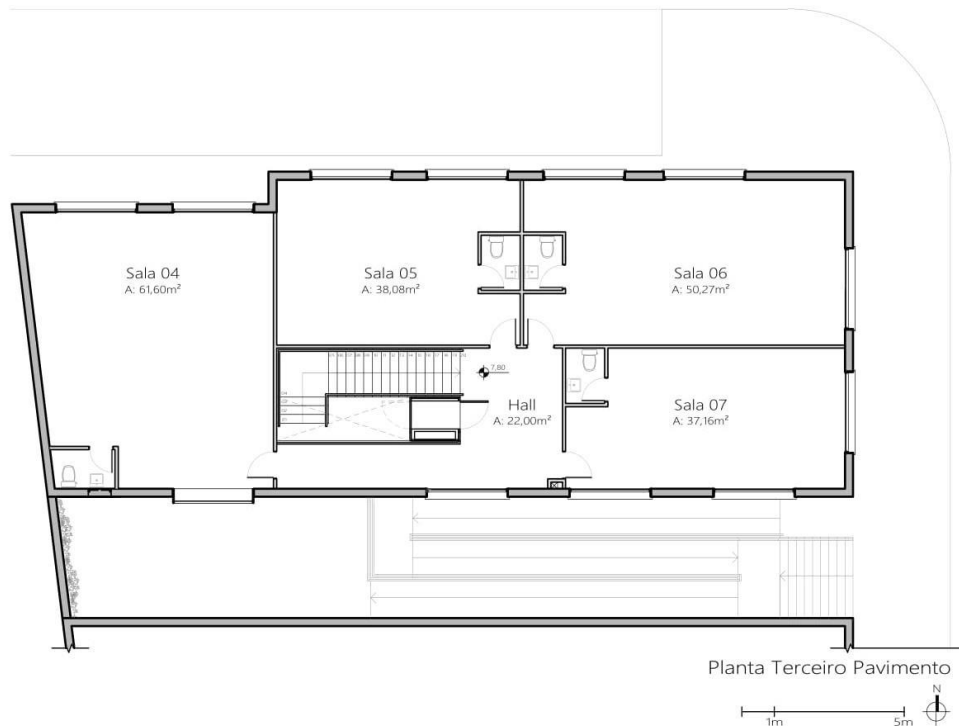
Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

Figura 15 – Planta baixa do segundo pavimento do Estudo Preliminar



Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

Figura 16 – Planta baixa do terceiro pavimento do Estudo Preliminar



Fonte: Adaptado de Maria da Graça do N. Feijó e Roberto Aguzzoli (1977).

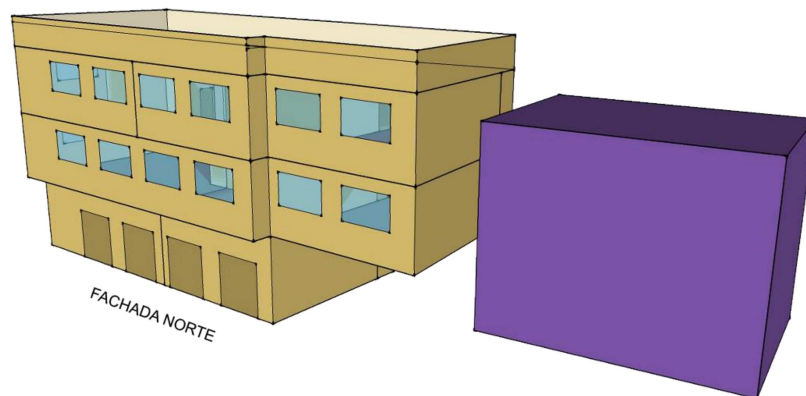
3.2 Simulação Computacional

A simulação computacional, através do *software EnergyPlus*, é um método para realizar a avaliação do desempenho energético de uma edificação, sendo esta complexa pois envolve uma grande diversidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. (MENDES *et al.*, 2005). Segundo os mesmos autores, através da simulação é possível avaliar diferentes soluções de um projeto arquitetônico, entre elas o desenho, os componentes construtivos, a sua materialidade, os sistemas de iluminação e de climatização do ar. A partir destes parâmetros é possível estimar o consumo de energia e o seu custo ainda na fase de projeto, a fim de resultar em edificações de alta eficiência energética.

Neste trabalho será feita a simulação computacional do objeto de estudo previamente descrito, pelo *EnergyPlus*, versão 8.7, devido o reconhecimento e a confiabilidade deste programa na elaboração das principais pesquisas na área de eficiência energética em edificações. (MAZZAFERRO, 2015). Para a modelagem do objeto de estudo, representado nas figuras 17 e 18, será utilizado o *software*

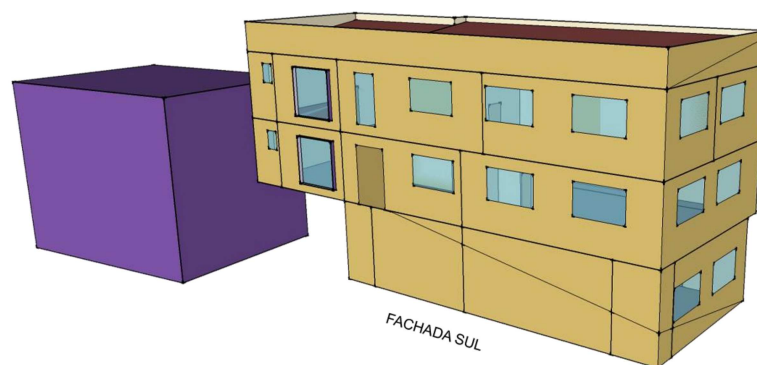
SketchUp Make versão 16.1.1449, e o *plugin Euclid* versão 0.9.3, e ele foi referenciado isoladamente, sem considerar o contexto urbano e as características dos aspectos externos na modelagem.

Figura 17 – Modelagem do objeto de estudo com o *plugin Euclid*, perspectiva das fachadas norte e oeste



Fonte: Elaborado pela autora.

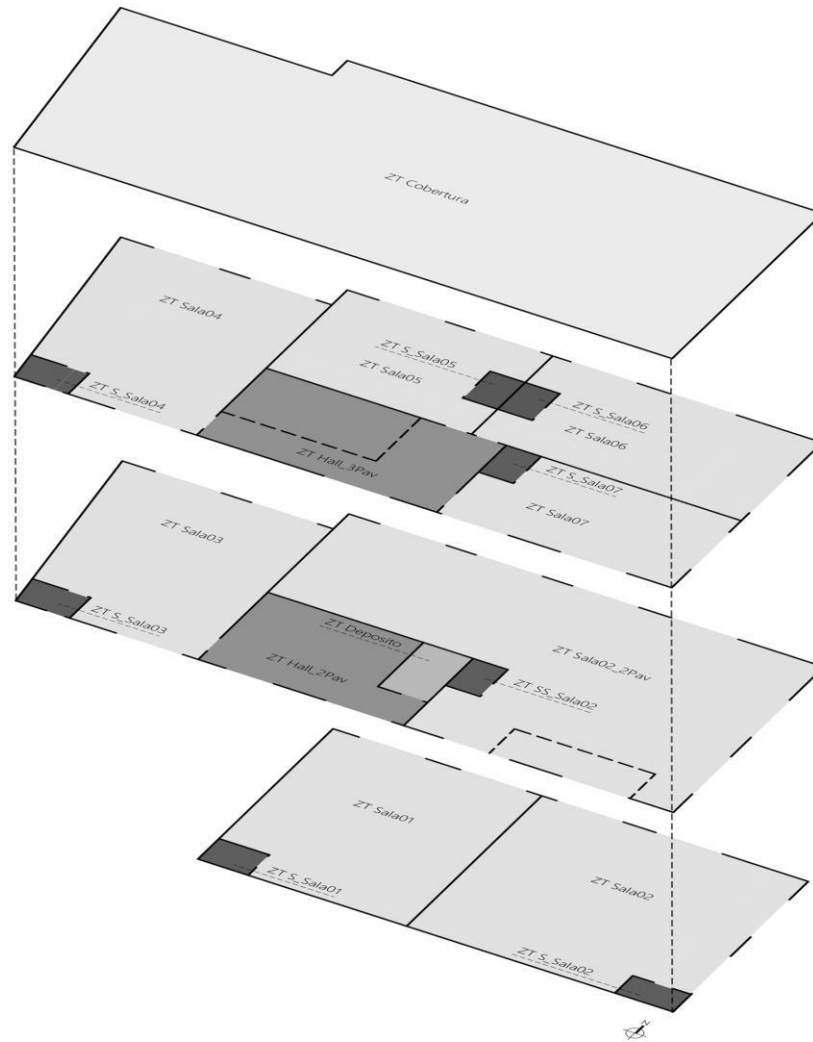
Figura 18 – Modelagem do objeto de estudo com o *plugin Euclid*, perspectiva das fachadas sul e leste



Fonte: Elaborado pela autora.

O objeto de estudo apresenta zonas térmicas, ou seja, ambientes que apresentam condições semelhantes quanto à sua temperatura interna e à adoção de sistema de climatização, ou não. A figura 19 ilustra o zoneamento térmico aplicado aos modelos energéticos propostos, e no quadro 2 estão representadas as zonas térmicas por pavimento e se são climatizadas artificialmente ou não.

Figura 19 – Zonas Térmicas do Objeto de Estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 2 – Zonas Térmicas do Objeto de Estudo

| Pavimento | Zona Térmica (ZT) | Climatizada | Pavimento | Zona Térmica (ZT) | Climatizada |
|-------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|
| Térreo | Sala01 | Sim | Terceiro Pavimento | Hall_3Pav | Não |
| | S_Sala01 | Não | | Sala04 | Sim |
| | Sala02_2 | Sim | | S_Sala04 | Não |
| | S_Sala02 | Não | | Sala05 | Sim |
| Segundo Pavimento | Hall_2Pav | Não | | S_Sala05 | Não |
| | Deposito | Não | | Sala06 | Sim |
| | Sala02_2Pav | Sim | | S_Sala06 | Não |
| | SS_Sala02 | Não | | Sala07 | Sim |
| | Sala03 | Sim | | S_Sala07 | Não |
| | S_Sala03 | Não | | Cobertura | Cobertura |

Fonte: Elaborado pela autora.

Serão avaliados como dados de entrada para a simulação a materialidade da envoltória, o sistema de iluminação e de climatização, e a utilização de estratégias passivas. A fim de obter melhor consumo de energia serão avaliadas as alternativas de intervenções no que tange os aspectos citados, através de modelos energéticos, conforme demonstra o quadro 3. Os modelos elaborados terão o intuito de reabilitar o prédio e manter os aspectos originais da edificação a fim de verificar os objetivos propostos.

Quadro 3 – Modelos Energéticos Propostos

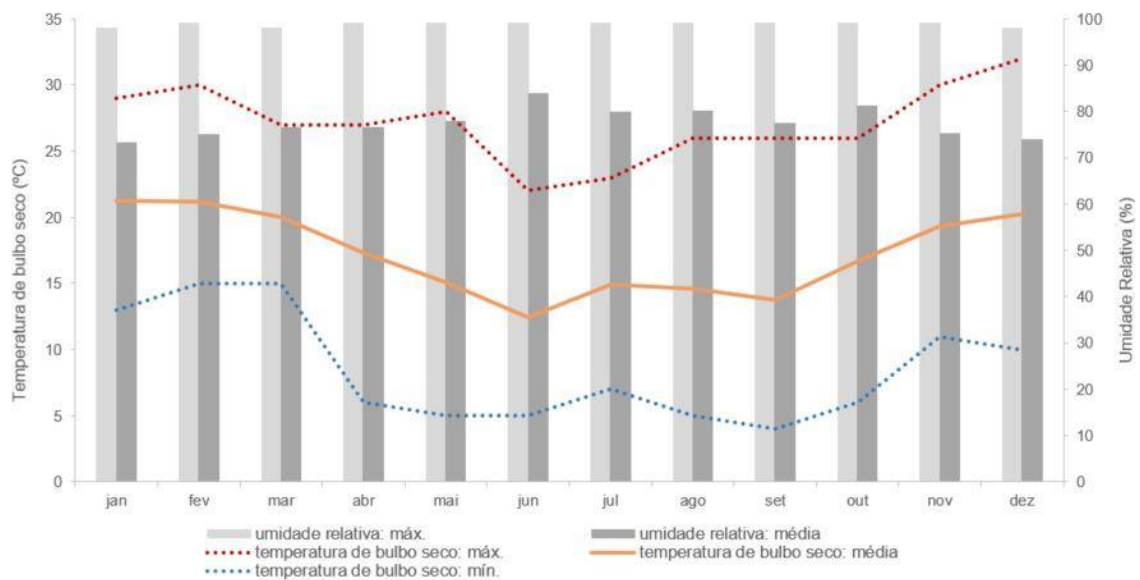
| Modelo Energético | Pavimento | Materialidade Paredes Externas | Materialidade Cobertura | Materialidade Esquadria - Janelas | Estratégia Passiva |
|--|-----------|--|---|---|---|
| Envoltória Base | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Fibrocimento + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidro Comum | - |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória 01 | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Fibrocimento + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidros A, B, C e D | - |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória 02 | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Térmica + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidros A, B, C e D | - |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória 03 | Térreo | <i>Drywall</i> com Isolamento de Lã de Rocha + Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Térmica + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidros A, B, C e D | - |
| | 2º e 3º | <i>Drywall</i> com Isolamento de Lã de Rocha + Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória 02 com Ventilação Natural | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Térmica + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidro C | Ventilação Natural |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória 02 com Controle de Iluminação | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Térmica + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidro C | Controle de Iluminação |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |
| Envoltória Final | Térreo | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo + Reboco de Argamassa + Pintura Branca | Telha Térmica + Câmara de Ar > 5cm + Forro de Gesso Acartonado | Perfis e Caixilhos de Alumínio com Vidro C | Ventilação Natural e Controle de Iluminação |
| | 2º e 3º | Alvenaria de Tijolo Maciço Duplo | | | |

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.1 Parâmetros gerais para a simulação computacional

