

RETROFIT ENERGÉTICO EM UM EDIFÍCIO HISTÓRICO EM PELOTAS, RS, SEGUNDO O RTQ-C E A ENERPHIT

ENERGY RETROFIT IN A HISTORIC BUILDING IN PELOTAS, RS, ACCORDING TO RTQ-C AND ENERPHIT

Amanda Rosa de Carvalho¹
Eduardo Grala da Cunha²
Ana Lucia Costa de Oliveira³

Resumo

A cidade de Pelotas possui 1.700 prédios inventariados pelo município, tendo no seu centro um grande acervo de prédios históricos. É de suma importância criar mecanismos de incentivo para evitar degradamento por abandono. Um desses mecanismos é o retrofit energético, pois além de revitalizar a edificação, também melhora o nível de conforto térmico de seus usuários. Este estudo teve como objeto o retrofit em uma edificação histórica comercial do séc. XIX de Pelotas, RS. Para comparar o desempenho energético da edificação antes e após o retrofit, foram adotados como parâmetros o RTQ-C (Requisitos técnicos para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas) e a certificação alemã EnerPHit Standard. As simulações computacionais foram realizadas com o software EnergyPlus, observando possíveis medidas de otimização do nível de desempenho da edificação de modo a preservar a fachada e a volumetria do edifício. Em seguida, avaliou-se o custo destas modificações e o tempo de retorno do investimento. Por fim, constatou-se que é possível realizar o retrofit energético em um edifício histórico sem alterar os elementos arquitetônicos de sua fachada obtendo níveis elevados de eficiência energética e conforto térmico.

Palavras-chave: Desempenho termoenergético, Patrimônio histórico, Revitalização da edificação.

Abstract

The city of Pelotas has 1,700 buildings inventoried by the municipality, having in its downtown a great collection of historical buildings. In this sense, it is very important to create mechanisms of incentive to avoid degradation by abandonment. One of these mechanisms is the energy retrofit because, in addition to revitalizing the building, it also improves the thermal comfort of its users. This study had as its object the retrofit in a commercial historical building of the century. XIX of Pelotas. To compare the energy performance of the building before and after the retrofit, the RTQ-C (Technical requirements of the energy efficiency level of commercial, services and public buildings) and the German EnerPHit Standard certification were adopted as parameters. The computational simulations were carried out with EnergyPlus software, observing possible energy optimization measures to preserve the façade and the volume of the building. Then, the cost of these modifications and the payback of the investment were evaluated. Finally, it was verified that it is possible to carry out the energy retrofit in a historical building without changing the architectural elements if its façade obtained a high level of thermal comfort and energy efficiency of the building.

Keywords: Thermoenergetic performance. Historical heritage. Building revitalization.

¹ Universidade Federal de Pelotas, <https://orcid.org/0000-0003-2336-2103>, amandarosadc@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas, <https://orcid.org/0000-0002-6112-7561>, eduardograladacunha@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Pelotas, <https://orcid.org/0000-0002-4608-2764>, luconstoli@gmail.com

INTRODUÇÃO

A cidade de Pelotas é localizada na região sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, e teve sua origem em 1763. O desenvolvimento econômico desta cidade teve início em 1780 com a produção do charque, que ganhou força até a cidade se transformar numa capital econômica da província. Silva e Ariela (1) mostram que Pelotas possui um grande acervo de edificações históricas, que representam o desenvolvimento econômico e social da cidade no passar do anos. Desse acervo, segundo a Secretaria Municipal de Cultura (SECULT) (2), atualmente, existem 19 bens tombados em nível municipal, estadual e federal, incluindo prédios e monumentos, e 1.700 prédios inventariados pelo município. Devido a essa variedade bens tombados, e pela sua relevância em representar a cultura e a história da cidade, é de suma importância criar mecanismos que permitam ao usuário acessar e conservar esses bens históricos.

A definição simplificada de um edifício histórico está relacionada a três fatores: ter mais de 50 anos como regra geral; alto grau de integridade física e histórica do seu período; e apresentar relevância histórica e estética (3, 4). A subseção II Art. 65 do 3º Plano Diretor de Pelotas, afirma que o patrimônio histórico arquitetônico está relacionado a fatos ou períodos que representam a formação e o desenvolvimento da cidade, e apresentam características representativas da arquitetura tradicional de Pelotas (5).

O tratamento de edifícios históricos é administrado por políticas e práticas de conservação, estabelecidos em níveis municipal, estadual e federal, que exigem a proteção da envoltória histórica de um edifício (4). Em Pelotas, segundo o III Plano Diretor, o inventariado histórico pode ser do nível 1 ao 4 de importância de preservação. Esta classificação vai desde imóveis que preservam as suas características arquitetônicas originais (não podendo fazer modificações), até os imóveis que sofreram alto grau de descaracterização e podem ter suas fachadas alteradas ou possam ser demolidos.

Um mecanismo de proteção para as edificações históricas é o retrofit energético, pois além de diminuir o consumo de energia, proporciona melhor conforto térmico e evita a degradação da edificação causada pelo abandono. Segundo as definições da Diretiva 2002/91/EC (6) e Mazzarella (3), o retrofit energético é a atualização dos sistemas da edificação existente, com o objetivo de melhorar os ambientes internos para os usuários. Isso é realizado através de melhorias no conforto térmico interno, conservação de materiais, economia de energia e aproveitamento da configuração arquitetônica da edificação existente.

Todavia, é difícil realizar o retrofit energético em edificações históricas. As ações de retrofit podem acarretar na perda definitiva do material histórico da envoltória, e provocar a descaracterização dos elementos arquitetônicos que tornam a edificação de relevância histórica (4). Além disso, as legislações de preservação do patrimônio histórico limitam as possibilidades de modificação na envoltória de acordo com o nível de tombamento da edificação.

Outra dificuldade do retrofit energético em edificações históricas é a falta de protocolo nos padrões e códigos atuais em apresentar soluções que equilibram melhorias na eficiência energética nessas edificações (7). Um exemplo disso são as certificações de desempenho energético dos edifícios.

Essas certificações servem para avaliar tanto o consumo de energia quanto o grau de conforto térmico dos edifícios. Isso ocorre através da contabilização do consumo de energia para resfriamento e aquecimento, necessária para manter a temperatura interna da edificação em conforto térmico. Quanto mais alto o nível na certificação, menos o usuário gastará de energia para se manter em conforto térmico. Todavia, dificilmente uma edificação histórica vai alcançar o nível mais alto dessas certificações. Isso acontece devido às limitações nas possibilidades de modificações na envoltória, juntamente com a falta de critérios quantitativos para avaliar o consumo energético nas edificações históricas. Ou seja, essas edificações são tratadas como exceção no processo de avaliação do desempenho energético, sem serem mostrados alternativas de avaliações.

