

ROTULAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: UM ESTUDO DE CASO DA REGULAÇÃO BRASILEIRA

Guilherme Rosinski ¹
Marcos Lucas de Oliveira ²
Janis Elisa Ruppenthal ³

RESUMO: O objetivo deste estudo é classificar a eficiência energética e verificar o desempenho térmico de um prédio multifamiliar vertical localizado no sul do Brasil, utilizando o Regulamento Brasileiro para Rotulagem de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Além disso, o estudo visa verificar a adequação do método aos seus requisitos. Assim, a pesquisa busca através da metodologia RTQ-R calcular as propriedades térmicas dos materiais, analisar os resultados e propor alterações para aumentar a classificação de desempenho do edifício. A aplicação do método no edifício em estudo alcançou um resultado satisfatório. Constatou-se que mais de 90% dos apartamentos atingiram a classificação do nível B. Em contrapartida, a baixa pontuação do sistema de aquecimento de água, é ocasionada pela utilização de chuveiros elétricos, resultou na obtenção do nível C na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Para atingir o nível A, propôs-se alteração no sistema de aquecimento de água, bem como a instalação de equipamentos de racionamento de água e a instalação de lâmpadas de eficiência energética nas unidades de habitação autônomas.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética. Rotulagem nacional. Edifícios residenciais.

¹ guilhermerosinski@gmail.com

² Mestre em Engenharia de Produção pela UFSM - eng.marcos.lucas@gmail.com

³ Prof.^a da Engenharia de Produção da UFSM, Doutora em Engenharia de Produção - janis.rs.br@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de todo o século XX a abundante oferta de energia, proveniente de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, forneceu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial. Porém, no início desse século, o cenário mudou ao ser colocado em prova por uma nova realidade: a necessidade de um desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, apesar dos esforços políticos significativos para melhorar a eficiência energética, o consumo de energia em edifícios vem aumentando nos últimos anos. A energia global utilizada nos edifícios aumentou cerca de 20% entre 2000 e 2014 (IEA, 2014). Conforme os autores Iwaro e Mwashu (2010), o crescimento da população, os níveis mais elevados de conforto e o aumento do tempo de permanência nos edifícios asseguram a tendência do crescimento da energia de consumo energético no futuro.

A energia utilizada nos edifícios representa 30% do consumo final de energia global, principalmente do setor residencial (IEA, 2013, AHMAD e THAHEEM, 2016). No nível de uso final, a combinação de aquecimento, ventilação, climatização (HVAC) e sistema de aquecimento de água realiza quase 60% da energia global consumida (IEA, 2015). Diante disso, sob um apelo global para aumentar a eficiência energética, muitos países têm desenvolvido regulamentos para edifícios eficientes em energia (MELO, SORGATO e LAMBERTS, 2014; ASTE et al., 2014; SHEN et al., 2015; CEC, 2016). No Brasil, no ano de 2014, as famílias consumiram 25% da demanda total de energia elétrica (BRASIL, 2015). Evidenciando, assim que o consumo mais do que duplicou entre 1990 e 2012. Esse crescimento está intimamente relacionado com o produto interno bruto (PIB) (BRASIL, 2014).

O aumento nas últimas três décadas ocorre principalmente devido à estabilidade econômica alcançada no início dos anos 90, a manutenção de condições econômicas favoráveis durante os anos 2000 e as políticas de distribuição de renda (IEA, 2015). O primeiro esforço do governo brasileiro para incentivar o uso eficiente da eletricidade foi em 1984, com o desenvolvimento do Programa Brasileiro de Rotulagem pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) pela Eletrobras. O objetivo do programa é informar os consumidores sobre a eficiência energética dos equipamentos através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015).

Nesse contexto, foi após a crise energética brasileira de 2001, que o congresso aprovou a lei nacional de eficiência (Lei nº 10.295), que estabeleceu rotulagem de eficiência obrigatória para produtos elétricos (BRASIL, 2001). Posteriormente, em 2009, foi lançado o Regulamento para Rotulagem de Eficiência Energética de Edifícios Públicos (RTQ-C), e em 2010 o Regulamento de Edifícios Residenciais (RTQ-R), ambos de adesão voluntária (BRASIL, 2011). De acordo com o relatório de resultados Procel 2016 (BRASIL, 2016), apenas 31 avaliações foram feitas para edifícios multifamiliares até 2015. Entre estes, apenas cinco rótulos foram concedidos para habitações já existentes. Portanto, ao cenário da construção há a necessidade de despertar a consciência das empresas de construção para aderir ao programa pela rotulagem de novos edifícios, em busca de maior eficiência e de uma comunidade sustentável.

Diante disso, esse estudo tem por objetivo classificar a eficiência energética e o desempenho térmico de um prédio multifamiliar vertical, localizado no sul do Brasil, por meio do método RTQ-R. Além disso, o estudo visa verificar a adequação do método aos seus requisitos. Como hipótese têm-se que o RTQ-R, quando considerado apenas o número de paredes externas, independentemente da sua área, pode estimular a solução por edificações mais eficientes (MATTOS, 2012). Outrossim, a aplicação do método RTQ-R, por ter baixa rigidez em seus requisitos, pode inferir ao edifício uma classificação alta no ENCE, uma vez que a implementação de medidas simples corrobora para alcançar o nível A, como, por exemplo, indicação de desempenho dos dias de verão para classificação de grau-hora de resfriamento da edificação.

2 O REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (RTQ-R)

A regulamentação brasileira para avaliação de eficiência energética especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos, utilizados para classificar edifícios residenciais. Os edifícios residenciais são avaliados de A – mais eficiente – para E menos eficiente – considerando o desempenho do envelope e o sistema de aquecimento de água. Além disso, é possível obter pontos extras usando estratégias que aumentam a eficiência do edifício, como características de ventilação natural, utilização de iluminação natural e o uso racional da água (TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015).

