

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM PRÉDIO HISTÓRICO
UTILIZANDO O RTQ-C

por

Rafaela Lisbôa Ribeiro

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenharia Mecânica.

Porto Alegre, maio de 2022.

Ribeiro, Rafaela Lisbôa
Avaliação do desempenho energético de um prédio
histórico utilizando o RTQ-C / Rafaela Lisbôa Ribeiro.
-- 2022.
35 f.
Orientador: Cirilo Seppi Bresolin.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Eficiência Energética. 2. Prédio Histórico. 3.
RTQ-C. 4. ENCE. I. Bresolin, Cirilo Seppi, orient.
II. Título.

Rafaela Lisbôa Ribeiro

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM PRÉDIO HISTÓRICO
UTILIZANDO O RTQ-C

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRA MECÂNICA
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Cirilo Seppi Bresolin

Comissão de Avaliação:

Prof. Andrés Armando Mendiburu Zevallos

Prof^a. Letícia Jenisch Rodrigues

Prof. Paulo Smith Schneider

Porto Alegre, maio de 2022.

DEDICATÓRIA

À minha família e aos meus amigos, pelo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grata à minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e pela confiança inabalável. Aos meus amigos, meu muito obrigado por sempre acreditarem em mim. Agradeço ao Prof. Cirilo Seppi Bresolin a orientação, paciência e constante motivação, e à Prof^a. Letícia Jenisch Rodrigues os esclarecimentos e a ajuda. Finalmente, obrigada à SUINFRA e seus subsetores pelos dados fornecidos.

We shouldn't just look at new buildings but at existing stock building because that's an even greater problem than the new buildings being built. The renovation of existing buildings and making them green is just as important as designing new green buildings.

Ken Yeang

Ribeiro, Rafaela Lisbôa. **Avaliação do desempenho energético de um prédio histórico utilizando o RTQ-C**. 2022. 35 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o nível de desempenho energético atual de um prédio histórico na cidade de Porto Alegre (RS), identificar os pontos que necessitam de maior intervenção, e analisar os possíveis *upgrades* na edificação para a melhora desse nível. Para isso, utiliza-se o método prescritivo do RTQ-C. Pela dificuldade de obtenção de dados precisos e completos a respeito da edificação, são feitas algumas suposições e simplificações, especialmente em relação aos aparelhos de ar-condicionado e ao sistema de iluminação do edifício. Constata-se que a envoltória tem nível E de eficiência energética, exclusivamente devido à configuração da cobertura, que possui elevada transmitância térmica. O sistema de iluminação é classificado como nível C, pois o pré-requisito de contribuição da luz natural para os níveis A e B não é respeitado. O sistema de condicionamento de ar também atinge nível C de eficiência energética, o que se deve ao fato de muitos aparelhos serem antigos, com COP estimado em 3,0. Nenhuma bonificação é aplicada, visto que a única iniciativa que poderia ser beneficiada é o elevador do prédio, e ele não atinge o nível A de eficiência na avaliação pela norma VDI 4707. Assim, a pontuação total é de 2,19, enquadrando a edificação no nível D de eficiência energética. Como se trata de uma construção histórica, intervenções na envoltória se mostram muito difíceis de serem implementadas. Assim, sugere-se a elevação ao nível A do sistema de iluminação ou do sistema de condicionamento de ar, o que elevaria o edifício ao nível C. O aumento simultâneo desses dois sistemas para o nível A garante à edificação o mesmo nível C de eficiência energética. Por fim, observa-se que o aumento de eficiência ao nível B de apenas um desses dois sistemas individuais, enquanto o outro permanece no nível atual, não se mostra suficiente para mudar a classificação do prédio, apesar de a mudança de nível do sistema de iluminação chegar a uma pontuação muito próxima da necessária.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Prédio Histórico, RTQ-C, ENCE.

Ribeiro, Rafaela Lisbôa. **Energy performance evaluation of a historic building using the RTQ-C**. 2022. 35 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the current energy performance class of a historic building in the city of Porto Alegre (Brazil), identify the points that require intervention, and analyze possible upgrades in the building to improve this class. To do so, the prescriptive method of the RTQ-C is used. Due to the difficulty in obtaining precise and complete data about the building, some assumptions and simplifications are made, especially regarding the air-conditioning units and the building's lighting system. The building envelope is rated E, exclusively due to the configuration of the roof, which has a high thermal transmittance. The lighting system is classified C, since the prerequisite of daylight contribution for classes A and B is not met. The air conditioning system is also rated C, due to the fact that many appliances are old, with an estimated COP of 3.0. No bonus is applied, since the only feature that could benefit is the building's elevator, and it is not A rated when evaluated by the VDI 4707 Standard. Thus, the total score is 2.19, which means the building is D rated. As it is a historical building, interventions in the envelope are very difficult to implement. Therefore, it is suggested that the lighting system or the air conditioning system be upgraded to class A, which would elevate the building's class to C. The simultaneous upgrading of these two systems to class A would guarantee the same class C of energy efficiency for the building. Finally, it is observed that increasing the efficiency to class B of only one of these two individual systems, while the other remains at the current class, is not sufficient to change the building's classification, even though the change of efficiency class of the lighting system would grant a score very close to the required one.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Historic Building, RTQ-C, ENCE.

NOMENCLATURA

Símbolos

AC	Área útil dos ambientes condicionados	[m ²]
A_{env}	Área da envoltória	[m ²]
A_{fach}	Área total de fachada	[m ²]
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	[°]
ANC	Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada	[m ²]
A_{pcob}	Área de projeção da cobertura	[m ²]
A_{pe}	Área de projeção do edifício	[m ²]
APT	Área útil dos ambientes não condicionados de permanência transitória	[m ²]
A_{tot}	Área total construída	[m ²]
AU	Área útil	[m ²]
$A_{vidr,tot}$	Área total de aberturas envidraçadas nas fachadas	[m ²]
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	[°]
b	Pontuação concedida pelas bonificações	[adim.]
DPI	Densidade de Potência de Iluminação	[W/m ²]
DPI_L	Densidade de Potência de Iluminação Limite	[W/m ²]
$EqNumCA$	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar	[adim.]
$EqNumDPI$	Equivalente numérico do sistema de iluminação	[adim.]
$EqNumEnv$	Equivalente numérico da envoltória	[adim.]
$EqNumV$	Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente	[adim.]
FA	Fator de altura	[adim.]
FF	Fator de forma	[adim.]
FS	Fator solar	[adim.]
i	Intervalo	[adim.]
IC_{env}	Indicador de consumo da envoltória	[adim.]
$IC_{máxD}$	Indicador de consumo máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D	[adim.]
$IC_{mín}$	Indicador de consumo mínimo	[adim.]
PAF_O	Percentual de abertura na fachada oeste	[adim.]
PAF_T	Percentual de abertura na fachada total	[adim.]
PT	Pontuação total	[adim.]
U_{cob}	Transmitância térmica da cobertura	[W m ⁻² K ⁻¹]
U_{cob1}	Transmitância térmica do primeiro segmento da cobertura (telhas)	[W m ⁻² K ⁻¹]

U_{cob2}	Transmitância térmica do segundo segmento da cobertura (cúpulas)	[W m ⁻² K ⁻¹]
U_{par}	Transmitância térmica das paredes externas	[W m ⁻² K ⁻¹]
V_{tot}	Volume total da edificação	[m ³]

Símbolos gregos

α	Absortância solar	[adim.]
λ	Condutividade térmica	[W/mK]

Abreviaturas e acrônimos

CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
COP	Coeficiente de desempenho (do inglês <i>Coefficient Of Performance</i>)
CEE	Coeficiente de Eficiência Energética
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EqNum	Equivalente Numérico
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
IEA	<i>International Energy Agency</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MME	Ministério de Minas e Energia
OFPROD	Oficinas de Produção e Manutenção Mecânica
POC	Percentual de horas Ocupadas em Conforto
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SINFRAEE	Setor de Infraestrutura da Escola de Engenharia
SUINFRA	Superintendência de Infraestrutura
UFRGS	Universidade do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
ZB	Zonas Bioclimáticas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 OBJETO DE ESTUDO	2
2. FUNDAMENTAÇÃO	3
3. METODOLOGIA	5
3.1 PRÉ-REQUISITOS GERAIS	5
3.2 PONTUAÇÃO GERAL	6
3.3 ENVOLTÓRIA	7
3.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	10
3.5 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	11
3.6 VENTILAÇÃO NATURAL	13
3.7 BONIFICAÇÕES	13
3.8 VALIDAÇÃO	13
4. RESULTADOS	13
4.1 ENVOLTÓRIA	14
4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	15
4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	15
4.4 BONIFICAÇÕES	15
4.5 EDIFICAÇÃO: EFICIÊNCIA GERAL	16
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
ANEXO A – DETALHAMENTO DE PROCEDIMENTO DE CÁLCULO REFERENTE À COBERTURA	21
ANEXO B – EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA A VENTILAÇÃO NATURAL BASEADA EM POC	23
APÊNDICE A – CONDICIONADORES DE AR DO INSTITUTO PAROBÉ	23

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são um dos principais temas da atualidade; torna-se cada vez mais claro que inúmeras alterações ao *status quo* devem ser realizadas com urgência, e essa constatação, por sua vez, traz consigo novos desafios. No que diz respeito ao uso sustentável de energia, faz-se imprescindível que as construções tenham alta eficiência energética, especialmente devido ao fato de elas representarem uma parcela significativa do consumo global. De fato, de acordo com a *International Energy Agency* (IEA), as edificações e o setor de construção civil correspondem juntos a quase um terço do consumo final global de energia (IEA, 2022). No contexto brasileiro, os dados mostram que a energia elétrica consumida em prédios corresponde a aproximadamente 45% do consumo faturado (PBE EDIFICA, 2020).