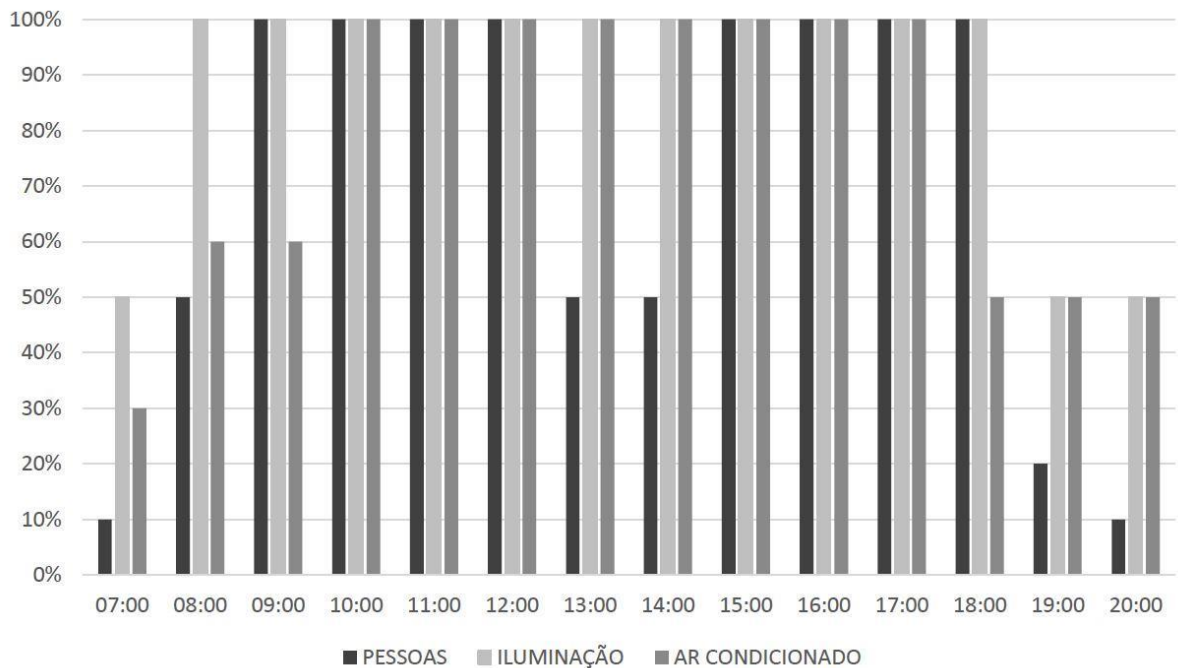
Será utilizado o arquivo climático do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do ano de 2018, disponibilizado no site do LABEEE, do município de Bento Gonçalves devido às semelhanças com Caxias do Sul. O gráfico 1 correlaciona as médias mensais de temperatura do ar (°C) com a umidade relativa (%). Analisando as variáveis, o clima caracteriza-se por temperatura média do ar acerca de 20°C nos meses de verão e de 14°C nos meses de inverno. A média da umidade relativa do ar varia entre 70% e 80%, o que tende a aumentar a sensação de calor no verão e de frio no inverno. A infiltração de ar, de acordo com a ABNT (2008b), “é o fluxo de ar externo para dentro da edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais” sendo considerada nesta pesquisa uma taxa de infiltração de ar de 0,35 trocas de ar por hora. Foram estimados os horários de ocupação e operação da edificação, das 07h00min às 20h00min, conforme o gráfico 2.

Gráfico 1 – Temperatura e umidade relativa do ar de Bento Gonçalves | RS



Fonte: Elaborado pela autora, com base em INMET (2018).

Gráfico 2 – Horários de ocupação e operação da edificação



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.2 Parâmetros para a envoltória da edificação

Na envoltória, as esquadrias terão a tipologia com folhas maxim-ar e fixas, com desenho contemporâneo, e a materialidade será substituída por perfis e caixilhos de alumínio, e vidros que proporcionem eficiência energética. A cobertura será mantida em uma água e serão simuladas a opção com forro, criando uma câmara de ar entre este e as telhas propostas.

Como valores das propriedades termo físicas dos materiais a serem simulados, serão utilizados os valores de referência determinados na NBR 15220-2 (ABNT, 2008a) e no relatório de pesquisa desenvolvido pelo LABEEE (ORDENES *et al.*, 2003), conforme dispostos na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades termo físicas dos materiais

| Material | Espessura (mm) | Condutividade (W/m.K) | Densidade (kg/m ³) | Calor específico (kJ/kg.K) |
|------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Argamassa de Reboco | 25 | 1,15 | 2000 | 1,00 |
| Caixilho de Alumínio | 47 | 230 | 2700 | 0,88 |
| Gesso | 12,5 | 0,35 | 750 | 0,84 |
| Lã de Rocha | 50 | 0,045 | 100 | 0,75 |
| Laje de Concreto | 100 150 | 1,75 | 2200 | 1,00 |
| Madeira | 30 | 0,14 | 600 | 2,30 |
| Piso Cerâmico | 10 | 0,90 | 1600 | 0,92 |
| Solo | 450 | 0,87 | 1361 | 0,84 |
| Telha Fibrocimento | 7 | 0,95 | 1900 | 0,84 |
| Telha Térmica (núcleo poliuretano) | 50 | 0,03 | 40 | 1,67 |
| Tijolo maciço duplo | 198 | 0,90 | 1812 | 0,92 |
| Tijolo maciço simples | 96 | 0,90 | 1764 | 0,92 |
| Vidro Comum | 5 | 1,00 | 2500 | 0,84 |

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Ordenes *et al.* (2003, p. 17-19) e ABNT (2008a, p. 13-16).

Para avaliar o desempenho das esquadrias na envoltória, foram selecionados quatro vidros, classificados conforme a tabela 2, de um determinado fabricante. Para não alterar a composição e tipologia da fachada da edificação, todos os modelos selecionados são de aparência neutra. Foram selecionados quatro tipos de vidros, entre eles o laminado, insulado (vidro duplo) e insulado laminado, de duas linhas de produto, as quais visam a eficiência energética.

Tabela 2 – Valores de referência dos vidros

| Vidro | Espessura (mm) | Transmissão Luminosa (%) | Reflexão Externa (%) | Valor-U (W/m ² .K) | Coefficiente de Ganho Solar | Tipo |
|-------|----------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| A | 6 ar 12,7 6 | 68,7 | 12,1 | 1,80 | 0,64 | Insulado (Vidro duplo) |
| B | 4 PVB 0,38 4 | 72,2 | 9,2 | 5,60 | 0,68 | Laminado |
| C | 6 ar 12,7 6 | 68,2 | 11,1 | 1,50 | 0,47 | Insulado (Vidro duplo) |
| D | 6 PVB 0,38 ar 12,7 6 | 67,7 | 10,9 | 1,60 | 0,44 | Insulado Laminado |

Fonte: Elaborado pela autora, com base nas Informações Técnicas do Fabricante.

3.2.3 Parâmetros para a iluminação, equipamentos elétricos e climatização da edificação

O sistema de iluminação proposto para a edificação será com lâmpadas e luminárias do tipo LED, as quais tem potência inferior e maior fluxo luminoso em comparação às tipologias halógena e fluorescente, resultando em um menor consumo de energia. Como valores de referência para as taxas típicas de dissipação de calor, foram adotados os estabelecidos no Manual para Aplicação do RTQ-C (PROCEL, 2017), a partir do método das atividades do edifício, o qual avalia os limites de densidade de potência de iluminação (DPI) para cada ambiente, de acordo com cada atividade, conforme a tabela 3. Para isso, utilizou-se os valores de limite de nível A, ou seja, que proporcionam maior eficiência energética.

Tabela 3 – Taxas típicas de dissipação de calor para iluminação

| Ambiente | DPI (W/m ²) |
|------------|-------------------------|
| Comércio | 18,10 |
| Depósito | 5,00 |
| Escritório | 11,90 |
| Hall | 8,00 |
| Sanitário | 5,00 |

Fonte: Elaborado pela autora, com base em PROCEL (2017, p. 136-137).

Foram utilizados os valores de referência para a dissipação de calor dos equipamentos elétricos conforme a NBR 16.401-1 (ABNT, 2008b), de acordo com a tabela 4, e foram estimadas a partir da ocupação de cada zona térmica da edificação.

Tabela 4 – Taxas típicas de dissipação de calor para os equipamentos elétricos

| Atividade | Tipo de Carga | Densidade (W/m ²) |
|-----------|---------------|-------------------------------|
| Comércio | Leve | 5,4 |
| Serviços | Média / Alta | 16,2 |

Fonte: Elaborado pela autora, com base em ABNT (2008b, p. 56).

Conforme foi demonstrado no gráfico 1, a região em que o objeto de estudo está localizado é caracterizada por baixas temperaturas no inverno e temperatura amena no verão, portanto o sistema de climatização deve atender tanto o aquecimento quanto o resfriamento dos ambientes. A NBR 16.401-2 (ABNT, 2008c) define que as temperaturas operativas internas devem variar de 22,5°C a 25,5°C para uma umidade relativa de 65%, nos meses quentes, e de 21°C a 23,5°C e umidade relativa de 60%, nos meses de frio. Como parâmetros de entrada, o termostato para climatização mecânica foi configurado para regular a temperatura entre 20°C e 24°C.

Na simulação dos modelos foi utilizado o sistema de condicionamento de ar “*Zone: Unitary*” e “*System: Unitary*”, e a taxa de renovação de ar para ambientes climatizados foi considerada de 0,0075m³/s por pessoa, o equivalente a 27m³/hora/pessoa conforme o valor mínimo estipulado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003). Os demais parâmetros foram determinados na opção “*autosize*”, ou seja, o *EnergyPlus* simula com dados pré-definidos de equipamentos existentes (DOE, 2016), e assim gera os resultados com base nas configurações construtivas do modelo, especificadas pelo usuário, para os dias típicos de verão e inverno.

3.2.4 Parâmetros para a ventilação natural e controle de iluminação

Foi considerada a ventilação natural e o controle de iluminação nas zonas térmicas que são climatizadas artificialmente, ou seja, nas salas que ocorrem a atividade comercial ou de serviços.

Para a ventilação natural foi realizada uma simulação computacional simplificada do modelo de energia, através do campo “*Airflow*”. Foi considerada a área (m²) de abertura das janelas de cada zona térmica. Foi determinado que a ventilação natural ocorre somente durante os meses de calor (de outubro a março) das 8h às 18h, através de uma renovação de ar, estipulada nesta pesquisa, em 2,5 trocas de ar por hora. Para proporcionar o conforto nas salas e não gerar conflito entre os sistemas passivo e mecânico, ou seja, para não operarem ao mesmo tempo, foi configurado no *EnergyPlus* que o sistema mecânico é ativado quando a ventilação natural se torna insuficiente para manter o intervalo de temperatura de conforto determinado previamente entre 20°C e 24°C.

O objeto de estudo, por ser uma edificação histórica, não teve o vão das aberturas das janelas originais modificadas. A fim de avaliar a utilização da iluminação natural, como estratégia passiva para reduzir o consumo de energia elétrica para iluminação, foi considerado para fins de simulação a utilização de *dimmers*, os quais são dispositivos que regulam a luminosidade das lâmpadas. Conforme a luminosidade natural é suficiente para iluminar o ambiente, o *dimmer* regula a intensidade da iluminação artificial e automaticamente ajusta conforme a necessidade de atender o conforto visual.

O controle de iluminação foi implantado nas salas do segundo e do terceiro pavimento do objeto de estudo. Na simulação foi considerado este sistema como contínuo, ou seja, a luminosidade diminui contínua e linearmente à medida que aumenta a iluminação do dia, porém, as luzes permanecem acesas no ponto mínimo, mesmo com o aumento da iluminação diurna. (DOE, 2016). Neste caso, o *dimmer* opera entre 20% e 100% para atender a iluminância de 500lux por ambiente, e o ponto mínimo de cada um foi considerado o mais longe das aberturas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Envoltória Base

A partir da elaboração do estudo preliminar de reabilitação do objeto de estudo, foi simulada a Envoltória Base, na qual foram utilizados os materiais propostos no estudo preliminar, conforme a figura 20. Este modelo não apresenta soluções na materialidade a fim de minimizar o consumo de energia, ou seja, essa primeira simulação foi realizada para avaliar o comportamento da edificação e o seu desempenho energético, a partir de parte das suas propriedades originais.

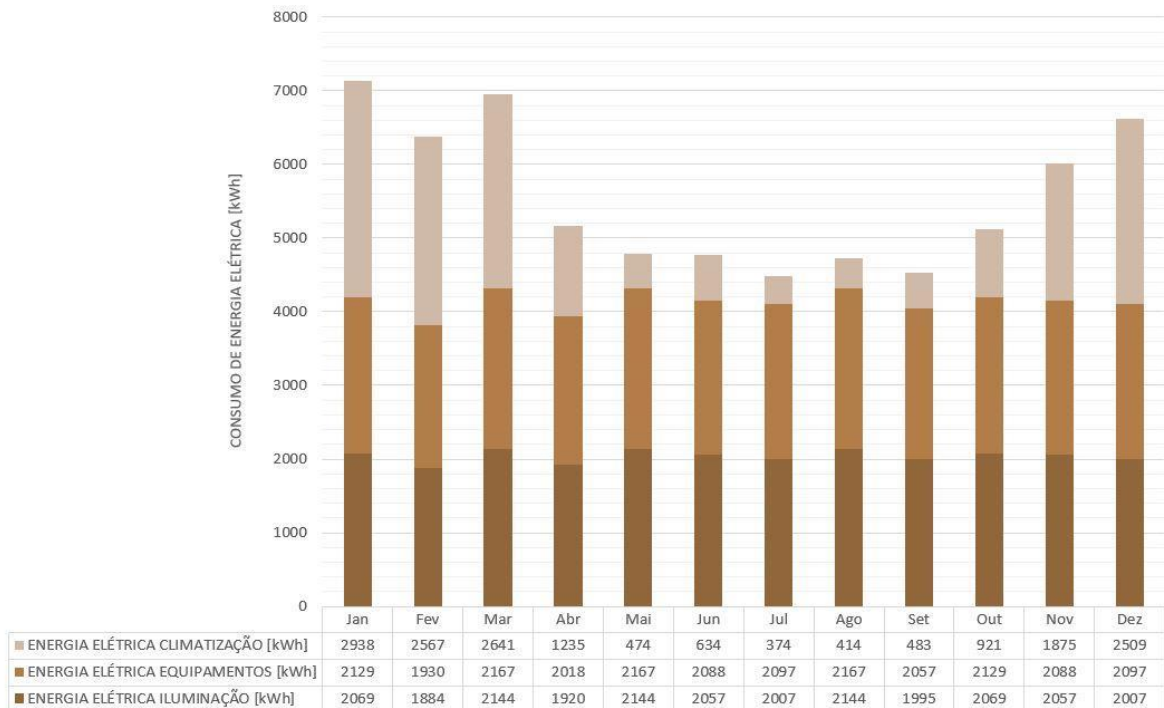
Figura 20 – Materialidade Envoltória Base



Fonte: Elaborado pela autora.

