

ESTIMATIVA DO CUSTO PARA OBTENÇÃO DA CLASSE “A” DO RTQ-R POR UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR EM BELO HORIZONTE

COST ESTIMATION TO OBTAIN THE RTQ-R “A” CLASS FOR A MULTIFAMILY BUILDING IN BELO HORIZONTE

Data de aceite: 09/09/2022 | Data de submissão: 25/08/2022

CUPERTINO, João, Engenheiro de Produção Civil
 CEFET/MG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: joao.victor.cupertino@hotmail.com.
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8896-6867>.

OLIVEIRA, Raquel, Doutora em Engenharia Civil
 CEFET/MG, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: raqueldo@gmail.com.
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3712-4499>.

RESUMO:

Com a crescente demanda por energia em nossa sociedade, a eficiência energética de edificações se apresenta como um tema relevante. As residências são responsáveis por uma grande parcela da energia elétrica utilizada no país, representado cerca de 26% do total. Desta forma, o presente estudo objetivou estimar o custo extra para se alcançar a classificação máxima (A), segundo o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), para uma edificação multifamiliar, em Belo Horizonte – MG (zoneamento bioclimático 3), pelo método prescritivo. Como resultado da análise do projeto original da edificação, obteve-se a classificação final “B”. Em contrapartida, as propostas de melhorias indicadas para alcançar a classe “A” resultaram em um aumento de 4,71% no custo global do empreendimento. Assim, concluiu-se que os custos para atendimento dos fatores necessários para obter uma edificação eficiente se mostraram factíveis, principalmente, pelos benefícios proporcionados pela etiquetagem aos futuros usuários.

PALAVRAS-CHAVE:

Edificação Multifamiliar. Eficiência Energética. Método Prescritivo. RTQ-R.

ABSTRACT:

Taking into account the growing demand for energy in our society, building energy efficiency plays an important role in this context. The households are responsible for a large portion of the Brazilian electricity consumed, representing around 26% of their total. Thus, the present work aims at evaluating the additional cost to reach Class A, according to the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R), of a multifamily building in Belo Horizonte, Brazil (bioclimatic zone 3), by the prescriptive method. As a result of the building’s original design analysis, the final classification “B” was obtained. On the other hand, the proposed improvements to achieve class “A” resulted in an increase of 4.71% in the overall cost of the real estate project. Hence, it was concluded that the costs of satisfying the necessary attributes to obtain an efficient building show to be feasible, mainly, due to their benefits for future users provided by labeling it

KEYWORDS:

RTQ-R; Energy Efficiency; Prescriptive Method; Multifamily Building.

1 INTRODUÇÃO

No início dos anos 2000, a crise energética ocorrida no Brasil, evidenciou a necessidade de reformular as políticas de geração e consumo de energia. O consumo relativo as edificações residenciais, de serviços e públicas no ano de 2020, segundo o Ministério de Minas e Energia, foi de cerca de 52% do total do consumo de energia elétrica. Tal condição demonstra a importância das edificações e o enorme potencial de redução do seu impacto tanto na sua manutenção e uso ao longo de sua ocupação, como na sua construção (PBE, 2020).

Neste contexto, deve-se considerar a influência das especificidades climáticas de cada localidade de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, a necessidade de adaptações nos sistemas construtivos definidos para a envoltória, bem como utilizar equipamentos elétricos mais econômicos. Tais medidas podem contribuir para a redução do consumo de eletricidade nas residências sem prejuízo do atendimento das suas funções primordiais (PRESTES, 2015).

De acordo com Caldeira (2011), a eficiência de um edifício pode ser comparada à de outro quando oferece as mesmas condições ambientais e consumo menor de energia. Tais benefícios podem ser iniciados a partir da fase de projetos, por meio de medidas que culminam em redução do consumo, aplicadas aos sistemas consumidores de energia e à envoltória da edificação. Como resultado, podem ser observadas melhorias no desempenho energético e maior probabilidade de se obter melhores condições de conforto térmico e lumínico da edificação. Acrescentam-se ainda benefícios que propiciam a redução de impactos ao meio ambiente, relacionados à geração de energia, otimização energética e à adoção de medidas ambientalmente sustentáveis (MELO; JANUZZI; BAJAY, 2018).