A redução do consumo energético de edificações é um dos compromissos que o Brasil assumiu na ratificação do Acordo de Paris de 2015 (INMETRO, 2021b). Para isso, ações que visam à eficiência são necessárias. A solução para novas construções é simples, pois o projeto pode ser concebido já tendo em vista esse objetivo. Por sua vez, prédios já existentes podem se beneficiar de renovações destinadas à adequação a normas de eficiência: estima-se que essas reformas possam reduzir em 30% o consumo de energia de um edifício (PBE EDIFICA, 2020).

Contudo, as técnicas disponíveis para o aumento da eficiência se mostram de difícil aplicação ao se tratar de edifícios classificados como patrimônio histórico, visto que eles são sujeitos a restrições que dificultam as ações necessárias para torná-los energeticamente eficientes. Berg *et al.* (2017) pontuam que, para melhorar o desempenho energético de uma edificação como tal, é necessário um equilíbrio bem estudado entre a conservação da edificação e os objetivos climáticos e sociais, já que as técnicas disponíveis não levam necessariamente em consideração valores estéticos ou históricos. Assim, procedimentos que são comumente empregados em novas construções necessitam de uma avaliação cuidadosa antes de serem adotados em prédios históricos, a fim de evitar que características arquitetônicas importantes sejam alteradas de maneira inadequada, e que materiais de construção históricos sofram danos irreparáveis (HENSLEY; AGUILAR, 2011).

Essas danificações podem ser evitadas por meio de normas específicas para esse tipo de edifício. Entretanto, segundo Martínez-Molina *et al.* (2016), a maioria das leis de eficiência energética de edificações exclui construções históricas, locais de culto e outros edifícios de fins especiais com valor artístico e histórico, devido à dificuldade de se implementarem medidas que não comprometam os valores arquitetônicos e outros valores fundamentais que se procura preservar. Šekularac *et al.* (2020) também chamam atenção ao fato de não haver atos internacionais no que diz respeito a remodelações voltadas para a eficiência energética no campo de conservação do patrimônio arquitetônico.

Entretanto, como afirma Murgul (2014), aumentar a eficiência energética de prédios históricos é, atualmente, um dos problemas mais urgentes da ciência da construção. Isso pode ser facilmente constatado ao se analisarem dados de consumo de energia coletados pela *U.S. Energy Information Administration* (EIA). Eles mostram que, nos Estados Unidos, os edifícios residenciais construídos antes de 1950 – que correspondem à maior porcentagem dos edifícios históricos existentes no país – são cerca de 30% a 40% menos energeticamente eficientes do que as edificações construídas após 2000 (EIA, 2005 apud HENSLEY; AGUILAR, 2011).

Apesar dos obstáculos, a aplicação de medidas de eficiência energética adequadas é, sim, viável. Para tanto, deve-se abordar individualmente cada monumento cultural (ŠEKULARAC *et al.*, 2020). Hensley e Aguilar (2011) destacam que o planejamento das renovações deve envolver uma abordagem holística, de forma a considerar toda a envoltória do edifício, seus sistemas e componentes, sua localização e ambiente, e deve ser feita uma cuidadosa avaliação

dos efeitos das intervenções. Os autores também ressaltam que é importante identificar e compreender as características energeticamente eficientes inerentes à edificação, para garantir que elas funcionem juntamente com as novas medidas destinadas a melhorar a eficiência energética, o que também é defendido por Šekularac *et al.* (2020).

Entre as intervenções possíveis, a atualização de sistemas mecânicos ou mudança em como eles são operados pode apresentar bom custo-benefício (HENSLEY; AGUILAR, 2011). Outra opção é a aplicação de medidas de proteção térmica: através delas, Šekularac *et al.* (2020) elaboram um modelo de restauração que garante uma redução de 51,94% nas demandas anuais específicas de aquecimento do refeitório do Mosteiro de Žiča, na Sérvia. No seu artigo, os autores asseguram que as técnicas escolhidas estão de acordo com todos os requerimentos de conservação e restauração, e que também se leva em conta a proteção do local.

1.1 OBJETIVOS

Nesse contexto, o presente trabalho se propõe a avaliar o nível de eficiência energética atual de um prédio histórico, o Instituto Parobé, atual sede do curso de Engenharia Mecânica da Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS). A partir dessa análise, intenta-se identificar os pontos que necessitam de maior intervenção, e analisar os possíveis *upgrades* na edificação para a melhora deste nível. Ao fim do trabalho, espera-se obter o índice de desempenho energético do prédio em sua configuração atual, examinar os resultados obtidos, indicar potenciais ganhos de eficiência energética e pontuar as intervenções necessárias para tal.

1.2 OBJETO DE ESTUDO

O Instituto Parobé, Figura 1, localiza-se na Rua Sarmiento Leite, 425, no primeiro quarteirão do Campus Centro da UFRGS, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Ele é um exemplar da arquitetura do período historicista, projetado pelo holandês Chrétien Hoogenstraaten, cuja construção se deu entre os anos de 1925 e 1928, sob a responsabilidade de Francisco Andrighetto. Concebido como uma nova sede para a instituição homônima, importante escola de nível técnico criada no estado, atualmente abriga os cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Mecânica e o Museu do Motor.

Esse edifício faz parte do acervo de prédios históricos da universidade e é, segundo UFRGS ([201-?]), uma das edificações mais significativas da cidade, destacando-se na paisagem urbana pela sua intensidade plástica. Tem uma configuração simétrica, composta por três volumes marcantes, que são coroados por cúpulas de cobre. O restante da cobertura é constituído de um telhado do tipo mansarda.

Em termos de legislação, a construção é inventariada pela Secretaria Municipal da Cultura de Porto Alegre, sob a classificação de Estruturação (PORTO ALEGRE, 2013). Segundo Porto Alegre ([201-?], p.1), o Inventário é “[...] um dos instrumentos administrativos de preservação do patrimônio cultural do Município [...]”, que busca a preservar “[...] características externas de conjuntos ou edificações consideradas de interesse sócio-cultural [...]”. Conforme o documento, “as edificações classificadas como Estruturação são aquelas que se constituem em elementos significativos ou representativos da história da arquitetura e urbanismo para a preservação das diferentes paisagens culturais construídas ao longo do tempo no Município. As edificações classificadas como Estruturação não podem ser destruídas” (PORTO ALEGRE, [201-?], p.1).

Figura 1 – Instituto Parobé.



Fonte: UFRGS, 2018

2. FUNDAMENTAÇÃO

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi instituído em 1984 pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), a fim de “[...] racionalizar o uso dos diversos tipos de energia no País, informando os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente” (INMETRO, 2021a). Isso permitiria a redução de investimentos governamentais em novas unidades geradoras e do consumo de energia pela população (BRASIL, 2011), metas sensatas para o contexto da época. Entretanto, segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2011), foi apenas em 2001 que a importância estratégica do programa foi reforçada, quando a crise do setor elétrico no Brasil, “a crise do apagão”, impulsionou a promulgação da lei nº 10.295/2001, conhecida como a Lei da Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei determinou que fossem estabelecidos níveis máximos de consumo ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país (BRASIL, 2001). Outra consequência direta da crise foi o fortalecimento do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), incentivando a criação do subprograma PROCEL Edifica (BRASIL, 2011), que visa a definir os fundamentos para racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras.

Nessas circunstâncias, surge em 2009 o “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos” (RTQ-C), cuja elaboração foi promovida pelo Ministério de Minas e Energia, a Eletrobrás – por meio do PROCEL Edifica, e o INMETRO, no âmbito do PBE (BRASIL, 2011). No ano seguinte, o Regulamento direcionado a edificações residenciais foi publicado, o RTQ-R. Ambos os documentos, desenvolvidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), têm como objetivo “criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética [...]” de edificações (INMETRO, 2010, p.13, 2012, p.15). Também foram elaborados documentos

complementares, como manuais de aplicação e os “Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações” (RAC) para os dois diferentes tipos de edifício.

O RTQ-C em vigor é a versão instituída pela Portaria INMETRO n.º 372, de 17 de setembro de 2010 e com alterações das Portaria INMETRO n.º 17, de 16 de janeiro de 2012 e Portaria INMETRO n.º 299 de 19 de junho de 2013 (INMETRO, 2010). Esse documento determina a eficiência energética de uma edificação com base nas avaliações de três sistemas individuais da construção: a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. Cada sistema individual pode obter uma classificação que varia de um nível mais eficiente, nível A, a um menos eficiente, nível E. Para a classificação geral do edifício, é atribuído um peso para cada um desses sistemas (30%, 30% e 40% respectivamente), e são consideradas também iniciativas que aumentem a eficiência da edificação, chamadas de bonificações. A associação desses fatores resulta em uma pontuação final que também classifica o prédio em uma escala de A a E. Em ambos os casos, não há limite superior para o nível A, visto que se deve sempre almejar melhores desempenhos de eficiência energética (INMETRO, 2017).