A *EnerPHit Standard* é uma certificação que oferece diretrizes para um alto nível de isolamento térmico e critérios indicados à atualização de edifícios existentes, tendo como base a flexibilização dos critérios da Passive House. Essa normativa é extremamente detalhada quanto ao processo de modificação e certificação dos edifícios, apresentando técnicas e procedimentos de intervenções em edificações históricas. Para obter essa certificação o edifício deve apresentar consumo de energia primária igual ou inferior a 120kWh/m².ano, sobreaquecimento inferior ou igual a 10% das horas do ano e até 1,0 renovação de ar por hora no ambiente (8). Ademais, a *EnerPHit* estabelece um zoneamento mundial do clima, flexibilizando os seus critérios de envoltória, demanda de energia para aquecimento e resfriamento de acordo com o clima e região em que a edificação se encontra. Segundo a *EnerPHit*, o Brasil possui duas zonas climáticas (muito quente e quente), podendo a região mais próxima do Uruguai ser considerada de clima normal. Nos climas quente e muito quente a demanda de energia de aquecimento não é necessária devido às elevadas temperaturas dessas zonas. Já no clima normal, por apresentar períodos mais frios, essa demanda deve ser igual ou inferior a 15kWh/m².ano (9).

No Brasil, não existe uma normativa detalhada sobre o retrofit energético em edifícios históricos. Como alternativa, utiliza-se o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços Públicos (RTQ-C). Segundo Fernandes e Labaki (10), e Santos e Souza (11), o RTQ-C existe justamente para incentivar as práticas de eficiência energética nos edifícios não residenciais e avaliar o seu desempenho energético. Essa certificação se baseia em três categorias de avaliação principais: o desempenho térmico da envoltória do edifício (ENV); o sistema de iluminação, representado pela densidade de potência de iluminação instalada (DPI), e a eficiência do sistema de condicionamento do ar (AC) (12, 13). Como resultado final é possível averiguar e compreender as trocas térmicas do edifício e seu desempenho termoenergético, refletidos pelo consumo de energia.

Segundo o Manual do RTQ-C (14), para uma edificação alcançar nível A em Pelotas, localizada na zona bioclimática 2, os critérios mínimos são:

- A iluminação artificial presente divisão dos circuitos e desligamento automático;
- Contribuição de luz natural no projeto de iluminação artificial;

- Apresente 80% ou mais de horas ocupadas em conforto térmico para os ambientes de permanência prolongada;
- Sistema de condicionamento de ar apresentar coeficiente de performance (COP) mínimo de 3,24.

Como as edificações históricas possuem diversidades no nível de tombamento e tipologia de uso, esse trabalho visa um recorte no tema, visando verificar a viabilidade técnica e econômica do retrofit energético em um edifício comercial histórico, com nível de tombamento mais flexível para modificações e localizado em Pelotas (ZB 2). Para isso, será analisado o nível de eficiência energética do edifício através da *EnerPHit*, uma vez que é uma certificação de retrofit energético de alto nível, possuindo critérios máximos para diferentes climas no Brasil, e permitindo analisar cada etapa de modificação. Além disso, essa certificação é acessível devido a sua disponibilidade em diversos idiomas, o seu acesso gratuito e sua flexibilidade. Na análise nacional, a eficiência energética também é analisada através da certificação de desempenho energética brasileira para edifícios não residenciais, RTQ-C, no caso real e usando o retrofit energético até chegar ao nível A dessa certificação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Carbonara (15) e Lucchi et al. (16), em suas pesquisas, ressaltam que, embora melhorar o desempenho energético dos edifícios históricos apresente vários desafios, seja por questões legislativas, seja pela preexistência edificada, vale a pena o seu estudo frente ao potencial para alcançar uma economia significativa. Isso ocorre, pois cada vez mais as preocupações envolvendo o aquecimento global, alterações climáticas e o futuro do planeta são debatidos, sendo necessário discutir sobre eficiência energética em edifícios existentes e históricos (12).

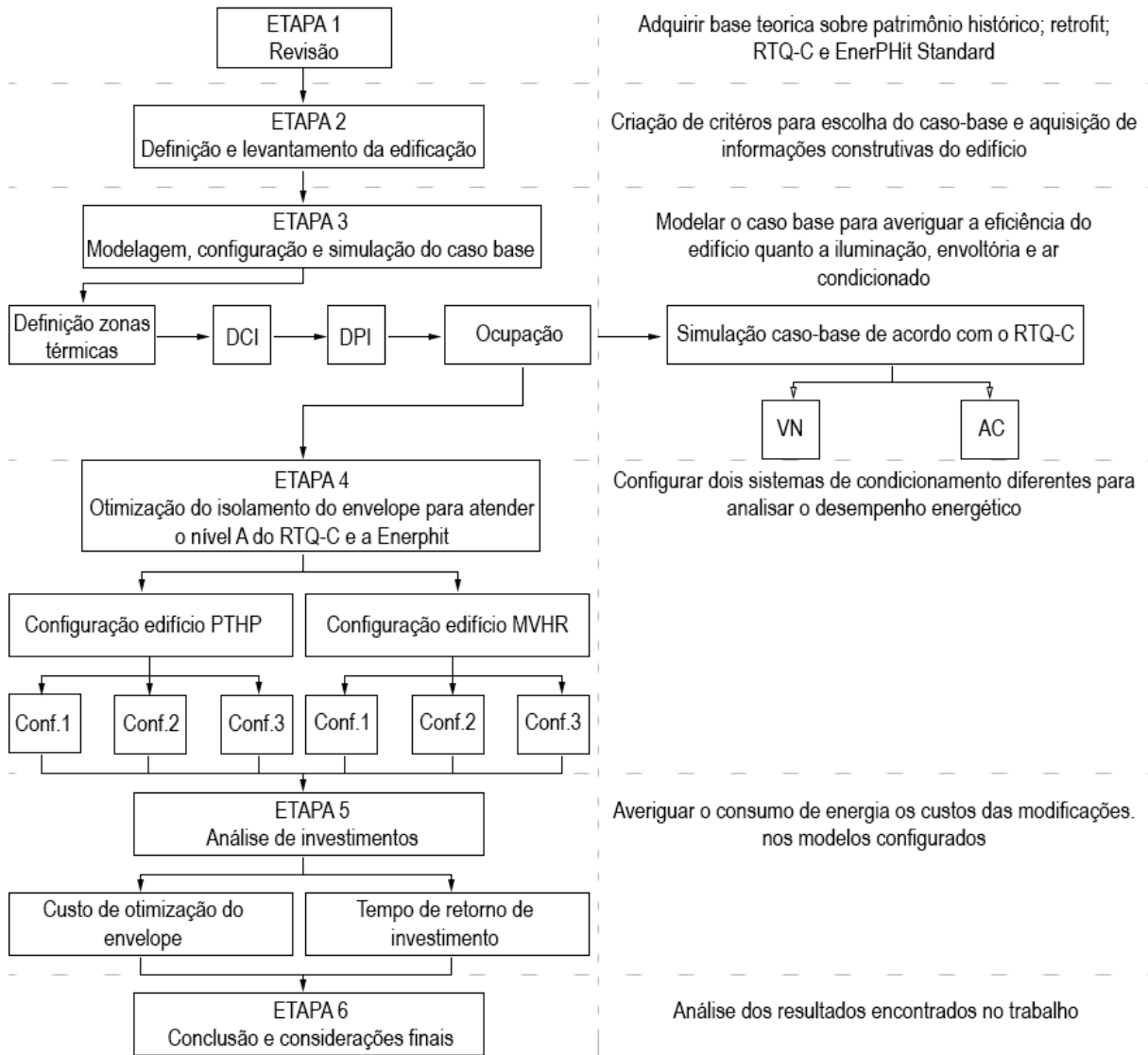
Alguns estudos internacionais sobre retrofit energético em edifícios antigos foram realizados, mas são mais focados na eficiência energética do que na conservação dos edifícios. Autores como Boarin et al. (17); Roberti et al. (16); Kass et al. (18) abordam as vantagens do retrofit energético em edifícios históricos. Arumagi e Kalamees (19), Vallati et al. (20) e Claude et al. (21) abordam a melhoria no desempenho energético em edifícios antigos depois do retrofit energético. Já Cirami et al. (7) e González et al. (22) estudam metodologias de diagnósticos e classificação de retrofit energético em edifícios históricos. Parada (23) foca na *EnerPHit Standard* ao reabilitar energeticamente um edifício do século XIX, em Portugal, comparando os critérios e soluções construtivas obtidos para alcançar a *EnerPHit* e a certificação de desempenho energética portuguesa, Regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação (REH), conseguindo resultados favoráveis. No Brasil, os estudos sobre esse tema ainda são insuficientes, principalmente comparando com países europeus.

MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em seis etapas, conforme mostra a Figura 1. Na primeira etapa foi realizada uma revisão bibliográfica nos seguintes temas:

patrimônio histórico; definição de edificação histórica; procedimentos permitidos na alteração do objeto inventariado; definição de retrofit e sua importância; sistemas de certificação RTQ-C e *EnerPHit Standard*.

Figura 1: Infográfico do Método.



Na segunda etapa foi selecionada uma edificação como modelo-base. As plantas baixas do modelo-base, foram obtidas através de documentos fornecidos pela SECULT. O sistema construtivo e quantitativo dos materiais do modelo-base foram obtidos através do artigo escrito por Schlee (24). Ademais, foram realizadas visitas técnicas ao local para observar possíveis modificações que a edificação possa ter sofrido com o passar dos anos.

Na terceira etapa, modelou-se e simulou-se o modelo-base no software EnergyPlus®. Com os resultados da simulação, classificou-se o nível de eficiência energética pelo método de simulação do RTQ-C. Em seguida, avaliou-se as seguintes condições: sistema de abertura de portas inteiramente aberto para a ventilação natural (das 10h00min às 19h00min), assim como funciona na realidade. Para o condicionamento artificial, utilizou-se o sistema Packaged Terminal Heat Pumps (PTHP), com COP 3,24 tanto

para resfriamento quanto para aquecimento, na condição de portas abertas (situação atual do edifício). As análises foram realizadas levando em consideração o período anual e as semanas mais severas de inverno e de verão, estabelecendo a faixa de conforto de 20°C até 26°C, para os limites de aquecimento e resfriamento.

Na quarta etapa, configura-se o modelo-base com cenários diferentes de climatização artificial. O primeiro cenário com o sistema Package Terminal Heat Pump (PTHP), para analisar o edifício segundo o RTQ-C. O segundo cenário com o Mechanical Ventilation with Heat Recovery (MVHR), para analisar o edifício segundo a *EnerPHit Standard*. Depois disso, cada modelo seguiu as possibilidades de modificações na envoltória permitidas para o edifício com nível 3 (três) de tombamento, segundo o III Plano diretor de Pelotas. Dentre essas modificações, optou-se pela troca de cor da envoltória, aplicação de isolamento térmico externo e sistema de controle de aberturas de esquadrias. No modelo do sistema PTHP, essas modificações foram realizadas até alcançar o nível A do RTQ-C. Já no modelo do sistema MVHR essas modificações foram realizadas até atingirem os critérios mínimos da *EnerPHit Standard* para o clima normal do Brasil. Ou seja, consumo de energia primária igual ou inferior a 120kWh/m².ano e demanda deve ser igual ou inferior a 15kWh/m².ano.

Na quinta etapa, analisou-se os resultados obtidos do consumo de energia, graus horas de conforto, as modificações realizadas nos sistemas para alcançar o nível A do RTQ-C e os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*. Também foi analisado o payback simples através dos custos de cada modificação.

Na sexta etapa, realizou-se a análise crítica dos resultados encontrados no trabalho.

Objeto de estudo

Utilizou-se como objeto de estudo um edifício histórico no centro da cidade de Pelotas. O edifício cuja fachada é representada na Figura 2, foi construído no século XIX, e se localiza na Zona de Preservação do Patrimônio Cultural 2 (ZPPC-2), segundo o III Plano Diretor Municipal de Pelotas (5). Esta Zona representa o segundo loteamento da cidade, possuindo em seu entorno os prédios históricos com arquitetura eclética, reconhecidos como patrimônio cultural do município (5). Outra característica marcante desta área é o incentivo à preservação das características urbanas existentes, sendo necessário criar condições de conforto térmico e permanência para as pessoas, estimulando assim o uso e as práticas sociais na área.

Outra razão da escolha dessa edificação foi seu nível inventariado. Segundo a SECULT (25), o nível de inventário presente neste objeto de estudo é três. Ou seja, essa edificação apresenta características que acompanham e complementam os imóveis do entorno. Por apresentar importância num conjunto, pode sofrer modificações na fachada e no ambiente interno, desde que essas modificações não alterem a sua volumetria e sua ambiência no contexto urbano (25).

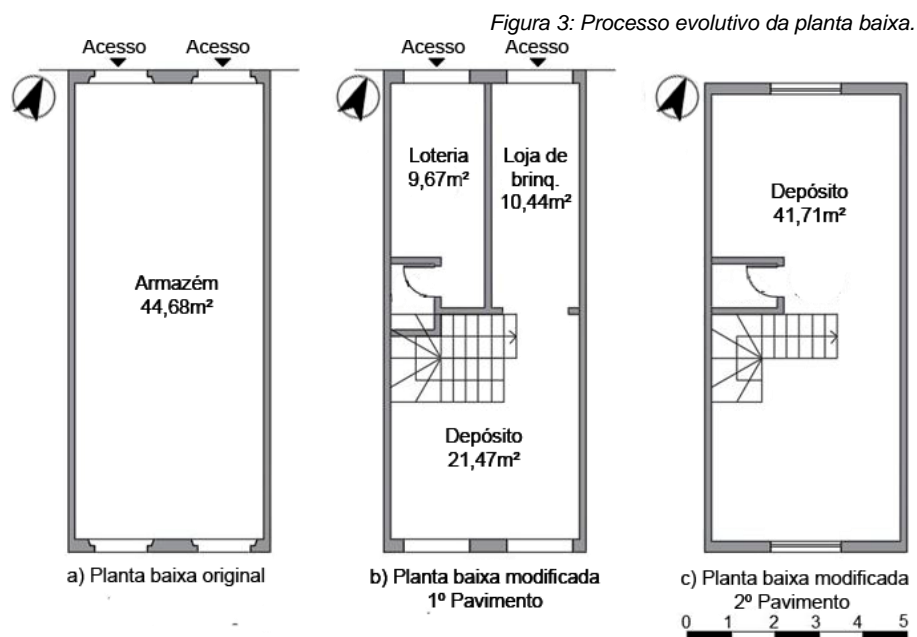
Figura 2: Foto do edifício.