O Conselho Mundial de Energia afirma que a rotulagem e a definição de critérios mínimos de eficiência energética são alternativas altamente benéficas para se obter rápidos avanços no campo das energias renováveis (COELHO et al., 2018). Além disso, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) constatou que a rotulagem, acompanhada por metas de desempenho, se estabelece como um mecanismo eficiente para redução do consumo de energia. No Brasil, a etiquetagem de edifícios faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Esse programa permite qualificar edificações com classificação de eficiência semelhante àquela obtida para outros produtos que varia da maior para a menor classe, qual seja de A e E (INMETRO, 2021).

A certificação de um edifício consiste em avaliar seu desempenho energético conforme um sistema de etiquetagem específico e suas respectivas exigências (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009). Seu objetivo consiste em manter os usuários informados sobre o consumo energético de equipamentos e promover uma maior conscientização acerca do potencial da sua economia. A etiqueta é, portanto, uma forma de sintetizar a avaliação das condições energéticas de um produto ou edificação. Sua adoção pode representar uma vantagem competitiva no mercado e, também, uma opção atrativa e diferenciada para novos compradores por trazer informações que contribuem para a sua tomada de decisão (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Segundo Lamberts (2014), é possível listar as seguintes vantagens da etiquetagem energética de edificações: fornecer informação sobre o potencial de sua eficiência ao consumidor: permitir maior conhecimento sobre o produto que está

adquirindo; garantir a credibilidade da avaliação do empreendimento, já que a etiqueta e/ou selo Procel concedido pelo INMETRO apresenta reputação técnica além do histórico de reconhecimento por parte dos consumidores além de contribuir para promover a redução de consumo de energia.

No que tange ao custo extra para se construir edificações eficientes, Kats (2010) analisou cento e setenta construções nos EUA e dez construções fora dos EUA. Como resultado, obteve-se, em média, um incremento de custos entre 0% e 4% em relação ao custo total do empreendimento.

No Brasil, o RTQ-R determina requisitos técnicos e métodos necessários para classificação da eficiência energética de edifícios residenciais e permite a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (INMETRO, 2012). Porém, com o avanço da tecnologia e da consciência ambiental, surgiram conceitos de eficiência energética, como o aumento do número de fontes consumidoras de energia, não implicando em um maior consumo para o sistema elétrico em geral (MAHLIA; SAIDUR, 2010).

Neste contexto, o presente estudo se propõe a estimar o custo extra para a classificação máxima da eficiência energética aplicando o método prescritivo proposto pelo RTQ-R (2012) para uma edificação multifamiliar em Belo Horizonte – MG (zoneamento bioclimático 3). Tal estudo permitirá estimar a eficiência energética de edificação representativa de uma determinada categoria do mercado imobiliário, contribuindo, portanto, para ampliar a base de dados de edificações classificadas. Além disto poderão ser apontadas estratégias para melhoria do seu potencial de consumo de energia e o seu respectivo custo, servindo como referência para a tomada de decisões para possíveis alterações e/ou melhorias na edificação em análise ou em casos similares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O RTQ-R estabelece que as unidades residenciais autônomas devem ser avaliadas de acordo com seu comportamento térmico, a eficiência do (s) sistema (s) de aquecimento (s) de água e possíveis bônus por estratégias de melhoria empregadas (INMETRO, 2012). Lamberts (2014) também afirma que o aquecimento de água em um edifício pode ser responsável por grande parte do consumo de eletricidade. Os mesmos procedimentos se aplicam à moradia unifamiliar para o objeto das unidades residenciais autônomas. Nas habitações multifamiliares, considera-se os resultados dos requisitos das unidades residenciais autônomas do edifício (PBE, 2017).

É utilizado o método prescritivo para determinar a classificação segundo o RTQ-R baseia-se em uma equação matemática, a qual relaciona o desempenho de sistemas de aquecimento de água, desempenho térmico da envoltória, entre outros fatores, para gerar uma pontuação total, a fim de classificar a eficiência da unidade habitacional, das áreas comuns ou da edificação como um todo (NOGUEIRA et al., 2012).

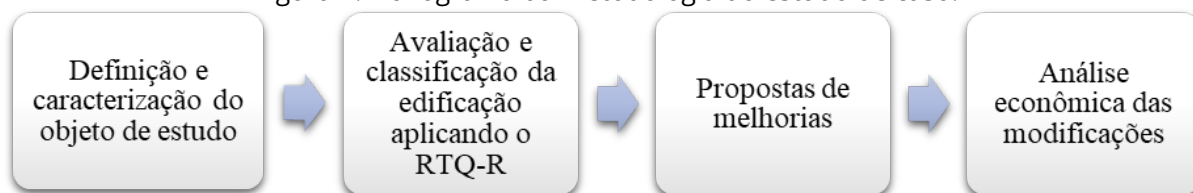
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho engloba a análise da eficiência do sistema de aquecimento de água, o desempenho da envoltória de uma edificação residencial em Belo Horizonte – MG bem como a estimativa do custo extra para a obtenção da classe

A de eficiência conforme o RTQ-R (2012).