Os resultados são apresentados na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que pode ser geral ou parcial. A primeira é obtida por edificações ou parcelas de edificações que passaram pelas três avaliações parciais, enquanto a segunda é fornecida a edifícios com avaliação de um ou dois sistemas parciais.

Para realizar as avaliações parciais, o Regulamento propõe duas metodologias distintas: o método prescritivo e o método de simulação. Apenas certas combinações do emprego desses métodos podem ser utilizadas para a obtenção da classificação geral. Segundo o LabEEE (2022), o método prescritivo é um procedimento analítico que permite obter um índice de classificação de eficiência da edificação (níveis A, B, C, D ou E), por meio de equações que têm como dados de entrada informações relativas aos sistemas avaliados. Já o método de simulação faz uma comparação do desempenho termoenergético do edifício real com prédios de referência dos níveis A, B, C e D (LABEEE, 2022). Esse procedimento se dá por meio da simulação em *softwares* dos modelos real e de referência.

No presente trabalho, foi utilizado o método prescritivo para a avaliação dos três sistemas individuais e esse, portanto, merece um maior detalhamento. Segundo Carlo e Lamberts (2010), essa é uma metodologia que possibilita determinar de forma simplificada o nível de eficiência de uma edificação. Estabelecido como um conjunto de regras que permite identificar essa eficiência, ele se aplica à grande maioria de tipologias construídas atualmente no país (CARLO; LAMBERTS, 2010). Mesmo que o método prescritivo não consiga avaliar todos os casos e soluções que proporcionem maior eficiência energética, esse é um método menos oneroso e deve ser preferido à simulação, que só é recomendada “[...] quando a simplicidade do método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética” (CARLO; LAMBERTS, 2010, p.12).

No método prescritivo, a análise da envoltória é feita através de equações para as diferentes Zonas Bioclimáticas (ZB) do Brasil, e essas expressões matemáticas se baseiam em parâmetros ligados à volumetria e às aberturas envidraçadas do edifício. Elas foram obtidas por meio de regressão linear multivariada, são generalistas e baseadas em modelos que representam as volumetrias mais construídas no país (CARLO; LAMBERTS, 2010). Já a avaliação do sistema de iluminação teve seus critérios embasados na norma 90.1 da ASHRAE 2007, porém com algumas adaptações, de forma a refletir a realidade brasileira (CARLO; LAMBERTS, 2010). Finalmente, Carlo e Lamberts (2010) afirmam que a classificação do sistema de condicionamento de ar se mostra a mais simples das três, contanto que os equipamentos utilizados sejam etiquetados pelo INMETRO.

Por introduzir mudanças e adaptações no setor construtivo, o RTQ-C é um método simplificado e generalizado de análise: o Regulamento não abrange todos os temas que influenciam a eficiência energética de uma edificação (CARLO; LAMBERTS, 2010). Algumas limitações ao método prescritivo podem ser pontuadas, como é feito por Costenaro (2019, p.28):

Entretanto, todos esses estudos evidenciam a existência de limitações no RTQ-C que incluem a falta de representação por volumetria da edificação, o uso de parâmetros ponderados para toda edificação, a necessidade de levantamento de dados não significativos na avaliação, não considera influências do entorno edificado, o uso de apenas um padrão de carga térmica interna e padrão de uso e ocupação, não considera a influência da limitação natural e ventilação natural, além de não englobar várias tipologias muito recorrentes na construção civil.

O Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) (2017) ainda cita, entre outros, que não é possível diferenciar as aberturas e proteções solares por orientação, que os pré-requisitos penalizam a edificação (parede e cobertura), e que os vidros de alto desempenho não apresentam boa resposta ao método. Finalmente, Carlo e Lamberts (2010) também apontam como uma limitação relevante os limites de uso de diferentes volumetrias para a análise da envoltória.

A etiquetagem em si também apresenta problemas: Da Silva (2019) fala que o desempenho energético é classificado por meio de um indicador de consumo que não fornece uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação. Como consequência disso, a economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas não pode ser quantificada.

Em virtude de todas as deficiências citadas, em 2017 o INMETRO iniciou uma interação com as demais partes interessadas para o aperfeiçoamento do RTQ-C, culminando na aprovação da nova “Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas” (INI-C), que foi estabelecida pela Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021 (INMETRO, 2021b). O artigo 2º desse documento estabelece que, após 24 meses contados da data de publicação, a ENCE deverá ser emitida somente com base na INI-C, caso o pedido para a inspeção de projeto ainda não tenha sido submetido com base no RTQ-C. Apesar de sua iminente revogação, o RTQ-C ainda pode se mostrar uma ferramenta interessante para a análise do desempenho energético de edifícios, especialmente porque permite estabelecer um critério de comparação robusto para o novo método, apoiando-se em mais de uma década de utilização e estudo.

3. METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os procedimentos realizados para a etiquetagem do prédio do Instituto Parobé, conforme o RTQ-C. O método utilizado para a avaliação foi o prescritivo, e o “Manual para Aplicação do RTQ-C” (INMETRO, 2017) foi consultado para maiores esclarecimentos.

3.1 PRÉ-REQUISITOS GERAIS

O RTQ-C dispõe que, para que a edificação seja elegível à etiquetagem, ela deve atender alguns requisitos mínimos relativos aos circuitos elétricos e ao aquecimento de água do prédio. Quanto ao primeiro ponto, para os níveis A e B, o prédio deve “possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros; ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final” (INMETRO, 2010, p.18). Excluem-se desta exigência alguns tipos de edifícios, como aqueles construídos antes

de junho de 2009. O segundo item diz respeito aos tipos de sistemas de aquecimento de água e isolamento de tubulações em prédios com alta demanda de água quente. Como nenhum desses dois requisitos se aplica ao Instituto Parobé, eles não serão estudados em detalhe.

3.2 PONTUAÇÃO GERAL

Como determinado pelo RTQ-C, a pontuação geral da edificação foi calculada pela Equação 1:

$$PT = 0,30 \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 (EqNumDPI) \\ + 0,40 \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (1)$$

onde PT é a pontuação total; $EqNumEnv$ é o equivalente numérico da envoltória; $EqNumDPI$ é o equivalente numérico do sistema de iluminação; $EqNumCA$ é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar; e $EqNumV$, o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente, relacionado ao conforto térmico destes espaços. APT é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência transitória (m²); ANC é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada (m²) com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação; AC é a área útil dos ambientes condicionados (m²); AU , a área útil (m²); e b , a pontuação concedida pelas bonificações, que varia de zero a um.

A partir da pontuação total, PT , resultante, foi possível obter a classificação geral da edificação. Isso se deu por meio da Tabela 1, que relaciona PT e os níveis de eficiência energética para o edifício.

Tabela 1 – Classificação geral da edificação a partir da pontuação total, PT .

PT	Classificação Final
≥4,5 a 5	A
≥3,5 a <4,5	B
≥2,5 a <3,5	C
≥1,5 a <2,5	D
<1,5	E

Fonte: RTQ-C (INMETRO, 2010).

Os três primeiros equivalentes numéricos $EqNumEnv$, $EqNumDPI$ e $EqNumCA$, foram obtidos a partir do nível de eficiência dos respectivos sistemas individuais, a partir da Tabela 2. As metodologias de avaliação desses três equivalentes, bem como a de $EqNumV$, serão discutidas nas seções seguintes. Para os demais parâmetros da Equação 1, foram utilizados os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Equivalente numérico (EqNum) para cada nível de eficiência.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: RTQ-C (INMETRO, 2010).

Tabela 3 – Dados referentes ao Instituto Parobé utilizados para o cálculo da pontuação total.

APT	ANC	AC	AU
908,92 m ²	72,31 m ²	1.795,89 m ²	3.729,36 m ²

Fonte: Elaboração própria.

Para a determinação do *APT*, foram considerados o Museu do Motor, banheiros, halls, corredores/circulação, casa de máquinas, e depósitos como ambientes não condicionados de permanência transitória. Para o *ANC*, levou-se em conta a área da recepção do prédio, e, para o *AC*, considerou-se apenas a área das salas cujas informações acerca dos aparelhos de condicionamento de ar são conhecidas (Tabela A.1 do Apêndice A).

3.3 ENVOLTÓRIA

A classificação energética da envoltória deve ser calculada de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada. A ZB de Porto Alegre, RS, pode ser verificada no Anexo A da ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005); segundo este documento, a cidade está inserida na Zona 3. Além disso, é necessário determinar dois parâmetros referentes ao prédio: a área de projeção do edifício, A_{pe} (m²), que é a área de projeção média dos pavimentos; e o fator de forma (*FF*), definido como a razão entre a área da envoltória (A_{env} , em m²) e o volume total da edificação (V_{tot} , em m³). Para o Instituto Parobé, obtiveram-se uma A_{pe} de 1.134,08 m² e um *FF* de 0,29. Como esta área é superior a 500 m², e o fator de forma é maior que 0,15, o regulamento prescreve que a classificação energética da edificação em estudo seja calculada através da Equação 2.

$$IC_{env} = -14,14 FA - 113,94 FF + 50,82 PAF_T + 4,86 FS - 0,32 AVS + 0,26 AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 PAF_T AHS + 277,98 \quad (2)$$

onde IC_{env} é o indicador de consumo da envoltória, adimensional; *FA* é o fator de altura, definido como a razão entre a área de projeção da cobertura (A_{pcob} , em m²) e a área total construída (A_{tot} , em m²); *FF* é o fator de forma; PAF_T é o percentual de abertura na fachada total, utilizado como um adimensional na equação e dado pela razão entre a área total de aberturas envidraçadas nas fachadas ($A_{vidr,tot}$, em m²) e a área total de fachada ($A_{fach,tot}$, em m²).