2.1 AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA

Dois métodos diferentes são autorizados a avaliar o desempenho da envoltória de construção: simulação de computador - usando *software* de simulação de energia, como o EnergyPlus - ou pelo método prescritivo - aplicado neste estudo de caso - uma abordagem simplificada que usa equações com diferentes parâmetros de acordo com a construção da zona bioclimática. Essas equações são baseadas no desenvolvimento de meta modelos pela regressão multi-linear exigindo mais de 150.000 casos simulados em *software* (MELO et al., 2016). Em ambos os métodos, a avaliação indicando o desempenho da envoltória da construção ocorre sob três aspectos: (i) grau-hora de resfriamento (nos dias de verão); (ii) Consumo de energia para aquecimento (em dias frios); e; (iii) consumo de energia de refrigeração (quando condicionado artificialmente).

O indicador de grau de hora de resfriamento (CDH) é definido como a soma da diferença na temperatura horária operativa, quando está acima de uma temperatura de linha de base. A regulação brasileira ajustou 26 °C como a temperatura de base para o resfriamento. Assim, quando a temperatura operacional está acima de 26 °C, o excesso é adicionado ao total de horas de grau de resfriamento, representado pela área verde na Figura 1. (SORGATO e LAMBERTS, 2011). Para o consumo de energia de aquecimento (HC) é definido como a energia anual consumida por área (kWh/m²) para promover o aquecimento da sala até 22 °C todos os dias das 8 h às 21 h. Este indicador é usado apenas para avaliar edifícios nas zonas bioclimáticas Z1 a Z4, uma vez que em outras regiões, com temperaturas mais quentes, o consumo de eletricidade relacionado ao aquecimento é inexpressivo.

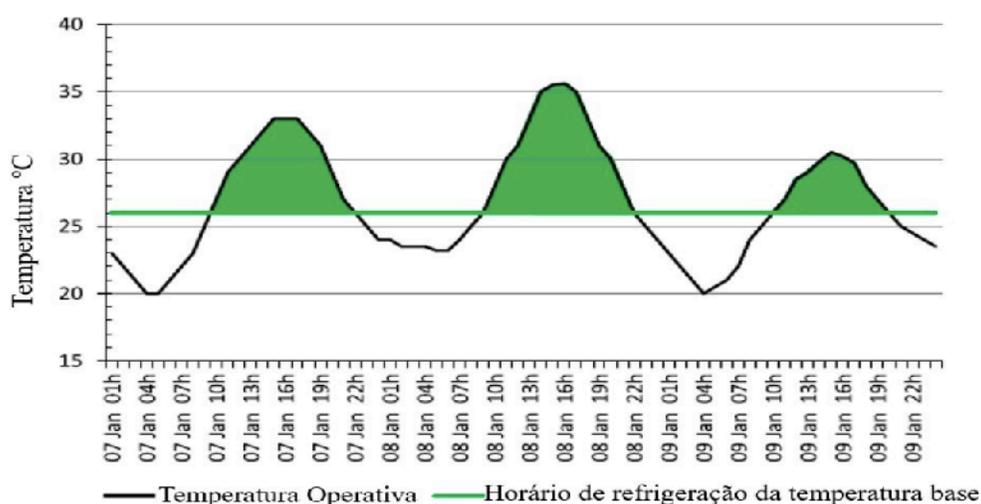


Figura 1 - Representação do tempo de resfriamento.

Fonte: Adaptado de Fossati et al., 2016. Fonte: Munkres (1957).

O consumo de energia de refrigeração (CC) é definido como a energia anual consumida por área (kWh/m²) para promover a temperatura de refrigeração dos dormitórios até 24 °C diariamente das 8 h às 21 h. Apesar de receber um desempenho de classificação, o sistema de ar condicionado não tem impacto na avaliação do edifício. Alguns pré-requisitos devem ser verificados de acordo com a zona bioclimática, levando-se em conta a localização do empreendimento. Esses requisitos estão relacionados às propriedades térmicas do telhado, das paredes, das porcentagens mínimas de iluminação natural e das áreas de abertura de ventilação. A incapacidade de atender a esses requisitos diminuem a classificação de eficiência estabelecida pelos indicadores CDH, HC e CC.

O resultado de cada indicador de eficiência está vinculado a uma pontuação equivalente numérica (NumEq) que varia de 5, para classificação de nível A (mais eficiente) até 1, para classificação de nível E (menos eficiente). Desta forma, os equivalentes numéricos de refrigeração e aquecimento têm pesos diferentes dependendo da zona bioclimática onde o prédio está localizado. Por exemplo, uma habitação localizada na zona bioclimática Z2, como neste estudo de caso, tem peso do indicador de refrigeração 44% e indicador de aquecimento 56%, conforme apresentado na Tabela 1 (BRASIL, 2010).

Tabela 1 - Distribuição de pesos de acordo com a zona bioclimática

Zona Bioclimática	EqNumEnvResfr	EqNumEnvA
ZB 1	0,08	0,92
ZB 2	0,44	0,56
ZB 3	0,64	0,36
ZB 4	0,68	0,32
ZB 5, 6, 7 e 8	1,00	0,00

Fonte: Autores.

Inicialmente, a avaliação da envoltória não ocorre no edifício na totalidade, pois cada sala de longa permanência (área de estar, sala de jantar e quartos) é avaliada de forma independente. Portanto, cada sala analisada obtém uma classificação de eficiência energética. Assim, a ponderação de cada classificação de sala, de acordo com esta área do piso, resulta na classificação da eficiência da envoltória da unidade de alojamento, como exemplificado na Figura 2.