Na Figura 2, pode ser observado o esquema das quatro etapas que estruturaram a metodologia desta pesquisa.

Figura 2: Fluxograma da metodologia do estudo de caso.



Fonte: Autores (2021)

3.1. Definição e caracterização do objeto de estudo

Nessa etapa, apresenta-se o empreendimento em estudo. Na sequência identifica-se fatores como a localização, Zona Bioclimática e informações climáticas da região. Além disso, faz-se uma síntese das informações técnicas definidas nos projetos arquitetônicos para verificação da quantidade de unidades, número de pavimentos, área de cada unidade habitacional, distribuição das Unidades Habitacionais (UH's) por pavimento, características do sistema construtivo, entre outras informações relevantes.

3.2. Avaliação e classificação da edificação aplicando o RTQ-R

Nesta etapa avaliou-se o atendimento do requisito geral para se atingir o nível de eficiência "A" ou "B" definido do RTQ-R (2012). Desta forma, caso exista "mais de uma unidade residencial autônoma na mesma propriedade, ambas devem ter medição individual de energia elétrica e água" (INMETRO, 2012, p. 15).

Para tanto aplicou-se o método prescritivo previsto no RTQ-R (2012) por meio da equação matemática, que relaciona o desempenho de sistemas de aquecimento de água, desempenho térmico da envoltória, entre outros fatores. Como resultado obtém-se uma pontuação total, a fim de classificar a eficiência da unidade habitacional, das áreas comuns ou da edificação como um todo

A partir da identificação do zoneamento do imóvel, faz-se necessário avaliar limites referentes à envoltória da edificação para verificação dos pré-requisitos previstos no RTQ-R (INMETRO, 2012).

Para a avaliação do Pré-requisito geral, faz-se necessária a verificação de dados específicos de uma determinada edificação em processo de análise. Assim, pode-se obter a classificação de cada ambiente, de cada UH e, finalmente, da edificação multifamiliar como um todo. Para a avaliação deste item, é necessário definir aspectos relevantes do projeto a ser avaliado, como a zona bioclimática, transmitância e capacidade térmica da envoltória, aspectos referentes à iluminação natural, ventilação natural, sistema de aquecimento de água bem como as estratégias e tecnologias passíveis de bonificação apresentadas (INMETRO, 2012a).

Por meio da distribuição dos pesos de cada coeficiente na Equação 1, obtém-se a classificação da eficiência energética.

$$PTUH = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad (1)$$

Sendo:

PTUH: pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma; α : coeficiente adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada; $EqNumEnv$: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente, e após a verificação dos pré-requisitos da envoltória; $EqNumAA$: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água; Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação (INMETRO, 2012).

Na Tabela 1, tem-se a equivalência da pontuação obtida e do nível de eficiência. A pontuação final determina a classificação da UH, de "A" a "E", de acordo com o resultado obtido na Equação 1

Tabela 1: Equivalência para as classificações de "A" a "E".

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012).

Para a determinação do nível de eficiência de edificações multifamiliares deve-se ponderar a pontuação total das UH's pelas suas respectivas áreas úteis (INMETRO, 2012). Assim, os cálculos propostos pelo método prescritivo foram realizados com base em planilhas fornecidas pelo PBE Edifica (PBE, 2017).

A partir da identificação da Zona Bioclimática na qual a edificação se situa, passa-se para a análise das suas características projetuais. Neste contexto, foram apontados os Ambientes de Permanência Prolongada (APP) (INMETRO, 2012).

Na sequência, analisou-se os pré-requisitos da transmitância térmica, capacidade térmica, iluminação natural e ventilação natural. Assim, avaliou-se os diversos ambientes e, posteriormente, verificou-se a UH por completo, incluindo os sistemas de medição de água e energia, ventilação cruzada e natural dos banheiros.

O sistema de aquecimento de água implantado na edificação também foi verificado. A título de exemplo, os sistemas de aquecimento solar são mais bem avaliados do que o aquecimento elétrico contudo, muitas vezes pode ser necessário a complementação deste sistema. Desta forma, esse quesito é avaliado para a UH com base na análise da eficiência energética desse sistema bem como o percentual de atendimento da demanda de cada sistema caso exista mais de um.