Caso o percentual de abertura na fachada oeste (PAF_O) seja pelo menos 20% maior que o PAF_T , o RTQ-C determina que se deve adotar o PAF_O na equação. FS é o fator solar dos vidros nas aberturas; AVS é o Ângulo Vertical de Sombreamento ($^\circ$); e AHS é o Ângulo Horizontal de Sombreamento ($^\circ$). Esses dois últimos são, segundo o RTQ-C, ângulos que determinam a “[...] obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar das aberturas” (INMETRO, 2010, p.4), sendo o AVS referente a proteções horizontais, e o AHS , a proteções verticais.

Os dados necessários para esse cálculo foram obtidos com a manipulação no *software* AutoCAD das plantas baixas do Instituto Parobé, estas fornecidas pela Superintendência de Infraestrutura (SUINFRA) da UFRGS (PEGORARO, 2021). A Tabela 4 apresenta todas as informações utilizadas para a determinação e emprego da Equação 2.

Tabela 4 – Dados referentes ao Instituto Parobé, utilizados para determinação e cálculo da equação para o indicador de consumo da envoltória (IC_{env}).

Dados – Instituto Parobé						
A_{pe}	A_{env}	V_{tot}	FF	A_{pcob}	A_{tot}	FA
1.134,08 m ²	5.076,34 m ²	17.519,30 m ³	0,29	1.183,94 m ²	4.830,19 m ²	0,25
$A_{vidr,tot}$	$A_{fach,tot}$	PAF_T	PAF_O	FS	AHS	AVS
519,42 m ²	3.892,40 m ²	0,13	0,03	0,87	0 $^\circ$	0 $^\circ$

Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos dados exibidos na Tabela 4, é necessário fazer algumas observações relevantes. Em primeiro lugar, as plantas baixas obtidas não correspondem ao *layout* atual do prédio. De fato, a fachada posterior (oeste) apresenta aberturas envidraçadas que não existem mais. Para a presente análise, elas foram desconsideradas. Depois, é possível perceber que o PAF_O não é 20% maior que o PAF_T , logo, nenhuma alteração na Equação 2 foi necessária. Finalmente, o FS foi definido para um vidro simples de 3 mm (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Em posse de todos os dados, foi possível calcular o IC_{env} . Uma vez obtido esse resultado, é necessário elaborar a tabela com os limites dos intervalos dos níveis de eficiência. Para isso, se calculou o $IC_{máxD}$, o indicador de consumo máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, e o $IC_{mín}$, o indicador de consumo mínimo para a volumetria da construção. Esses dois parâmetros foram obtidos com auxílio da equação para o IC_{env} , utilizando os mesmos valores, exceto aqueles do PAF_T , FS , AVS e AHS . Para esses parâmetros, foram utilizados os valores apresentados na Tabela 5 para $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$.

Tabela 5 – Parâmetros a serem utilizados para o cálculo do $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$.

	PAF_T	FS	AVS	AHS
$IC_{máxD}$	0,60	0,61	0	0
$IC_{mín}$	0,05	0,87	0	0

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do RTQ-C (INMETRO, 2010).

O intervalo (i) de cada nível é calculado segundo a Equação 3. Finalmente, a tabela com os limites mínimo e máximo para cada nível de eficiência energética pôde ser feita com base na Tabela 6.

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4} \quad (3)$$

Tabela 6 – Limite dos intervalos dos níveis de eficiência.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: RTQ-C (INMETRO, 2010).

Com uma classificação obtida de forma numérica, analisaram-se por fim os pré-requisitos. Segundo o RTQ-C, os requerimentos a serem atendidos são os resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Pré-requisitos para os diferentes níveis de eficiência energética (Zona Bioclimática 3).

Nível A (Zona Bioclimática 3)		
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})		
	Ambientes condicionados artificialmente	$\leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Ambientes não condicionados	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitância térmica das paredes externas (U_{par})		$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Absortância Solar do revestimento externo de paredes		$\alpha \leq 0,50$
Coberturas		
OU	Cor de absortância solar baixa ($\alpha \leq 0,50$)	
	Telhas cerâmicas não esmaltadas	
	Teto jardim	
	Reservatórios de água	
Nível B (Zona Bioclimática 3)		
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})		
	Ambientes condicionados artificialmente	$\leq 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
	Ambientes não condicionados	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitância térmica das paredes externas (U_{par})		$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
Coberturas		
OU	Cor de absortância solar baixa ($\alpha \leq 0,50$)	
	Telhas cerâmicas não esmaltadas	
	Teto jardim	
	Reservatórios de água	
Níveis C e D (Zona Bioclimática 3)		
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})		
	Qualquer ambiente	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitância térmica das paredes externas (U_{par})		$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do RTQ-C (INMETRO, 2010).

Para a avaliação da conformidade do Instituto Parobé para com os pré-requisitos, os dados de seus elementos construtivos tiveram de ser obtidos. A fim de facilitar o processo, utilizaram-se informações do trabalho de Carotenuto (2009), que teve por objeto de estudo

uma edificação similar à analisada neste presente trabalho, um prédio histórico da mesma universidade. Com esse embasamento, considerou-se então que cada parede externa é composta de uma camada de argamassa de 2,5 cm de espessura, 5 tijolos maciços comuns de 11 cm de espessura cada, e uma nova camada de argamassa de 2,5 cm. A espessura das juntas foi desprezada. A argamassa apresenta condutividade térmica (λ) de 1,15 W/Mk, e o tijolo, de 0,9 W/mK (CAROTENUTO, 2009). A transmitância térmica dessas paredes (U_{par}) foi calculada seguindo a ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2022) e resultou em 1,21 W/m²K.

A cobertura foi dividida em duas partes: a primeira foi considerada como sendo composta por telhas de barro e forro de madeira garapeira (CAROTENUTO, 2009); a segunda, correspondente às cúpulas, por madeira dura de 20 mm de espessura sem presença de forro. O fino revestimento de cobre das cúpulas foi desconsiderado. Assim como para as paredes, a transmitância térmica da segunda parte da cobertura (U_{cob2}) foi calculada com base na ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2022), utilizando-se um valor de 0,29 W/mK para λ (CAROTENUTO, 2009). A transmitância do outro segmento da cobertura (U_{cob1}) foi considerada como equivalente a 2,02 W/m²K, valor obtido no Anexo Geral V da Portaria INMETRO nº 50/2013 (BRASIL, 2013), para uma cobertura com *layout* de forro de madeira de 1 cm, câmara de ar maior que 5 cm e telha cerâmica.

Para se estabelecer a transmitância térmica da cobertura no seu todo (U_{cob}), a disposição da cobertura do Instituto Parobé foi analisada por meio de uma imagem de satélite do Google Maps (GOOGLE, 2022), Figura A.2 do Anexo A. Foi desprezada a área da cobertura onde estão localizadas caixas d'água e máquinas, como determinado pelo RTQ-C; a área da cobertura a ser utilizada na análise foi então obtida por meio das plantas baixas: 636,8 m² correspondente a telhas de barro e 476,52 m² relativa às cúpulas, totalizando em 1.113,32 m². Ponderando-se as áreas de telhas e das cúpulas pela área total da cobertura e após multiplicando-se os valores obtidos pelas transmitâncias correspondentes, obtém-se U_{cob} de 2,95 W/m²K. O Anexo A apresenta um maior detalhamento desses cálculos.

Em termos de absorvância solar (α), considerou-se que as cores predominantes das paredes externas são similares às das tintas acrílica fosca Pêssego ($\alpha = 0,35$) e acrílica fosca Azul Bali ($\alpha = 0,489$) (DORNELLES, 2008 apud INMETRO, 2013). Devido ao esquema de cores complexo do Instituto Parobé, a absorvância solar das paredes externas não foi calculada, pela complexidade de se determinar a área correspondente a cada cor; entretanto, é visível que esse valor será menor que 0,5.

Para análise dos demais pré-requisitos relativos à cobertura, se considerou que ela é composta de uma parte de telhas cerâmicas, e outra de cobre com cor verde clara ($\alpha = 0,4$) (INMETRO, 2017).

3.4 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

De acordo com o RTQ-C, o método da área do edifício deve ser utilizado para a avaliação da eficiência do sistema de iluminação de um prédio com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. Esse é o procedimento que foi empregado no presente estudo, visto que o Instituto Parobé é utilizado apenas com a função de universidade.

Para a aplicação do método, utilizaram-se os dados de densidade de potência de iluminação limite (DPI_L – W/m²) para cada nível de eficiência de uma edificação com função Escola/Universidade. Essas informações são fornecidas pelo regulamento e estão expostas na Tabela 8.

Tabela 8 – Densidade de potência de iluminação limite (DPI_L), em W/m^2 , para cada nível de eficiência, correspondente a uma edificação cuja função é de Escola/Universidade.