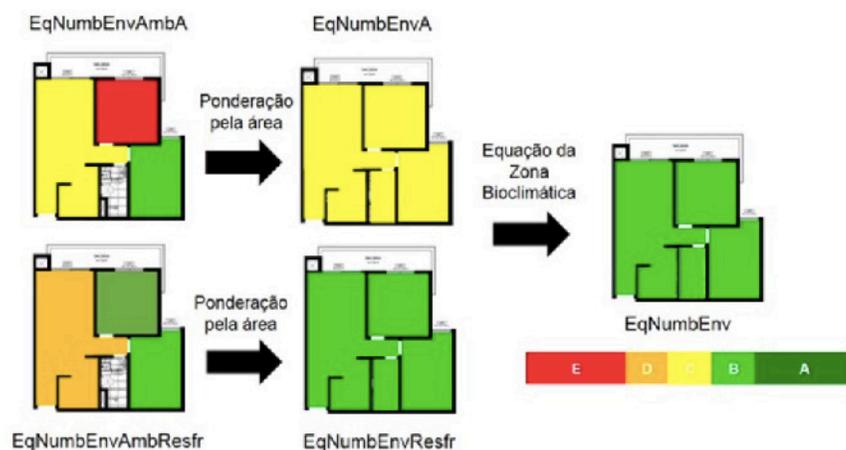


Figura 2 - Estrutura da determinação do equivalente numérico da envoltória.

Fonte: Adaptação de Brasil (2010).

2.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de aquecimento de água considera o isolamento térmico do duto como pré-requisito. Ambos os sistemas de energia solar podem obter o nível de classificação A ou B, dependendo da eficiência operacional. Por sua vez, os sistemas de aquecimento elétrico e as caldeiras de óleo não são encorajados, uma vez que só podem obter o nível de classificação D ou E dependendo do consumo de energia (BRASIL, 2010).

2.3 CLASSIFICAÇÃO FINAL DA HABITAÇÃO

Uma vez estabelecida cada classificação do aspecto de desempenho, as edificações estão relacionados a um número específico de pontos denominados equivalente numérico (NumEq). Atribui-se pesos diferentes a cada região geográfica brasileira para avaliar o desempenho da unidade de alojamento. Assim, o desempenho do sistema de aquecimento da envoltória ou da água pode ter influência sobre o resultado, dependendo da localização do edifício.

Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a envoltória representa 65% e o aquecimento de água 35% na classificação total. Nas regiões Nordeste e Norte - regiões mais quentes com baixa energia gasta para aquecer água - o peso do desempenho da envoltória é de 90% e 95%, respectivamente. Posto isto, em edifícios multifamiliares, a avaliação do nível de eficiência é resultante da ponderação de cada classificação da unidade de habitação pela área. A pontuação após a ponderação estabelecerá a classificação final do edifício multifamiliar, como exemplifica a Figura 3.

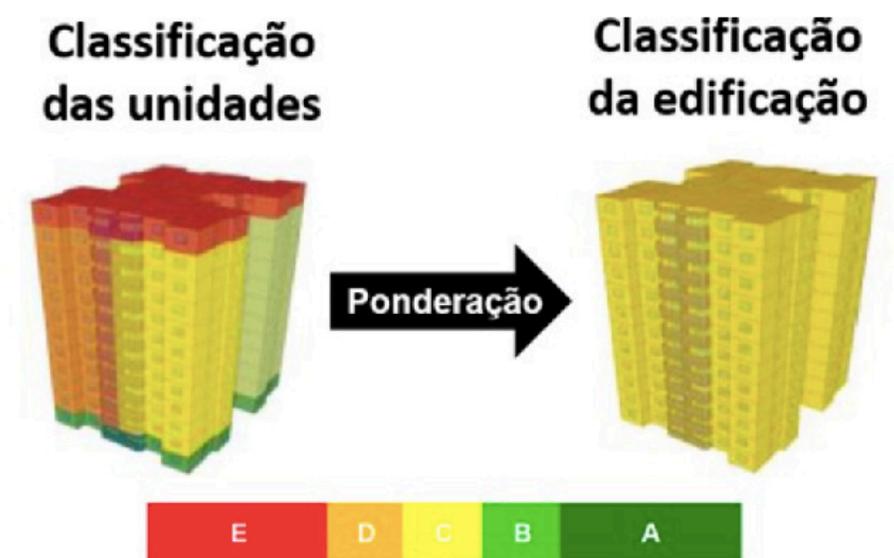


Figura 3 - Competência de desempenho de construção.
Fonte: Adaptação de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo é uma de natureza qualitativa, caracterizada por um estudo de caso exploratório e descritivo, que visa avaliar a eficiência energética de uma edificação multifamiliar na cidade de Santa Maria – RS. A técnica utilizada foi a do procedimento de avaliação estabelecido no RTQ-R. Para possibilitar a aplicação do método prescritivo do RTQ-R, as informações do empreendimento foram levantadas pela análise do projeto arquitetônico, dos projetos complementares e visitas in-loco à obra.

Posteriormente, foram definidos os valores das características térmicas dos materiais e das composições da envoltória da edificação, bem como as informações referentes às configurações físicas das aberturas externas. A determinação da zona bioclimática da edificação ocorreu com o uso do software ZBBR, desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Para o cálculo dos equivalentes numéricos de eficiência foi utilizada a planilha fornecida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), que automatiza os resultados para cada ambiente analisado. Salienta-se que nesse estudo a planilha foi utilizada apenas até o momento que precede a análise dos pré-requisitos, sendo os cálculos realizados manualmente a partir desta etapa, visto que há um erro no algoritmo de cálculo para esses valores. As fórmulas utilizadas podem ser vistas nos anexos A e B.

3.1 ESTUDO DE CASO

Esta seção apresenta a avaliação da eficiência energética de um edifício multifamiliar de acordo com o Regulamento de Rotulagem de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Inicialmente, são apresentados os seguintes aspectos: (i) localização do edifício; (ii) Projetos arquitetônicos; (iii) Materiais usados na construção; e (iv) características das unidades habitacionais. Por conseguinte, a classificação de eficiência energética é determinada pelo método de avaliação prescritivo RTQ-R. O edifício analisado está localizado no sul do Brasil, zona bioclimática Z2 (ABNT, 2005a). A estrutura do edifício é composta de dezessete andares (4 subterrâneos e 13 sobre o nível do terreno) composto de 149 unidades de alojamento com design de forma quase retangular, como mostra a Figura 4a. A fachada frontal e a seção transversal do prédio são mostradas nas Figura 4b e Figura 4c.