As bonificações obtidas por meio das pontuações extras de acordo com requisitos presentes na edificação, complementares as características previamente verificadas também devem ser contabilizadas. Assim, a presença de lâmpadas que possuem Selo Procel ou quando a ventilação ocorre de forma natural são exemplos de situações que dão direito a bonificações (INMETRO, 2012).

Por fim, após a análise dos quesitos previamente calculados, obtém-se, portanto, a classificação do nível de eficiência energética para cada UH. Para alcançar a classificação final para toda a edificação, deve-se realizar a média ponderada entre a pontuação de cada UH e sua área, conforme estabelecido pelo RTQ-R (2012).

3.3. Propostas de melhoria

A partir do resultado obtido na etapa anterior, elaborou-se duas propostas de medidas de intervenção e que seriam suficientes para o alcance da classificação nível "A" da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Elétrica), a fim de comparar qual proposta seria mais vantajosa economicamente. Em ambas as propostas, se faz necessário aplicar alterações que atendessem aos pré-requisitos. Posteriormente, foram indicadas alterações no sistema de aquecimento de água para a Proposta 1 dada sua relevância na pontuação final bem como alternativas para a obtenção de bonificações referentes a Proposta 2.

Assim, para a definição das estratégias que possibilitassem melhoria da classificação de eficiência energética relativa à edificação aplicáveis ao objeto estudo, considerou-se alguns aspectos importantes:

- Estratégias viáveis de serem incluídas no projeto em relação ao quesito técnico e/ou condizentes com demanda da edificação;
- Parâmetros usuais de mercado para esta tipologia construtiva de inclusão descomplicada e com menor interferência possível nos sistemas originais de projeto que possibilitassem a melhoria necessária da pontuação em quesito faltante e/ou pior avaliado;
- Alternativas que gerassem menor impacto econômico dentre as opções plausíveis para cada requisito faltante e/ou que não atendessem algum critério mínimo para a obtenção da classe A ou B, e/ou pior avaliado com o maior impacto possível na pontuação;
- Opções que considerassem as limitações de projeto e as particularidades do mercado;
- Conjunto de alterações que isoladamente possibilitaria o alcance da classe A definidos como 2 propostas diferentes.

3.4. Análise de Viabilidade Econômica

Após a estimativa da pontuação potencial das UH e, também, do edifício multifamiliar conforme o projeto original definido como objeto de estudo analisado pelo método prescritivo estabelecido no RTQ-R (2012), definiu-se os parâmetros a serem alterados e/ou incluídos (Sistema de aquecimento de água e bonificações) para o alcance da classificação máxima de eficiência energética. Na sequência, determinou-se os custos decorrentes das modificações por meio da consulta a três fornecedores locais tendo por referência o mês de julho de 2021. A partir disso, optou-se pela seleção da opção mais econômica, desde que o produto atendessem aos requisitos necessários para obter a melhoria da pontuação do edifício.

Complementarmente, os parâmetros para estimar o custo do processo de etiquetagem foram extraídos do estudo de Rodrigues et al. (2012) para edificações comerciais com base na metragem quadrada e complexidade de planta com a correção dos valores para agosto de 2021. Como não foram encontradas outras referências mais específicas para edificações residenciais, este referencial foi utilizado. Desta forma podem ocorrer divergências de valores em função da diferença das tipologias das edificações.

Ressalta-se a importância de comparar o custo das alterações com o valor global da obra. O custo total do empreendimento foi informado pelo construtor

referente ao término da obra, que ocorreu em maio de 2021. O valor foi corrigido para a agosto de 2021 pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC).

A pesquisa de Kats (2010) foi utilizada como referência para avaliar a viabilidade econômica das modificações. Com base na variação de custos de até 4%, em média, foi definido se é viável ou não a implantação de sistemas e medidas complementares de projeto para obtenção da classificação máxima de eficiência conforme o RTQ-R (2012) bem como promoção da eficiência energética da edificação, que geram benefícios econômicos não somente para o construtor, mas, futuramente, para o usuário também.

4 RESULTADOS

4.1. Estudo de Caso

A edificação selecionada encontra-se no bairro São Lucas, Belo Horizonte - MG, na Zona Bioclimática 3, conforme estabelecido na NBR 15.220 (ABNT, 2005). O empreendimento tem finalidade exclusivamente residencial. Conforme se observa na Figura 3, o empreendimento é constituído de uma única torre, em sua maioria com 3 unidades habitacionais por andar, totalizando 11 unidades habitacionais.

