XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ESTUDO PILOTO SOBRE APLICAÇÃO DA NORMATIVA ENERPHIT EM UM EDIFÍCIO HISTÓRICO DE PELOTAS, RS

Amanda Rosa de Carvalho (1); Lisandra Fachinello Krebs (2); Eduardo Grala da Cunha (3); Ana Lucia Costa de Oliveira (4); Antônio César Silveira Baptista da Silva (5)

(1) Mestranda, Arquiteta e Urbanista, amandarosadc@gmail.com*
(2) Doutora, Arquiteta e Urbanista, liskrebs@gmail.com*
(3) Doutor, Arquiteto e Urbanista, eduardogralacunha@yahoo.com*
(4) Doutora, Arquiteta e Urbanista, lucostoli@gmail.com*
(5) Doutor, Arquiteto e Urbanista, antoniocesar.sbs@gmail.com*
*Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamim Constant 1359, Pelotas, CEP 96010-020, (53) 3284-5500

RESUMO

As preocupações em torno das mudanças climáticas e a expectativa do aumento do consumo energético, segundo a Diretiva 20-20, contribuem para o desenvolvimento de pesquisas que visam a eficiência energética das edificações. Em termos globais, a *EnerPHit* é uma certificação que tem crescido nos últimos anos no contexto Europeu, por contribuir para a redução na demanda de energia nas edificações históricas reabilitadas. Neste cenário, essa pesquisa tem como objetivo verificar a viabilidade de aplicação da *EnerPHit* em um edifício histórico na cidade de Pelotas, RS. Como primeira etapa da investigação, a revisão da literatura coletou informações sobre a *EnerPHit* e as legislações de conservação do patrimônio edificado histórico. Na etapa posterior, através de simulação computacional, o edifício utilizado como objeto de análise foi modelado como modelo-base, seguido por modelos com melhorias, até alcançar o padrão de eficiência energética da *EnerPHit.* Em seguida, os resultados das simulações foram analisados para averiguar o comportamento termoenergético da edificação e os impactos destas modificações no envelope do edifício. Ao final, o edifício apresentou 19kWh/m².ano na demanda de aquecimento, 33kWh/m².ano no consumo de energia primária e 5% no desconforto por frio, estando dentro dos critérios máximos permitidos pela *EnerPHit*. Além disso, as modificações realizadas, concentradas na inclusão de estratégias passivas e sistemas de climatização eficiente, não alteraram as características arquitetônicas do edifício, seguindo os princípios da preservação do patrimônio histórico. Todavia, a pesquisa encontrar-se ainda em uma fase inicial, sendo necessário um número maior de estudos para confirmar a hipótese.
Palavras-chave: Eficiência energética, *EnerPHit*, edifício histórico.

ABSTRACT

Concerns about climate change and the expectation of increased energy consumption, according to Directive 20-20, contribute to the development of research aimed at the energy efficiency of buildings. In overall terms, EnerPHit is a certification that has grown in recent years in the European context, contributing to the reduction in energy demand in historic buildings. In this scenario, this research aims to verify the feasibility of applying EnerPHit in a historic building in the city of Pelotas, RS. As a first stage of the investigation, the literature review collected information about EnerPHit and the conservation legislation of historical built heritage. In the later stage, through computational simulation, the building used as the object of analysis was modeled as a base model, followed by models with improvements, until reaching the energy efficiency standard of EnerPHit. Then, the results of the simulations were analyzed to ascertain the thermal and energy behavior of the building and the impacts of these modifications on the building envelope. At the end, the building had 19kWh/m².year in the heating demand, 33kWh/m².year in the primary energy consumption and 5% in the cold discomfort, being within the maximum criteria allowed by EnerPHit. In addition, the modifications made, focusing on the inclusion of passive strategies and efficient climate systems, did not change the architectural characteristics of the building, following the principles of preservation of historical

heritage. However, the research is still at an early stage, and a larger number of studies are needed to confirm the hypothesis.
Keywords: Energy efficiency, *EnerPHit*, historic building.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) (2018), em 2016 houve um aumento de 309% no consumo mundial de energia[1], se comparado a 1971. A Figura 1 ilustra esse aumento progressivo da demanda de energia juntamente com a contribuição dos edifícios, a qual atingiu 49,3% em 2016. O aumento no consumo de energia gera mais emissão de CO_2 uma vez que, atualmente, a maior parte da matriz energética mundial ainda é proveniente de fontes não renováveis e poluentes, como o petróleo e o carvão. Só os edifícios são responsáveis por 27% da produção total de CO_2 na atmosfera (IEA, 2018). Esse cenário mostra a importância de diminuir o consumo de energia dos edifícios.

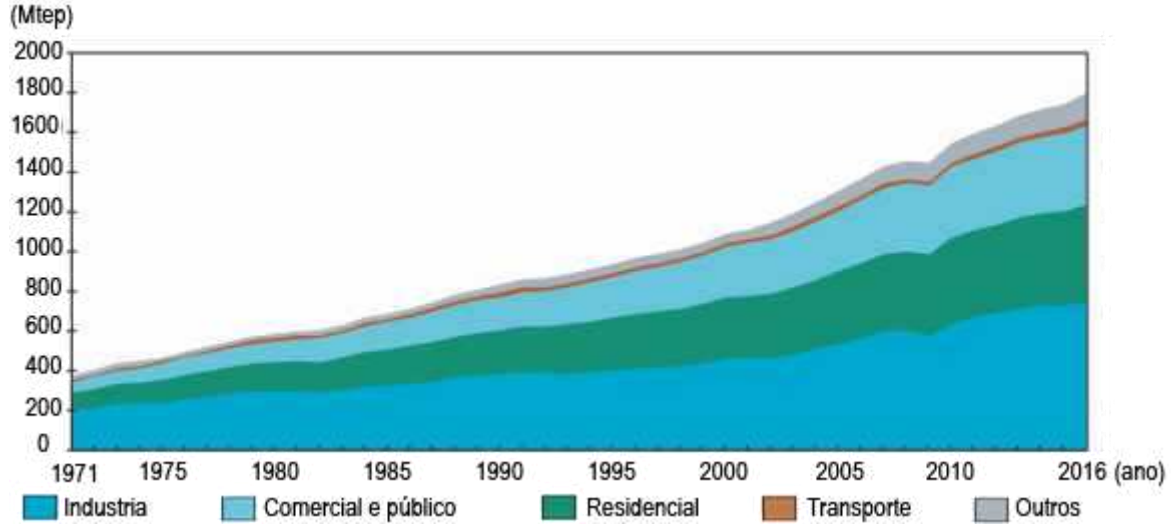


Figura 1 – Consumo total de eletricidade por setor entre 1971 à 2016 (Mtep), (IEA, 2018)