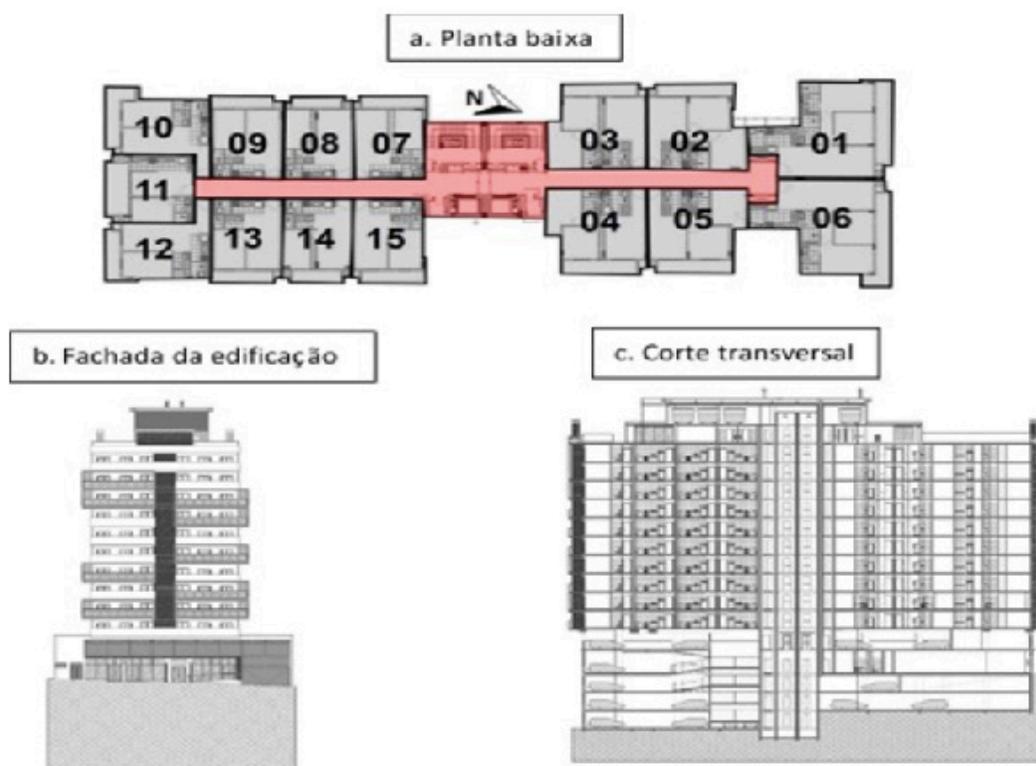


Figura 4 - Projeto da edificação em análise.

Fonte: Autores.

Nessa obra há dois modelos diferentes de paredes: (i) paredes externas: blocos de concreto celular autoclavados (AAC) revestidos com gesso de cimento; e; (ii) paredes internas: blocos cerâmicos revestidos com gesso. Entre os pisos, as lajes são compostas por concreto armado e poliestireno expandido (EPS). O teto das unidades de alojamento é coberto com painéis suspensos de gesso. No último pavimento, a cobertura voltada ao exterior contempla uma camada extra de EPS sobre a laje, com existência de contrapiso e revestimento cerâmico. As janelas são compostas por vidros simples claros de 4 mm com persianas nas aberturas dos quartos. Por fim, a água quente está disponível exclusivamente nos chuveiros. Cada banheiro é servido com um ponto de uso elétrico sem tanque de 7.500 watts de banho. As composições de materiais utilizados principalmente no envelope e na estrutura do edifício foram relatadas na Tabela 2. O cálculo das propriedades do material ocorre de acordo com as diretrizes de regulação brasileiras (MATOS, 2012) e está apresentado no Apêndice A e no Apêndice B.

Tabela 2 - Características dos materiais

Composição	Trasmissão térmica [W/m ² K]	Capacidade de armazenamento térmica [kJ/m ² K]
Paredes externas	1.10	151.69
Paredes Internas	1.89	107.81
Lajes (piso + teto)	0.18	256.48
Janelas	5.79	–

Fonte: Autores.

4 RESULTADOS

Para avaliar a eficiência energética do edifício pelo método prescritivo RTQ-R, foram considerados três itens em cada unidade de habitação: (i) construção da envoltória; (ii) Sistema de aquecimento de água; e; (iii) créditos extras para medidas sustentáveis.

4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO EDIFÍCIO

Os materiais de composição preencheram todos os pré-requisitos da classificação Z2 da zona bioclimática (Tabela 3). Embora, entre as 149 unidades habitacionais, os apartamentos 03 e 04 não atendessem a área mínima de iluminação natural em um quarto e apenas os apartamentos 01 e 06 atendem à proporção de ventilação natural.

Tabela 3 - Pré-requisitos dos materiais de composição

Pré-requisito	Valor calculado
Transmissão térmica (U)	Paredes: $U \leq 2.50$ Cobertura: $U \leq 2.30$ U = 1.10 U = 0.18
Capacidade de armazenamento térmico (TC)	Parede: $TC \geq 130.00$ Cobertura: sem requerimento TC = 151.69 TC = 256.48
Absorção solar (α)	Sem requerimento Não calculado

Fonte: Autores.

Os apartamentos que não cumprem os valores mínimos para a proporção de ventilação natural recebem, classificação nível C, o grau de hora de resfriamento ($CDHNumEq = 3$). Do mesmo modo, o quarto das unidades de habitação com o número final 03 e 04 poderão receber no máximo a classificação do nível C, quanto ao grau de hora de refrigeração do quarto ($CDHRoomNumEq = 3$).

Pelo método prescritivo, as equações foram possíveis para realizar a avaliação da envoltória da construção de cada unidade de habitação, conforme apresentado na Figura 5. Dessa forma, a aplicação do método evidencia que para o edifício em análise o desempenho da envoltória da construção para o verão, representado pelo grau-hora de resfriamento, atinge o nível C de eficiência energética ($CDHNumEq = 2,51$). Por sua vez, o desempenho da envoltória de construção para o inverno, representado pelo consumo de energia de aquecimento, atinge o nível A ($HNumEq = 4,51$).