Função do Edifício	DPI_L (Nível A)	DPI_L (Nível B)	DPI_L (Nível C)	DPI_L (Nível D)
Escola/Universidade	10,7 W/m^2	12,3 W/m^2	13,9 W/m^2	15,5 W/m^2

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do RTQ-C (INMETRO, 2010).

Devido à dificuldade de se obterem informações, estimou-se a potência de iluminação instalada no prédio com base na iluminação de teto da sala 203, que possui uma área de 54,12 m^2 . Nesse espaço, estão instaladas doze lâmpadas fluorescentes de 32 W cada, totalizando 384 W de potência total de iluminação. A Densidade de Potência de Iluminação (DPI) para essa sala foi calculada pela razão entre a potência total de iluminação e a área do ambiente, e resultou em aproximadamente 7 W/m^2 . Supondo que a DPI se mantenha constante para o restante da edificação, e tendo em vista que a soma das áreas dos pavimentos subtraída da área das circulações com iluminação natural é de 3.546,92 m , obteve-se, pela multiplicação destes dois parâmetros, uma potência total instalada de 24.828,44 W.

Em posse desses dados, foi possível elaborar a tabela de potência limite do edifício, pela multiplicação entre área total iluminada artificialmente e a DPI_L de cada nível. Por fim, comparou-se o valor de potência total instalada com os valores de potência limite obtidos para cada nível, a fim de se classificar o sistema de iluminação.

É importante ressaltar que além das suposições mencionadas, os valores aqui obtidos também diferem da realidade pelo fato de não considerarem a potência dos reatores das lâmpadas fluorescentes. Isto se deu em virtude da escassez de informações disponíveis.

Por fim, verificaram-se os pré-requisitos, para se certificar que o nível obtido pela análise numérica era de fato o correto. O RTQ-C determina que deve haver divisão dos circuitos, ou seja, é necessário que exista “[...] pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna do ambiente” (INMETRO, 2010, p.38, p.39), para que um sistema possa ser classificado como nível A, B ou C. Além disso, sistemas de nível A ou B precisam atender ao requerimento de contribuição de luz natural, que estabelece que a fileira de luminárias mais próxima à abertura tem de ter um controle instalado independente. Finalmente, sistemas de nível A ainda devem apresentar um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação de ambientes internos maiores que 250 m^2 . Para cada nível de eficiência, caso uma de suas exigências não seja atendida, o sistema deve ser classificado no nível imediatamente inferior, dado que os requisitos desse novo nível sejam respeitados. Por meio de observações empíricas, constatou-se que o sistema de iluminação do Instituto Parobé apresenta apenas divisão dos circuitos.

3.5 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

O RTQ-C estabelece que, para a determinação do nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar, deve-se verificar se os aparelhos de ar-condicionado instalados na edificação são listados nas tabelas do INMETRO de classes de eficiência energética (INMETRO, 2022). Para tanto, foi necessário buscar informações acerca desses equipamentos junto ao Setor de Infraestrutura da Escola de Engenharia (SINFRAEE) da UFRGS. Os dados obtidos (SINFRAEE, 2022), entretanto, se mostraram muitas vezes incompletos e insuficientes: não há uma relação da totalidade dos aparelhos do tipo split e janela instalados no prédio – apenas uma parcela das máquinas existentes é listada na documentação. Além disso, não há informações a respeito de marcas e modelos dos aparelhos, e a listagem das

capacidades não está completa. Para a simplificação da análise, foram considerados apenas os ares-condicionados que constam na tabela fornecida pela SINFRAEE (2022), com exceção daqueles que não possuem especificação de capacidade: estes últimos foram excluídos do estudo.

Visto que as informações disponíveis em relação às máquinas da edificação do tipo split e janela eram insuficientes, e que as tabelas do INMETRO não fornecem a classificação de eficiência energética para equipamentos do tipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*), procedeu-se da forma indicada pelo RTQ-C para a avaliação de aparelhos não regulamentados pelo Instituto.

Como mencionado, há uma grande escassez de dados em relação aos aparelhos de ar-condicionado do tipo split e janela. Assim, para poder dar prosseguimento à análise, supôs-se que o coeficiente de desempenho (COP, do inglês *Coefficient Of Performance*) desses aparelhos é igual a 3. Essa hipótese pode ser justificada pela idade dos equipamentos listados, tendo sido a maioria instalada antes de 2010, com o mais antigo datando de 1989. Visto que a eficiência dessas máquinas decai com o tempo, e considerando que os aparelhos modernos possuem COP típico maior que 3, como pode ser constatado ao se examinarem as tabelas do INMETRO (2022), é possível afirmar que o COP médio das máquinas presentes no Instituto Parobé provavelmente não ultrapassa esse valor.

Para poder enfim classificar a eficiência energética desses aparelhos, recorreu-se às tabelas do RTQ-C para condicionadores de ar resfriados a ar não regulamentados pelo INMETRO. Elas, contudo, dizem respeito apenas a aparelhos com capacidade maior que 19 kW. O regulamento determina que, para equipamentos com capacidade menor que 19 kW, deve-se utilizar a eficiência exigida pelo INMETRO para equipamentos do tipo split. Todavia, a classificação vigente do Instituto é feita com base no Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS), e não no COP. Assim, utilizou-se a classificação anterior à atual, a portaria INMETRO n.º 007 de 04 de janeiro de 2011 (INMETRO, 2011), que é baseada no Coeficiente de Eficiência Energética (CEE), calculado pela razão entre a capacidade de refrigeração do aparelho e a potência elétrica que ele consome, de forma similar ao COP. Considerando-se um COP igual a 3 e, assim, um CEE de mesmo valor, os equipamentos são enquadrados no nível C de eficiência.

Já para as máquinas VRF analisadas, primeiro foi verificado se os aparelhos atendiam aos pré-requisitos do nível A de eficiência para condicionadores de ar do tipo VRF, conforme listados no RTQ-C. Visto que nem todos os requerimentos puderam ser comprovados devido à falta de informação, excluiu-se a possibilidade desse nível de classificação. Como os demais níveis não apresentam uma tabela específica para VRF, foi utilizada a mesma tabela usada para a classificação dos aparelhos tipo split e janela, como indicado pelo regulamento. Já que a capacidade dos equipamentos VRF também é menor que 19 kW, o mesmo procedimento do caso anterior foi adotado. Calculou-se, então, o CEE pela divisão da carga térmica (kW) pelo consumo energético na operação resfriamento (kW), informação esta obtida do catálogo do fabricante (HITACHI, 2021), obtendo-se 3,7 para o modelo RAS20FSN5B e 4,15 para o RAS14FSN5B. Segundo a portaria utilizada, esses aparelhos seriam de nível A, mas, como explicado, os pré-requisitos para esse nível não podem ser verificados. Logo, as máquinas foram consideradas como sendo de nível B.

Finalmente, para se classificar o sistema de condicionamento de ar da edificação, foi elaborada uma tabela (Tabela A.1 do Apêndice A) com os aparelhos instalados, suas capacidades e seus equivalentes numéricos (EqNum) para os níveis de eficiência adotados, conforme a Tabela 2. Ponderando-se o EqNum de cada aparelho individual pela sua respectiva capacidade em relação a capacidade do sistema total, chegou-se ao equivalente numérico final para o sistema como um todo.

Por fim, os pré-requisitos de classificação foram avaliados. Para o sistema de condicionamento de ar, apenas o nível A possui requerimentos, referentes ao isolamento térmico para dutos de ar e ao condicionamento de ar por aquecimento artificial.

3.6 VENTILAÇÃO NATURAL

O $EqNumV$ deve ser determinado de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) em ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente, obtido por meio de simulação. Devido à complexidade desse procedimento unida à sensibilidade relativamente baixa desta variável na equação quando aplicada ao caso estudado (variação menor que 0,5 ponto na pontuação total para os dois extremos de eficiência desse parâmetro), supôs-se que o POC é de 50% para os correspondentes espaços do Instituto Parobé, tornando o equivalente numérico para a ventilação natural igual a 2, conforme a Tabela B.1 no Anexo B.

3.7 BONIFICAÇÕES

Segundo o RTQ-C, as bonificações podem ser definidas como “iniciativas que aumentem a eficiência da edificação [...]” (INMETRO, 2010, p.23). Essas ações podem conceder até um ponto no cálculo da classificação geral do prédio, se elas forem justificadas e se a economia gerada por elas for comprovada. O regulamento cita três principais iniciativas que podem estar presentes no edifício: sistemas e equipamentos que racionalizam o uso de água; sistemas ou fontes renováveis de energia; e “sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas, tais como iluminação natural, que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação” (INMETRO, 2010, p.24). Além disto, também é determinado que seja concedido 0,5 ponto para edifícios com elevadores de nível A na avaliação da norma alemã VDI 4707.

Como é notável a ausência das demais iniciativas no Instituto Parobé, apenas foram analisados dados relativos ao elevador instalado no prédio. Estas informações foram obtidas junto ao setor de Oficinas de Produção e Manutenção Mecânica (OFPROD) da SUINFRA da universidade (MACHADO, 2022).