Em 2010, países da União Europeia criaram a Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD, 2010), também conhecida por Diretiva 20-20. Esta Diretiva estabeleceu metas para reduzir pelo menos 20% dos gases com efeito estufa até 2020, em relação aos níveis de 1990, e para promover 20% da matriz energética dos países com fontes renováveis. Estabeleceu, ainda, que em 2018 todos os edifícios públicos novos fossem com demandas quase nulas de energia, e até 2020 o mesmo seja exigido de todos os edifícios novos.

Uma maneira de comprovar se os edifícios alcançam as metas da Diretiva 20-20 é através da certificação de desempenho energético. A certificação promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios tendo em conta as condições climáticas externas, o conforto térmico interno, o consumo de energia e o retorno do investimento financeiro realizado. Além disso, serve como mecanismo de comprovação dos gastos energéticos do edifício de acordo com sua envolvente, sistema climatização artificial, iluminação artificial e equipamentos elétricos.

Em termos internacionais, a certificação alemã de desempenho energético *Passive House* oferece um conjunto claro de métodos e critérios mínimos para promover o conforto térmico dos edifícios com baixa demanda de energia, através de estratégias passivas e ativas. Segundo o *Passive House Institute* (PHI) (2006), a *Passive House* promove um edifício com melhor estanqueidade, evitando danos estruturais causados pela entrada de ar úmido e evitando perdas ou ganhos térmicos proveniente da infiltração de ar. Também afirma a importância de instalar um Sistema de Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor (MVHR) para manter a temperatura do ar interno a 20ºC sem grandes gastos energéticos, promovendo qualidade ao ar interno, através da renovação de ar controlada. O *PHI* (2018) estabelece os seguintes critérios mínimos para essa certificação: a demanda anual de aquecimento não pode ultrapassar 15 kWh/m².ano; o sobreaquecimento não pode ultrapassar 10% das horas do ano, sendo considerado

[1]Entre os anos de 1971 e 2016, houve um aumento de 439 Mtep para 1794 Mtep no consumo de energia elétrica mundial, segundo IEA (2018).

sobreaquecimento temperaturas superiores a 25ºC; o consumo de energia primária anual não pode ultrapassar 120 kWh/m².ano; e é necessário ter uma estanqueidade que garante 0,6 renovações de ar por hora.

Segundo o *PHI* (2016), somente modernizando o edifício com componentes da *Passive House* já é possível reduzir em até 90% a demanda por aquecimento em clima frios e, em climas quentes, é possível diminuir entre 50% e 80% a demanda por refrigeração. Usar componentes *Passive House* no Sul do Brasil (Zonas Bioclimáticas Brasileiras 1, 2 e 3), no entanto, não é garantia de que um edifício existente alcance todos os critérios mínimos para a certificação, pois o mesmo pode apresentar limitações. Dentre estas limitações destacam-se:

- presença de pontes térmicas residuais, podendo resultar em uma demanda de energia maior devido às perdas térmicas recorrentes nessas regiões;
- áreas dos compartimentos já estabelecidas, limitando o espaço para a implementação de isolamentos térmicos com espessuras adequadas;
- limitação na configuração das superfícies transparentes, podendo gerar problemas relacionados a radiação solar;
- gastos elevados com reformas ou adaptações de novos sistemas ao edifício;
- possibilidade do edifício ser considerado histórico, limitando as modificações estruturais e na envoltória devido às legislações de preservação do patrimônio histórico.

Em 2010 a normativa *EnerPHit* é criada para a modernização de edifícios existentes com componentes *Passive House,* através de critérios mais flexíveis e relevantes para componentes de construção individuais (como janelas, paredes, coberturas e sistema de ventilação). A normativa serve como diretriz para um padrão de proteção térmica a qualquer edifício, pois além de possuir uma tabela com critérios relativos à localização do edifício no globo, também pode ser aplicada a edifícios de qualquer categoria, sendo ou não residenciais. Os critérios mínimos para alcançar a normativa *EnerPHit* são: demanda anual de aquecimento não deve ultrapassar 25 kWh/m².ano, e renovação de ar poder ser entre 0,6 e 1,0 trocas por hora (Passive House Institute, 2013). Outros critérios, como consumo de energia primária de 120kWh/m².ano, e 10% de sobreaquecimento, continuam os mesmos da *Passive House.*

O estudo de Rodrigues *et al.* (2015) explora a modernização de um edifício histórico em Portugal usando os critérios *EnerPHit,* mantendo ao máximo a originalidade do edifício e melhorando seu desempenho termoenergético. Já em climas mais frios, Leardini et al. (2015) realizaram um estudo piloto para verificar a viabilidade da modernização do desempenho energético em edifício histórico na Nova Zelândia, usando a *EnerPHit* como um dos pacotes de modificação. Todavia, a modernização não foi economicamente viável. Na continuação do mesmo estudo, Leardini e Manfredini (2015) afirmam que, em climas parecidos com a Nova Zelândia, apenas o investimento financeiro nos equipamentos *Passive House* e a economia de energia não são suficientes para avaliar a viabilidade da *EnerPHit*. Segundo os autores, é preciso levar-se em conta também outros fatores como a preservação do edifício que apresentar valor histórico, o apoio ao parque construtivo em momentos de crise econômica e a melhoria na salubridade e na qualidade de vida do usuário. Sobre este último aspecto, destaca-se que esta melhoria potencialmente reduz gastos na saúde, principalmente em regiões de clima úmido e frio. Em contrapartida, para climas parecidos com a Inglaterra, Moran *et al.* (2014) afirmam que um edifício existente pode alcançar a eficiência energética e redução de $CO_{2,}$ entre 55% e 83%, desde que a envoltória do edifício seja substancialmente melhorada.