Dentre as características que classificam essa edificação como histórica estão:

- Ser uma construção do séc. XIX; apresenta elementos do primeiro período eclético de Pelotas (arco abatido, platibandas e porta emoldurada);
- Ser uma arquitetura de barro, construída *in-loco* com os materiais disponíveis no entorno;
- Utilizar técnicas tradicionais, com volumes retangulares, puros e simples;
- Apresentar um sistema estrutural autoportante.

Originalmente essa construção foi um armazém de um pavimento, com piso de madeira e quatro portas. Com o passar do tempo, sofreu modificações. Hoje em dia o edifício apresenta dois tipos de comércio (uma loja de brinquedos e uma casa lotérica), possui piso cerâmico e dois pavimentos, assim como mostra a Figura 3.



Características da edificação

O modelo-base possui 100,42m² distribuídos em dois pavimentos com orientação 21°NO. No térreo foram modelados a loja de brinquedos, a casa lotérica, um depósito e um lavabo. No pavimento superior foram modelados o segundo depósito e o segundo lavabo. O projeto é orientado sobre o eixo norte-sul, e possui as paredes de divisa Leste-Oeste encostadas em outras construções. A área envidraçada é 2,74% da área opaca da edificação, conforme a Tabela 1. As esquadrias são de vidro simples 3mm, transparentes e com caixilhos em aço. O telhado é de fibrocimento com inclinação de 10°. As paredes externas são pintadas de branco e estruturadas com tijolo maciço. Os elementos presentes nos componentes opacos (laje, cobertura, parede) têm seus materiais e características térmicas detalhadas nas Tabelas 2 até Tabela 6. As espessuras dos elementos construtivos da edificação foram obtidos através de pesquisas sobre técnicas construtivas presentes no século XIX, comentadas por Schlee (24). Já as propriedades térmicas dos materiais foram obtidos segundo a NBR 15220-2.

Tabela 1: Dados da envoltória do projeto.

	Norte	Leste	Sul	Oeste	Total
Área bruta de parede (m²)	34,04	82,81	34,04	82,81	233,7
Área de abertura de paredes (m²)	3,20	0	3,20	0	6,40
Percentual (%)	9,41	0	9,41	0	2,74

Tabela 2: Composição das paredes externas antigas. (Fonte: adaptado de Schlee (24) e NBR 15220 (26))

Paredes Externas 1º PV				Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
Constituição	e(m)	λ (W/(mK))	r(kg/m ³)	c(kJ/(kg.K))	R(m ² /(WK))	U(W/(m ² /k))
Reboco externo	0,02	1,15	2100	1,00		
Tijolo maciço cerâmico estrutural	0,225	1,05	2000	0,92		
Câmara de ar	0,05				0,6233	1,26
Tijolo maciço cerâmico estrutural	0,225	1,05	2000	0,92		
Reboco interno	0,02	1,15	2100	1,00		

Legenda:

e = espessura; λ = condutividade térmica; r = densidade; c = calor específico; R = resistência térmica do conjunto; U = transmitância térmica total (ambiente a ambiente)

Tabela 3: Composição das paredes externas novas. (Fonte: adaptado de Schlee (24) e NBR 15220 (26))

Paredes Externas 2º PV				Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
Constituição	e(m)	λ (W/(mK))	r(kg/m ³)	c(kJ/(kg.K))	R(m ² /(WK))	U(W/(m ² /k))
Reboco externo	0,02	1,15	2100	1,00		
Tijolo maciço cerâmico estrutural	0,225	1,05	2000	0,92	0,2491	2,39
Reboco interno	0,02	1,15	2100	1,00		

Tabela 4: Composição das paredes internas. (Fonte: adaptado de Schlee (24) e NBR 15220 (26))

Paredes Internas				Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
Constituição	e(m)	λ (W/(mK))	r(kg/m ³)	c(kJ/(kg.K))	R(m ² /(WK))	U(W/(m ² /k))
Reboco externo	0,02	1,15	2100	1,00		
Tijolo maciço cerâmico estrutural	0,11	1,05	2000	0,92	0,1048	3,64
Reboco interno	0,02	1,15	2100	1,00		

Tabela 5: Composição laje. (Fonte: adaptado de Schlee (24) e NBR 15220 (26))

Laje				Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
Constituição	e(m)	λ (W/(mK))	r(kg/m ³)	c(kJ/(kg.K))	R(m ² /(WK))	U(W/(m ² /k))
Piso cerâmico	0,05	1,05	2000	0,92		
Laje de concreto	0,10	1,75	2400	1,00	0,3305	1,85
Câmara de ar	0,05					
Placa de gesso acartonado	0,015	0,35	1000	0,84		

Tabela 6: Composição cobertura. (Fonte: adaptado de Schlee (24) e NBR 15220 (26))

Cobertura				Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
Constituição	e(m)	λ (W/(mK))	r(kg/m ³)	c(kJ/(kg.K))	R(m ² /(WK))	U(W/(m ² /k))
Telha de fibrocimento	0,015	0,70	2200	0,84	0,2314	2,27

Obs.: Como a cobertura vai ser uma zona a mais, por apresentar uma laje em baixo, vai ser considerada como ventilada; R = 0,21(m²/(WK))

Dados climáticos

Os dados climáticos adotados nas simulações são provenientes do arquivo climático de Pelotas, disponibilizado pelo Laboratório Conforto e Eficiência Energética da Universidade Federal de Pelotas (LABCEE / UFPel). Os principais dados são apresentados, de forma resumida, na Tabela 7.

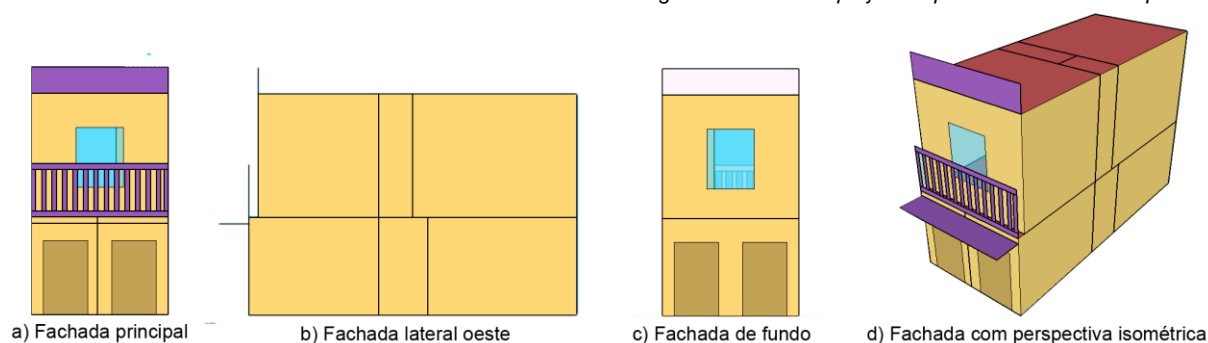
Tabela 7: Dados climáticos de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Pelotas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. Média Mensal (°C)	23,2	23,0	21,7	18,5	15,1	12,4	13,3	13,4	14,9	17,5	19,6	22,0
Radiação solar global Norte (KWh/(m ² .mês))	91,0	74,0	56,0	39,0	26,0	21,0	21,0	29,0	41,0	60,0	84,0	100,0
Radiação solar global Leste (KWh/(m ² .mês))	151,0	126,0	99,0	71,0	49,0	38,0	41,0	56,0	77,0	110,0	145,0	161,0
Radiação solar global Sul (KWh/(m ² .mês))	106,0	113,0	122	116,0	101,0	86,0	88,0	99,0	104,0	106,0	105,0	103,0
Radiação solar global Oeste (KWh/(m ² .mês))	151,0	126,0	101	71,0	49,0	38,0	41,0	56,0	77,0	110,0	145,0	161,0
Global (KWh/(m ² .mês))	251,2	204,7	213	189,5	177,7	146,2	149,9	160,8	161,5	199,6	234,5	265,1
Temperatura de Ponto de orvalho (°C)	18,7	19,0	17,9	15,1	12,1	9,4	9,6	10,4	11,6	13,6	15,0	17,2