3.8 VALIDAÇÃO

Tendo em vista uma maior eficiência na realização dos procedimentos explanados nas seções acima, foram elaboradas planilhas no *software* Microsoft Excel, para o cálculo das classificações energéticas dos sistemas individuais e da edificação no seu total. A fim de validar a correta disposição e programação dessas tabelas, foram utilizados como referência os dados obtidos por Barroso (2018) no seu trabalho de conclusão de curso. Os parâmetros de entrada de tal estudo foram inseridos nas planilhas a serem validadas, e os resultados obtidos foram comparados com aqueles discutidos por Barroso (2018). É importante ressaltar que, como a edificação que o autor estudou se localiza em uma Zona Bioclimática diferente daquela do Instituto Parobé, a equação para o cálculo da eficiência energética da envoltória teve de ser levemente alterada; isto, entretanto, não comprometeu a comprovação da acuracidade das planilhas.

4. RESULTADOS

Seguindo a metodologia anteriormente descrita, foram calculados os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência referentes à envoltória, ao sistema de iluminação e ao sistema de condicionamento de ar. Em posse desses resultados e com auxílio da Equação 1, foi possível então calcular a pontuação total e obter a classificação geral do edifício. Os resultados parciais e o resultado geral são discutidos detalhadamente a seguir.

4.1 ENVOLTÓRIA

Para se determinar o nível de eficiência energética da envoltória calculou-se, utilizando os dados da edificação, o indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) e definiram-se os limites dos intervalos dos níveis de eficiência, $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$, bem como a subdivisão do intervalo entre níveis (i). A partir destes resultados, a tabela de limite dos intervalos dos níveis de eficiência foi elaborada. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Resultados obtidos para IC_{env} , $IC_{máxD}$, $IC_{mín}$ e i com os dados referentes ao Instituto Parobé.

IC_{env}	$IC_{máxD}$	$IC_{mín}$	i
129,13	151,58	124,89	6,67

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – Limite dos intervalos dos níveis de eficiência para a edificação, calculados segundo o RTQ-C.

Níveis de Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	131,57	138,24	144,91	151,59
Limite máximo	131,56	138,23	144,90	151,58	-

Fonte: Elaboração própria.

Em uma primeira análise, tem-se que, com base nos cálculos, a envoltória pode ser classificada como nível A de eficiência energética, o que indica que a edificação apresenta consumo energético próximo àquele considerado mínimo para a sua volumetria na Zona Bioclimática 3. Constata-se, portanto, que os parâmetros avaliados relativos a características físicas da construção, como fator de forma e área de abertura na fachada total, estão adequados para o local em que o edifício se encontra.

Para a classificação apropriada, entretanto, é necessário verificar se os pré-requisitos exigidos para a ZB de interesse são atendidos. Considerando que a transmitância térmica da cobertura é superior a $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, fica claro que as exigências para os níveis A, B, C e D não são satisfeitas. Dessa forma, o nível de eficiência E é atribuído à envoltória do Instituto Parobé.

É notável que esta baixa classificação se dá integralmente devido às características da cobertura. Caso todo o telhado fosse composto por telhas cerâmicas separadas por câmara de ar de um forro de madeira, seria possível enquadrar a edificação no nível C de eficiência energética, visto que a transmitância térmica total da cobertura seria de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. No entanto, as cúpulas de madeira revestidas de cobre sem nenhum forro ou isolamento elevam consideravelmente esta transmitância, tornando-a inadequada para a Zona Bioclimática onde se localiza o edifício. Dessa forma, é provável que este seja um fator que prejudica na manutenção de uma temperatura de conforto na edificação, fazendo com que mais energia deva ser gasta para tornar o ambiente agradável.

Para se atingir uma melhor eficiência energética da envoltória, a cobertura da edificação deveria ser remodelada, de forma a tornar a sua transmitância térmica mais baixa, especialmente em ambiente climatizados, para que a energia despendida pelo sistema de climatização seja menor. Todavia, esta é uma intervenção que se mostra, no mínimo, improvável, já que o Instituto Parobé é um prédio inventariado pelo município de Porto

Alegre e, assim, está sujeito a rigorosas regulamentações que visam a impedir a desfiguração do patrimônio histórico.

4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação foi avaliado comparando-se a potência de iluminação total instalada e a potência de iluminação limite do edifício. A Tabela 11 mostra a potência de iluminação limite do edifício (W) para os diferentes níveis de eficiência. Como anteriormente mencionado, esta tabela é obtida multiplicando-se, para cada nível de eficiência, a área iluminada pela densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) para a atividade principal do edifício – neste caso, Escola/Universidade.

Tabela 11 – Potência de iluminação limite do edifício (W) para os diferentes níveis de eficiência.

A	B	C	D
37.952,04 W	43.627,12 W	49.302,19 W	54.977,26 W

Fonte: Elaboração própria.

Como a potência de iluminação instalada foi estimada em 24.828,44 W, o sistema poderia ser classificado como nível A de eficiência energética. Porém, conferindo-se os pré-requisitos, constata-se que a exigência relativa à contribuição da luz natural não é atendida, ou seja, não há presença de controles para acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas. Sendo este um requerimento tanto para o nível A, quanto para o nível B, o sistema de iluminação avaliado é enquadrado no nível C.

Ao contrário da intervenção necessária para se melhorar a eficiência energética na envoltória, alterações que possibilitem a obtenção de um nível superior de eficiência para o sistema de iluminação são de relativa simples execução. Se forem configurados controles como os requisitados, a classificação do sistema será elevada para o nível A, e a pontuação geral da edificação também será aumentada.

4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Para a classificação do sistema de condicionamento de ar, foi elaborada uma tabela dos aparelhos instalados na edificação, com suas capacidades de refrigeração e seus equivalentes numéricos de eficiência energética (Tabela A.1 do Apêndice A). Ponderando-se o equivalente numérico de cada equipamento pela sua respectiva capacidade, obtém-se, pela soma dos resultados, o equivalente numérico para o sistema como um todo, $EqNumCA$. Considerando que a capacidade total dos aparelhos de ar-condicionado com COP 3,0 e classificados no nível C de eficiência é muito superior àquela dos VRFs de nível B, o $EqNumCA$ obtido foi de 3,23, correspondente ao nível C de eficiência energética.

A modernização dos sistemas de climatização do prédio é uma ação viável de ser implementada, a fim de se melhorar o nível de eficiência energética da edificação. Esta é, porém, uma solução onerosa. No entanto, é possível que este alto custo inicial seja compensado no longo prazo por economias com energia elétrica. Um estudo de *payback* seria interessante para uma melhor avaliação econômica desta proposta.

4.4 BONIFICAÇÕES

Dentre as possíveis bonificações que podem ser conferidas a uma edificação, apenas uma delas foi avaliada em maior detalhe: o elevador modelo 5300 da empresa Schindler. Segundo

o fabricante (SCHINDLER, [201-?]), esse equipamento é avaliado pela norma VDI 4707, pela qual ele é classificado no nível B de eficiência energética. Logo, nenhum ponto é concedido como bonificação, visto que é necessário atingir o nível A para obter-se o benefício de pontuação.

4.5 EDIFICAÇÃO: EFICIÊNCIA GERAL

Utilizando a equivalência numérica para os níveis de eficiência de cada um dos sistemas individuais acima descritos, é possível calcular, finalmente, a eficiência energética geral da edificação, com auxílio da Equação 1. No presente estudo, o Instituto Parobé obteve 2,19 pontos, correspondente ao nível D em eficiência. A etiqueta ENCE correspondente a esse prédio é mostrada na Figura 2. Caso o elevador tivesse o mais alto nível de eficiência energética, o prédio passaria ao nível C, com 2,69 pontos, evidenciando o impacto da bonificação na classificação geral.

Figura 2 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para o Instituto Parobé.



Fonte: Elaboração própria a partir de modelo em INMETRO (2017).

Como anteriormente discutido, intervenções na envoltória da construção para o melhoramento da eficiência energética se mostram improváveis por entraves jurídicos. Entretanto, alterações dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar podem melhorar a pontuação da classificação geral do edifício. A elevação de nível de eficiência ao nível A de apenas um destes sistemas, enquanto o outro permanece no nível C, é capaz de alterar a classificação geral do edifício para o nível C. Caso ambos os sistemas fossem otimizados a ponto de obterem nível A individualmente, a pontuação total passaria a ser 3,18, também equivalente ao nível C. Constata-se que o aumento de eficiência ao nível B de apenas um desses dois sistemas individuais, enquanto o outro permanece no nível atual, não se mostrou suficiente para mudar a classificação do prédio, apesar de a mudança de nível do sistema de iluminação chegar a uma pontuação de 2,49, muito próxima da necessária.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo classificar a eficiência energética do Instituto Parobé, prédio histórico na cidade de Porto Alegre, RS, segundo o “Regulamento Técnico da

Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas” (RTQ-C). Para tanto, foram coletados dados de diversas fontes, especialmente de plantas baixas da edificação fornecidas pela Superintendência de Infraestrutura da UFRGS. Os dados de propriedades térmicas de paredes e coberturas são oriundos de um trabalho que teve por objeto de estudo um prédio histórico similar da mesma instituição de ensino. Devido à falta de informações disponíveis, algumas suposições tiveram de ser feitas, como o COP de aparelhos de ar-condicionado e a potência de iluminação total instalada. Em posse destas informações e hipóteses, foram elaboradas planilhas no editor *Microsoft Excel* para a realização dos cálculos necessários. Finalmente, o modelo desenvolvido foi validado a partir de um *benchmarking* com um trabalho que utiliza o mesmo regulamento para a classificação energética de uma construção.