Outros trabalhos já focam em como o MVHR da *EnerPHit* pode melhorar a qualidade do ar interno do edifício. Mccarron e Meng (2019), usaram os critérios da *EnerPHit* para melhorar o conforto térmico do edifício e reduzir os níveis de radônio (Rn), gás radioativo e cancerígeno de ocorrência natural que apresenta risco ao ocupante, através do MVHR.

No geral, pode-se dividir as pesquisas relacionadas à eficiência energética em edifícios antigos em algumas vertentes. Autores como Aruamgi, Kalamees (2014), Brostrom et al. (2014), Vallati et al. (2016) e Lucchi et al. (2017) focam na melhoria do desempenho energético em prédios antigos, destacando apenas o conforto térmico. Ou seja, as modificações feitas nas fachadas para alcançar um melhor desempenho térmico acabam por alterar ou encobrir características arquitetônicas que classificam o edifício como histórico, desrespeitando assim algumas recomendações de preservação do patrimônio histórico. Já autores como Cornaro et al. (2016), Arumagi et al. (2015) e Cirami et al. (2017) procuram o equilíbrio entre a melhoria do desempenho energético e a preservação do patrimônio histórico. Isso ocorre através de estudos sobre avaliação de metodologias para diagnósticos e classificação de retrofit energético em edifícios históricos.

No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018), os edifícios são responsáveis por 15,4% do consumo final de energia, o setor residencial com 10,2%, o comercial com 3,5% e o público com 1,7%. Além disso, comparando esses dados com os dados com o Balanço Energético Nacional (BEN) 2018 (EPE, 2018) e o BEN 2010 (EPE, 2010), representados pela Figura 2, de 2000 à 2017 o consumo final de

energia cresceu aproximadamente 54,5% (85,9Mtep), tendo os setores residencial, comercial e público contribuindo com 10% desse aumento. Ou seja, em menos de 20 anos, os edifícios contribuíram com um acréscimo de 8,5Mtep no consumo final de energia no país, mostrando a necessidade de investir na melhoria do desempenho energético nos edifícios.

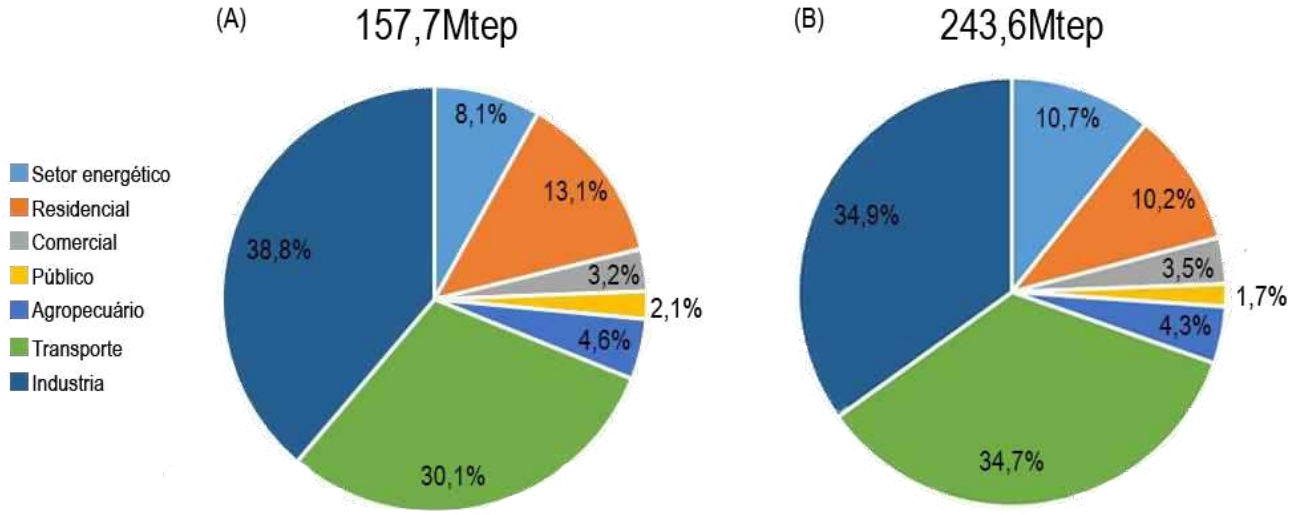


Figura 2 – Consumo final de energia por setor entre (A) 2000 e (B) 2017, tendo como base dados do BEN 2010 e BEN 2018 (Autores, 2018)

Apesar do país já possuir regulamentos e normas de desempenho térmico e energético[2], não existe, até o momento, uma regulamentação específica para a melhoria da eficiência energética focada nas edificações existentes e, em específico, nas edificações históricas. Ou seja, é necessário estudar a viabilidade de uma regulamentação para melhorar o desempenho térmico e energético de edifícios históricos. Este estudo avalia o potencial da *EnerPHit* em servir como modelo para a avaliação de eficiência energética em edificações antigas, para a região Sul do Brasil. Para isso o presente trabalho visa responder a pergunta: "Qual a viabilidade de aplicar a *EnerPHit* em um edifício antigo na cidade de Pelotas, Brasil?".

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar a possibilidade de aplicar a normativa alemã de desempenho energético *EnerPHit* em um edifício histórico do século XIX, localizado na cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul (Zona Bioclimática Brasileira 2).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em cinco etapas principais:

1. Revisão de literatura.

1. Definição de um modelo computacional representativo utilizando o programa de simulação termoenergética *EnergyPlus* (versão 8.7.0).