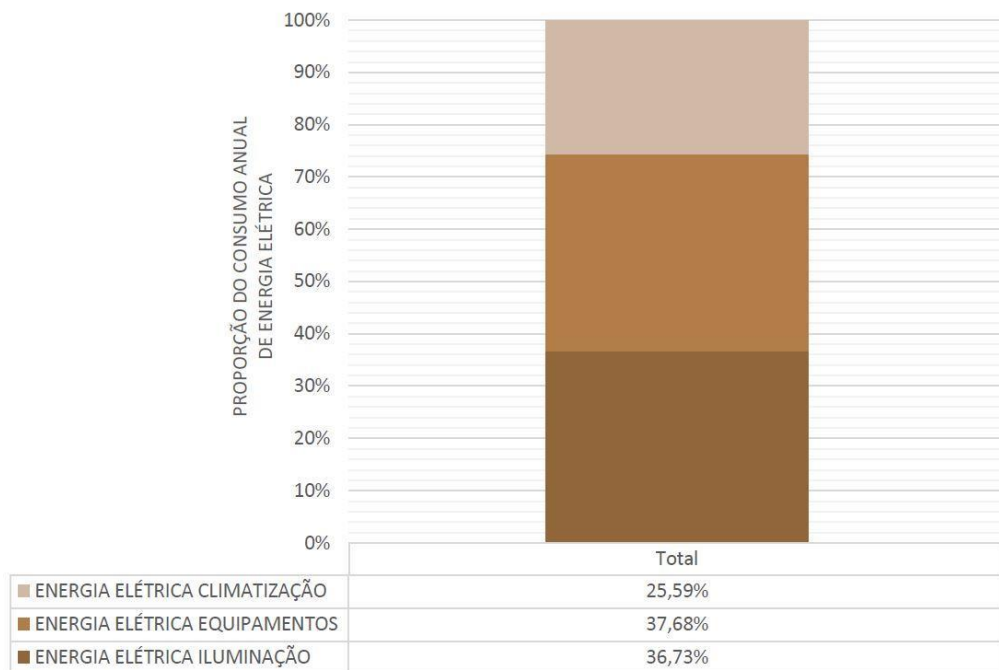
O consumo anual de energia elétrica da envoltória base se caracteriza por 74,41% destinados a utilização de equipamentos e iluminação, e 25,59% para a climatização total das salas, ou seja, considerando o resfriamento, aquecimento e ventilação. O gráfico 4 demonstra estes percentuais, a partir da discriminação dos valores de consumo mensal, em kWh, demonstrados no gráfico 3. Percebe-se neste, que o consumo de energia para a climatização é mais elevado nos meses de verão.

Gráfico 3 – Consumo de energia elétrica mensal dos ambientes da Envoltória Base



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Gráfico 4 – Proporção do consumo anual de energia elétrica dos ambientes da Envoltória Base



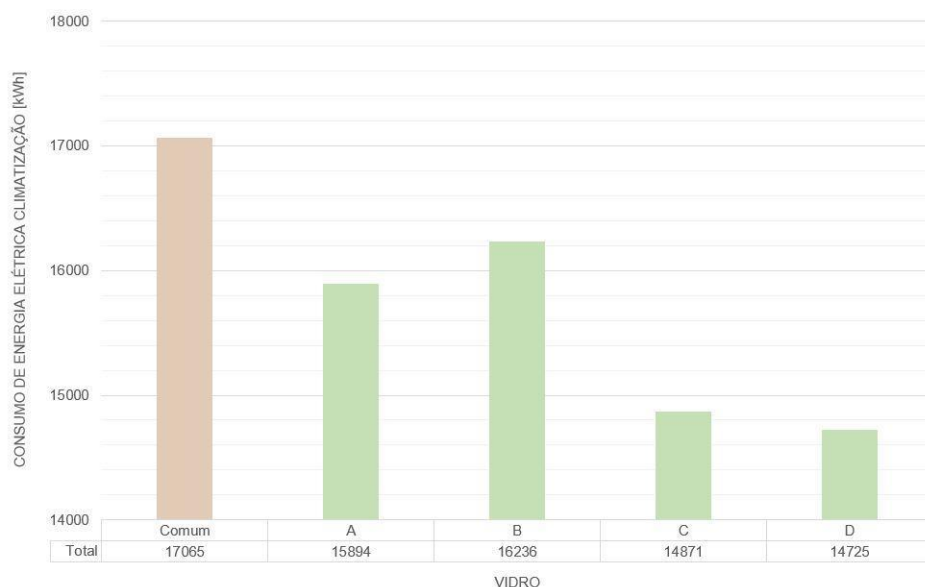
Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

A partir deste resultado, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica no objeto de estudo, será avaliado o desempenho dos vidros insulados (A e C), laminado (B) e insulado laminado (D), quanto aos sistemas e materialidade propostos para cada envoltória.

4.2 Envoltória 01

Na Envoltória 01, o sistema de cobertura continua sendo o mesmo da Envoltória Base, composto pela telha de fibrocimento, sem isolamento térmico, com câmara de ar superior a 5cm e forro de gesso. Entretanto, foi substituído o vidro comum pelos vidros A (insulado), B (laminado), C (insulado) e D (insulado laminado), com propriedades apresentadas anteriormente na tabela 2. De acordo com o fabricante, os dois primeiros tipos apresentam controle solar, o que reduz o calor solar para o interior dos ambientes, proporcionando proteção solar e conforto térmico. Os modelos C e D são vidros que são recomendados para serem utilizados nas certificações de edificações sustentáveis, pois apresentam alta transmissão de luz solar para o interior dos ambientes e evitam o calor solar, proporcionando redução do consumo de energia elétrica com o sistema de climatização.

Gráfico 5 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 01



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

A partir do gráfico 5, observa-se que os vidros C (insulado) e D (insulado laminado) são mais eficientes no consumo de energia, do que os vidros A (insulado) e B (laminado), pois os valores de transmitância térmica são menores, o que indica que apresentam baixa condutividade térmica e bom isolamento. Além disso, o coeficiente solar deles indica que menos da metade da radiação incidente chegou ao interior dos ambientes. Embora os vidros A e B tenham apresentado maior consumo de energia para a climatização em relação aos outros dois, percebe-se que todos os vidros minimizam a utilização de energia em relação ao vidro comum, com valores demonstrados em porcentagem na tabela 5.

Tabela 5 – Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 01

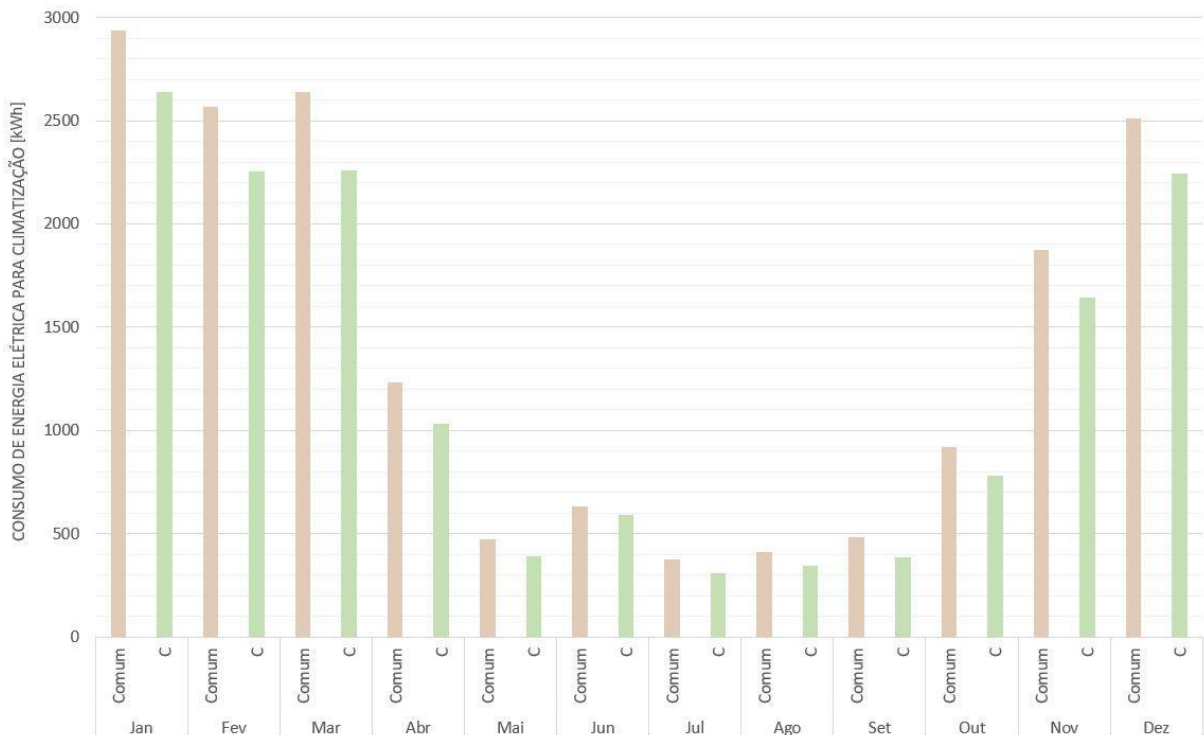
| Envoltória 01 - Consumo Anual de Energia Elétrica para Climatização [kWh] | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Envoltória Base | Vidro A | Vidro B | Vidro C | Vidro D |
| 17065 | 15894 | 16236 | 14871 | 14725 |
| | -7% | -5% | -13% | -14% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Os vidros insulados (vidro duplo) apresentam menor valor de transmitância térmica, o que reduz a transferência de calor entre os ambientes. É vantajoso utilizar este sistema nos lugares em que há grandes diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo, como regiões frias ou serranas, pois com menor transmitância térmica, o vidro insulado proporciona temperaturas superficiais no interior dos ambientes mais amenas. (WESTPHAL, 2016).

Observa-se este comportamento na utilização do vidro C, que durante os meses de frio, devido a maior diferença de temperatura entre o meio externo e interno, há menor consumo de energia elétrica. A redução deste consumo para a climatização da edificação é de 16% nos meses frios (abril – setembro) e de 12% nos meses quentes (outubro – março), em relação ao vidro comum, utilizado na Envoltória Base, conforme observa-se no gráfico 6 e na tabela 6.

Gráfico 6 – Comparação do consumo mensal de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 01



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 6 – Redução do consumo de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 01

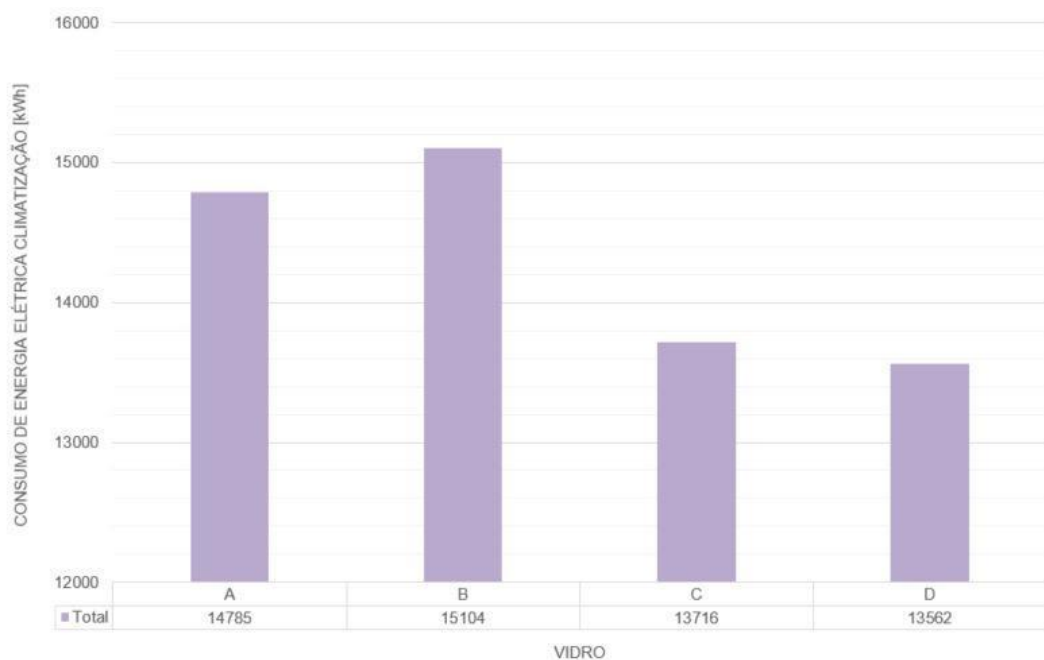
| Redução do Consumo de Energia Elétrica [kWh] para Climatização entre os Vidros Comum e C | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Meses de Frio (Abril - Setembro) | Meses de Calor (Outubro - Março) |
| Envoltória Base (Vidro Comum) | 3614 | 13450 |
| Envoltória 01 (Vidro C) | 3050 | 11821 |
| | -16% | -12% |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Envoltória 02

No sistema de cobertura da Envoltória 02 foi substituída a telha de fibrocimento por uma telha com núcleo em poliuretano e avaliado o desempenho energético do sistema de climatização total em relação aos vidros A (insulado), B (laminado), C (insulado) e D (insulado laminado). A transferência de calor por meio dos sistemas de parede, cobertura e pisos é limitada pela utilização de isolantes térmicos, (KEELER; VAIDYA, 2018), sendo o poliuretano um material capaz de reduzir a transferência de calor entre os meios interno e externo.

Gráfico 7 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 02



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Ao utilizar o isolante térmico na cobertura, por meio da telha com núcleo com poliuretano, percebe-se no gráfico 7, que novamente o consumo de energia para a climatização da edificação é reduzido, principalmente com a utilização dos vidros C e D. Em comparação com a Envoltória Base, em que a cobertura não tem isolamento térmico e o vidro utilizado é do tipo comum, a tabela 7 demonstra que na Envoltória 02 os vidros A e B proporcionam uma redução de 13% e 11% no

consumo anual de energia para a climatização, enquanto os vidros C e D diminuem em 20% e 21% o uso anual de energia para esse fim.