Figura 3: Projeto arquitetônico da fachada.



Fonte: BEM (2019).

Os apartamentos são divididos em uma suíte, um quarto, um banheiro social, corredor de circulação, sala de estar e cozinha americana/área de serviço (Figura 4). Os apartamentos do primeiro pavimento apresentam área privativa, enquanto uma unidade do último andar possui terraço.

Todas as unidades apresentam 2,70 m de pé direito e área útil (AU) de 58,9 m², para as unidades de final 1 e 2 e AU de 60,51 m² para àquelas de final 3.

Figura 4: Planta humanizada do pavimento tipo.



Fonte: BEM (2019)

4.2. Análise da eficiência energética

A planilha de cálculo disponibilizada pelo PBE Edifica foi empregada para a análise da eficiência energética da edificação de referência definida para este estudo de caso. Desta forma foi possível determinar a classificação de cada UH a partir das características inseridas.

As suítes das unidades orientadas para Oeste são revestidas externamente por uma camada de argamassa e pintura com cor de elevada absorvância térmica ($\alpha = 86,4\%$). Com isso, os pré-requisitos da envoltória não são atendidos por essas APPs e, automaticamente, obtêm-se nível "C". Tal pré-requisito também não foi atendido nas unidades do último pavimento, em função do tipo de fechamento da cobertura. Em síntese, os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas e coberturas não foram atendidos pelas unidades 101, 102, 201, 202, 301, 302, 401, 402.

Além disso, percebe-se que diversas APPs não possuem as áreas mínimas de abertura para a ventilação e/ou iluminação naturais que devem ser maiores ou iguais à 8,0 e 12,5%, respectivamente, em relação a área de piso.

O Quadro 1 indica a pontuação final e a classificação de cada UH da edificação.

Quadro 1: Classificação final dos níveis de eficiência para a envoltória de cada unidade habitacional.

Identificação das unidades habitacionais	Envoltória para Verão	Envoltória para Inverno	Aquecimento de Água	Equivalente Numérico da envoltória	Envoltória se refrigerada artificialmente	Bonificações	Final	PONTUAÇÃO
101	C	B	C	C	D	0,4	B	3,73
102	C	B	C	C	D	0,4	B	3,73
103	C	B	C	C	C	0,4	B	3,73
201	C	A	C	B	D	0,4	B	3,97
202	C	B	C	C	D	0,4	B	3,80
203	C	A	C	B	C	0,4	B	3,89
301	C	A	C	B	D	0,4	B	3,97
302	C	B	C	C	D	0,4	B	3,80
303	C	A	C	B	C	0,4	B	3,89
401	D	C	C	D	D	0,52	C	3,20
402	E	C	C	D	D	0,4	C	2,79

Fonte: Autores.

Para obtenção da classificação final da edificação multifamiliar foi realizada uma média ponderada da classificação da UH em função de suas áreas úteis. Como a edificação possui medição individualizada de água e eletricidade, atende o pré-requisito geral.

Desta forma, a edificação multifamiliar obteve 3,68 pontos, ou seja, ENCE "B" (Quadro 2).

Quadro 2: Classificação final da Edificação Multifamiliar.

Identificação das unidades habitacionais	Pontuação (PTUH)	Área útil (m ²)	ENCE	
101	3,73	58,90	3,68	B
102	3,73	58,90		
103	3,73	60,51		
201	3,97	58,90		
202	3,80	58,90		
203	3,89	60,51		
301	3,97	58,90		
302	3,80	58,90		
303	3,89	60,51		
401	3,20	58,90		
402	2,79	60,51		

Fonte: Autores.

Percebe-se que as unidades apresentaram classificações semelhantes, com exceção das unidades do último pavimento. Estas obtiveram classificação inferior, devido a maior exposição à radiação solar que estão sujeitas sob a sua superfície de vedação horizontal, que é de laje maciça. Logo, deve-se receber tratamento de cobertura adequado como forma de melhorar a sua classificação.

As unidades 101 e 103 apresentaram o equivalente numérico da envoltória para inverno inferior às unidades também de final 1 e 3, do segundo e terceiro pavimento. Isso pode ser explicado pelo fato destas unidades estarem sob pilotis. Assim, a ventilação no pilotis, local no qual situa-se a garagem, pode contribuir para o resfriamento das unidades que estão imediatamente acima deste espaço. O resultado da envoltória para inverno das unidades com final 1 e 3, dos pavimentos 2 e 3, foi beneficiado pela existência de aberturas para orientação Norte, já que essa orientação recebe radiação o dia todo e poderia impactar negativamente a pontuação deste critério. Portanto, como as unidades 202 e 302 não possuem aberturas para essa orientação, obteve-se o nível "B" para este quesito.