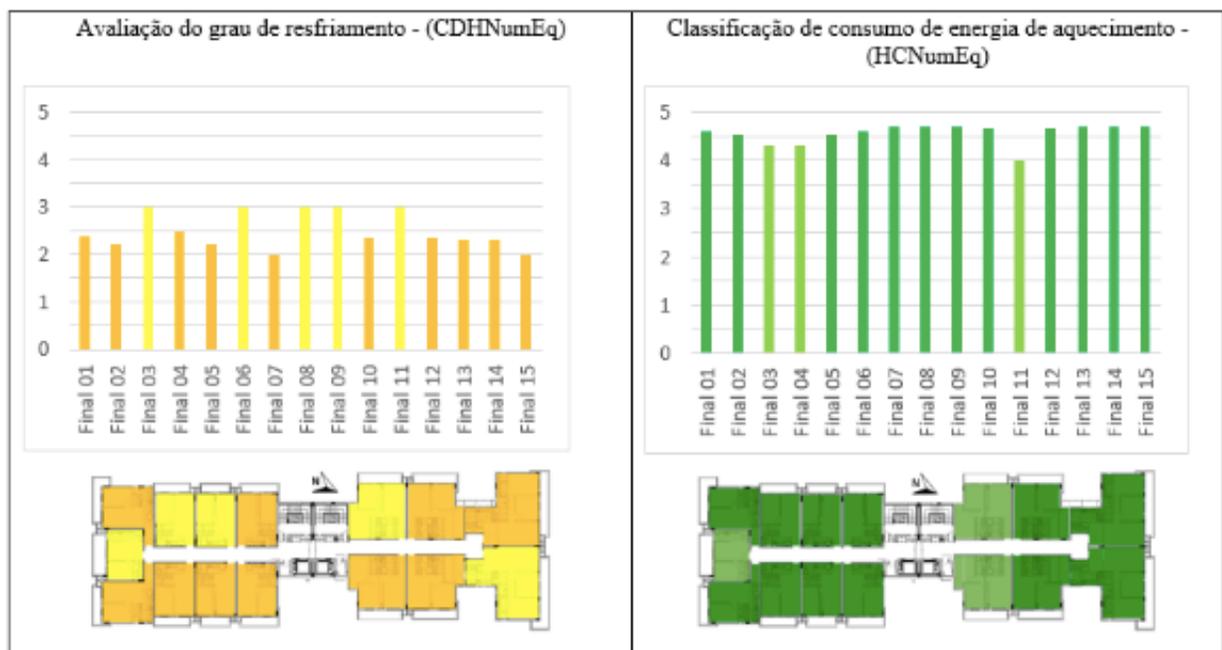


Figura 5 - Avaliação da habitação no inverno e verão.

Fonte: Autores.

Após considerar o tempo de graduação de refrigeração e o consumo de energia de aquecimento da edificação em estudo, 92% dos apartamentos atingem a classificação de nível B, com uma classificação geral de desempenho energético da envoltória ($EnvNumEq$) de 3,66.

4.2 DESEMPENHO DO AQUECIMENTO DE ÁGUA

À medida que os chuveiros de ponto de uso sem uso de tanques de 7.500 watts, exclusivamente, compõem o sistema de aquecimento de água, ele recebe automaticamente a pior classificação, alcançando o nível E ($WhNumEq = 1$) na classificação de eficiência energética.

4.2 DESEMPENHO DO AQUECIMENTO DE ÁGUA

À medida que os chuveiros de ponto de uso sem uso de tanques de 7.500 watts, exclusivamente, compõem o sistema de aquecimento de água, ele recebe automaticamente a pior classificação, alcançando o nível E ($WhNumEq = 1$) na classificação de eficiência energética.

4.3 CRÉDITOS EXTRAS

Os créditos extra podem ser obtidos com ações que aumentam a eficiência energética do edifício, como características especiais de ventilação, aprimoramento da iluminação natural, uso racional da água e outros. Todos os apartamentos cumprem os créditos extras relacionados com a iluminação natural associada à maior refletância do teto ou à profundidade da sala que contabilizam, respectivamente, 0,1 e 0,2 pontos extras na avaliação da unidade de alojamento final.

4.4 ROTULAGEM DE EFICIÊNCIA DA CONSTRUÇÃO

Conforme descrito na seção 2.1, a influência de cada parâmetro na avaliação final do apartamento depende da região onde o prédio está localizado. Portanto, é possível calcular a classificação de eficiência energética da unidade de alojamento final (HU) pela Equação 1. Os resultados da análise do estudo de caso são apresentados na Figura 6.

$$\text{Avaliação} = (0,65 \times \text{EnvNumEq}) + (0,35 \times \text{WhNumEq}) + \text{Créditos Extras} \quad \text{Eq(1)}$$

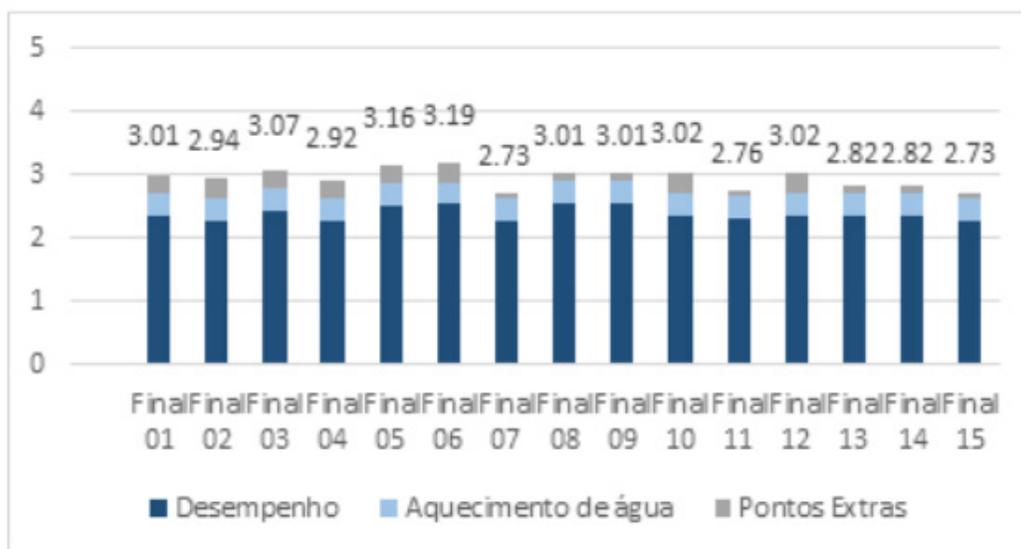


Figura 6 - Avaliação da eficiência energética da unidade habitacional.