Tabela 7 - Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 02

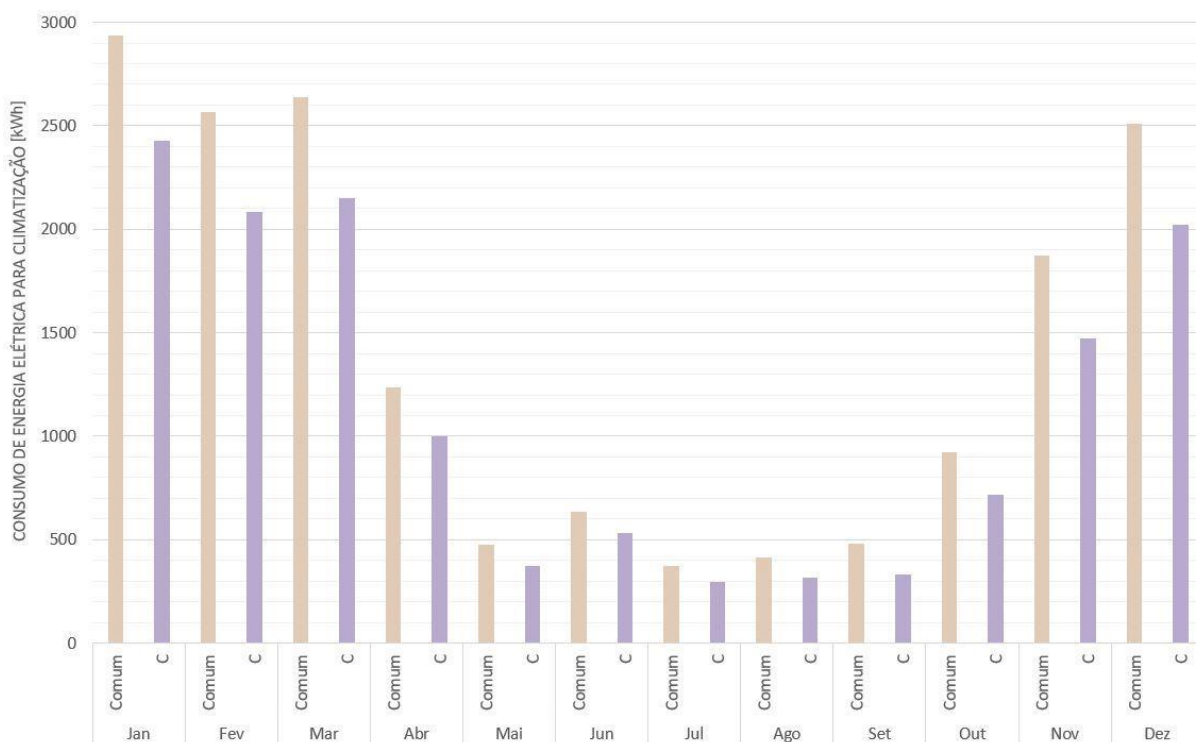
| Envoltória 02 - Consumo Anual de Energia Elétrica para Climatização [kWh] | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Envoltória Base | Vidro A | Vidro B | Vidro C | Vidro D |
| 17065 | 14785 | 15104 | 13716 | 13562 |
| | -13% | -11% | -20% | -21% |

Fonte: Elaborado pela autora.

O principal objetivo de utilizar isolantes térmicos é para reduzir os fluxos de calor entre os meios externo e interno. Quando aplicados na envoltória de uma edificação eles podem aumentar a eficiência energética, pois reduzem a perda ou o ganho de calor nos ambientes, e assim controlam a variação de temperatura interna, o que demanda menor consumo de energia dos equipamentos para a climatização. (ASHRAE, 2017). Nos ambientes em que seja desejável manter a temperatura interna diferente da externa, o uso de isolamento térmico ajuda a economizar a energia necessária para o sistema de climatização operar e poder manter essa diferença. (GELFAND; DUNCAN, 2012).

Novamente observa-se o comportamento da edificação, conforme o gráfico 8 e tabela 8, quando se utiliza o vidro C, neste caso combinado com o isolamento térmico na cobertura. Em comparação com a Envoltória Base a diminuição do consumo de energia para a climatização é ainda maior. A redução de energia entre os meses de frio e de calor são de 21% nos meses frios (abril – setembro) e de 19% nos meses quentes (outubro – março).

Gráfico 8 – Comparação do consumo mensal de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 02



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 8 – Redução do consumo de energia elétrica para climatização dos ambientes entre os vidros comum e C da Envoltória 02

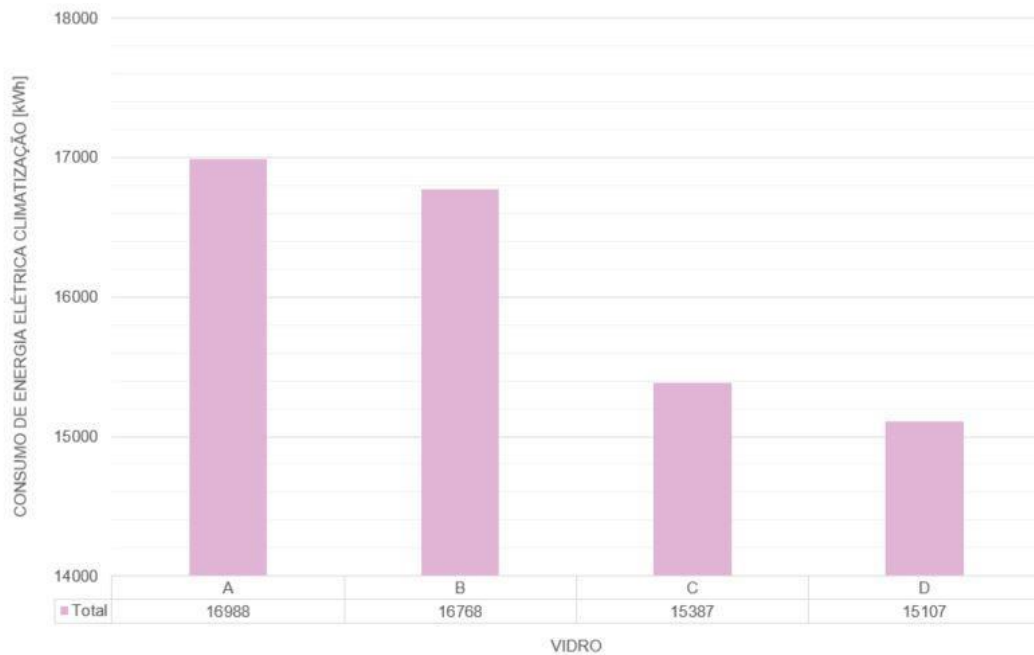
| Redução do Consumo de Energia Elétrica [kWh] para Climatização entre os Vidros Comum e C | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Meses de Frio (Abril - Setembro) | Meses de Calor (Outubro - Março) |
| Envoltória Base (Vidro Comum) | 3614 | 13450 |
| Envoltória 02 (Vidro C) | 2851 | 10865 |
| | -21% | -19% |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Envoltória 03

Na Envoltória 03 é adicionada na parte interna da envoltória uma parede em *drywall*, composta por uma camada de isolante térmico de lã de rocha (50mm). A cobertura é composta pela telha com núcleo em poliuretano, câmara de ar (superior a 5cm) e forro de gesso. Assim, o desempenho energético do sistema de climatização total com a utilização dos vidros A (insulado), B (laminado), C (insulado) e D (insulado laminado) é demonstrado conforme o gráfico 9.

Gráfico 9 – Consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 03



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Ao utilizar o isolamento térmico nas paredes da envoltória, a aplicação do vidro A apresenta uma pequena redução do consumo, em relação à Envoltória Base, enquanto o vidro B tem uma diminuição de 2%, o que torna o desempenho de ambos praticamente equivalente ao uso do vidro comum. Os vidros C e D apresentam maior redução no consumo de energia, sendo respectivamente de 10% e 11%, entretanto, os seus desempenhos são inferiores em relação à Envoltória 02. Esses dados estão demonstrados na tabela 9.

O isolamento térmico auxilia a reduzir a transferência de calor entre o ambiente interno da edificação com o meio externo. Entretanto, os benefícios de sua utilização podem variar dependendo da zona climática em que a edificação se encontra e conforme a aplicação dos materiais de construção. (GELFAND; DUNCAN, 2012). Segundo os mesmos autores, a estratégia de utilizar isolamento térmico nas paredes depende da materialidade da parede existente.

Tabela 9 – Variação do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes da Envoltória 03

| Envoltória 03 - Consumo Anual de Energia Elétrica para Climatização [kWh] | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Envoltória Base | Vidro A | Vidro B | Vidro C | Vidro D |
| 17065 | 16988 | 16768 | 15387 | 15107 |
| | 0% | -2% | -10% | -11% |

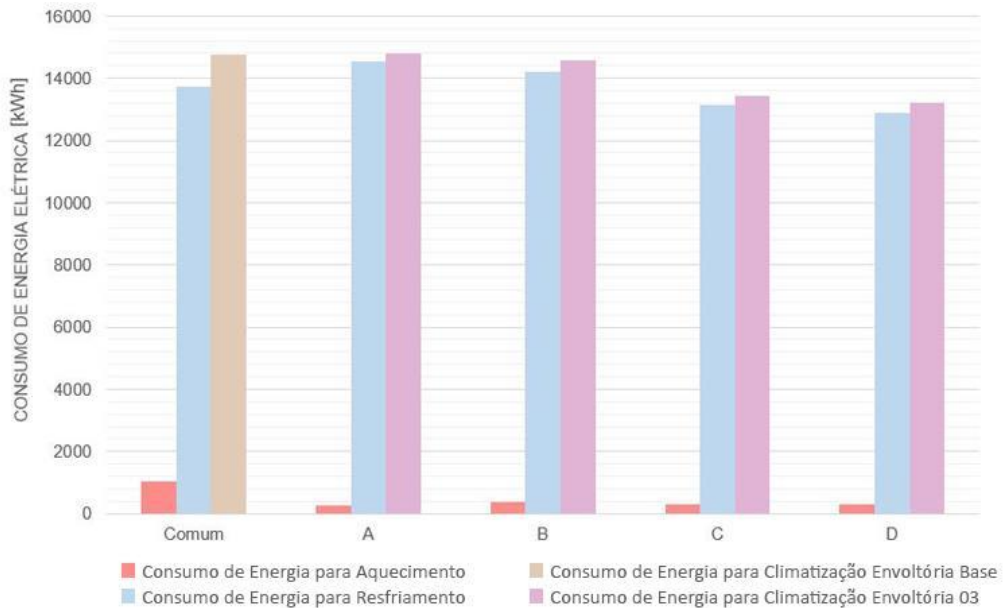
Fonte: Elaborado pela autora.

Dependendo das condições climáticas em que a edificação está sujeita, utilizar isolante térmico na envoltória pode aumentar as cargas térmicas anuais. Edifícios localizados em climas que tem verões amenos e longos, não devem ter as superfícies muito isoladas, pois acaba inibindo a dissipação dos ganhos térmicos internos para o meio externo. Com isso, proporciona o aumento no uso do sistema de climatização para refrigerar os ambientes, durante os meses de calor. (MELO; LAMBERTS, 2009).

Conforme o gráfico 10, verifica-se o comportamento da edificação utilizando isolamento térmico em toda a envoltória, em relação ao consumo anual de energia elétrica para aquecimento e resfriamento. A maior parte da utilização de energia necessária para climatizar a edificação provém do resfriamento. O consumo de energia para aquecimento reduziu em torno de 63% a 75%, dependendo do tipo de vidro utilizado, de acordo com os dados na tabela 10. Para resfriamento, os vidros A e B apresentaram aumento no consumo de energia em relação à Envoltória Base, e os vidros C e D demonstraram uma diminuição de 4% e 6%. Portanto, como o objeto de estudo está localizado em uma região em que o verão é um período de temperatura amena, não condiz usar isolamento térmico em toda sua envoltória. A

redução do uso de energia para aquecimento não compensa em relação à quantidade de energia necessária para poder resfriá-la, considerando a totalidade do sistema.

Gráfico 10 – Consumo anual de energia elétrica para aquecimento, resfriamento e climatização total dos ambientes das Envoltórias Base e 03



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 10 – Variação do consumo anual de energia elétrica para aquecimento e resfriamento dos ambientes da Envoltória 03

| Consumo Anual de Energia Elétrica para Aquecimento [kWh] | | | | | |
|---|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | Vidro Comum | Vidro A | Vidro B | Vidro C | Vidro D |
| Envoltória Base | 1031 | - | - | - | - |
| Envoltória 03 | - | 254 | 378 | 299 | 315 |
| | | -75% | -63% | -71% | -69% |
| Consumo Anual de Energia Elétrica para Resfriamento [kWh] | | | | | |
| | Vidro Comum | Vidro A | Vidro B | Vidro C | Vidro D |
| Envoltória Base | 13735 | - | - | - | - |
| Envoltória 03 | - | 14554 | 14204 | 13154 | 12899 |
| | | 6% | 3% | -4% | -6% |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5 Avaliação do Desempenho Energético do Objeto de Estudo







4.5.1 Modelos energéticos e o consumo de energia para climatização

Na Envoltória Base foi usada a materialidade proposta na figura 20, a fim de medir o desempenho energético para sua reabilitação. Na Envoltória 01 foi substituído o uso do vidro comum para as opções dos vidros A e C (insulado), B (laminado), e D (insulado e laminado). Identificou-se que todos os novos vidros possibilitaram a redução da utilização de energia para a climatização da edificação. Na Envoltória 02 foi implementada a telha com núcleo em poliuretano, o qual atua como isolante térmico, e em conjunto com a utilização desses vidros a redução do consumo de energia foi superior ao modelo anterior.

Na Envoltória 03, além do uso dos vidros e do isolamento na cobertura, foi implementado isolamento térmico com lã de rocha nas paredes de *drywall*, na face interna da envoltória. Esta medida prejudicou a dissipação dos ganhos térmicos da edificação, nos meses de calor. Com isso, o desempenho energético dos sistemas adotados nesta proposta não foi favorável, conforme resume a tabela 11.

A partir da avaliação individual de cada envoltória, observando o conjunto das propostas, identifica-se que a Envoltória 02, através da utilização dos vidros do tipo insulado (C) e insulado laminado (D), apresenta desempenho energético superior quando comparada com as demais envoltórias.

Tabela 11 – Resumo comparativo do desempenho energético das Envoltórias

| Desempenho Energético das Envoltórias | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|
| Envoltória | 01 | 02 | 03 |
| Vidro Esquadrias |  |  |  |
| Isolamento na Cobertura | |  |  |
| Isolamento nas Paredes Externas | | |  |

Mais Eficiente



 Menos Eficiente

Fonte: Elaborado pela autora.

O desempenho energético está diretamente relacionado com as condições climáticas do local e com a escolha da materialidade adequada. No caso do objeto de estudo deste trabalho, durante o outono e inverno, o clima é caracterizado por grande diferença de temperatura entre o meio externo e o interior da edificação, e no período da primavera e verão, por temperaturas amenas. Nestas condições, é recomendado o uso do vidro insulado (WESTPHAL, 2016). A utilização do vidro C (insulado) combinado com o isolamento térmico na cobertura possibilitou a redução do consumo anual de energia para a climatização de 20%, conforme foi apresentado na tabela 7. Alterar a materialidade dos sistemas da envoltória podem proporcionar a redução do consumo de energia para a climatização de uma edificação, porém, é fundamental considerar as condições climáticas do local.