Modelagem e configuração da edificação base

A modelagem do edifício base foi realizada na interface gráfica do software SketchUp 2017 Make (Figura 4), através do plugin Euclid na versão 0.9.3. A simulação computacional foi realizada no software EnergyPlus, na versão 8.7.0.

Figura 4: Modelo do projeto arquitetônico no SketchUp 2017.



Os dados de ocupação e uso de equipamentos foram obtidos através de levantamentos realizados *in-loco*, com o proprietário do imóvel e com os funcionários da loja de brinquedos e da casa lotérica. Verificou-se a presença de quatro funcionários (dois na loja de brinquedos e dois na loteria), trabalhando das 10h00min às 19h00min durante a semana, e das 10h00min às 17h00min aos sábados.

A carga de ocupação foi dimensionada segundo valores fornecidos pela NBR 16401-1 (27) Tabela C.1 (taxas típicas de calor liberado por pessoa): 140W/pessoa para atividade moderada em trabalhos de escritório. No levantamento, constatou-se a presença de dois computadores (um na loja brinquedos e um na casa lotérica). Segundo a NBR 16401-1 (27) Tabela C.3, a taxa de dissipação de calor para esse equipamento é de 65W por computador, considerando o uso contínuo. Tendo-se como base a NBR 16401-1 (27) Tabela C.2, a potência dissipada de iluminação com lâmpadas fluorescentes em lojas é 15,1W/m² e em depósitos e lavabos 7,1W/m². Devido à baixa taxa de iluminação natural, a iluminação artificial é necessária durante todo o tempo de ocupação. Ou seja, a agenda de iluminação foi configurada para o período de ocupação do edifício, com valor de 100%.

A temperatura do solo foi configurada através do programa Slab, compatível com o software EnergyPlus. O programa Slab realizou o cálculo das médias entre as temperaturas do ar interno (obtidas a partir de simulação), e as temperaturas mensais do solo informadas pelo arquivo climático.

Configuração da ventilação natural RTQ-C (nível A)

A ventilação natural foi configurada no grupo *AirFlownetwork* do EnergyPlus. As esquadrias foram configuradas abertas para as horas ocupadas durante dia, como é operado no edifício real. Com isso, constatou-se um desconforto por frio de 49,85% devido aos corredores de ar, formados pelas esquadrias abertas, que retiram o calor dos ambientes. Com o objetivo de evitar esse cenário, a primeira modificação realizada no edifício foi a inserção de um sistema de controle de aberturas nas esquadrias, com 1,0 renovação de ar por hora. A temperatura de abertura das janelas foi configurada para ficar dentro da zona de conforto térmico. Ou seja, realizou-se oito simulações, cada qual com uma temperatura do termostato de abertura das janelas (20°C, 21°C, 22°C, 23°C, 24°C, 25°C e 26°C), para averiguar a temperatura que proporcionasse o maior nível de conforto térmico. Neste edifício, assim como mostra a Tabela 8, os modelos que apresentam os termostatos nas temperaturas acima de 22°C mostraram as melhores temperaturas de conforto. Há pouca diferença no conforto térmico nos termostatos entre 22°C e 26°C. O melhor modelo possui o termostato configurado a 23°C, com 48,62% de conforto térmico. Isso mostra que só controlar a abertura das esquadrias já melhora em, aproximadamente, 5% o nível de conforto do edifício.

Tabela 8: Porcentagem do conforto térmico do edifício segundo o termostato.

Nome do arquivo	Termostato	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)	Conforto (%)
Modelo 1	Abertura no horário de funcionamento	49,85	6,33	43,82
Modelo 2	20°C	47,15	6,37	46,48
Modelo 3	21°C	45,62	6,38	47,99
Modelo 4	22°C	45,03	6,47	48,50
Modelo 5	23°C	44,84	6,54	48,62
Modelo 6	24°C	44,72	6,72	48,57
Modelo 7	25°C	44,69	6,88	48,43
Modelo 8	26°C	44,68	7,15	48,17

Configuração do isolamento térmico para o RTQ-C (nível A)

Visando alcançar as mínimas transmitâncias térmicas sugeridas pelo RTQ-C, como mostra a Tabela 9, inicialmente, adicionou-se isolamento térmico na parede externa do modelo, 4cm lã de rocha na parte interna; 4cm de lã de rocha no piso em contato com o solo; e 10cm de lã-de-roca com câmara de ar de 5cm na cobertura.

Tabela 9: Transmitância térmica atendendo os requisitos do RTQ-C (Fonte: Energyplus adaptado do RTQ-C (14)).

Elemento estrutural	Sem isolamento (W/m ² K)	RTQ-C VN (W/m ² K)	RTQ-C ARC (W/m ² K)	Com isolamento (W/m ² K)
Parede externa 1ºPV	1,29	1,00	1,00	0,60
Piso em contato com o solo	3,75	-	-	0,87
Cobertura	6,86	1,00	0,50	0,39

Depois, usou-se lã de rocha com espessuras mais finas para analisar o mínimo necessário para se alcançar o conforto térmico. Nas paredes e pisos externos foi utilizado as espessuras de 1cm e 2cm. Já na cobertura foi usado 5cm, 2cm e 1cm de lã de rocha, assim como mostra a Tabela 10. Também analisou-se nas simulações a troca de cor do edifício, visando melhorar passivamente a temperatura interna da edificação. Optou-se para essa análise as cores branca e preta, com as respectivas absorptâncias de 0,20 e 0,90.

Tabela 10: Características dos elementos.

Modelos	Paredes externas lã de rocha (cm)			Piso externas lã de rocha (cm)			Cobertura lã de rocha (cm)				Cor
	1	2	4	1	2	4	1	2	5	10	
Modelo 9			X			X				X	Branco
Modelo 10		X			X				X		Branco
Modelo 11		X			X				X		Preto
Modelo 12		X			X			X			Branco
Modelo 13		X			X			X			Preto
Modelo 14		X			X		X				Branco
Modelo 15		X			X		X				Preto
Modelo 16	X			X			X				Branco
Modelo 17	X			X			X				Preto
Modelo 18	X			X				X			Branco
Modelo 19	X			X				X			Preto

Configuração do sistema de arrefecimento para o nível A segundo o RTQ-C

Ao analisar o consumo de energia do modelo-real, excluiu-se a ventilação natural e configurou-se o sistema de condicionamento PTHP, com COP de 3,24W/W, operando durante o horário de ocupação, com o SetPoint entre 20°C e 26°C. Nessa configuração, foi utilizado os modelos com pintura preta com os mesmos critérios de isolamento do sistema PTHP. A escolha dos modelos desta cor ocorre devido à absorptância da cor preta, que permite acumular calor passivamente no edifício. A Tabela 11 mostra a relação dos melhores modelos ventilados naturalmente e o consumo de energia deles após a implementação do sistema PTHP.