Fonte: Autores.

Dessa forma, é possível analisar pela Figura 6 que todas as habitações do empreendimento atingiram uma pontuação entre 2,5 e 3,5 pontos. Como resultado dessa análise tem-se que a edificação estará classificada conforme os requisitos da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) na classificação C. Consequentemente, após a ponderação de cada classificação de apartamento por sua área, o edifício na totalidade também recebe o nível C na classificação final, com a pontuação de 2,97 pontos.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme observado na avaliação da edificação em análise nesse estudo, tem-se que a baixa avaliação da eficiência é resultado da escolha do sistema de aquecimento de água. Em vista que o aquecimento de água ocorre exclusivamente por chuveiros elétricos de 7.500 watts, o que pondera a edificação a pior classificação de eficiência energética, nesse quesito. Como sugestão, os autores

recomendam a mudança do sistema de aquecimento de água para caldeiras de aquecimento de gás. Essa mudança irá configurar um aumento expressivo no escore de eficiência energética da envoltória da construção, como resultado a edificação terá a possibilidade de obtenção de até 4,37 pontos na ENCE, quase um nível A ($\leq 4,5$). Na Figura 8, é evidenciado os resultados das mudanças sugeridas.

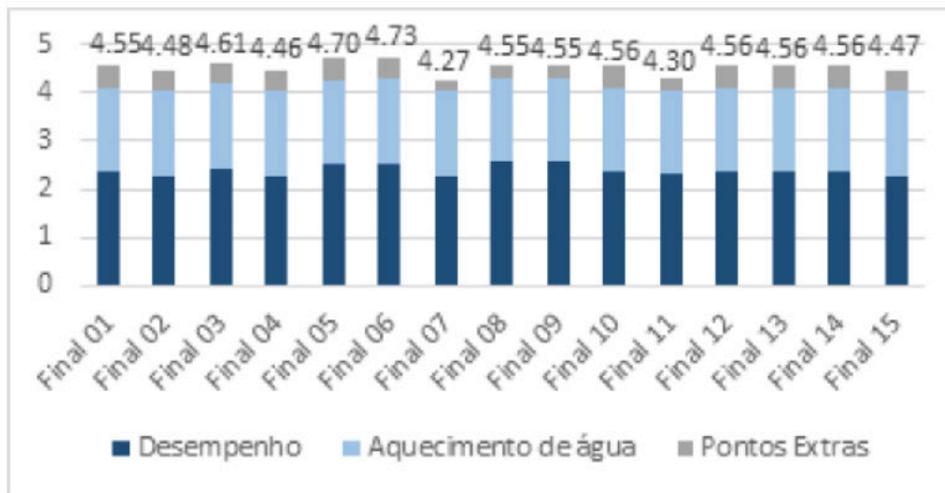


Figura 7 - Avaliação da eficiência energética da unidade habitacional após alterações.
Fonte: Autores.

O edifício também poderia facilmente tomar medidas para melhorar sua classificação com pontos extras. Essas medidas são de fácil aquisição, pois é possível implementar, por exemplo, nos sanitários a descarga dupla e nas demais unidades de alojamento, as lâmpadas de eficiência energética. O que irá impactar em 0,14 pontos extra à edificação. Esses pontos extras, combinados com a mudança do sistema de aquecimento de água, resultam em classificação de nível A conforme a ENCE, com um escore total de 4,51 pontos.

6 CONCLUSÃO

Este artigo investiga os resultados da aplicação do método prescritivo do RTQ-R em um edifício multifamiliar vertical. Para este fim, foram calculadas as composições dos materiais com propriedades térmicas e, posteriormente, o método de rotulagem foi aplicado. Os resultados obtidos permitiram a análise do método e a proposta de medidas para melhorar a eficiência energética. Após a avaliação, a envoltória do edifício alcançou um desempenho satisfatório, atingindo o nível de classificação B em mais de 90% dos apartamentos. Este resultado deve-se principalmente às unidades habitacionais de pequeno número de paredes externas.

Pontanto, o resultado desse estudo corroborou com a possibilidade designada por Matos (2012), a qual relata que o RTQ-R considerando apenas o número de paredes externas, independentemente da sua área, pode estimular a solução por edificações mais eficientes. Outro item notado foi a facilidade com que a avaliação de construção atinja o maior nível de eficiência após pequenas alterações, mesmo com uma baixa classificação de eficiência em grau-hora de resfriamento (nos dias de verão). Em vista dos achados deste estudo de caso, é possível inferir que o método prescritivo RTQ-R pode ter baixa rigidez de requisitos para obter a classificações mais alta no ENCE, uma vez que são necessárias medidas simples para alcançar o nível A. Para trabalhos futuros, sugere-se realizar a mesma análise nesse edifício pelo método de simulação do *software* RTQ-R.

ENERGY EFFICIENCY LABELING OF RESIDENTIAL BUILDINGS: A BRAZILIAN REGULATION CASE STUDY

ABSTRACT: The goal of this study is to classify energy efficiency, and verify the thermal performance of a vertical multifamily building located in southern Brazil using the Brazilian Regulation for Energy Efficiency Labelling of Residential Buildings (RTQ-R). Furthermore the study aims to verify the adequacy of the method to your requirements. Like this, the research seeks to calculate the thermal properties of materials apply the prescriptive RTQ-R methodology, identify the aspects that led to the results, and propose amendments to raise the building performance rating. Once the method was applied, the building envelope achieved a satisfactory result; more than 90% of the apartments have reached the B level rating in this aspect. In contrast, the low score of the water heating system, consisting only in electric showers, resulted in the achievement of C level in the National Energy Conservation Label (ENCE) of the enterprise. To reach the A level, it was proposed to change the water heating system, as well as the installation of water rationing equipment and install energy-efficient lamps in the autonomous housing units.