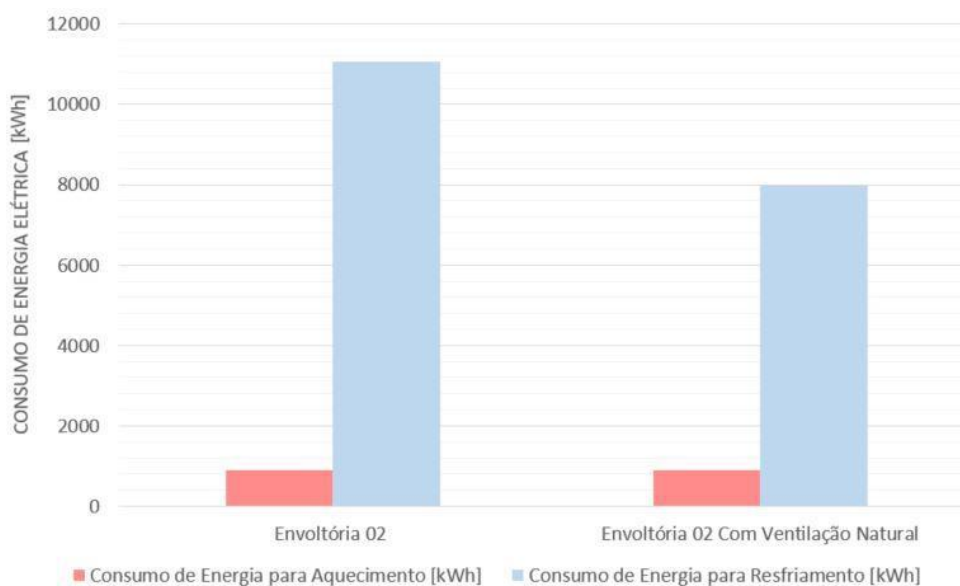
Entende-se que o desempenho energético para climatização poderia ser ainda superior, dado que atualmente já existem sistemas mais eficientes do que o utilizado neste trabalho. Um deles é o sistema VRF, ou Vazão de Refrigerante Variável derivado do inglês *Variable Refrigerant Flow*, o qual é considerado como versátil e flexível, pois é um sistema modular que facilmente adapta-se à expansão ou reconfiguração dos ambientes. A capacidade das unidades internas geralmente é menor, o que possibilita projetar por zonas e permitir o controle individual das mesmas. Este sistema também responde às mudanças de temperatura interna, variando a velocidade para operar somente nos níveis necessários para manter a temperatura interna constante e confortável. A recuperação de calor aumenta a eficiência deste sistema, pois quando opera simultaneamente para aquecer e resfriar, a energia de uma zona pode ser transferida para atender às necessidades de outra. (ASHRAE, 2018).

4.5.2 Estratégias passivas: ventilação e iluminação natural

A ventilação em uma edificação pode ocorrer de forma passiva (natural), ou por meio de sistemas mecânicos, ou pela integração de ambos. Na avaliação do desempenho de energia dos modelos propostos anteriormente, não foi considerado o uso da ventilação natural, mas somente a climatização por meio de sistema mecânico (ar condicionado). A fim de avaliar a possibilidade de melhorar o desempenho energético da Envoltória 02, considerando a utilização do vidro C

(insulado) foi simulada a integração da ventilação natural com a climatização artificial dos ambientes, durante os meses de calor, ou seja, de outubro a março.

Gráfico 11 – Comparação do consumo de energia anual para climatização dos ambientes da Envoltória 02, sem e com ventilação natural

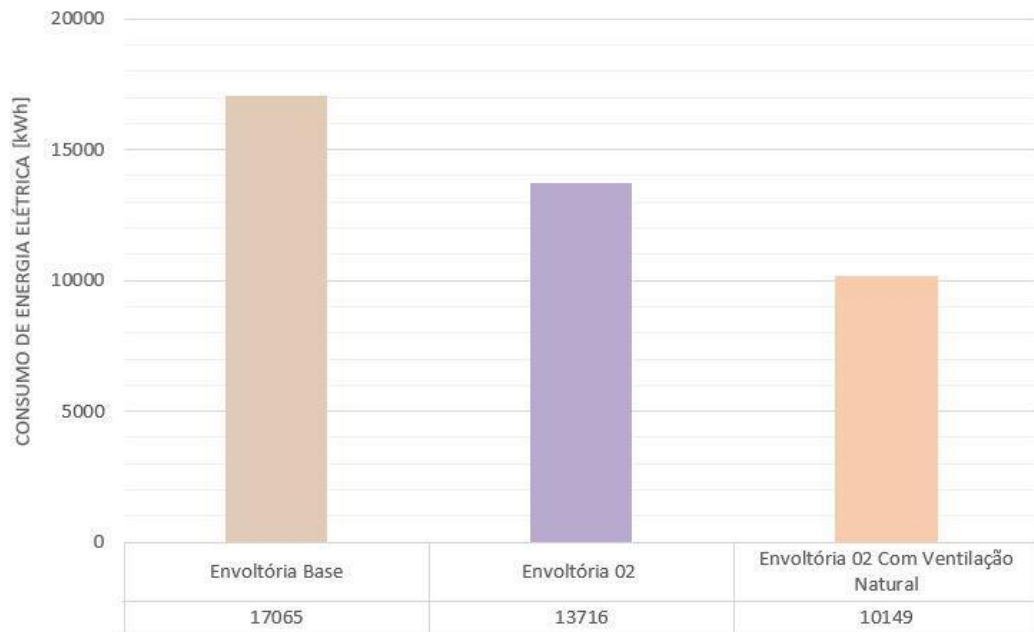


Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Observa-se no gráfico 11 que ao implementar a ventilação natural, como estratégia passiva para refrigerar os ambientes durante os meses de calor, foi possível reduzir a utilização e conseqüentemente o consumo de energia do sistema de climatização.

As edificações são ventiladas a fim de promover conforto térmico e proporcionar a renovação e qualidade do ar. O implemento de estratégias passivas em um projeto, como o uso da ventilação natural, proporciona um desempenho que pode ser mantido durante toda a vida útil do edifício, além de possibilitar a redução do calor indesejável no interior dos ambientes, através do vento, energia gratuita disponível. (KEELER; VAIDYA, 2018). É importante utilizar as estratégias passivas no projeto e na operação das edificações a fim de usufruir dos recursos naturais disponíveis, minimizando o consumo de energia elétrica quando possível.

Gráfico 12 – Comparação do consumo anual para climatização dos ambientes entre as Envoltórias Base, 02 e 02 com ventilação natural



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 12 – Redução do consumo anual de energia elétrica para climatização dos ambientes das Envoltórias Base, 02 e 02 com ventilação natural

| Consumo Anual de Energia Elétrica para Climatização [kWh] | |
|---|-------|
| Envoltória Base | 17065 |
| Envoltória 02 | 13716 |
| | -20% |
| Envoltória 02 | 10149 |
| Com Ventilação Natural | -41% |

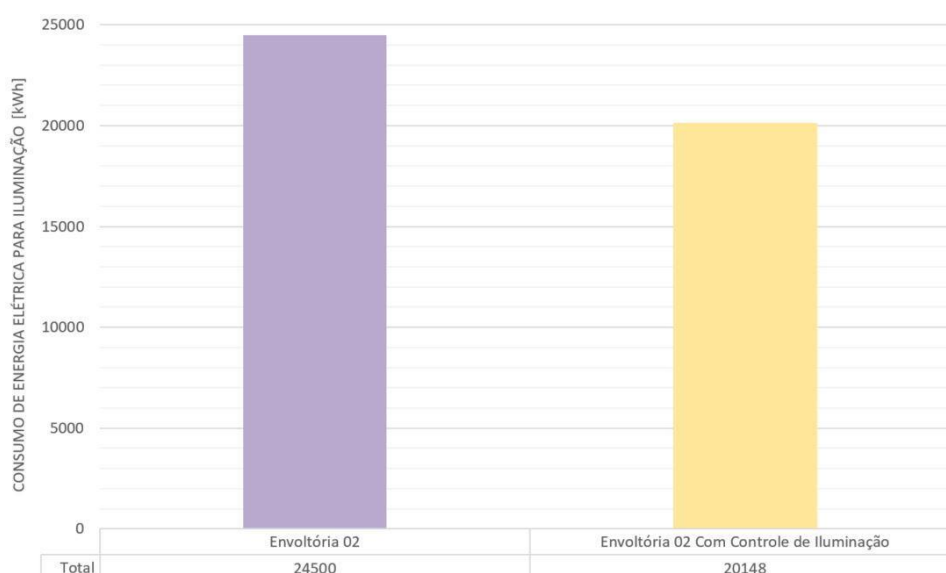
Fonte: Elaborado pela autora.

No gráfico 12 é possível observar a redução do consumo de energia da Envoltória 02 ao adotar a ventilação natural a fim de auxiliar na redução do calor dos ambientes, em relação às Envoltórias Base e 02. Como apresentado anteriormente, verifica-se que a Envoltória 02 apresentou uma redução de 20% no consumo de

energia em relação à Envoltória Base. Na tabela 12 verifica-se que ao beneficiar-se da energia gratuita que a ventilação natural proporciona, é possível melhorar o desempenho energético da Envoltória 02 e diminuir em 41% o consumo de energia para a climatização, em relação à Envoltória Base. Ao utilizar a ventilação natural é possível reduzir 26% o uso de energia para climatização, em comparação entre as Envoltórias 02, sem e com ventilação natural.

O consumo anual de energia elétrica para a iluminação dos ambientes da Envoltória 02 é equivalente ao consumo da Envoltória Base. Ao adotar o controle automático da iluminação artificial, com o uso dos *dimmers*, é possível reduzir este consumo em 18%, conforme observa-se no gráfico 13 e na tabela 13. Uma edificação que se beneficia da iluminação natural pode racionalizar significativamente o consumo de energia elétrica ao manter a iluminação artificial desligada quando há luz natural suficiente nos ambientes. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Gráfico 13 – Consumo anual de energia elétrica para iluminação dos ambientes da Envoltória 02, sem e com controle da iluminação artificial



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 13 – Redução do consumo anual de energia elétrica para iluminação dos ambientes

| Consumo Anual de Energia Elétrica para Iluminação [kWh] | |
|---|-------|
| Envoltória 02 | 24500 |
| Envoltória 02 | 20148 |
| Com Iluminação Natural | -18% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizar a iluminação natural nas edificações é benéfica para a redução do consumo de energia e para o bem-estar dos usuários. A luz natural é fundamental para a nossa saúde, pois auxilia na regulação do nosso humor e metabolismo. As pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes fechados, e é importante projetar edificações que usufruam da iluminação natural a fim de proporcionar espaços saudáveis, que garantem o bem-estar e auxiliam na produtividade das tarefas dos ocupantes. (WESTPHAL, 2016).

4.5.3 Potencialidades e limitações dos modelos energéticos

Ao avaliar os modelos de energia propostos para o objeto de estudo deste trabalho, foi possível verificar potencialidades e limitações ao longo do seu desenvolvimento. A simulação energética é uma ferramenta de projeto que permite aos profissionais envolvidos testarem e verificarem soluções que sejam condizentes com a realidade, auxiliando na tomada de decisões ao visar a melhoria do desempenho de energia da edificação.

A análise do clima no local em que a edificação está implantada é uma importante potencialidade ao elaborar um modelo de energia. É fundamental entender como é o comportamento da temperatura e umidade ao longo do ano para poder definir a materialidade da edificação. Assim, é viável proporcionar ambientes confortáveis aos usuários e que racionalizem o consumo de energia. A orientação solar deve ser considerada para a disposição do layout e funcionamento da edificação, a fim de beneficiar-se das estratégias passivas.

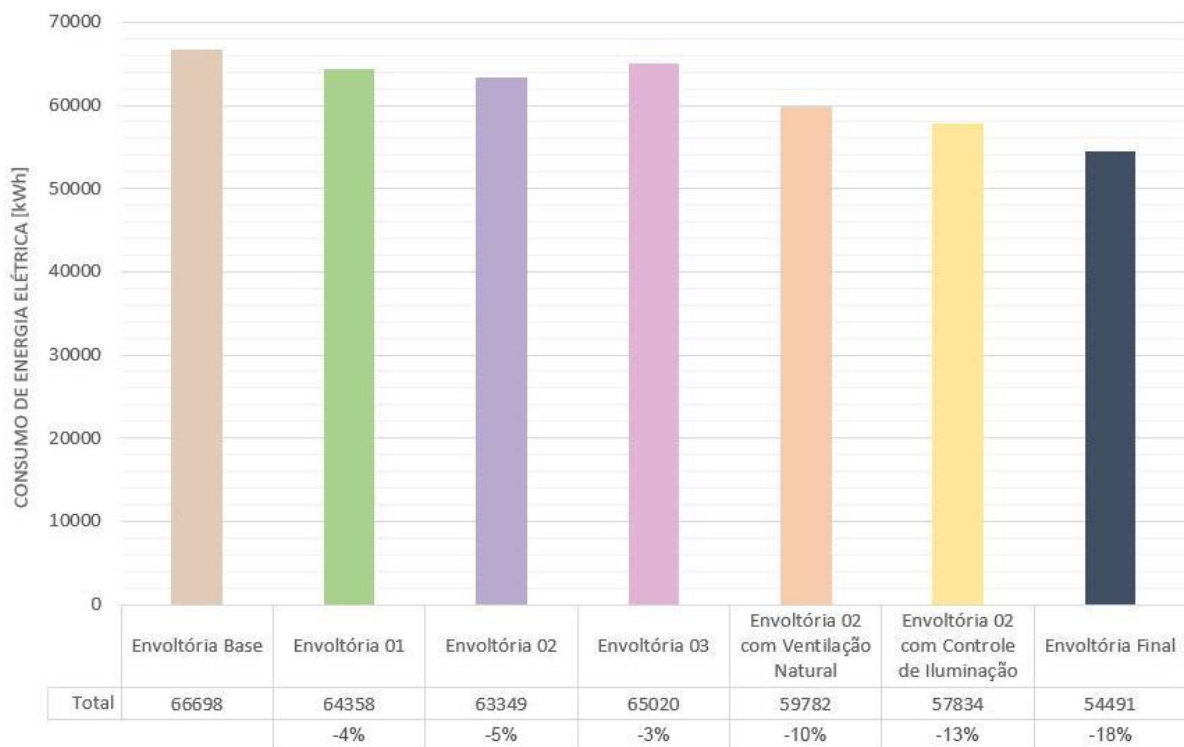
Apesar do objeto de estudo ser uma edificação histórica, é possível utilizar materiais que possibilitem menor consumo de energia durante a operação da edificação, sem causar transformações na sua aparência. Pode-se afirmar que foram utilizadas soluções simples, quanto à materialidade, para promover melhorias na sua envoltória, mas que proporcionaram resultados satisfatórios aos objetivos deste trabalho. Erroneamente entende-se que a arquitetura é composta somente de estratégias complexas e difíceis de serem aplicadas, entretanto, é a falta de planejamento e a avaliação equivocada de soluções que podem gerar resultados insatisfatórios.

As estratégias passivas também são potencialidades quando adotadas em uma edificação. Existem diversas soluções para aplicá-las, e define-se quais dependendo das condições da região e do clima em que o edifício se encontra, seja para aquecer, refrigerar, ventilar ou iluminar os ambientes. São recursos que, quando possíveis, devem ser explorados nos projetos, pois proporcionam benefícios quanto à qualidade de vida dos ocupantes e minimizam a utilização de recursos artificiais. No caso deste trabalho, a ventilação natural é possível de ser implantada pois o entorno não é caracterizado por ruídos que dificultem a realização das tarefas. A disposição do layout das salas, distribuídas em sua maioria para a fachada norte, e a dimensão das janelas, favorece também o uso da iluminação natural.