4.3. Propostas de melhoria

Primeiramente, foram necessárias adaptações que possibilitassem o atendimento aos pré-requisitos. O não atendimento a essas condições impossibilita o alcance do nível máximo de eficiência.

Considerando que as suítes orientadas no sentido Oeste não atenderam ao pré-requisito da envoltória, propõe-se a alteração da cor da pintura externa, a fim de melhorar o desempenho da envoltória. A substituição da pintura na cor cinza pela branca, na fachada frontal da edificação, possibilitaria o atendimento do pré-requisito, já que a absorvância térmica da parede externa da APP seria de 0,15.

Não haveria, portanto, alteração no preço de aquisição da tinta nesta nova cor uma vez que os valores de ambas seriam semelhantes na etapa de definição de projeto. Desta forma não houve impacto nos custos para este quesito.

Como os pré-requisitos de iluminação e ventilação natural não foram atendidos para aberturas dos quartos, suítes e sala/cozinha de várias unidades, se mostrou necessária a adaptação no tamanho das aberturas externas e, conseqüentemente, de suas esquadrias. Portanto, modificou-se as janelas dos quartos que originalmente haviam sido especificadas como de correr de 2 folhas móveis de alumínio sem veneziana de 1,0 x 1,5 m para uma opção também de correr, porém com 1,40 x 1,50 m de alumínio com 2 folhas móveis e persiana integrada. Para a janela da cozinha propõe-se a alteração por uma de correr de alumínio de 3 folhas de 1,2 x 3,0 m, sendo que a original apresenta as dimensões de 1,0 x 1,8 m e com esquadria de alumínio.

Outro pré-requisito não atendido havia sido àquele relativo à envoltória das unidades habitacionais do último pavimento. Como o seu fechamento superior é feito em laje de concreto de 10 cm, sem pintura, a transmitância térmica ($3,73 \text{ W/m}^2\text{K}$) e capacidade térmica ($220 \text{ kJ/m}^2\text{K}$) foram elevadas, já que com absorvância térmica acima 0,6, o limite para a transmitância térmica é de $1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Neste contexto, optou-se pela utilização de uma estrutura composta por telhas metálicas térmicas (tipo sanduíche) na cor branca sob a cobertura. Tal adaptação reduziria consideravelmente o valor da absorvância da cobertura para $\alpha = 0,25$ e da transmitância térmica para $U=0,68 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Como o RTQ-R (2012) permite o emprego de várias medidas para melhoria da classificação, foram aplicadas duas opções de propostas.

A primeira proposta visa o atendimento dos pré-requisitos do ambiente, que são critérios obrigatórios para atingir a classificação máxima. Além disso, promoveria a intervenção no sistema de aquecimento de água. Foi proposta a adaptação do sistema solar de aquecimento, o qual atende 64,18% da demanda da fração anual mínima, adicionando-se o Kit Boiler 400l Baixa Pressão (Aço 316) da Komeco e duas placas solares de 2x1 m. Assim, atingiria 70% de atendimento da demanda e, portanto, seria obtido o nível "A" para esse critério.

Como a opção previamente apresentada, a Proposta 2 deve obrigatoriamente atender aos pré-requisitos do ambiente, logo, aplicou-se as mesmas modificações para esse quesito. Porém, diferencia-se da anterior por não modificar o sistema de aquecimento de água e sim, os acessórios de promoção de eficiência que garantem pontuação extra em bonificações.

Neste contexto, optou-se pela instalação de restritor de vazão de 6 litros /minuto (0,04 ponto) e sistema de descarga de duplo acionamento de água nas bacias sanitárias (0,04 ponto), garantindo mais 0,08 ponto no critério 'Uso racional de Água'. A entrega das moradias com ventiladores de teto com Selo Procel em pelo menos 2/3 (dois terços) das APPs permite receber mais 0,1 ponto de bonificação.

Ao assegurar a entrega de iluminação artificial de lâmpadas com Selo Procel na especificação de projeto, foi obtido mais 0,1 ponto de bonificação.

Por fim, foi proposto a entrega de refrigeradores com Selo Procel do INMETRO nas unidades habitacionais, o que soma mais 0,1 ponto.