2. Melhoramento do modelo até adquirir os critérios da *EnerPHit.*

3. Análises de viabilidade através das modificações do modelo-base.

4. Comparação entre os resultados obtidos nos modelos simulados e os encontrados nos referencias teóricos.

3.1. Revisão de Literatura

Para responder a pergunta de pesquisa citada anteriormente, foi utilizado a ferramenta *parsifal* criada para a realização de Revisão Sistemática de Literatura. Essa ferramenta possui vínculo com a base de dados da *Scopus* e *Science Direct,* ambas de grande peso na área da tecnologia da arquitetura, dentre outras.

As palavras-chave procuradas foram "*EnerPHit", "Passive House", "Retrofit energético", "historic building",* através dos operadores booleanos "OR", para as palavras com significados semelhantes, e "AND", para juntar grupos de palavras. Além disso, foi usado o parâmetro "TITLE-ABS-KEY" para

[2]Como o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, Públicas e de Serviços (RTQ-C).

restringir as buscas dessas palavras-chave nos campos *Abstract, Title* e *Keyword*[3]. Como a *EnerPHit* é uma normativa com menos de 10 anos, há poucas publicações sobre ela, sendo suficiente como critério de busca a presença das palavras-chave no título e resumo.

Em relação à conservação do patrimônio histórico e sua legislação, a base de dados analisada foi a Secretaria Municipal de Cultura (SECULT), que tem como funções formular, promover e executar políticas públicas voltadas a preservação do patrimônio cultural. Na SECULT há listas de edifícios tombados e o seu nível de tombamento, legislações sobre a conservação do patrimônio histórico, cartas do patrimônio histórico e o III Plano Diretor de Pelotas, o qual ressalta algumas ações a serem incentivadas perante o patrimônio cultural, histórico e artístico.

3.2. Definição do modelo

Para a seleção do edifício-base na cidade de Pelotas, foram definidas três características:



Figura 3 – Fachada pela Rua Sete de Setembro nº 361, Centro de Pelotas - RS (Autores, 2018).

- o edifício ser simples e estar localizado na segunda Zona de Preservação do Patrimônio Cultural (ZPPC-2), pois é a zona que representa o período de grande expansão urbanística e econômica da cidade.
- o edifício deve ser inventariado no Nível três (3) de tombamento, por ser mais flexível às modificações. O III Plano Diretor de Pelotas (Pelotas, 2008) afirma que edifícios tombados no nível 3 podem sofrer alterações externas, desde que não se descaracterize a fachada ao ponto de perder o seu significado histórico.
- o edifício apresentar características marcantes para seu entorno e possuir incentivo à preservação das suas características urbanas existentes, como geração de condições de conforto para permanência das pessoas e incentivo às práticas sociais.

Seguindo as características acima elencadas, o único edifício encontrado localiza-se no centro histórico da cidade e possui dois comércios (Loja de Brinquedos e Lotérica). A fachada principal do edifício (Figura 3) localiza-se na Rua Sete de Setembro.

3.2.1. Caracterização do edifício

O edifício escolhido para análise possui orientação 21ºNE e passou por diversas modificações durante a sua existência. Inicialmente era um armazém de um pavimento, com piso de madeira e quatro portas de madeira, duas em cada extremidade da fachada. Com o passar dos anos foi colocado piso cerâmico, ergueu-se o segundo pavimento e o prédio foi dividido em dois. Hoje o edifício é ocupado por uma Loja de Brinquedos e uma Lotérica, como mostra a Figura 4. O edifício possui área total de 100,42m², e aproximadamente 3% da sua fachada é envidraçada com vidro simples de 3mm e esquadrias de aço. O telhado é feito de fibrocimento com inclinação de 10º e as paredes externas são pintadas de branco.

As características dos materiais opacos e seus componentes (laje, paredes e cobertura) são detalhados na Figura 5. Essas características foram definidas através de pesquisas sobre técnicas construtivas presentes no século XIX na cidade de Pelotas comentadas por Schlee (1993), através de levantamentos obtidos em visitas técnicas *in-loco,* e também pelo uso da Norma Brasileira 15220-2 (ABNT, 2005) para a definição das transmitâncias térmicas.

[3]TITLE-ABS-KEY((“Historic Building” OR “Old Building”) AND (“Energy Retrofit” OR “EnerPHit” OR “Passive House”))