Ao avaliar a envoltória e os sistemas de climatização e iluminação individualmente, observou-se anteriormente importantes reduções no consumo de energia. Ao verificar o consumo anual total de energia elétrica dos modelos de energia propostos, verifica-se que ao implantar modificações na materialidade das paredes externas e das aberturas, consegue-se estimar a redução da utilização de energia de 3% a 5%, em comparação à Envoltória Base. Entretanto, ao adotar as estratégias passivas no modelo que obteve menor consumo de energia, no caso a Envoltória 02, observa-se uma redução de 10% no consumo anual total de energia quando se utiliza a ventilação natural. Acrescentando o controle de iluminação na Envoltória 02, sem a ventilação natural, estima-se uma redução de 13%. No gráfico 14 é possível verificar o consumo anual total de energia elétrica, em kWh, e a redução em porcentagem em relação à Envoltória Base de cada modelo energético. Portanto, alterar a materialidade da envoltória possibilita minimizar a utilização de

energia, e incluir estratégias passivas é essencial para conseguir reduzir as cargas térmicas da edificação, e assim o consumo de energia elétrica.

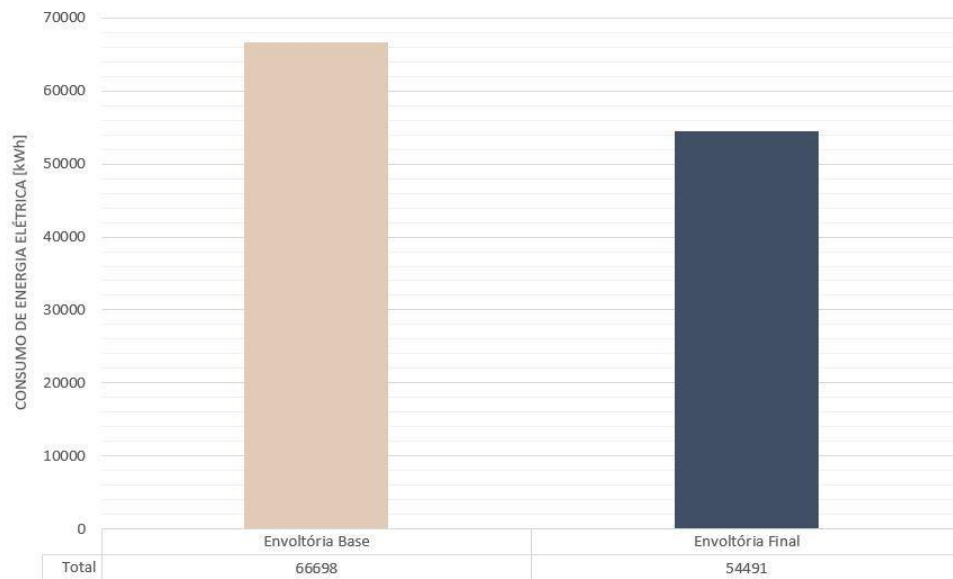
Gráfico 14 – Consumo anual total de energia elétrica dos ambientes dos Modelos Energéticos



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

O modelo energético final do objeto de estudo caracteriza-se pela aplicação do isolamento térmico na cobertura e do vidro insulado C, da ventilação natural para resfriamento entre os meses de calor (outubro a março), em conjunto ao sistema de climatização total, e do controle da iluminação artificial quando há disponibilidade de luz natural. Com isso, observa-se no gráfico 15 a redução do consumo de energia entre a Envoltória Base e a Envoltória Final. Com a adoção dessas estratégias, integrando soluções quanto à materialidade e medidas passivas, o desempenho energético caracteriza-se pela redução de 18% do consumo anual total de energia elétrica, conforme relacionado na tabela 14.

Gráfico 15 – Consumo anual total de energia elétrica dos ambientes das Envoltórias Base e Final



Fonte: Elaborado pela autora, com base em *EnergyPlus*.

Tabela 14 – Redução do consumo anual total de energia elétrica

| Consumo Anual Total de Energia Elétrica [kWh] | |
|---|-------|
| Envoltória Base | 66698 |
| Envoltória Final | 54491 |
| | -18% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante a elaboração dos modelos de energia, também foram encontradas algumas limitações. Quando adotado o sistema de *dimmers* para o controle da iluminação artificial, não foi considerado um layout interno com mobiliário. A disposição de móveis e elementos podem influenciar na luminosidade dos ambientes. Um estudo mais aprofundado deve considerar *softwares* específicos para a avaliação do desempenho lumínico em conjunto com o desempenho energético. Através do *EnergyPlus* foi possível realizar uma análise simplificada para a redução do consumo de energia elétrica neste trabalho, mas importante para

verificar o benefício em adotar o controle da iluminação artificial, quando a luz natural é suficiente.

É importante ressaltar que o comportamento dos usuários também pode influenciar na operação da edificação e diferir dos resultados obtidos. Neste trabalho foram especificados valores de referência baseados em normas e dados estimados na ocupação e funcionamento de uma edificação comercial. A maior precisão dessas informações, em conjunto com a automação ou a instrução clara e correta do uso dos sistemas, influencia no consumo de energia das edificações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou integrar dois temas na arquitetura e urbanismo: a reabilitação do patrimônio industrial e a eficiência energética. O patrimônio industrial foi importante para abordar a memória afetiva, valor social a ser considerado na preservação de uma edificação, por ser um indicador da importância de um bem para a sociedade. A memória afetiva das pessoas é fundamental para significar um lugar, devido às experiências ali vividas. Preservar a edificação pelo seu valor social representa o respeito pelo passado, porém é necessário pensar no presente e no futuro. Com isso, abordou-se a eficiência energética, de forma que possam ser desenvolvidas novas atividades, racionalizando o consumo de recursos naturais.

O objeto de estudo era de uso industrial e através de um estudo preliminar foi proposta a sua reabilitação para uso comercial e de serviços. Com isso, foram realizadas simulações para avaliar o racionamento do uso de energia. Primeiramente foi feita uma simulação para observar o desempenho energético do objeto de estudo sem adotar nenhuma medida para minimizar o consumo de energia. Na simulação da Envoltória 01 foi verificada a substituição do vidro comum, para vidros dos tipos insulado, laminado e insulado laminado. Na Envoltória 02, além de conferir novamente os vidros, foi utilizado isolante térmico na cobertura, e na Envoltória 03 foi acrescentado também a aplicação do isolante térmico nas paredes da envoltória.

Com isso, percebeu-se a importância da relação entre o clima, a materialidade e as estratégias passivas para o desempenho energético. O local em que se encontra a edificação é caracterizado por um clima com invernos de temperaturas frias e verões amenos. Ao utilizar o isolamento na cobertura em conjunto com o vidro insulado, na Envoltória 02, foi possível verificar a redução do consumo de energia para climatização em relação às Envoltórias 01 e 03. Após simular as propostas quanto à materialidade da envoltória, foi importante observar na totalidade do consumo de energia anual os benefícios de implantar medidas passivas para o desempenho energético, como o aproveitamento da ventilação natural e o controle da iluminação artificial em proveito da luz natural.

Assim, foi possível reduzir em 18% o consumo anual de energia elétrica, em relação ao modelo base. Essa economia não é somente monetária, ela proporciona a utilização dos recursos naturais de maneira mais consciente, o que minimiza

impactos negativos no meio ambiente. As edificações devem ser pensadas a fim de racionalizar o consumo de energia elétrica, o que poderia evitar crises futuras e a falta de abastecimento. A natureza é abundante e tem seus ciclos, porém cabe a todos não desperdiçar e usufruir de forma consciente seus recursos.

Entende-se que este trabalho contribuiu para a reflexão da importância de preservar o patrimônio industrial, e também da importância do valor social, através da memória afetiva, que as edificações possuem e muitas vezes não é o que se destaca no primeiro momento. É importante verificar todos os valores presentes para preservar uma edificação. Considerar a sua permanência pode minimizar impactos negativos com a demolição e ainda ressignificar a memória do passado no presente.

Acredita-se que esta pesquisa também contribuiu para disseminar as vantagens de considerar a simulação de desempenho energético desde os estudos iniciais. A simulação computacional é uma ferramenta essencial para prever e observar o comportamento da edificação no contexto real, e assim aplicar as soluções benéficas, antes de executar a obra. A eficiência energética é uma estratégia de projeto fundamental para otimizar e racionalizar o consumo.

O *EnergyPlus* é um *software* complexo que permite realizar simulações energéticas com muita precisão e gerar resultados importantes para a tomada de decisões. Por isso, percebe-se a importância do projeto integrado, em que profissionais de diferentes áreas complementam-se para coletar os dados necessários e interpretarem os resultados de forma acurada. Assim, é possível que juntos possam identificar soluções assertivas que contribuam para a construção de edificações mais saudáveis e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RE Nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Brasília, DF: ANVISA, 2003.

ALVES, Sofia Amado. **Patrimônio industrial e usos contemporâneos: o caso de Arquipélago – Centro de Artes Contemporâneas**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitectura) – Departamento de Arquitectura, Universidade de Évora, Évora, 2017.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **An architect's guide to integrating energy modeling in the design process**. Washington D.C.: AIA, 2012. Disponível em: <http://content.aia.org/sites/default/files/2016-04/Energy-Modeling-Design-Process-Guide.pdf> Acesso em: 19 ago. 2020.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Architect's guide to building performance: integrating performance simulation in the design process**. Washington D.C.: AIA, 2019. Disponível em: http://content.aia.org/sites/default/files/2019-06/AIA_BPSGuide_2019_FINAL.pdf Acesso em: 17 dez. 2020.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI); AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE); ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES). **Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings (I-P Edition)**. Atlanta: ANSI/ASHRAE/IES, 2019.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI); AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE); INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC); U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC); ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY (IES). **Standard 189.1-2017: Standard for the design of high-performance green buildings except low-rise residential buildings**. Atlanta: ANSI/ASHRAE/ICC/USGBC/IES, 2017.

ASHRAE. **2017 ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

ASHRAE. **ASHRAE Greenguide: design, construction, and operation of sustainable buildings**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15.220-2: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15.575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16.401-1**: instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários – parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16.401-2**: instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários – parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008c.

BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. Orientador: Eduardo Linhares Qualharini. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, Benjamim Ferreira de. BORELLI, Reinaldo. GEDRA, Ricardo Luis. **Eficiência energética**: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos. São Paulo: Erica, 2015. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788536518404> Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/consti/1988/constituicao-1988-5-outubro-1988-322142-publicacaooriginal-1-pl.html> Acesso em: 04 jun. 2020.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Sobre o PROCEL**: edificações. Brasília, DF: PROCEL Info, 2006d. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}> Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Sobre o PROCEL**: o programa. Brasília, DF: PROCEL Info, 2006a. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}> Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **PROCEL Edifica**. Brasília, DF: PROCEL Info, 2006c. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm> Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Selo PROCEL**. Brasília, DF: PROCEL Info, 2006b. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}> Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, DF: EPE, 2020. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf Acesso em: 17 dez. 2020.

CAMPELLO, Glauco. Patrimônio e cidade, cidade e patrimônio. Revista do patrimônio histórico e artístico nacional, [Brasília], n. 23, p. 116-125, 1994.

CARLO, Joyce Correna. Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CAXIAS DO SUL. **Lei complementar nº 589, de 19 de novembro de 2019**. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) do Município de Caxias do Sul. Caxias do Sul: Câmara Municipal, 2019. Disponível em: <https://caxias.rs.gov.br/servicos/planejamento/plano-diretor/lc589> Acesso em: 29 fev. 2020.

CEBALLOS-FUENTEALBA, Irlanda *et al.* A simulation and optimisation methodology for choosing energy efficiency measures in non-residential buildings. **Applied Energy**, Elsevier, v. 256, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113953> Acesso em: 18 jan. 2020.

CIANCIARDI, Glaucus. BRUNA, Gilda Collet. Procedimentos de sustentabilidade ecológicos na restauração dos edifícios citadinos. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v.4, n.1, p. 113-127, 2004.

CIANCIARDI, Glaucus; MONTEIRO, Renata Zambon; BRUNA, Gilda Collet. Parâmetros de sustentabilidade ecológicos na recuperação, manutenção e restauração de edifícios. **Anais..** São Paulo: LARES/FUPAM/Oficina Municipal, 2004.

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE LISBOA E VALE DO TEJO (CCDRLVT). Economia circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa: CCDRLVT, 2018. Disponível em: <http://www.ccdr-lvt.pt/files/2092a2c64e662f02c12e8ed5a660a12c66ae1d37.pdf> Acesso em: 29 set. 2020.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e a promoção de políticas públicas: subsídios para a promoção da construção civil sustentável**. [Brasília]: nov. 2014. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/MMA-Pnuma/Aspectos%20da%20Construcao%20Sustentavel%20no%20Brasil%20e%20Promocao%20de%20Politicass%20Publicas.pdf Acesso em: 14 ago. 2019.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS (CBCS). **Retrofit: requalificação de edifícios e espaços construídos**. São Paulo: CT Projeto, 2013. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/comite-tematico/projetos/CBCS_CTProjeto_Retrofit_folder.pdf Acesso em: 15 nov. 2019

CONSELHO DA EUROPA – Congresso do Patrimônio Arquitetônico Europeu. Declaração de Amsterdã. Outubro de 1975. *In*: IPHAN: Cartas Patrimoniais. Brasília, 2014. Disponível em <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Declaracao%20de%20Amsterda%CC%83%201975.pdf> Acesso em: 04 dez. 2019.

COSTA, Ana Elísia da. **A evolução do edifício industrial em Caxias do Sul: de 1880 a 1950**. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CROITOR, Eduardo Pessoa Nocetti. MELHADO, Sílvio Burrattino. **A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra**. São Paulo: EPUSP, 2009.

DIAS, Ariane Pedrotti de Ávila. **Restauração e requalificação da segunda fábrica da Metalúrgica Abramo Eberle S/A – MAESA**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação e Restauração de Monumentos e Núcleos Históricos) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

DOE. EnergyPlus. *In*: EnergyPlus.net. Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://energyplus.net/> Acesso em: 02 nov. 2019.

DOE. **Input Output Reference**. Washington: *EnergyPlus*, Set 2016.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; ARUP. **Economia circular em cidades: guia do projeto**. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Economia-Circular-em-Cidades-Guia-do-Projeto.pdf> Acesso em: 29 set. 2020.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; MATERIAL ECONOMICS. **Completando a figura: como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas**. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completando-a-figura-Como-a-economia-circular-ajuda-a-enfrentar-as-mudanc%CC%A7as-clima%CC%81ticas.pdf> Acesso em: 29 set. 2020.

GELFAND, Lisa. DUNCAN, Chris. **Sustainable Renovation: strategies for commercial building systems and envelope**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2012.

GIRON, Loraine Slomp. BERGAMASCHI, Heloisa Eberle. **Terra e homens: colônias e colonos no Brasil**. Caxias do Sul: Educs, 2004.