No Quadro 3, estão representadas as classificações finais da Edificação Multifamiliar para os dois conjuntos de modificações. Assim, ambas propostas resultaram no nível "A" de eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-R (2012).

Quadro 3: Classificação final para Edificação Multifamiliar de acordo com a proposta de modificação.

PROPOSTA	ENCE	
1	4,94	A
2	4,71	A

Fonte: Autores

5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

O construtor informou o custo total do empreendimento, cujo término ocorreu em maio de 2021. O valor corrigido pelo INCC para o mês de agosto do mesmo ano resultou em um custo global de R\$ 2.650.022,19.

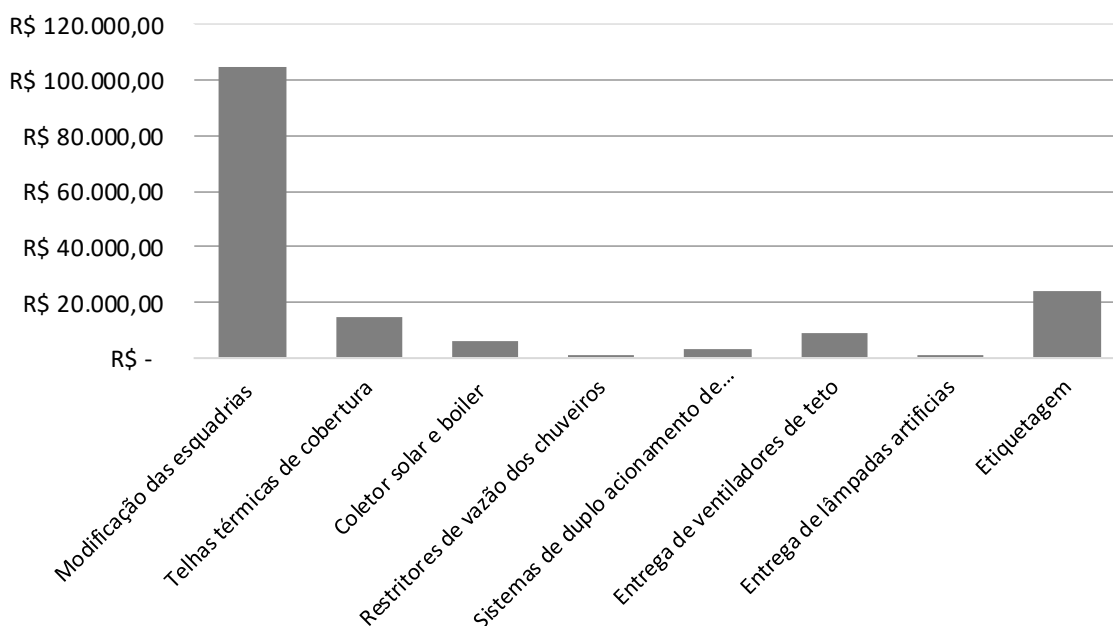
Além do custo adicional das alterações, deve-se considerar as despesas para realizar a etiquetagem da edificação. A definição dos custos teve como base o estudo de Rodrigues et al. (2012) e resultou no valor de R\$ 13.491,39. Como o estudo é relativo ao ano de 2012, o valor foi corrigido pelo INCC referente ao período. O valor atualizado para o mês de agosto de 2021 foi de R\$ 24.106,62.

Dentre as opções avaliadas, a Proposta 1 mostrou-se mais efetiva, pois foi

alcançado um nível de eficiência energética maior com um menor custo. O investimento adicional representou um aumento de 4,71% do custo total. Considerando o acréscimo observado por Kats (2010), pode-se considerar a proposta economicamente viável por ter se mostrado próximo dos valores médios observados em seu estudo para diversos tipos de edificação.

Pelo Gráfico 1, é possível comparar as despesas para aplicação de cada alteração sugerida.

Gráfico 1: Custos estimados para as modificações citadas.



Fonte: Autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propostas de melhoria que visavam o atendimento das exigências para alcance do nível “A” de eficiência energética previsto pelo método prescritivo do RTQ-R aumentaram em 4,71% o custo total do empreendimento, sendo que o custo adicional por UH foi de R\$ 13.532,14. Portanto, as modificações mostraram-se economicamente viáveis para o cumprimento deste objetivo.

O RTQ-R (2012) possibilita a aplicação de várias soluções para se alcançar uma melhor pontuação em cada tópico do regulamento. Assim, projetistas e construtores interessados em obter uma melhor classificação energética podem estudar várias opções ao conceber o projeto e definir a viabilidade financeira de cada uma.