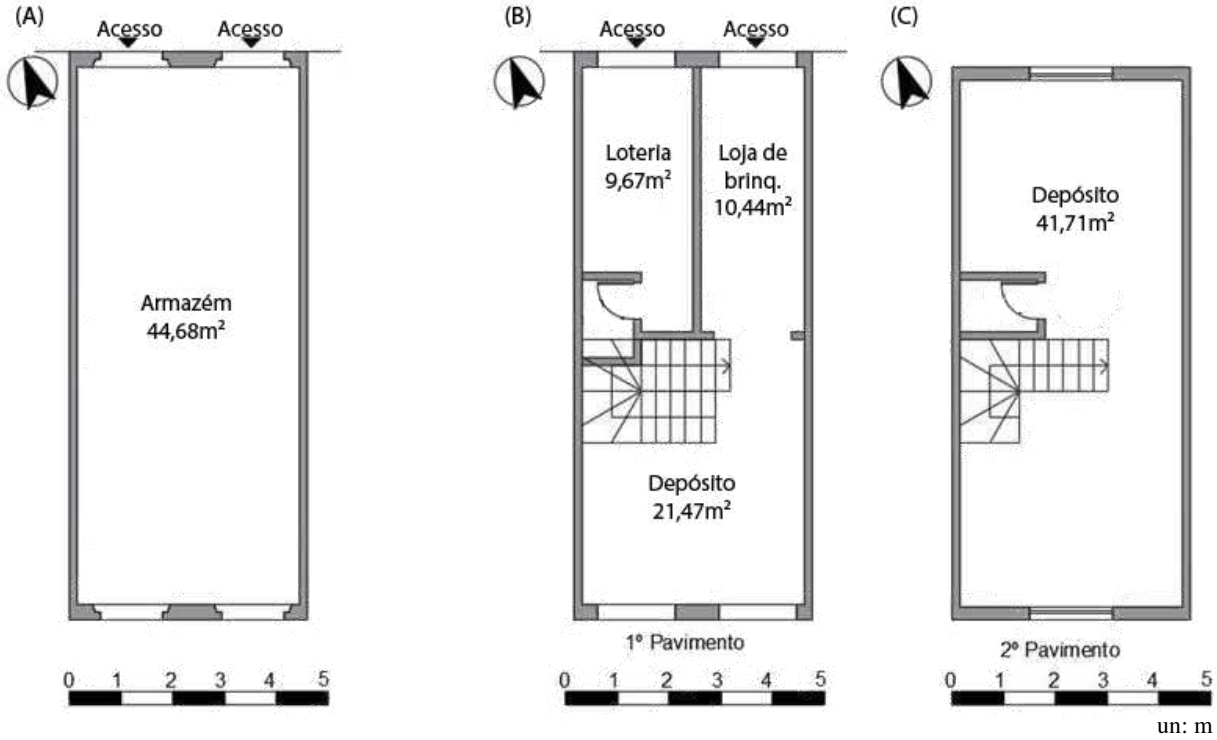
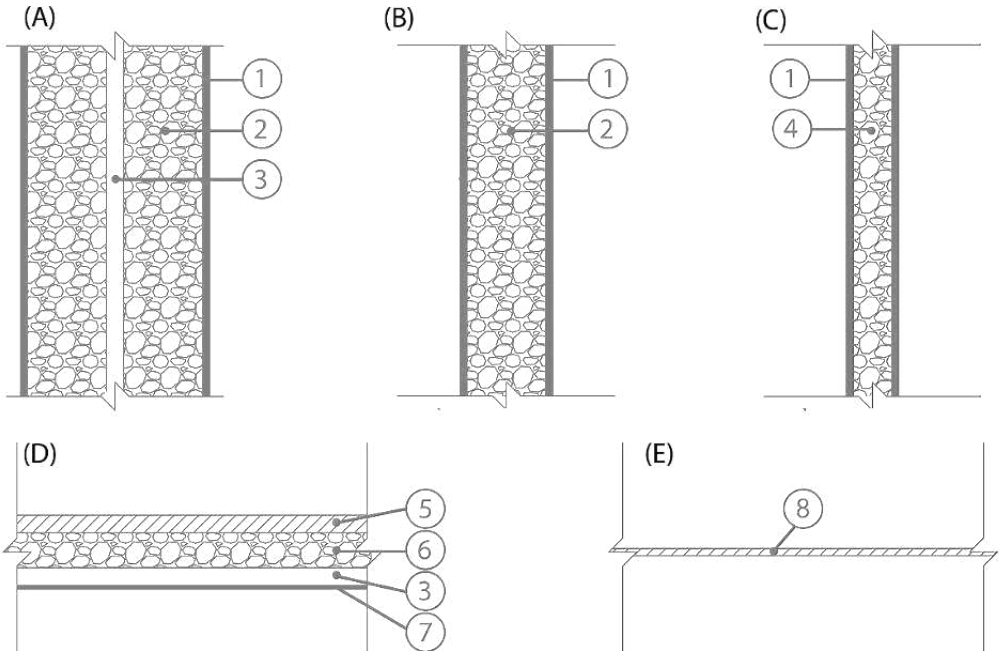


Figura 4 - Projeto arquitetônico do edifício histórico (A) Planta baixa original; (B) Planta Baixa Modificada 1º Pavimento; (C) Planta baixa 2º Pavimento (Autores, 2018)



LEGENDA:

1 - Reboco (2cm)	4 - Tijolo maciço cerâmico (11cm)	7 – Placa de acartonado (1,5cm)
2 - Tijolo maciço cerâmico (22,5cm)	5 - Piso cerâmico (5cm)	8 – Telha de fibrocimento (1,5cm)
3 - Câmara de ar (5cm)	6 - Laje de concreto (10cm)	

Figura 5 - Estrutura dos elementos construtivos: (A) Parede externa 1ºPV; (B) Parede externa 2ºPV; (C) Parede Interna; (D) Piso interno; (E) Cobertura (Autores, 2018)

3.2.2. Modelo-base

Para a simulação termoenergética e configurações do modelo (materiais, iluminação, equipamentos e ocupação), foi utilizado o software *EnergyPlus* (versão 8.7.0). Para modelar o caso-base, tendo a sua volumetria representado na Figura 6, utilizou-se o *plugin Euclid* (versão 0.9.3), na interface do *SketchUp*

Make 2017. O Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) disponibilizou o arquivo climático de Pelotas para análise das temperaturas.

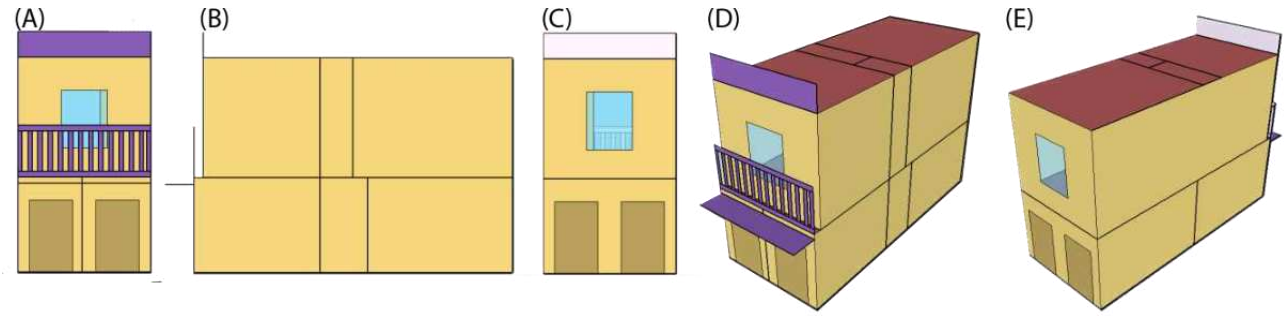


Figura 6 - Fachadas e volumetria do modelo-base: (A) Fachada principal; (B) Fachada Lateral; (C) Fachada fundos; (D) 3D frontal; (E) 3D fundos (Autores, 2018)

Nos dados de ocupação, iluminação e equipamentos, realizou-se entrevistas com os proprietários e funcionários da loja de brinquedos e da casa lotérica. Foi constatada a presença de quatro funcionários em todo o edifício que trabalham das 10h00min às 19h00min durante a semana, e das 10h00min às 17h00min aos sábados.