GROAT, Linda N. WANG, David. **Architectural Research Methods**. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2013.

GUEDES, Maria Tarcila Ferreira; MAIO, Luciana Mourão. Bem cultural. *In*: GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). **Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural**. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2016. (verbete). Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural/detalhes/79/bem-cultural> Acesso em: 13 out. 2020.

HENSEN, Jan L.M. LAMBERTS, Roberto. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. New York: Routledge, 2019.

HERNÁNDEZ, Silverio. Introducción al urbanismo sustentable o nuevo urbanismo. **Espacios Públicos**, México, n. 23, p. 298-307, dez. 2008.

ICOMOS – Conselho Internacional de Monumentos e Sítios Escritório. Carta de Veneza. Maio de 1964. In: IPHAN: Cartas Patrimoniais. Brasília, 2014. Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf> Acesso em: 04 dez. 2019.

IEA, International Energy Agency. **Capturing the multiple benefits of energy efficiency**: a guide to quantifying the value added. Paris: OECD/IEA, 2014.

IEA, International Energy Agency. **Market Report Series**: Energy efficiency 2018. International Energy Agency, 2018. Disponível em: <https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2018> Acesso em: 02 nov. 2019.

KEELER, Marian. VAIDYA, Prasad. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2018.

KÜHL, Beatriz Mugayar. Algumas questões relativas ao patrimônio industrial e à sua preservação. **Patrimônio. Revista Eletrônica do IPHAN**, São Paulo, n. 4, 2006. Disponível em:
http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/algumas_questoes_relativas_ao_patrimonio.pdf Acesso em: 29 maio 2020.

KÜHL, Beatriz Mugayar. Patrimônio industrial: algumas questões em aberto. **Arq.urb**, São Paulo, n. 3, p. 23-230, 2010. Disponível em:
http://www.usjt.br/arq.urb/numero_03/3arqurb3-beatriz.pdf Acesso em: 29 maio 2020.

LAMBERTS, Roberto. DUTRA, Luciano. PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014. 3. E-book. Disponível em: <http://www.Labeee.ufsc.br/publicacoes/livros> Acesso em: 12 ago. 2019.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, 2007. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/317886741_SUSTENTABILIDADE_NAS_EDIFICACOES_CONTEXTO_INTERNACIONAL_E_ALGUMAS_REFERENCIAS_BRASILEIRAS_NA_AREA Acesso em: 14 ago. 2019.

LESSA, Ana Lara Barbosa. Dificuldades de reconhecimento de conjuntos industriais do século XX como patrimônio: um estudo de caso. In: 11º SEMINÁRIO NACIONAL DO DOCOMOMO BRASIL. **Anais [...]** Recife: DOCOMOMO_BR, 2016. p. 1-12.

MARQUES DE JESUS, Christiano Romanholo. **Análise de custos para reabilitação de edifícios para habitação**. Orientador: Mercia Maria S. Bottura de Barros. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MAZZAFERRO, Leonardo. **Análise das recomendações da ASHRAE STARNDARD 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MEIRA, Ana Lúcia Goelzer. **O patrimônio histórico e artístico nacional no Rio Grande do Sul no século XX: atribuição de valores e critérios de intervenção**. Orientadora: Sandra Jatahy Pesavento. 2008. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MELLO E SILVA, Leonardo. Patrimônio industrial: passado e presente. **Patrimônio. Revista Eletrônica do IPHAN**, São Paulo, 2012. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/patrimonio_industrial_passado_e_presente.pdf Acesso em: 03 jun. 2020.

MELO, Ana Paula. LAMBERTS, Roberto. Envelope insulation and heat balance in commercial buildings. **Eleventh International IBPSA Conference**, Glasgow, Scotland, p. 2243-2250, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255616921_Envelope_insulation_and_heat_balance_in_commercial_buildings Acesso em: 15 mai. 2021.

MENDES, Nathan *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657> Acesso em: 05 nov. 2019.

MENDONÇA, Adalton da Motta. Vazios e ruínas industriais: ensaios sobre friches urbanas. **Arquitextos**, São Paulo, v. 2, 2001. Disponível em: <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.014/869> Acesso em: 03 jun. 2020.

MENESES, Ulpiano Toledo Bezerra de. O campo do patrimônio cultural: uma revisão de premissas. **I Fórum Nacional do Patrimônio Cultural: Sistema Nacional de Patrimônio Cultural: desafios, estratégias e experiências para uma nova gestão**. Ouro Preto/MG, 2009. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Anais2_vol1_ForumPatrimonio_m.pdf Acesso em: 23 set. 2020.

MESQUITA, Zandor. PIEROTTE, Otávio. O patrimônio industrial como elemento da paisagem cultural e a paisagem cultural conformando o patrimônio industrial: uma relação conceitual. *Geosul*, Florianópolis, v. 33, n. 69, p. 66-87, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n69p66> Acesso em: 04 dez. 2019.

MOREIRA, José Roberto Simões, Organizador. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2017. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521633785> Acesso em: 17 nov. 2019.

MOTA, Carla; QUALHARINI, Eduardo Linhares. Diretrizes para a sustentabilidade em obras de reabilitação e reforma. **Gestão e Gerenciamento**, Rio de Janeiro, v. 1,

n. 8, p. 19-25, abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/nppg-gestaoegerenciamento-2447-1291-10> Acesso em: 16 nov. 2019.

MOURA, Ana Carolina. KOEHNTOPP, Paulo Ivo. Memórias e apagamentos: quem decide sobre o patrimônio no contexto urbano. **Confluência Culturais**, Joinville, v.7, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21726/rccult.v7i0.573> Acesso em: 25 fev. 2020.

MUNARIM, Ulisses. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado**: análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NGUYEN, Anh-Tuan *et al.* A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. **Applied Energy**, Holanda, n. 113, p. 1043-1058, jan. 2014.

OLENDER, Marcos. O afetivo efetivo: sobre afetos, movimentos sociais e preservação do patrimônio. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, Brasília, n. 35, p. 321-341, 2017.

ORDENES, Martín *et al.* **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1**. Relatório interno. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PATTERSON, Murray G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy and Buildings**, Grã-Bretanha, v. 24, n. 5, p. 377-390, 1996.

POMPERMAYER, Máximo Luiz. FURTADO, André Tosi. A crise energética dos anos setenta e suas repercussões a economia dos países industrializados. **Centro de Documentação em Política Científica e Tecnológica DPCT/IG/UNICAMP**, Campinas, 1998.

PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-C**: Comercial, de Serviço e Público. Brasília: PBE Edifica, Abril 2017. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2BCapa.pdf Acesso em: 03 abr. 2021.

QUALHARINI, Eduardo Linhares. OSCAR, Luiz Henrique Costa. SILVA, Maiane Ramos da. Rehabilitation of buildings as an alternative to sustainability in Brazilian constructions. **De Gruyter**, Berlim, v. 9, n.1, p. 139-143, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0017>. Acesso em: 15 nov. 2019.

REGNIER, Cynthia *et al.* Quantifying the benefits of a building retrofit using an integrated system approach: a case study. **Energy and Buildings**, Holanda, n. 159, p. 332-345, jan. 2018.

REINHART, Christoph. **L02 Energy Use in Buildings**. 2018. Apresentação de Power Point. Disponível em: https://ocw.mit.edu/courses/architecture/4-401-environmental-technologies-in-buildings-fall-2018/lecture-slides-1/MIT4_401F18_lec2.pdf Acesso em: 26 jun. 2020.

SARTORI, Thais Gonçalves. **Medidas de retrofit em edifícios típicos de um bairro: desempenho e avaliação do ciclo de vida energético**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

SERAFIN, Raquel May. **Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do retrofit no edifício sede da Eletrosul**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SERRA, Rafael Frederico da Luz. **Regeneração urbana de um território pós-industrial: articulação entre o rio e a cidade de Almada**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.

SILVA, Arthur Santos. ALMEIDA, Laiane Susan Silva. GHISI, Enedir. Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 289-303, jan./mar. 2017.

TICCIH - The International Committee for the Conservation of Industrial Heritage. Carta de Nizhny Tagil. Julho de 2003. **Oculum Ensaios**, Campinas, n. 3, p. 132-137, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3517/351732195011.pdf> Acesso em: 29 maio 2020.

VARGAS, Heliana Comin. CASTILHO, Ana Luisa Howard de. **Intervenções em centros urbanos: objetivos, estratégias e resultados**. São Paulo: Manole, 2015. 3. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520442852/cfi/0!/4/2@100:0.0> Acesso em: 16 ago. 2019.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. São Paulo: Abividro, 2016. Disponível em: https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro_Manual_Tecnico-do-Vidro_Plano_Edificacoes.pdf Acesso em: 12 mai 2021.

YI, Hwang. SRINIVASAN, Ravi S. BRAHAM, William W. An integrated energy-emergy approach to building form optimization: use of EnergyPlus, emergy analysis and Taguchi-regression method. **Building and Environment**, Elsevier, v. 89, p. 89-104, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.013> Acesso em: 18 jan. 2020.

APÊNDICE A – RESUMO DOS DADOS DO OBJETO DE ESTUDO

| Resumo dos Dados do Objeto de Estudo | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Área Total da Edificação | 872,09m ² |
| Área Climatizada | 534,92m ² |
| Volume Total da Edificação | 2690,65m ³ |
| Volume Climatizado | 2004,33m ³ |
| Área Total de Parede | 828,31m ² |
| Área de Parede - Fachada Norte | 295,39m ² |
| Área de Parede - Fachada Sul | 286,14m ² |
| Área de Parede - Fachada Leste | 120,65m ² |
| Área de Parede - Fachada Oeste | 126,12m ² |
| Área Total de Aberturas | 116,45m ² |
| Área de Aberturas - Fachada Norte | 49,62m ² |
| Área de Aberturas - Fachada Sul | 42,02m ² |
| Área de Aberturas - Fachada Leste | 24,81m ² |
| Área de Aberturas - Fachada Oeste | 0,00m ² |
| Área da Cobertura | 239,31m ² |

APÊNDICE B – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA BASE

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|-----------|---|---|---|----------|
| A | Janeiro | 2937,89 | 2069,19 | 2128,52 | 7135,6 |
| A | Fevereiro | 2567,13 | 1883,67 | 1930,23 | 6381,03 |
| A | Março | 2640,54 | 2144,22 | 2167,17 | 6951,93 |
| A | Abril | 1234,87 | 1920,34 | 2017,89 | 5173,1 |
| A | Maio | 474,3 | 2144,22 | 2167,17 | 4785,69 |
| A | Junho | 633,74 | 2057,37 | 2088,19 | 4779,3 |
| A | Julho | 374,01 | 2007,19 | 2096,87 | 4478,07 |
| A | Agosto | 413,84 | 2144,22 | 2167,17 | 4725,23 |
| A | Setembro | 483,39 | 1995,37 | 2056,54 | 4535,3 |
| A | Outubro | 921,1 | 2069,19 | 2128,52 | 5118,81 |
| A | Novembro | 1875,01 | 2057,37 | 2088,19 | 6020,57 |
| A | Dezembro | 2508,82 | 2007,19 | 2096,87 | 6612,88 |
| Consumo Anual [kWh] | | 17064,64 | 24499,54 | 25133,33 | 66697,51 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 76,48 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE C – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 01