Assim, os sistemas individuais foram avaliados, sendo a envoltória classificada como nível E de eficiência energética, exclusivamente graças à cobertura de alta transmitância térmica; o sistema de iluminação, como nível C, por não respeitar o pré-requisito de contribuição da iluminação natural; e o sistema de condicionamento de ar enquadrado no nível C. O elevador do prédio, por ser classificado no nível B de eficiência energética pela norma VDI 4707, não se enquadra nos requisitos de bonificação; assim, nenhum ponto extra foi concedido. Com esses resultados, foi possível determinar a classificação geral da edificação, que atingiu nível D de eficiência energética, com 2,19 pontos. Caso a bonificação tivesse sido obtida, o nível de eficiência seria o C, o que evidencia o impacto dessas ações na classificação final do edifício.

Considerando que intervenções na envoltória do prédio se mostram improváveis de serem realizadas, devido ao caráter histórico da construção em questão, foi proposta uma otimização dos sistemas de iluminação ou de condicionamento de ar, a fim de elevar a eficiência energética geral. A elevação de apenas um destes sistemas ao mais alto nível de eficiência, enquanto o outro se mantém no nível C, é suficiente para alterar a classificação da edificação para o nível C. No entanto, tendo como objetivo apenas a elevação do nível de eficiência, não se mostra vantajoso melhorar simultaneamente a classificação desses dois sistemas individuais para o nível A, uma vez que a pontuação total passaria a ser 3,18, o que também corresponde ao nível C. O aumento de eficiência ao nível B de apenas um desses dois sistemas individuais, enquanto o outro permanece no nível C, não foi suficiente para mudar a classificação do prédio, apesar de a mudança de nível do sistema de iluminação atingir uma pontuação muito próxima da necessária.

A otimização de um desses sistemas individuais se mostra relativamente simples de ser implementada, visto que o sistema de iluminação não se enquadra no nível A apenas por não atender ao pré-requisito relativo à contribuição da luz natural, e o sistema de condicionamento de ar pode facilmente ser modernizado. Esta última iniciativa, porém, pode se mostrar onerosa, apesar de que os gastos provavelmente seriam revertidos em economias em energia elétrica no longo prazo. Um estudo de *payback* é recomendado para melhor avaliar a questão econômica ligada a esta intervenção.

Os resultados obtidos no presente trabalho são provenientes de dados incompletos e desatualizados, suposições e simplificações. É possível que o nível de eficiência energética mude ao se realizar a mesma avaliação com dados mais fidedignos, análise essa que seria interessante em um trabalho futuro. Sugere-se ainda, em próximos estudos, a aplicação do RTQ-C pelo método de simulação, de forma a confirmar a análise feita com o método prescritivo, além da avaliação da mesma edificação com o novo método de etiquetagem comercial do Procel Edifica, o INI-C, e a comparação dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo (ISSO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARROSO, Saulo Israel Martins. **Análise de classificação e de viabilidade econômica e energética de aplicações de medidas de eficiência para obtenção de ENCE nível A para o prédio da faculdade de Fisioterapia e Terapia Ocupacional.** 2018. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

BERG, Fredrik *et al.* User-driven energy efficiency in historic buildings: a review. **Journal Of Cultural Heritage**, [S.L.], v. 28, p. 188-195, nov. 2017. Elsevier BV.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências.** Brasília, 18 out. 2001.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano Nacional de Eficiência Energética:** premissas e diretrizes básicas. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>. Acesso em: 01 maio 2022.

BRASIL. Portaria nº 50, de 2013. **Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros.** Brasília, DF, Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf f. Acesso em: 17 abril 2022.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr. / jun. 2010.

CAROTENUTO, Adriano Roberto da Silva. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica.** 2009. 223 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Introdução ao novo método de avaliação do PBE Edifica.** Florianópolis: CB3E, 2017. 16 slides, color. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/1%20-%20Introdu%20%C3%A7%C3%A3o%20ao%20novo%20m%C3%A9todo.pdf>. Acesso em: 01 maio 2022.

COSTENARO, Arthur Voos. **Classificação Energética de Salas Comerciais e Alternativa para Obtenção de Consumo Energético Nulo Estudos de Caso: Cafeteria e Escritório**

Localizados em Florianópolis. 2019. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

DA SILVA, Michel Klein Pinheiro. **Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica.** 2019. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

GOOGLE. **Google Maps:** UFRGS - Departamento de Engenharia Mecânica. 2022. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/UFRGS++Departamento+de+Engenharia+Mec%C3%A2nica/@-30.0328845,-51.22158,93m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x951979a9fcbee4d5:0x788910d418bb5a57!8m2!3d-30.0328845!4d-51.2213064?hl=pt-BR>. Acesso em: 07 maio 2022.

HENSLEY, Jo Ellen; AGUILAR, Antonio. **Improving Energy Efficiency in Historic Buildings.** Washington D.C: U.S. Government Printing Office, 2011. 16 p. Disponível em: <https://www.okhistory.org/shpo/docs/03Preserve-Brief-Energy.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

HITACHI. **Manual do proprietário e instalação:** Set Free Sigma série FSN(S/C)B(1) HMIS-SETAR021 Rev10. São Paulo, 2021. 129 p. Disponível em: <https://www.hitachiircon.com.br/downloads/set-free-vrf/tecnico/manual-de-instalacao-e-proprietario-set-free-sigma-serie-fsn-s-c-b-1-hmis-setar021-rev10>. Acesso em: 25 abr. 2022.

IEA. **Buildings: a source of enormous untapped efficiency potential.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/buildings> Acesso em: 02 maio 2022.

INMETRO. **Condicionadores de ar.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar>. Acesso em: 15 fev. 2022.

INMETRO. **Conheça o Programa.** 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa> Acesso em: 01 maio 2022.

INMETRO. **Instrução Normativa INMETRO para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).** 2021b. Publicado através da portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021.

INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C.** Versão 4, abril de 2017.

INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar.** 2011. Publicado através da portaria nº 007, de 04 de janeiro de 2011.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).** 2010. Publicado através da portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. 2012. Publicado através da portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Métodos de etiquetagem**. 2022. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/projetos/s3e/metodos-de-etiquetagem>. Acesso em: 10 mar. 2022.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 31 out. 2021.

MACHADO, Alexander. OFPROD. **Re: Elevador Prédio Engenharia Mecânica (Doc. 03)**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <rafaela.lisboar@gmail.com>. em: 24 abr. 2022.

MARTÍNEZ-MOLINA, Antonio *et al.* Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: a review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 61, p. 70-85, ago. 2016. Elsevier BV.

MURGUL, Vera. Features of energy efficient upgrade of historic buildings: illustrated with the example of saint-petersburg. **Istrazivanja I Projektovanja Za Privredu**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-10, 2014. Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES).

PBE EDIFICA. **Sobre o PBE Edifica**. 2020. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 10 mar. 2022.

PEGORARO, Camila. UFRGS. **Plantas Baixas Instituto Parobé**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <rafaela.lisboar@gmail.com>. em: 09 set. 2021.

PORTO ALEGRE. Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural. Secretaria Municipal da Cultura. **Bens Tombados e Inventariados em Porto Alegre**. Out 2013. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu_doc/2017_lista_patrimonio_tombado_e_inventariado_em_porto_alegre.pdf. Acesso em: 13 abr 2022.

PORTO ALEGRE. Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural. Secretaria Municipal da Cultura. **Inventário: o que você precisa saber**. [201-?]. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu_doc/inventario.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

SCHINDLER. **Efficient mobility. Sustainable technology**. Schindler 3100/ Schindler 3300/ Schindler 5300. Schindler 3100/ Schindler 3300/ Schindler 5300. [201-?] Disponível em: https://www.schindler.com/uk/internet/en/about-schindler-uk/environment/_jcr_content/bottomPar/downloadlist/downloadList/370_1373556385452.download.asset.370_1373556385452/fact_sheet_schindler_3100_3300_5300.pdf. Acesso em: 08 maio 2022.

ŠEKULARAC, Nenad *et al.* Restoration of a Historic Building in Order to Improve Energy Efficiency and Energy Saving—Case Study—The Dining Room within the Žiža Monastery Property. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 15, p. 6271, 4 ago. 2020. MDPI AG.

SINFRAEE – SETOR DE INFRAESTRUTURA DA ESCOLA DE ENGENHARIA. UFRGS. **Aparelhos Ar-condicionado - Prédio da Mecânica**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <rafaela.lisboar@gmail.com>. em: 10 mar. 2022.

UFRGS. **Instituto Parobé**. [201-?]. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/patrimoniohistorico/instituto-parobe/>. Acesso em: 05 maio 2022.

UFRGS. **Séries Prédios Históricos da UFRGS – Instituto Parobé**. 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/patrimoniohistorico/2018/04/21/series-predios-historicos-da-ufrgs-instituto-parobe/>. Acesso em: 02 maio 2022.

ANEXO A – DETALHAMENTO DE PROCEDIMENTO DE CÁLCULO REFERENTE À COBERTURA

As Equações 4, 5, 6 são utilizadas para o cálculo de resistência térmica de camadas homogêneas (Eq. 4 e Eq. 5) e da transmitância térmica (U) (Eq. 6), conforme estabelecidos pela ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2022). Tais expressões foram aplicadas para o cálculo de U_{par} e U_{cob2} , a transmitância térmica das paredes externas e do segundo segmento da cobertura respectivamente.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (6)$$

onde R é a resistência de uma camada homogênea (m^2K/W); e , sua espessura (m); e λ sua condutividade térmica (W/mK). R_{tot} é a resistência térmica de superfície a superfície (m^2K/W); R_{si} e R_{se} são, respectivamente, as resistências térmicas superficiais interna e externa (m^2K/W); e U é a transmitância térmica de ambiente a ambiente (W/m^2K). Os valores para R_{si} e R_{se} são obtidos da tabela A.1.