As cargas de ocupação, iluminação e equipamentos foram dimensionadas tendo como base os valores fornecidos pela NBR 16401-1 (ABNT, 2008) da Tabela C.1 (taxas típicas de calor liberado por pessoas), Tabela C.2 (taxas típicas de dissipação de calor pela iluminação) e Tabela C.3 (taxas típicas de dissipação de calor de equipamentos de escritório – computadores), respectivamente. A carga de ocupação adotou 140W/pessoa para atividade moderada de trabalhos de escritório. Já para as cargas de iluminação, foram utilizada lâmpadas fluorescentes, sendo 15,5W/m² para lojas e 7,1W/m² para lavabos e depósitos. Ademais, as lâmpadas são configuradas para funcionar 100% durante o período de ocupação, pois há poucas superfícies transparentes na envoltória do edifício que permitam a entrada de luz natural. As cargas de equipamentos foram selecionadas através da taxa de dissipação de calor de 65W por computador, sendo encontrados dois computadores em uso no edifício.

A temperatura do solo foi configurada através do programa *Slab*, compatível com o programa *EnergyPlus*, utilizando as temperaturas médias mensais do ar interno obtidas numa primeira simulação, em que o edifício era adiabático. Em seguida, foram usadas essas temperaturas com o pré-processador *Slab*, que corrige as temperaturas médias mensais do solo sob a edificação.

A ventilação natural é configurada no grupo *AirFlownetwork* do *EnergyPlus*, com todas as esquadrias abertas durante as horas ocupadas e completamente fechadas quando o edifício não é usado, como é operado no modelo-base. Com a configuração da edificação ventilada naturalmente, foi possível determinar a quantidade de horas em que a edificação apresenta conforto térmico ou desconforto (por frio ou calor), mostrando uma aproximação da realidade vivenciada pelos usuários.

3.3. Melhoramento do modelo para o padrão *EnerPHit*

Um dos critérios da normativa *EnerPHit* é a presença do controle de entrada de ar externo, ou seja, o edifício deve apresentar no máximo uma renovação de ar por hora. Nesse sentido o edifício não será ventilado naturalmente, pois a ventilação natural não oferece o controle preciso da renovação de ar. Ao invés disto, o MVHR (sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor) foi adotado como mecanismo de renovação de ar interno, pois é obrigatório nos padrões *EnerPHit* (e, assim, mantém a qualidade do ar interior). Essa qualidade ocorre de forma controlada através da exaustão do ar interno e a inserção do ar externo, de forma que não há mistura entre eles e a troca térmica ocorre por condução entre ambos, diminuindo os gastos energéticos no sistema de aquecimento. O sistema MVHR é configurado como um componente *Passive House,* ou seja, apresenta capacidade máxima de aquecimento e resfriamento sensível de 140W, eficiência de 84% e funcionando durante todo o horário de ocupação. O sistema é configurado no grupo *HVAC:Template:Zone:IdealLoadAirSystem,* com *SetPoint* entre 20ºC e 25ºC.

A envoltória foi inicialmente configurada para atender as recomendações de transmitância térmica da *EnerPHit,* 0,35W/(m²K) para isolamento interno de superfície opaca. Após colocar o isolamento necessário para a transmitância recomendada - 12cm de lã-de-rocha na parte interna da cobertura e parede do segundo pavimento, e 10cm de lã-de-rocha na parte interna das paredes do primeiro pavimento -, retira-se progressivamente 1cm de isolamento de cada componente até atingir-se os padrões de 25 kWh/m².ano de aquecimento e de no máximo 10% das horas do ano em desconforto (o máximo permitido pela certificação).

Depois, foram simulados modelos com cores diferentes para averiguar qual a absorbância térmica é necessária para deixar o edifício com maior nível de conforto térmico. As cores analisadas foram o branco e o preto, com absortâncias respectivas de 0,20 e 0,97.

3.4. Análise de resultados

Os resultados foram analisados observando a variável "intensidade de uso de energia" (*Energy Use Intensity* – EUI), e observando a divisão da EUI em energia de aquecimento, energia de refrigeração, iluminação e equipamentos, antes e depois das modificações realizadas. Após a análise comparativa, foi analisado o impacto dessas modificações na envoltória interna e externa da edificação, averiguando assim se as modificações estão em concordância ou em conflito com as legislações de preservação do patrimônio histórico.

4. RESULTADOS

Ao analisar os resultados obtidos pelas simulações constatou-se que o modelo-base (edifício ventilado naturalmente) apresentou 43,8% das horas em em conforto térmico, 49,9% de desconforto por frio, e 6,3% de desconforto por calor. Isso ocorre principalmente por quatro fatores resumidos na Figura 7.

Primeiro, o edifício possui poucas superfícies opacas em contato com o exterior combinado com baixas taxas de geração de calor interior. Além disso, o edifício possui 227,3m² de fachada opaca e apenas 6,4m² (2,74%) de superfícies transparentes, minimizando a entrada de calor proveniente da radiação solar. Segundo, por ser um edifício de meio de quadra e possuir a maior área de fachada em contato direto com outro edifício, há poucas trocas térmicas com o ambiente externo. Terceiro, a configuração do edifício é basicamente um depósito, restando menos de 25% de sua área para a execução de atividades com poucas pessoas envolvidas e poucos equipamentos. Isso gera baixas taxas de geração de calor para o ambiente. Quarto, com as esquadrias sempre abertas o pouco calor proveniente das atividades realizadas é dissipado, contribuindo para o resfriamento do edifício.