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|-----------|---|---|---|----------|
| A | Janeiro | 2793,6 | 2069,19 | 2128,52 | 6991,31 |
| A | Fevereiro | 2401,35 | 1883,67 | 1930,23 | 6215,25 |
| A | Março | 2434 | 2144,22 | 2167,17 | 6745,39 |
| A | Abril | 1134,28 | 1920,34 | 2017,89 | 5072,51 |
| A | Maio | 422,22 | 2144,22 | 2167,17 | 4733,61 |
| A | Junho | 549,99 | 2057,37 | 2088,19 | 4695,55 |
| A | Julho | 334,34 | 2007,19 | 2096,87 | 4438,4 |
| A | Agosto | 379,99 | 2144,22 | 2167,17 | 4691,38 |
| A | Setembro | 411,93 | 1995,37 | 2056,54 | 4463,84 |
| A | Outubro | 873,81 | 2069,19 | 2128,52 | 5071,52 |
| A | Novembro | 1771,88 | 2057,37 | 2088,19 | 5917,44 |
| A | Dezembro | 2386,83 | 2007,19 | 2096,87 | 6490,89 |
| Consumo Anual [kWh] | | 15894,22 | 24499,54 | 25133,33 | 65527,09 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 75,14 kWh/m ² | | | | | |
| B | Janeiro | 2828,64 | 2069,19 | 2128,52 | 7026,35 |
| B | Fevereiro | 2459,43 | 1883,67 | 1930,23 | 6273,33 |
| B | Março | 2483,66 | 2144,22 | 2167,17 | 6795,05 |
| B | Abril | 1136,3 | 1920,34 | 2017,89 | 5074,53 |
| B | Maio | 441,07 | 2144,22 | 2167,17 | 4752,46 |
| B | Junho | 633 | 2057,37 | 2088,19 | 4778,56 |
| B | Julho | 344,22 | 2007,19 | 2096,87 | 4448,28 |
| B | Agosto | 391,24 | 2144,22 | 2167,17 | 4702,63 |
| B | Setembro | 457,08 | 1995,37 | 2056,54 | 4508,99 |
| B | Outubro | 864,43 | 2069,19 | 2128,52 | 5062,14 |
| B | Novembro | 1789,4 | 2057,37 | 2088,19 | 5934,96 |
| B | Dezembro | 2407,12 | 2007,19 | 2096,87 | 6511,18 |
| Consumo Anual [kWh] | | 16235,59 | 24499,54 | 25133,33 | 65868,46 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 75,53 kWh/m ² | | | | | |
| C | Janeiro | 2637,9 | 2069,19 | 2128,52 | 6835,61 |
| C | Fevereiro | 2254,05 | 1883,67 | 1930,23 | 6067,95 |
| C | Março | 2261,56 | 2144,22 | 2167,17 | 6572,95 |
| C | Abril | 1034,25 | 1920,34 | 2017,89 | 4972,48 |
| C | Maio | 389,19 | 2144,22 | 2167,17 | 4700,58 |
| C | Junho | 589,38 | 2057,37 | 2088,19 | 4734,94 |
| C | Julho | 306,49 | 2007,19 | 2096,87 | 4410,55 |
| C | Agosto | 343,59 | 2144,22 | 2167,17 | 4654,98 |
| C | Setembro | 386,95 | 1995,37 | 2056,54 | 4438,86 |
| C | Outubro | 779,8 | 2069,19 | 2128,52 | 4977,51 |
| C | Novembro | 1643,56 | 2057,37 | 2088,19 | 5789,12 |
| C | Dezembro | 2243,8 | 2007,19 | 2096,87 | 6347,86 |
| Consumo Anual [kWh] | | 14870,52 | 24499,54 | 25133,33 | 64503,39 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 73,96 kWh/m ² | | | | | |
| D | Janeiro | 2612,46 | 2069,19 | 2128,52 | 6810,17 |
| D | Fevereiro | 2231,22 | 1883,67 | 1930,23 | 6045,12 |
| D | Março | 2240,38 | 2144,22 | 2167,17 | 6551,77 |
| D | Abril | 1018,63 | 1920,34 | 2017,89 | 4956,86 |
| D | Maio | 385,35 | 2144,22 | 2167,17 | 4696,74 |
| D | Junho | 601,37 | 2057,37 | 2088,19 | 4746,93 |
| D | Julho | 302,6 | 2007,19 | 2096,87 | 4406,66 |
| D | Agosto | 339,29 | 2144,22 | 2167,17 | 4650,68 |
| D | Setembro | 386,74 | 1995,37 | 2056,54 | 4438,65 |
| D | Outubro | 764,16 | 2069,19 | 2128,52 | 4961,87 |
| D | Novembro | 1622,7 | 2057,37 | 2088,19 | 5768,26 |
| D | Dezembro | 2219,99 | 2007,19 | 2096,87 | 6324,05 |
| Consumo Anual [kWh] | | 14724,89 | 24499,54 | 25133,33 | 64357,76 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 73,80 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE D – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|-----------|---|---|---|----------|
| A | Janeiro | 2587,11 | 2069,19 | 2128,52 | 6784,82 |
| A | Fevereiro | 2233,22 | 1883,67 | 1930,23 | 6047,12 |
| A | Março | 2324,66 | 2144,22 | 2167,17 | 6636,05 |
| A | Abril | 1103,52 | 1920,34 | 2017,89 | 5041,75 |
| A | Maiο | 409,69 | 2144,22 | 2167,17 | 4721,08 |
| A | Junho | 494,81 | 2057,37 | 2088,19 | 4640,37 |
| A | Julho | 327,96 | 2007,19 | 2096,87 | 4432,02 |
| A | Agosto | 355,41 | 2144,22 | 2167,17 | 4666,8 |
| A | Setembro | 359,73 | 1995,37 | 2056,54 | 4411,64 |
| A | Outubro | 812,99 | 2069,19 | 2128,52 | 5010,7 |
| A | Novembro | 1605,91 | 2057,37 | 2088,19 | 5751,47 |
| A | Dezembro | 2169,83 | 2007,19 | 2096,87 | 6273,89 |
| Consumo Anual [kWh] | | 14784,84 | 24499,54 | 25133,33 | 64417,71 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 73,86 kWh/m ² | | | | | |
| B | Janeiro | 2626,3 | 2069,19 | 2128,52 | 6824,01 |
| B | Fevereiro | 2292,03 | 1883,67 | 1930,23 | 6105,93 |
| B | Março | 2372,51 | 2144,22 | 2167,17 | 6683,9 |
| B | Abril | 1103,16 | 1920,34 | 2017,89 | 5041,39 |
| B | Maiο | 422,71 | 2144,22 | 2167,17 | 4734,1 |
| B | Junho | 577,2 | 2057,37 | 2088,19 | 4722,76 |
| B | Julho | 331,96 | 2007,19 | 2096,87 | 4436,02 |
| B | Agosto | 361,65 | 2144,22 | 2167,17 | 4673,04 |
| B | Setembro | 401,58 | 1995,37 | 2056,54 | 4453,49 |
| B | Outubro | 798,89 | 2069,19 | 2128,52 | 4996,6 |
| B | Novembro | 1623,4 | 2057,37 | 2088,19 | 5768,96 |
| B | Dezembro | 2192,95 | 2007,19 | 2096,87 | 6297,01 |
| Consumo Anual [kWh] | | 15104,34 | 24499,54 | 25133,33 | 64737,21 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 74,23 kWh/m ² | | | | | |
| C | Janeiro | 2426,98 | 2069,19 | 2128,52 | 6624,69 |
| C | Fevereiro | 2081,37 | 1883,67 | 1930,23 | 5895,27 |
| C | Março | 2147,85 | 2144,22 | 2167,17 | 6459,24 |
| C | Abril | 1000,39 | 1920,34 | 2017,89 | 4938,62 |
| C | Maiο | 373,54 | 2144,22 | 2167,17 | 4684,93 |
| C | Junho | 531,35 | 2057,37 | 2088,19 | 4676,91 |
| C | Julho | 295,03 | 2007,19 | 2096,87 | 4399,09 |
| C | Agosto | 315,83 | 2144,22 | 2167,17 | 4627,22 |
| C | Setembro | 334,43 | 1995,37 | 2056,54 | 4386,34 |
| C | Outubro | 715,84 | 2069,19 | 2128,52 | 4913,55 |
| C | Novembro | 1472,09 | 2057,37 | 2088,19 | 5617,65 |
| C | Dezembro | 2020,97 | 2007,19 | 2096,87 | 6125,03 |
| Consumo Anual [kWh] | | 13715,67 | 24499,54 | 25133,33 | 63348,54 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 72,64 kWh/m ² | | | | | |
| D | Janeiro | 2401,69 | 2069,19 | 2128,52 | 6599,4 |
| D | Fevereiro | 2057,58 | 1883,67 | 1930,23 | 5871,48 |
| D | Março | 2123,66 | 2144,22 | 2167,17 | 6435,05 |
| D | Abril | 985,03 | 1920,34 | 2017,89 | 4923,26 |
| D | Maiο | 368,61 | 2144,22 | 2167,17 | 4680 |
| D | Junho | 543,06 | 2057,37 | 2088,19 | 4688,62 |
| D | Julho | 289,89 | 2007,19 | 2096,87 | 4393,95 |
| D | Agosto | 311,04 | 2144,22 | 2167,17 | 4622,43 |
| D | Setembro | 334,35 | 1995,37 | 2056,54 | 4386,26 |
| D | Outubro | 699,49 | 2069,19 | 2128,52 | 4897,2 |
| D | Novembro | 1450,18 | 2057,37 | 2088,19 | 5595,74 |
| D | Dezembro | 1997,17 | 2007,19 | 2096,87 | 6101,23 |
| Consumo Anual [kWh] | | 13561,75 | 24499,54 | 25133,33 | 63194,62 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 72,46 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE E – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 03

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|-----------|---|---|---|----------|
| A | Janeiro | 2748,38 | 2069,19 | 2128,52 | 6946,09 |
| A | Fevereiro | 2372,72 | 1883,67 | 1930,23 | 6186,62 |
| A | Março | 2501,38 | 2144,22 | 2167,17 | 6812,77 |
| A | Abril | 1338,08 | 1920,34 | 2017,89 | 5276,31 |
| A | Mai | 645,29 | 2144,22 | 2167,17 | 4956,68 |
| A | Junho | 344,44 | 2057,37 | 2088,19 | 4490 |
| A | Julho | 548,91 | 2007,19 | 2096,87 | 4652,97 |
| A | Agosto | 606,64 | 2144,22 | 2167,17 | 4918,03 |
| A | Setembro | 510,38 | 1995,37 | 2056,54 | 4562,29 |
| A | Outubro | 1146,81 | 2069,19 | 2128,52 | 5344,52 |
| A | Novembro | 1848,58 | 2057,37 | 2088,19 | 5994,14 |
| A | Dezembro | 2376,25 | 2007,19 | 2096,87 | 6480,31 |
| Consumo Anual [kWh] | | 16987,86 | 24499,54 | 25133,33 | 66620,73 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 76,39 kWh/m ² | | | | | |
| B | Janeiro | 2772,12 | 2069,19 | 2128,52 | 6969,83 |
| B | Fevereiro | 2417,13 | 1883,67 | 1930,23 | 6231,03 |
| B | Março | 2530,01 | 2144,22 | 2167,17 | 6841,4 |
| B | Abril | 1298,72 | 1920,34 | 2017,89 | 5236,95 |
| B | Mai | 573,29 | 2144,22 | 2167,17 | 4884,68 |
| B | Junho | 363,33 | 2057,37 | 2088,19 | 4508,89 |
| B | Julho | 482,17 | 2007,19 | 2096,87 | 4586,23 |
| B | Agosto | 548,88 | 2144,22 | 2167,17 | 4860,27 |
| B | Setembro | 480,86 | 1995,37 | 2056,54 | 4532,77 |
| B | Outubro | 1092,03 | 2069,19 | 2128,52 | 5289,74 |
| B | Novembro | 1838,61 | 2057,37 | 2088,19 | 5984,17 |
| B | Dezembro | 2371,22 | 2007,19 | 2096,87 | 6475,28 |
| Consumo Anual [kWh] | | 16768,37 | 24499,54 | 25133,33 | 66401,24 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 76,14 kWh/m ² | | | | | |
| C | Janeiro | 2548,69 | 2069,19 | 2128,52 | 6746,4 |
| C | Fevereiro | 2179,57 | 1883,67 | 1930,23 | 5993,47 |
| C | Março | 2278,61 | 2144,22 | 2167,17 | 6590 |
| C | Abril | 1198,42 | 1920,34 | 2017,89 | 5136,65 |
| C | Mai | 553,75 | 2144,22 | 2167,17 | 4865,14 |
| C | Junho | 335,76 | 2057,37 | 2088,19 | 4481,32 |
| C | Julho | 475,91 | 2007,19 | 2096,87 | 4579,97 |
| C | Agosto | 517,39 | 2144,22 | 2167,17 | 4828,78 |
| C | Setembro | 411,56 | 1995,37 | 2056,54 | 4463,47 |
| C | Outubro | 1018,87 | 2069,19 | 2128,52 | 5216,58 |
| C | Novembro | 1679,49 | 2057,37 | 2088,19 | 5825,05 |
| C | Dezembro | 2189,07 | 2007,19 | 2096,87 | 6293,13 |
| Consumo Anual [kWh] | | 15387,09 | 24499,54 | 25133,33 | 65019,96 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 74,56 kWh/m ² | | | | | |
| D | Janeiro | 2512,83 | 2069,19 | 2128,52 | 6710,54 |
| D | Fevereiro | 2153,52 | 1883,67 | 1930,23 | 5967,42 |
| D | Março | 2244,08 | 2144,22 | 2167,17 | 6555,47 |
| D | Abril | 1174,71 | 1920,34 | 2017,89 | 5112,94 |
| D | Mai | 533,69 | 2144,22 | 2167,17 | 4845,08 |
| D | Junho | 336,14 | 2057,37 | 2088,19 | 4481,7 |
| D | Julho | 458,92 | 2007,19 | 2096,87 | 4562,98 |
| D | Agosto | 499,34 | 2144,22 | 2167,17 | 4810,73 |
| D | Setembro | 395,84 | 1995,37 | 2056,54 | 4447,75 |
| D | Outubro | 995,04 | 2069,19 | 2128,52 | 5192,75 |
| D | Novembro | 1648,18 | 2057,37 | 2088,19 | 5793,74 |
| D | Dezembro | 2154,9 | 2007,19 | 2096,87 | 6258,96 |
| Consumo Anual [kWh] | | 15107,19 | 24499,54 | 25133,33 | 64740,06 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 74,23 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE F – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02 COM VENTILAÇÃO NATURAL

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|-----------|---|---|---|----------|
| C | Janeiro | 1948,12 | 2069,19 | 2128,52 | 6145,83 |
| C | Fevereiro | 1743,24 | 1883,67 | 1930,23 | 5557,14 |
| C | Março | 1397,84 | 2144,22 | 2167,17 | 5709,23 |
| C | Abril | 746,54 | 1920,34 | 2017,89 | 4684,77 |
| C | Maiο | 302,71 | 2144,22 | 2167,17 | 4614,1 |
| C | Junho | 526,21 | 2057,37 | 2088,19 | 4671,77 |
| C | Julho | 198,03 | 2007,19 | 2096,87 | 4302,09 |
| C | Agosto | 219,86 | 2144,22 | 2167,17 | 4531,25 |
| C | Setembro | 258,37 | 1995,37 | 2056,54 | 4310,28 |
| C | Outubro | 291,57 | 2069,19 | 2128,52 | 4489,28 |
| C | Novembro | 995,36 | 2057,37 | 2088,19 | 5140,92 |
| C | Dezembro | 1521,44 | 2007,19 | 2096,87 | 5625,5 |
| Consumo Anual [kWh] | | 10149,29 | 24499,54 | 25133,33 | 59782,16 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 68,55 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE G – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 02 COM CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

| Vidro | Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|---------------------|---|---|---|----------|
| C | Janeiro | 2275,41 | 1660,76 | 2128,52 | 6064,69 |
| C | Fevereiro | 1924,07 | 1478,06 | 1930,23 | 5332,36 |
| C | Março | 1965,01 | 1662,82 | 2167,17 | 5795 |
| C | Abril | 870,57 | 1564,81 | 2017,89 | 4453,27 |
| C | Maiο | 330,03 | 1795,61 | 2167,17 | 4292,81 |
| C | Junho | 571,75 | 1841,76 | 2088,19 | 4501,7 |
| C | Julho | 242,28 | 1712,51 | 2096,87 | 4051,66 |
| C | Agosto | 265,44 | 1795,87 | 2167,17 | 4228,48 |
| C | Setembro | 317,9 | 1653,13 | 2056,54 | 4027,57 |
| C | Outubro | 596,24 | 1720,67 | 2128,52 | 4445,43 |
| C | Novembro | 1325,74 | 1665,41 | 2088,19 | 5079,34 |
| C | Dezembro | 1868,81 | 1596,48 | 2096,87 | 5562,16 |
| | Consumo Anual [kWh] | 12553,25 | 20147,89 | 25133,33 | 57834,47 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 66,32 kWh/m ² | | | | | |

APÊNDICE H – RESUMO DA SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA FINAL

| Mês | Consumo de Energia Elétrica Climatização [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Iluminação [kWh] | Consumo de Energia Elétrica Equipamentos [kWh] | Total |
|--|---|---|---|----------|
| Janeiro | 1810,17 | 1660,76 | 2128,52 | 5599,45 |
| Fevereiro | 1587,64 | 1478,06 | 1930,23 | 4995,93 |
| Março | 1244 | 1662,82 | 2167,17 | 5073,99 |
| Abril | 615,5 | 1564,81 | 2017,89 | 4198,2 |
| Mai | 272,56 | 1795,61 | 2167,17 | 4235,34 |
| Junho | 569,07 | 1841,76 | 2088,19 | 4499,02 |
| Julho | 171,83 | 1712,51 | 2096,87 | 3981,21 |
| Agosto | 190,28 | 1795,87 | 2167,17 | 4153,32 |
| Setembro | 260,58 | 1653,13 | 2056,54 | 3970,25 |
| Outubro | 224,19 | 1720,67 | 2128,52 | 4073,38 |
| Novembro | 879,74 | 1665,41 | 2088,19 | 4633,34 |
| Dezembro | 1384,6 | 1596,48 | 2096,87 | 5077,95 |
| Consumo Anual [kWh] | 9210,16 | 20147,89 | 25133,33 | 54491,38 |
| Consumo de Energia por m ² da Edificação = 62,48 kWh/m ² | | | | |