KEYWORDS: Energy efficiency. National labeling. Residential buildings.

Originais recebidos em: 03/07/2019
Aceito para publicação em: 05/10/2020

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**, Rio de Janeiro, 2005b.

AHMAD. T., THAHEEM. M. J. Developing a residential building-related social sustainability assessment framework and its implications for BIM, **Sustainable Cities and Society**, v. 26, pp. 1-15, 2016.

ASTE. N., et al.. Local energy efficiency programs: A monitoring methodology for heating systems, **Sustainable Cities and Society**, v. 13, pp. 69-77, 2014.

BRASIL. Lei n. 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providencias. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 2001.

_____. Portaria nº 449 de 25 de novembro de 2010. Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais. **Instituto Nacional de Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro)**, Rio de Janeiro.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano nacional de eficiência energética: premissas e diretrizes básicas**, Rio de Janeiro, 2011.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco de indicadores de eficiência energética**, EPE, Rio de Janeiro, 2013.

_____. Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço Energético Nacional 2015: ano base 2014**. Brasília, DF. 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads /Relatorio_Final_BEN_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf) > Acesso em: 16 abr. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Resultados Procel 2016 – Ano base 2015**, Eletrobras, Rio de Janeiro, 2016.

CEC. California Energy Commission, Building energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings, 2016. Acesso: <http://www.energy.ca.gov/title24/2016standards/>

FOSSATI. M., et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme, **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 65, pp.1216-1231, 2016.

IEA. International Energy Agency, **Energy balances**, Energy Projections for IEA Countries (database), Paris, 2013.

_____. **World energy balances**, IEA world energy balances in: IEA World energy statistics and balances (database), Paris, 2014.

_____. **Medium term energy efficiency market report**, OECD/IEA, Paris, 2015. Acesso: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MediumTermEnergyefficiencyMarketReport2015.pdf>

IWARO. J., MWASHA. A. A review of building energy regulation and policy for energy conservation in developing countries, **Energy Policy**, v. 38, pp. 7744-7455, 2010.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. e PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª. Ed. Rio de Janeiro, 2014.

MATOS. J. M. Qualificação de edifícios residenciais verticais em Natal/RN à luz do regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R), dissertação de mestrado da **Universidade Federal do Rio Grande do Norte** (UFRN), 2012.

MELO. A. P., et al. Development and analysis of a metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings, **Energy and Buildings**, v. 112, pp. 209-221, 2016.

MELO. A. P., SORGATO. M. J., R. Lamberts, Building energy performance assessment: comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation, **Energy and Buildings**, v. 70, pp. 372-383, 2014.

SHEN. L., et al. Research on the development of main policy instruments for improving building energy-efficiency, **Journal of Cleaner Production**, v. 112:2, pp. 1789-1803, 2015.

SORGATO. M. J., LAMBERTS. R. Relatório técnico da base de simulações para o RTQ-R, **Florianópolis**, 2011. Acesso: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem>

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

ANEXO A – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES INTERNAS

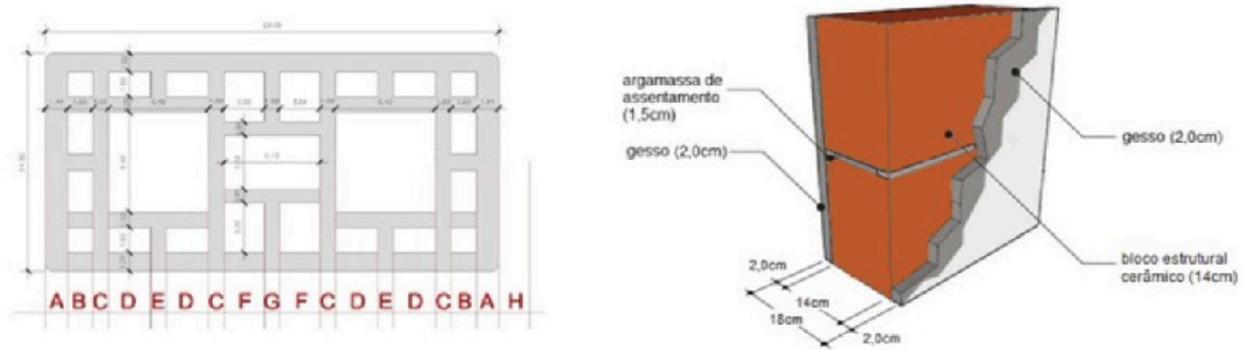


Figura 8 - Composição Interna da Parede.
Fonte: Adaptado de Brasil (2010) e Kappaun (2012).

Tabela 4 - Propriedades dos materiais constituintes das paredes internas

Propriedades	Bloco cerâmico (14x19x29)	Argamassa	Gesso
ρ (kg/m ³)	1957,00	2000,00	1200,00
λ [W/(m.K)]	1,05	1,15	0,50
c [kJ/(kg.K)]	0,92	1,00	0,84

Fonte: Brasil (2005b).