Tabela 11: Consumo de energia.

Modelo	Isolamento igual ao modelo	Consumo aquecimento (kWh/(m ² .ano))	Consumo arrefecimento (kWh/(m ² .ano))	Consumo de energia primária (kWh/(m ² .ano))
Modelo 30	Modelo 5	2,25	1,14	48,85
Modelo 31	Modelo 9	1,14	1,16	47,06
Modelo 32	Modelo 11	1,10	1,68	47,90
Modelo 33	Modelo 19	1,35	1,58	48,14

Configuração do sistema de arrefecimento com *EnerPHit* Standard

Ao analisar o consumo de energia do modelo-real, exclui-se a ventilação natural e o sistema PTHP, e configura-se o sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR), com COP de 3,24W/W, operando durante o horário de ocupação, com o SetPoint entre 20°C e 26°C.

Posteriormente, simulou-se a envoltória usando as mesmas espessuras de lâ de rocha dos modelos com ventilação natural que obtiveram os maiores percentuais de conforto térmico. A Tabela 12 mostra a relação dos modelos MVHR com o consumo de energia e conforto térmico em graus horas, de acordo com a diferente espessura de isolamento.

Tabela 12: Consumo de energia para *EnerPHit*.

Modelo	Isolamento igual ao modelo	Graus horas de aquecimento (%)	Graus horas de resfriamento (%)	Consumo de energia de aquecimento (kWh/(m ² .ano))	Consumo de energia primária (kWh/(m ² .ano))
Modelo 38	Modelo 5	0	4,08	6,99	46,40
Modelo 39	Modelo 9	0	4,55	2,84	44,90
Modelo 40	Modelo 11	0	4,55	2,84	44,90
Modelo 41	Modelo 19	0	5,22	3,74	45,31

Análise da viabilidade econômica

A análise da viabilidade econômica foi feita através da variável payback simples. Ou seja, da relação entre os custos das modificações (aplicação de lâ de rocha, sistema PTHP e MVHR) para melhorar o nível de conforto térmico do edifício, com a economia de energia gerada pelos sistemas passivos. Através do payback simples é possível analisar o tempo de retorno do investimento. A Equação 1 resume o procedimento descrito.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{custo do retrofit}}{\text{custo da economia de energia anual}} \quad \text{Eq.1}$$

O custo do consumo mensal de energia de cada retrofit é analisado pela simulação do valor simplificado da conta, oferecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), e multiplicado pelos meses do ano (12). Segundo a simulação da CEEE, resumida pela Equação 2, o preço final da tarifa, levando em consideração o mês de outubro de 2019, ficou em R\$0,70 o kWh. Essa simulação leva em consideração o valor do consumo de energia elétrica (kWh) em bandeira VERDE (R\$0,46), de uma instalação comercial, sobre o ICMS de 30%, PIS e CONFINS do mês atual - 0,8544% e 3,9347% respectivamente.

$$Preço\ final = \frac{Preço\ homologado}{(1 - PIS(\%) - COFINS(\%) - ICMS(\%))} \quad Eq.2$$

Os custos de energia obtidos em cada modelo modificado foram subtraídos do custo de energia do modelo real para obter os valores de economia. A Equação 3 resume o procedimento descrito anteriormente.

$$Custo\ de\ economia\ de\ energia = custo\ da\ energia\ do\ modelo\ real - (custo\ mensal\ de\ energia\ do\ retrofit \times 12) \quad Eq.3$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do isolamento térmico da envoltória

Ao analisar os resultados obtidos pelas simulações, constatou-se que o modelo-base alcança o nível A do RTQ-C, conforme demonstrado na Tabela 13. Todavia, o edifício apresenta um alto nível de desconforto por frio o que mostra a necessidade de investir em medidas passivas que impeçam as perdas de calor e proporcionam aquecimento passivo. O desconforto por frio devido três a fatores: primeiro, a envoltória apresenta poucas aberturas transparentes que possibilitariam o ganho de calor através da radiação solar direta; segundo, a envoltória apresenta ganhos térmicos diferentes em cada pavimento. O primeiro pavimento apresenta grande inércia provocado pelas suas paredes em contato direto com outras edificações, impedindo assim as trocas térmicas com ambiente externo. Já o segundo pavimento apresenta baixa inércia térmica resultante de suas paredes e cobertura mais simples, o que facilita as trocas térmicas entre os ambientes interno e externo; terceiro, a edificação possui poucas fontes internas de calor, como equipamentos, iluminação e fluxo de pessoas.

Tabela 13: Classificação do edifício segundo o RTQ-C.

Atributos	Iluminação	Ar condicionado	Envoltória	Bonificação	Total
Classificação	A	A	E	-	A
Equivalente numérico	5	5	1	0,5	4,81

Por apresentar desconforto por frio foi necessário realizar modificações visando aquecer a edificação. Inicialmente foi criado um sistema de controle de esquadrias. O Modelo 5, conforme mostra a Tabela 14, apresentou o melhor termostato com controle de abertura a 23°C, aumentando em 4,8% o nível de conforto térmico da edificação. Depois, aplicou-se a lã de rocha nas paredes e cobertura do edifício até alcançar no mínimo 60% de conforto térmico durante o ano, percentagem mínima para subir o nível de eficiência energética da envoltória.

Tabela 14: Desempenho térmico e energético do edifício ventilado naturalmente.

Modelo	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)	Conforto (%)
Modelo 1	49,85	6,33	43,82
Modelo 5	44,84	6,54	48,62
Modelo 9	37,90	0,72	61,38
Modelo 11	33,68	2,96	63,35
Modelo 19	35,91	3,90	60,19

O Modelo 19 apresentou o mínimo de lã de rocha necessária para alcançar os 60% de conforto térmico. Esse modelo possui 1cm de lã de rocha nas paredes e pisos externos, 2cm de lã de rocha na cobertura e pintura preta nas paredes. Com essas modificações, o conforto térmico do edifício subiu em 16,37%, se comparado com o modelo-base. Além disso, esse resultado mostra que não é necessário alcançar a transmitância térmica mínima dos elementos sugeridos pelo RTQ-C para atingir os níveis de conforto. O Modelo 19 apresenta respectivamente 1,17W/m²k e 1,25W/m²k nas paredes e 2º pavimento e cobertura, sendo a recomendação do RTQ-C 1,00W/m²k e 0,50W/m²k.