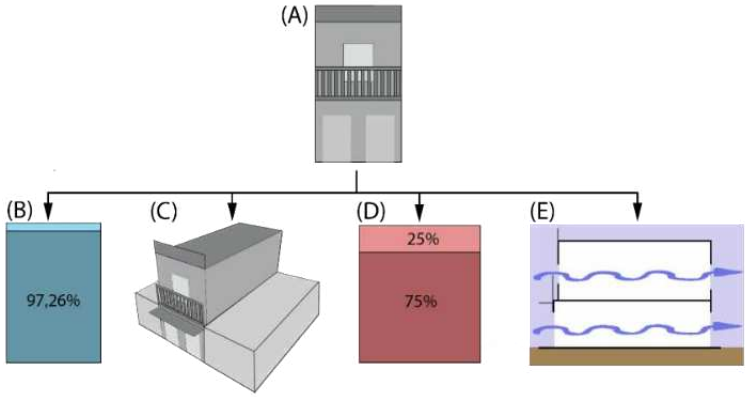


Figura 7 - Esquema configuração do edifício: (A) Fachada principal; (B) Porcentagem da superfície opaca; (C) Disposição do edifício de meio de quadra; (D) Porcentagem da área de depósito em relação a área total, por pavimento; (E) Ventilação natural contínua (Autores, 2019)

Observando o edifício condicionado artificialmente, foi constatado que o modelo-base possui a demanda de energia primária de 27kWh/m².ano, ou seja, só com o consumo de energia, o edifício já está nos padrões *EnerPHit,* faltando apenas o controle de infiltração de ar e o percentual máximo de 10% das horas fora do limite de 26ºC. Com a instalação do MVHR, obrigatório em todos os edifícios que seguem padrões *Passive House,* e a pintura preta, que contribui para o aquecimento passivo, o edifício passa a apresentar 5% das horas em desconforto por frio, sem apresentar horas de desconforto por calor e com 95% das horas em conforto térmico. O consumo de energia de aquecimento passa para 19kWh/m².ano e a demanda de energia primária passa para 33kWh/m².ano.

Analisando a Tabela 1, comparativo entre os critérios mínimos da *Passive House* e *EnerPHit* com os modelos configurados, comprova-se que o edifício base não pode receber nenhuma das certificações, pois não apresenta as porcentagem de conforto térmico adequadas. Com a implementação do sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor as horas de conforto sobem drasticamente. Apesar do aumento de 6kWh/m².ano, a demanda de energia primária fica inferior a 120kWh/m².ano e a demanda de aquecimento fica inferior a 25kWh/m².ano, ambos critérios mínimos da *EnerPHit.*

Critérios	Passive House	EnerPHit	Modelo-base	Modelo-modificado 1
Demanda anual de aquecimento	≤15kWh/m².ano	≤25kWh/m².ano	-	19kWh/m².ano
Demanda anual de resfriamento	≤15kWh/m².ano	≤25kWh/m².ano	-	1kWh/m².ano
Consumo de energia primária	≤120kWh/m².ano	≤120kWh/m².ano	27kWh/m². ano	33kWh/m².ano
Sobreaquecimento	≤10%	≤10%	6,3%	0%
Desconforto por frio	≤10%	≤10%	43,8%	5%
Conforto térmico	-	-	43,8%	95%

Tabela 1 – Comparativo dos critérios mínimos das normativas Alemã e desempenho termoenergético do edifício

Diversas propostas de modificações para o edifício foram implementadas, desde a colocação de lã-de-rocha como isolante térmico, a inclusão do sistema MVHR e a nova pintura da fachada. O modelo-modificado 1 foi o que apresentou melhores resultados, tendo como modificações o MVHR e a pintura preta, sem a incorporação de isolante térmico. Com essas modificações foi possível alcançar o nível de conforto térmico de pelo menos 90% e manter a integridade do patrimônio histórico, pois com o sistema MVHR para climatização não há perda da envoltória interna do edifício, preservando o seu caráter histórico interno. Além disso, a pintura externa é um procedimento estético que não envolve modificação estrutural na fachada, ou seja, ela mantém as características arquitetônicas que tornam o edifício representativo de um período histórico da cidade de Pelotas.

Assim como os estudos de Leardini, Manfredini e Callau (2015) e Lardini e Manfredini (2015), não é necessário investir apenas em isolamento na envoltória do edifício para melhorar o desempenho térmico. É também importante investir na qualidade das aberturas e no sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR). Com esses elementos é possível trazer conforto térmico para o edifício sem provocar grandes alterações estruturais e na envoltória do edifício. Apesar da abordagem ser levemente diferente de Rodrigues *et al.* (2015), pois o isolamento térmico não foi essencial na modificação, ainda é possível alcançar um nível maior de conforto térmico e manter a integridade do edifício histórico, sendo considerado uma boa estratégia de modernização. Com a implementação do MVHR o consumo de energia primária aumenta em 2,01kWh/m².ano, se comparado com o modelo-base, e é justificável a sua implantação pela drástica melhoria na temperatura interna do ambiente.

Também foi comprovado, assim como Mccarron e Meng (2019), a importância do sistema MVHR para melhorar a qualidade do ar interno do edifício. No caso desta pesquisa, o MVHR contribui significativamente na redução da entrada de ar frio do ambiente externo e a retirada da umidade do ar interno, ambos critérios propícios para a redução de contaminação de doenças respiratórias. Ao contrário das pesquisas de Moran *et al.* (2014), aumentar o nível de isolamento térmico, não provocou modificações significativas no conforto do edifício. Isso ocorre principalmente pelo fato do edifício ter poucas superfícies em contato com o ambiente externo e algumas superfícies já possui uma inércia térmica significativa, as paredes do primeiro pavimento que são duplas, sendo mais necessário investir no controle da entrada de ar do que no isolamento.