Cálculo da resistência térmica (RT)

Seção A (gesso + cerâmica + gesso)

$$A_a = 0,002736 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_a = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,02}{0,5} = 0,2017 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (gesso + cerâmica + ar + gesso)

$$A_b = 0,00304 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + 2 \cdot R_{ar1} + 2 \cdot R_{ar2} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}}$$

$$R_b = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,054}{1,05} + 2 \cdot 0,14 + 2 \cdot 0,16 + \frac{0,02}{0,5} = 0,7314 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção C (gesso + cerâmica + gesso)

$$A_c = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_c = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,02}{0,5} = 0,2017 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção D (gesso + cerâmica + ar + gesso)

$$A_d = 0,00513 \text{ m}^2$$

$$R_d = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + 2 \cdot R_{ar1} + R_{ar3} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}}$$

$$R_d = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,044}{1,05} + 2 \cdot 0,14 + 0,17 + \frac{0,02}{0,5} = 0,5719 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção E (gesso + cerâmica + ar + gesso)

$$A_e = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_e = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar3} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_e = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,076}{1,05} + 0,17 + \frac{0,02}{0,5} = 0,3224 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção F (gesso + cerâmica + ar + gesso)

$$A_f = 0,004864 \text{ m}^2$$

$$R_f = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + 3 \cdot R_{\text{ar2}} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_f = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,04}{1,05} + 3 \cdot 0,16 + \frac{0,02}{0,5} = 0,5990 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção G (gesso + cerâmica + ar + gesso)

$$A_g = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$R_g = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar2}} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_g = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,105}{1,05} + 0,16 + \frac{0,02}{0,5} = 0,34 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção H (gesso + argamassa de assentamento + gesso)

$$A_h = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_h = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} \quad R_h = \frac{0,02}{0,5} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,02}{0,5} = 0,2017 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Parede

$$R_l = \frac{[2 \cdot A_a + 2 \cdot A_b + 4 \cdot A_c + 4 \cdot A_d + 2 \cdot A_e + 2 \cdot A_f + A_g + A_h]}{[(\frac{2 \cdot A_a}{R_a} + \frac{2 \cdot A_b}{R_b} + \frac{4 \cdot A_c}{R_c} + \frac{4 \cdot A_d}{R_d} + \frac{2 \cdot A_e}{R_e} + \frac{2 \cdot A_f}{R_f} + \frac{A_g}{R_g} + \frac{A_h}{R_h})]}$$

$$R_l = \frac{[0,059928]}{[0,167193]}$$

$$R_l = 0,358436 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_l + R_{si} + R_e \quad R_T = 0,358436 + 0,13 + 0,04 \quad R_T = 0,528436 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{RT} \quad U = \frac{1}{0,528436} \quad U = 1,892376 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Cálculo da capacidade térmica (CT)

Seção A

$$CT_a = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_a = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,14 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_a = 292,38 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção B

$$CT_b = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_b = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,054 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_b = 137,54 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção C

$$CT_c = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_c = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,14 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_c = 292,38 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção D

$$CT_d = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_d = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,044 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_d = 119,53 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção E

$$CT_e = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_e = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,076 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_e = 177,15 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção F

$$CT_f = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_f = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,041 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_f = 114,13 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção G

$$CT_g = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_g = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,105 \cdot 0,92 \cdot 1957) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_g = 229,36 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção H

$$CT_h = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{gesso}}$$

$$CT_h = (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200) + (0,14 \cdot 1 \cdot 2000) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_h = 320,32 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Capacidade térmica total

$$CT_{total} = \frac{[2.A_a + 2.A_b + 4.A_c + 4.A_d + 2.A_e + 2.A_f + A_g + A_h]}{[(\frac{2.A_a}{CT_a} + \frac{2.A_b}{CT_b} + \frac{4.A_c}{CT_c} + \frac{4.A_d}{CT_d} + \frac{2.A_e}{CT_e} + \frac{2.A_f}{CT_f} + \frac{A_g}{CT_g} + \frac{A_h}{CT_h})]}$$

$$CT_{total} = \frac{[0,059928]}{[0,00055836]}$$

$$CT_{total} = 107,81 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

ANEXO B – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS COM PINTURA

Tabela 5 - Propriedades dos materiais constituintes das paredes externas

Propriedades	Bloco celular (15x30x60)	Argamassa	Gesso
ρ (kg/m ³)	500,00	2000,00	1200,00
λ [W/(m.K)]	0,17	1,15	0,50
c [kJ/(kg.K)]	1,00	1,00	0,84

Fonte: Brasil (2005b).

Cálculo da resistência térmica (RT)

Seção A (argamassa de revestimento + argamassa de assentamento + gesso)

$$A_a = 0,013725 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} \quad R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,15}{1,15} + \frac{0,02}{0,5} = 0,192174 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (argamassa de revestimento + bloco celular + gesso)

$$A_b = 0,18 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{bloco}}{\lambda_{bloco}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} \quad R_b = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,15}{0,17} + \frac{0,02}{0,5} = 0,94409 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Parede

$$R_t = \frac{(A_a + A_b)}{[(\frac{A_a}{R_a}) + (\frac{A_b}{R_b})]} \quad R_t = \frac{(0,013725 + 0,18)}{[(\frac{0,013725}{0,192174}) + (\frac{0,18}{0,94409})]} \quad R_t = 0,7391856 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total

$$R_T = R_t + R_{si} + R_c \quad R_T = 0,7391856 + 0,13 + 0,04 \quad R_T = 0,909185 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{RT} \quad U = \frac{1}{0,909185} \quad U = 1,09988 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Cálculo da capacidade térmica (CT)

Seção A

$$CT_a = (e \cdot c \cdot \rho)_{argamassa} + (e \cdot c \cdot \rho)_{argamassa} + (e \cdot c \cdot \rho)_{gesso}$$

$$CT_a = (0,025 \cdot 1 \cdot 2000) + (0,15 \cdot 1 \cdot 2000) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_a = 370,16 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Seção B

$$CT_b = (e \cdot c \cdot \rho)_{argamassa} + (e \cdot c \cdot \rho)_{bloco} + (e \cdot c \cdot \rho)_{gesso}$$

$$CT_b = (0,025 \cdot 1 \cdot 2000) + (0,15 \cdot 1 \cdot 500) + (0,02 \cdot 0,84 \cdot 1200)$$

$$CT_b = 145,16 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Capacidade térmica total

$$CT_{total} = \frac{(A_a + A_b)}{[(\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b})]} \quad CT_{total} = \frac{(0,013725 + 0,18)}{[(\frac{0,013725}{370,16}) + (\frac{0,18}{145,16})]} \quad CT_{total} = 151,6925 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$