Em relação aos critérios mínimos exigidos pela *EnerPHit* Standard, é necessário apenas a instalação do sistema MVHR. Esse sistema possibilita manter o edifício com menos de 10% de graus horas de aquecimento e resfriamento durante o ano. Mesmo com o aumento no consumo de energia, causado pela implementação do MVHR, esse consumo final foi inferior tanto a 120kWh/m².ano no consumo de energia primária, quanto a 15kWh/m².ano no consumo para aquecimento. O Modelo 38, com termostato em 23°C e sem isolamento - identificado na Tabela 15 -, demonstra essa afirmação. Após se acrescentar o sistema MVHR, esse modelo passou a ter 4,08% de graus horas do ano de desconforto por frio, sem desconforto por calor, consumindo 6,99kWh/(m².ano) de aquecimento e 46,42kWh/(m².ano) de energia primária. Além de conseguir a certificação *EnerPHit*, o edifício também pode receber a certificação da *Passive House*, com consumo máximo para aquecimento de 10kWh/(m².ano).

Tabela 15: Desempenho térmico e energético com sistemas de climatização.

Modelo	Energia de aquecimento (kWh/(m ² .ano))	Energia de resfriamento (kWh/(m ² .ano))	Consumo de energia primária (kWh/(m ² .ano))	GHA	GHR
Modelo 30	9,47	1,00	48,85	0,35	1,54
Modelo 31	4,79	0,93	47,06	0,22	2,19
Modelo 32	4,63	0,91	47,90	0,17	1,87
Modelo 33	5,68	0,93	48,14	0,20	1,67
Modelo 38	1,66	0,67	46,40	0	4,08
Modelo 39	0,67	6,98	44,90	0	4,55
Modelo 40	0,67	2,84	44,90	0	4,55
Modelo 41	0,89	3,73	45,31	0	5,21

Legenda: GHA = Graus Horas Aquecimento; GHR = Graus Horas Resfriamento.

Análise de viabilidade econômica

A Tabela 16 resume o payback simples dos retrofits. Ou seja, a relação entre o investimento financeiro nas modificações, e seu tempo de retorno devido à economia de energia, levando em consideração o preço da tarifa verde em outubro de 2019 (R\$0,70/kWh).

Os modelos 30 à 33 representam modelos com o sistema PTHP, enquanto os modelos 38 à 41 sistema MVHR. Comparando os dois sistemas, prova-se que, apesar do investimento inicial no MVHR ser mais elevado, o tempo de retorno é menor se comparado com o PTHP. Isso ocorre, pois, a economia de energia provocada pelo MVHR é mais elevada. O MVHR utiliza o ar quente

do próprio edifício para aquecer passivamente o ar novo insuflado de forma controlada, fazendo com que o consumo de energia por aquecimento seja menor. Uma vez que o edifício apresenta, naturalmente, muitas horas de desconforto por frio, essa diminuição no consumo de aquecimento resulta no aumento na economia de energia.

Tabela 16: Tempo de retorno.

Modelo	Energia (kWh)	Custo energia mês (R\$)	Custo energia ano (R\$)	Economia energia ano ano (R\$)	Custo retrofit (R\$)	Payback (ano)
Modelo 30	3.066	2.146,20	25.754,40	-	1.432,90	-
Modelo 31	2.953	2.067,10	24.805,20	949,20	9.598,75	10
Modelo 32	3.066	2.146,20	25.754,40	-	6.852,85	-
Modelo 33	3.021	2.114,70	25.376,40	378,00	5.405,14	14
Modelo 38	2.913	2.039,10	24.469,20	1.285,20	11.780,15	9
Modelo 39	2.818	1.972,60	23.671,20	2.083,20	19.931,00	10
Modelo 40	2.818	1.972,60	23.671,20	2.083,20	17.200,10	8
Modelo 41	2.844	1.990,80	23.889,60	1.864,80	15.752,39	8

O Modelo 38 apresenta a menor economia de energia do sistema MVHR (R\$1.285,20), enquanto o Modelo 31 a maior economia de energia do PTHP (R\$949,20). Comparando os dois modelos, percebe-se que o pior cenário do MVHR consegue economizar, aproximadamente 36% a mais nos custos de energia que o melhor cenário do PTHP. Esses resultados evidenciam a relevância na escolha de um sistema de climatização artificial perante a diminuição dos custos de energia. Nesse trabalho o MVHR o que produziu os melhores resultados.

Cada modificação realizada no edifício apresenta um tempo de vida útil. A modificação presente em todas os modelos foi a pintura, sendo ela a que apresenta menor vida útil. Ou seja, o retrofit que atender a vida útil da pintura também vai atender das demais modificações, sendo considerado economicamente viável. No caso da pintura, o tempo de vida útil é de 8 anos (28). Apesar do payback simples dos modelos serem muito próximos e possuírem tempo de retorno do investimento inferior a 10 anos, apenas os modelos 40 e 41 são considerados economicamente viáveis, pois apresentam payback simples de 8 anos. Isso significa que em 8 anos o custo da economia de energia alcança os custos de investimento das modificações. Os demais modelos não são considerados economicamente viáveis, pois o tempo de retorno dos investimentos é superior a 8 anos.

Assim como Boarin et al. (17); Roberti et al. (2015); Kass et al. (18), foi possível melhorar o edifício histórico sem mudar estruturalmente a fachada, mantendo os valores arquitetônicos que tornaram esse edifício uma representação da arquitetura de Pelotas. Todavia, ao contrário de Kalamees (2013), Vallati et al. (20), Claude et al. (21) e Parada (23) que obtiveram melhorias de mais de 40% no conforto térmico no interior dos edifícios, nesta pesquisa obtém-se melhora de até 20%, muito menor que os outros estudos. Isso ocorre principalmente pela configuração do edifício de estudo que apresenta superfícies transparentes completamente diferentes dos edifícios abordados pelos autores citados e grande inércia térmica.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nesse trabalho é possível chegar a algumas conclusões: primeiro, é necessário avaliar individualmente cada edifício histórico, pois cada exemplar possui seu nível de tombamento, características e técnicas construtivas conforme o período em que foi construído; segundo, é possível melhorar a eficiência energética de um edifício histórico sem modificar de forma irreversível a fachada.

Neste estudo, foi possível aplicar tanto o RTQ-C quanto a *EnerPHit* para avaliar o desempenho energético de um edifício histórico com nível três de tombamento. Também constatou-se que seguir à risca os padrões mínimos de transmitância térmica das superfícies, sugeridos pelas certificações, não significa melhor desempenho térmico do edifício. Isso é, que em alguns casos, uma quantidade menor de isolamento térmico nos elementos pode proporcionar um nível de conforto térmico satisfatório e acarretar em menores gastos com os materiais.

Em relação aos sistemas de climatização para atender as certificações, os modelos que utilizaram o MVHR para atingir a *EnerPHit* apresentaram os resultados mais baixos no consumo de energia primária se comparados com os modelos com PTHP, os quais visavam o nível A do RTQ-C. Enquanto os modelos 31, 32 e 33 (PHTP) consumiram, respectivamente, 47,06kWh/(m².ano), 47,90kWh/(m².ano) e 48,14kWh/(m².ano) de energia primária, os modelos 39 e 40 (MVHR) consumiram 44,90kWh/(m².ano) e o modelo 41, 45,30kWh/(m².ano). Isso mostra uma diferença de 4% entre o caso do PTHP com o menor consumo de energia primária e o MVHR com maior consumo de energia primária. Isso indica que em termos de consumo de energia e para esse edifício de estudo, a certificação *EnerPHit* apresenta os melhores resultados de consumo de energia.