A adaptação da edificação aos critérios do RTQ-R (2012) para se obter um nível superior de desempenho energético gera custos adicionais. Porém, esse investimento adicional pode ser vantajoso para o construtor, já que pode resultar em valorização do imóvel, conforme o estudo de Newell, Macfarlane e Kok (2011). A procura dos consumidores por produtos e bens mais eficientes energeticamente pode ser um fator determinante para atrair clientes mais exigentes. Além disso, a economia potencial no consumo de energia pode beneficiar financeiramente os usuários das unidades residenciais.

Conclui-se, que as medidas propostas no RTQ-R (2012) para elevar a qualidade e

eficiência das edificações foram tangíveis para o objeto de estudo considerando opções corriqueiras do mercado da construção civil e adequações descomplicadas de projeto podendo, portanto, serem ampliadas e aplicáveis à empreendimentos similares. Contudo, a disseminação da sua aplicação poderia ser ainda mais efetiva caso fossem implementados incentivos fiscais aos construtores e campanhas mais intensificadas de divulgação do programa e de seus benefícios como fase de transição e auxílio da promoção da eficiência das edificações antes de passar a ser um procedimento compulsório.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- BARBOSA, Maria Teresa Gomes; SANTOS, White José; FERREIRA, Isabel Christina de Almeida. Concreto ecológico. **Principia**, Juiz de Fora, v. 16, p. 27-35, jan./dez. 2012.
- MBE – MARCELO BARROS ENGENHARIA. **Projetos arquitetônicos da edificação**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: acervo digital da empresa. Acesso em: 15 mai. 2021.
- CALDEIRA, Norma do Nascimento Batista. **A concepção arquitetônica para a eficiência energética de edificações – o caso da etiquetagem no Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Ciências em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- COELHO, S. T.; SANCHEZ-PEREIRA, Alessandro; TUDESCHINI, Luís Gustavo; GOLDEMBERG, José. The energy transition history of fuelwood replacement for liquefied petroleum gas in Brazilian households from 1920 to 2016. **Energy Policy** n. 123, pp. 41-52, 2018.
- INMETRO. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001788.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- KATS, G. **Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies**. Washington DC: Island Press, 2010.
- LAMBERTS, Roberto. **Manual para o entendimento da etiquetagem de edificações pelo gestor público**. São Carlos: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3e - UFSC, 2014. Disponível em http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_Gestor_Publico_20140613_1.pdf. Acesso em: 17 mar. 2021.
- MAHLIA, T.M.I.; SAIDUR, R. A review on test procedure, energy efficiency standards and energy labels for room air conditioners and refrigerator-freezers, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 14, Issue 7, 2010, páginas 1888-1900.
- MELO, C. A.; JANUZZI, G. de M.; BAJAY, S. V. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. *Renew. Sustain. Energy Rev.* n. 61, pp. 222-234, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116300065?via%3DiHub>. Acesso em: 06 abr. 2021.
- NEWELL, Graeme; MACFARLANE, John; KOK, Nils. **Building better returns**: a study of the financial performance of green office buildings in Australia. Research by the University of Western Sydney and the University of Maastricht Netherlands in conjunction with Jones Lang LaSalle and CBRE. Sydney: Australian Property Institute / Property Funds Association, 2011.
- NOGUEIRA, Fábio; NASCIMENTO, Fernanda; BATISTA, Juliana; OLIVEIRA, Poliana; ALMEIDA, Reberth. Análise da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-R: Etiquetagem de residência unifamiliar em Maceió-AL. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14, Juiz de Fora. **Anais ...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.
- PBE - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. Planilha de cálculo do desempenho da UH. Rio de Janeiro: PBE Edifica, 2017. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- PBE EDIFICA. **Sobre o PBE Edifica**. 2020. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 05 mar. 2021.



PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; GONZÁLEZ, Rocío; MAESTRE, Ismael. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, mar. 2009.

PRESTES, J. A. **Programa brasileiro de etiquetagem de edificações** – PBE Edifica. Fórum Eficiência Energética em Edificações. São Paulo: Blucher, 2015.

RODRIGUES, C; DIAS, A; OLIVEIRA, P; HASBOUN, V; MARTINS, M; PACHECO, G; CARMO, F; PEDRINI, A. 12. Aplicação da Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios RTQ-C. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12 - Juiz de Fora. **Anais ...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524-541, 2015.