Apesar de ter a ideia inicial de Aruamgi, Kalamees (2014), Brostrom et al. (2014); Vallati et al. (2016) e Lucchi et al. (2017), em melhorar a eficiência energética de um edifício histórico, essa pesquisa foi além. Procurou-se seguir algumas técnicas de isolamento de Cornaro et al. (2016), Arumagi et al. (2015) e Cirami et al. (2017), para relacionar as técnicas de conservação de energia e de preservação do patrimônio histórico. Dentre essas técnicas está a troca de cor do edifício.

5. CONCLUSÕES

Para este estudo, foi possível aplicar a *EnerPHit* no objeto de análise, sem causar perdas nas características arquitetônicas na envoltória do edifício histórico. Ou seja, é possível modernizar um edifício histórico para atender normativas rígidas de desempenho energético e ao mesmo tempo em que se segue as normas de preservação do patrimônio histórico. Além disso, também se provou que nem sempre seguir à risca as normativas – neste caso, os padrões mínimos de transmitância térmica das superfícies – significa melhor desempenho térmico do edifício. A *EnerPHit* apesar de possuir recomendações para climas quentes, acaba generalizando essas transmitâncias, superestimando a transmitância mínima em casos, principalmente, de países com clima mais quente.

Todavia, como o objeto de estudo é um caso específico de edifício histórico, são necessários mais estudos em edifícios maiores, mais transparentes e mais representativos do patrimônio histórico pelotense, a fim de analisar a aplicação da *EnerPHit* em casos gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). CO2 emissions from fuel combustion: Overview. **International Energy Agency¸**[s.l.], 2018

_____. World energy balances: Overview. **International Energy Agency¸**[s.l.], 2018.

ARUMAGI, E.; KALAMEES, T. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climate. **Applied Energy,** Itália, v. 115, p. 540-548, 2014.

ARUMAGI, E.; MANDEL, M.; KALAMESS, T. Methed for assessment of energy measures in milieu valuable buildings. **Energy procedia,** Estônia, v. 78, p. 1027-1032, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

BROSTROM, T.; ERIKSSON, P.; LIU, L.; ROHDIN, P.; STAHL, F.; MOSHFEGH, B. A method to assess te potential for and consequences of energy retrofit in Swedish historic building. **The historic environment: Policy & Pratice,** Suécia, v. 5, n. 2, p. 150-166, 2014.

CIRAMI, S.; EVOLA, G.; GAGLIANO, A.; MARGANI, G. Thermal and economic analysis of renovation strategies fora historic buildings in mediterranean area. **Buildings,** Itália, v. 7, n. 6, p. 60, 2017.

CORNARO, C.; PUGGIONI, V. A.; STROLLO, R. M. Dynamic simulation and on-site measurements for energy retrofit of complex historic buildings: Villa Mondragone case study. **Journal of building engineering,** Itália, v. 6, p. 17-28, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2018:** ano base 2017. Rio de Janeiro: BEN, 2018.

_____. **Balanço Energético Nacional 2010:** ano base 2009. Rio de Janeiro: BEN, 2010.

LEARDINI, P.; MANFREDINI, M. Modern Housing Retrofit: assessment of upgrade packges to EnerPHit Standard for 1940-1960 state houses in Auckland. **Buildings**, Nova Zelânida, v. 5, p. 229-251, 2015.

LEARDINI, P.; MANFREDINI, M.; CALLAU, M. Energy upgrade to Passive House standard for historic housing in New Zeland. **Energy and Buildings**, Nova Zelândia, v. 95, p. 211-218, 2015.

LUCCHI, E.; TABAK, M.; TROI, A. The "cost optimaçity" approach for the internal isulation of historic b uildings. **Energy Procedia,** Itália, v. 133, p. 412-423, 2017.

MCCARRON, B.; MENG, X.; COCLOUGH, S. A pilot study of radon levels in certified passive house buildings. **Buildings services engineering research & technology**, Reino Unido, 2019.

MORAN, F.; BLIGHT, T.; NATARAJA, S.; SHEAR, A. The use of Passive House Planning Package to reduce energy use and CO2 emissions in historic dwelligns. **Energy and buildings**, Reino Unido, v. 75, p. 216-227, 2014.

PARLAMENTO EUROPEUE DO CONSELHO. Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010, relativo ao desempenho energético dos edifícios (reformulado). **Jornal da União,** 19 mai. 2010.

PASSIVE HOUSE INSTITUTE. **EnerPHit y EnerPHit+i: Criterios de certificación para rehabilitaciones enegáricas com componentes Passivhaus,** Passive House Institute: PHI, 2013.

_____. **Passivhaus primer Designer's guide: A guide for the design team and local authorities,** Passive House Institute: PHI, 2006.

_____. Step by Step retrofits with Passi House componentes. **Passive House Institute.** Alemanha, p. 124, 2016.

_____. Criteria for Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard**, Passive House Institute**, Alemanha, 2018.

PELTOAS (Cidade). Lei Nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providencias. **Gabinete do prefeito**, Pelotas, RS, 11 set. 2008. Art 69, p. 21.

RODRIGUES, F.; PARADA, M.; VICENTE, R.; OLIVEIRA, R.; ALVES, A. High energy efficiency retrofit in Portugal. **Energy Procedia**, Portugal, v. 85, p. 187-196, 2015.

SCHLEE, A. R. **O Ecletismo na arquitetura pelotense até as décadas de 30 e 40.** 2018. 215f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA (SECULT). **Inventário do Patrimônio Cultural de Pelotas relação dos imóveis**, Pelotas Secretaria Municipal de Cultura, 2004.

_____. **Manual do Imóvel Inventariado Parte 1,** Pelotas, 2008.

VALLATI, A.; GRAGNAFFINI, S.; ROMAGNA, M. Energy retrofit of a non-resudential and histpric building in Rome. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING, Itália. **Anais** [...], p. 28-33, 2016.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio na realização da pesquisa.