Apesar de todos os modelos atingirem os critérios mínimos do RTQ-C e da *EnerPHit*, o mesmo não se aplica à viabilidade econômica. Apenas os Modelos 40 e 41, que atendem à *EnerPHit*, são considerados economicamente viáveis, pois apresentam payback simples de 8 anos. Isso mostra, nesse estudo, que atender aos critérios da *EnerPHit* é mais economicamente viável do que atender os critérios do RTQ-C.

Todavia, esse trabalho é um recorte no tema retrofit energético em edifícios históricos. Ainda é necessário ampliar a discussão sobre esse tema nas demais zonas bioclimáticas brasileiras, com edifícios maiores e que possuem mais fachadas em contato com o ambiente externo.

REFERÊNCIAS

1. ESTIMA SILVA, Mariana, VIANNA, Saionara, MEDVEDOVSKY, Nirce, TORRES, Ariela S. and SALAMONI, Isabel. Avaliação das condições de conforto visual em edificação tombada com novo uso : estudo de caso do Casarão 2 , Pelotas/RS. *Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo* [online]. 2017. Vol. 19. Available from: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa>
2. SECRETARIA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Manual do Imóvel Inventariado Parte 1*. 2008. Pelotas : SECULT.
3. MAZZARELLA, Livio. Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view. *Energy and Buildings* [online]. 2015. Vol. 95, p. 23-31. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.10.073. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.073>

4. WEBB, Amanda L. Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2017. Vol. 77, no. January, p. 748-759. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.145>
5. PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Lei Nº 5.502, De 11 De Setembro De 2008*. [online]. 2008. Pelotas : Gabinete do Prefeito de Pelotas. Available from: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-pelotas-rs/Institui> o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências.
6. EUROPEIA, Parlamento Europe e o conselho da união. *Directive 2002/91/CE* [online]. 2003. Official Journal of the European Communities. ISBN 0-7803-8590-x. Available from: <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/b1db9cf4-1906-4f7f-bcdd-3355f36d1c8b/language-pt>
7. CIRAMI, Simona, EVOLA, Gianpiero, GAGLIANO, Antonio and MARGANI, Giuseppe. Thermal and Economic Analysis of Renovation Strategies for a Historic Building in Mediterranean Area. *Buildings* [online]. 2017. Vol. 7, no. 3, p. 60. <https://doi.org/10.3390/buildings7030060>
8. PASSIVE HOUSE INSTITUTE. *Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard*. 2016. Alemanha : Passive House Institute.
9. BASTIAN, Zeno, BLÜCHER, Marlies, INHOFER, Patricia, TORRES, Franziska, AHMED, Shagufta and LANG, Amina. *Step by Step retrofits with Passive House components* [online]. 2016. Alemanha : Passive House Institute. Available from: www.passivehouse.com
10. FERNANDES, Luciana Oliveira and LABAKI, Lucila Chebel. The Influence of the Shading of Surroundings on the Brazilian Labeling of Building Energy Efficiency. In : *28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Peru : PLEA2012, 2012. p. 5-10. ISBN 9786124057892.
11. SANTOS, Iara Gonçalves dos and SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. Proteções solares no regulamento brasileiro de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. *Ambiente Construído* [online]. 2012. Vol. 12, no. 1, p. 227-241. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212012000100015>
12. FOSSATI, Michele and LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. *Ambiente Construído*. 2010. Vol. 10, no. 2, p. 59-69. DOI 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
13. LIANG WONG, Ing and KRÜGER, Eduardo. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. *Energy Policy*. 2017. Vol. 109, no. November 2016, p. 310-323. DOI 10.1016/j.enpol.2017.07.005.
14. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Manual para Aplicação do RTQ-C: Versão 4* [online]. 2017. Rio de Janeiro : Procel Edifica. Available from: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/dowloads/manual_rtqc2016.pdf
15. CARBONARA, Giovanni. Energy efficiency as a protection tool. *Energy and Buildings* [online]. 2015. Vol. 95, p. 9-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.052>
16. LUCCHI, Elena, BECHERINI, Francesca, DI TUCCIO, Maria Concetta, TROI, Alexandra, FRICK, Jürgen, ROBERTI, Francesca, HERMANN, Carsten, FAIRNINGTON, Ian, MEZZASALMA, Giulia, POCKELÉ, Luc and BERNARDI, Adriana. Thermal performance evaluation and comfort assessment of advanced aerogel as blown-in insulation for historic buildings. *Building and Environment* [online]. 2017. Vol. 122, p. 258-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.019>
17. BOARIN, Paola, GUGLIELMINO, Daniele, PISELLO, Anna Laura and COTANA, Franco. Sustainability assessment of historic buildings: Lesson learnt from an Italian case study through LEED® rating system. *Energy Procedia* [online]. 2014.

- Vol. 61, p. 1029-1032. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1017>
- 18.KASS, Kristaps, BLUMBERGA, Andra, BLUMBERGA, Dagnija, ZOGLA, Gatis, KAMENDERS, Agris and KAMENDERE, Edite. Pre-assessment Method for Historic Building Stock Renovation Evaluation. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 113, p. 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.004>
- 19.ARUMÄGI, Endrik and KALAMEES, Targo. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates. *Applied Energy*. 2014. Vol. 115, p. 540-548. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.041>
- 20.VALLATI, Andrea, GRIGNAFFINI, Stefano, ROMAGNA, Marco and MAURI, Luca. Energy retrofit of a non-residential and historic building in Rome. *EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering*. 2016. P. 28-33. <https://doi.org/10.1109/eeeic.2016.7555736>
- 21.CLAUDE, Sophie, GINESTET, Stéphane, BONHOMME, Marion, MOULÈNE, Nicolas and ESCADEILLAS, Gilles. The Living Lab methodology for complex environments: Insights from the thermal refurbishment of a historical district in the city of Cahors, France. *Energy Research and Social Science* [online]. 2017. Vol. 32, p. 121-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2017.01.018>
- 22.GONZÁLEZ, Aránzazu G., ZOTANO, Miguel Ángel ., SWAN, William, BOUILLARD, Philippe and ELKADI, Hisham. Maturity Matrix Assessment: Evaluation of Energy Efficiency Strategies in Brussels Historic Residential Stock. *Energy Procedia* [online]. 2017. Vol. 111, no. September 2016, p. 407-416. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.202>
- 23.PARADA, Marlène S. *Reabilitação energética de um edifício antigo segundo os requisitos EnerPHit*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2014.
- 24.SCHLEE, Andreg Rosentn. *O ecletismo na arquitetura pelotense até as décadas de 30 e 40* [online]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. Available from: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1752>
- 25.SECRETARIA MUNICIPAL DE PELOTAS. *Inventário Do Patrimônio Cultural De Pelotas Relação Dos Imóveis* [online]. 2004. 1. Pelotas: SECULT. Available from: <https://www.pelotas.com.br/cultura/patrimonio-e-acoas>
- 26.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220-2: 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* [online]. 2003. Rio de Janeiro: ABNT. Available from: www.abnt.org.br
27. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16401-1-2008 - Projetos das Instalações* [online]. 2008. Rio de Janeiro: ABNT. Available from: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-1_2008.pdf
- 28.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575 - Edificações Habitacionais – Desempenho*. 2013. Rio de Janeiro: ABNT.

Submetido: 22/10/2019
Aceito: 14/05/2020