Tabela A.1 - Resistência térmica superficial interna e externa.

Resistência superficial $m^2 \cdot K/W$	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

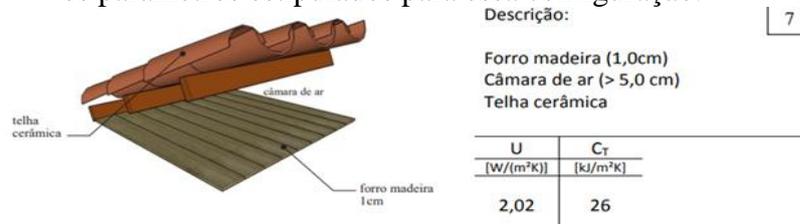
NOTA 1 Os valores de resistência superficial se aplicam às superfícies em contato com o ar. Nenhuma resistência superficial se aplica às superfícies em contato com outro material.

NOTA 2 Os valores de resistência superficial interna são calculados para $\epsilon = 0,9$ e com h_{r0} avaliado a 20 °C. Os valores de resistência superficial externa são calculados para $\epsilon = 0,9$, h_{r0} avaliado a 10 °C, e para $v = 4$ m/s.

Fonte: ABNT, 2022.

A transmitância térmica para o primeiro segmento da cobertura (telhas), U_{cob1} , foi obtida do Anexo V da portaria (BRASIL, 2013). A Figura A.1 mostra o *layout* escolhido, bem como os valores estabelecidos pelo documento.

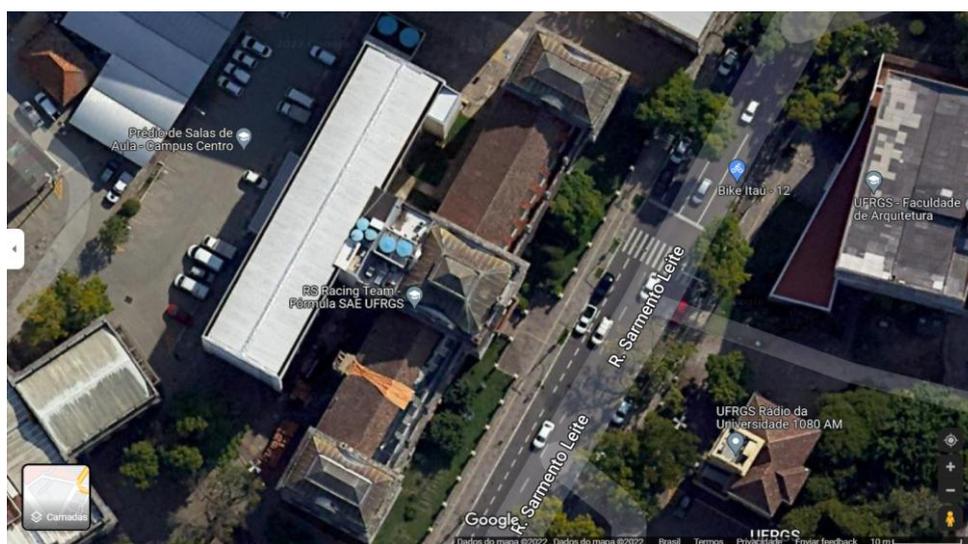
Figura A.1 – *Layout* escolhido para a representação do primeiro segmento da cobertura, e os parâmetros estipulados para essa configuração.



Fonte: BRASIL, 2013.

A Figura A.2 mostra a imagem de satélite da cobertura do Instituto Parobé, utilizada como referência para o cálculo das áreas dos segmentos da cobertura com o *software* AutoCAD. A imagem foi obtida com o aplicativo Google Maps.

Figura A.2 – Imagem de satélite da cobertura do Instituto Parobé, obtida com o aplicativo Google Maps.



Fonte: GOOGLE, 2022.

ANEXO B – EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA A VENTILAÇÃO NATURAL BASEADA EM POC

Tabela B.1 – Equivalente numérico para a ventilação natural (*EqNumV*).

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
$POC \geq 80\%$	5	A
$70\% \leq POC < 80\%$	4	B
$60\% \leq POC < 70\%$	3	C
$50\% \leq POC < 60\%$	2	D
$POC < 50\%$	1	E

Fonte: RTQ-C (INMETRO, 2010).

APÊNDICE A – CONDICIONADORES DE AR DO INSTITUTO PAROBÉ

Tabela A.1 – Condicionadores de ar do Instituto Parobé: localização, tipo, ambiente, capacidade (BTU/h) e Equivalente Numérico (EqNum).

Localização	Tipo	Ambiente	Capacidade (BTU/h)	EqNum
Aparelho RAS20FSN5B - Cobertura	VRF	COB	191.100	4
Aparelho RAS14FSN5B - Cobertura	VRF	COB	136.500	4
GMAp - Mezanino - Sala 03 (Sala 150)	SPLIT	LAB	12.000	3
GMAp Sala 4 (Sala 152)	JANELA	GAB	30.000	3
GMAp – Mezanino – Sala 05 (Sala 154)	SPLIT	LAB	12.000	3
Sala 204	JANELA	LAB	21.000	3
Sala 204	JANELA	LAB	30.000	3
Sala 207	JANELA	LAB	21.000	3
Sala 207	JANELA	LAB	21.000	3
GPFAI - Sala 02 (Aparelho Lorini)	SPLIT	GAB	8.000	3
Sala de Aula 402 - Cúpula Central - Aparelho Central	SPLIT	AULA	60.000	3
GMAp Sala 124B	SPLIT	GAB	10.000	3
GMAp – Mezanino – Sala 01 (Sala 142)	SPLIT	LAB	12.000	3
Chefia DEMEC	JANELA	GAB	1.800	3
GMAp- Gabinete De Leon - Sala 140	SPLIT	GAB	12.000	3
Sala de Aula 401	SPLIT	AULA	60.000	3
Sala 208 GESTE	JANELA	LAB	21.000	3
Sala 208 GESTE	JANELA	LAB	21.000	3
Sala 208 GESTE	SPLIT	LAB	36.000	3
Sala 203	JANELA	LAB	10.000	3
GPFAI - Sala 04 - Prof. Joyson (Sala 204)	JANELA	GAB	7.000	3
GPFAI - Sala 05 - Prof. Lorini (Sala 204)	JANELA	GAB	7.500	3
GPFAI - Sala 07 - Prof. Perondi (Sala 204)	JANELA	GAB	7.500	3

Chefia PROMEC (Sala 202B)	JANELA	GAB	18.000	3
LETA - Sala 206	SPLIT	LAB	60.000	3
Secretaria DEMEC	SPLIT	ADM	36.000	3
Gmap – Sala de Aula (Sala 156)	SPLIT	AULA	30.000	3
Gmap – Mezanino – Sala 02 (Sala 146)	SPLIT	LAB	12.000	3
Cúpula Central – Aparelho à esquerda (Sala 402)	SPLIT	AULA	60.000	3
Cúpula Central – Aparelho à direita (Sala 402)	SPLIT	AULA	60.000	3
Sala de Aula 403	SPLIT	AULA	60.000	3
Sala 304	SPLIT	AULA	48.000	3
Sala 205 LAEFT	SPLIT	-	30.000	3
Sala 205 LAEFT	SPLIT	-	30.000	3
GMAp - Gabinete Stunf (Sala 144)	SPLIT	GAB	12.000	3
GMAp - Gabinete Ignácio (Sala 148)	SPLIT	GAB	12.000	3
Sala 109B - Laboratório de Combustão	SPLIT	LAB	12.000	3
GMAp - Equipamentos (Sala 110)	JANELA	LAB	18.000	3
GMAp - Sala de Aula (Sala 156)	SPLIT	AULA	18.000	3
GMAp -Sala de Reuniões (Sala 134)	JANELA	ADM	10.000	3
GMAp - Sala 02 (Sala 146)	JANELA	GAB	10.000	3
GMAp - Gabinete Pablo (Sala 108)	JANELA	GAB	12.000	3
GMAp - Sala 126 (Rodrigo)	JANELA	GAB	10.000	3
GMAp - Gabinete 120 - Prof. Herbert	JANELA	GAB	10.000	3
GMAp - Gabinete Carlos Thomas (Sala 114)	JANELA	GAB	7.500	3
GMAp - Gabinete Walter Casas (Sala 118)	JANELA	GAB	10.000	3
GMAp - Gabinete 132 - Rossi	JANELA	GAB	10.000	3
Sala 101 (CFR)	SPLIT	LAB	24.000	3
Sala 109 - Laboratório de Combustão	SPLIT	LAB	24.000	3
Sala 109 - Laboratório de Combustão	JANELA	-	18.000	3
CAPACIDADE TOTAL (BTU/h)			1.409.900	

Fonte: Elaboração própria a partir de resultados obtidos no presente trabalho e dados fornecidos pela SINFRAEE (2022).