

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE RTQ-R E INI-R

ROSA, Cinthya Neves¹(cinthya.rosa@fau.ufrj.br); TRAPANO, Patrizia Di¹(patrizia@eba.ufrj.br); BRASILEIRO, Alice De Barros Horizonte¹(alicebrasileiro@fau.ufrj.br); GRABOIS, Thiago Melo¹(grabois@fau.ufrj.br)

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

Palavras-chave: Eficiência Energética, RTQ-R, INI-R, Habitação de Interesse social, Envoltória.

Resumo

Caso a composição da envoltória de uma construção não contribua para o conforto térmico do usuário, ele buscará meios ativos de compensar o desconforto, contribuindo para o alto consumo de energia do país. Um dos meios de calcular o consumo de energia de uma edificação, é através do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que sofreu atualizações desde sua publicação em 2010, até a mais recente, a Instrução Normativa Inmetro para Eficiência Energética das Edificações Residenciais (INI-R), publicada em 2022, atrelada também à atualização da NBR 15575 em 2021. Este estudo buscou comparar os métodos de cálculo prescritivo do RTQ-R e o simplificado da INI-R para compreender as semelhanças e diferenças entre os diferentes métodos e seus resultados. Foram aplicados ambos os métodos (Prescritivo para o RTQ-R e Simplificado para a INI-R) em uma edificação residencial unifamiliar do Programa Morar Bem Paraná de Habitação de Interesse Social projetada para todo o estado do Paraná. O estudo identificou diferenças nos resultados finais das classificações da envoltória do projeto pelos dois métodos. Onde no RTQ-R a envoltória da edificação teve classificação “C”, na INI-R a envoltória da edificação teve classificação “A”. Foi possível perceber que o RTQ-R, por apresentar pré-requisitos para a consideração de diversas variáveis como abertura para ventilação natural, transmitância, absorvância e capacidade térmica, impossibilitou que a edificação obtivesse melhores classificações. O método simplificado da simulação da INI-R considera as variáveis de forma integral, além de apresentar resultados com leitura mais facilitada em kWh/ano para aquecimento ou refrigeração. Identificou-se também que o método da INI-R possivelmente considera o sombreamento inteiro da fachada e não apenas algumas partes da fachada, como é o caso do projeto analisado.

1 INTRODUÇÃO

A envoltória de uma construção é o que separa o interior do exterior, seja pelas vedações horizontais, coberturas ou pelas vedações verticais, janelas e paredes. Estes elementos podem ou não fazer uma barreira visual, a depender de sua opacidade, e regulam o fluxo de ventos, radiação e calor. Elementos opacos têm a capacidade de diminuir significativamente a transmissão de calor para os ambientes internos se comparados a elementos transparentes, como os vidros (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). Deste modo, auxiliando na manutenção de temperaturas ao nível de conforto para os usuários da edificação, a depender do material utilizado, suas características e o clima local.

Caso o material ou composição utilizada nas vedações verticais opacas (*i.e.* paredes) piore a sensação de conforto do usuário, seja permitindo a entrada de alta carga térmica ou dificultando a sua saída do ambiente, o usuário buscará meios ativos de compensar o desconforto, normalmente através de condicionadores de ar e aquecedores. Embora essas soluções busquem o conforto do usuário, também contribuem para o alto consumo de energia no país. Atualmente, as edificações comerciais e residenciais representam 48,2% do consumo total de eletricidade no Brasil (EPE, 2023).

Métodos de calcular o consumo de energia de uma edificação surgiram ao longo dos anos e estão se tornando populares por meio das classificações de Eficiência Energética e das diversas etiquetas utilizadas pelo país. Em 2010, foi publicado o primeiro Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que foi sendo atualizado até uma recente reformulação, que deu origem à Instrução Normativa Inmetro para Eficiência Energética das Edificações Residenciais (INI-R), publicada em 2022 e atrelada à atualização da NBR 15575 (ABNT, 2021). Se adotados os parâmetros mínimos sugeridos na NBR, a avaliação final do projeto através da INI-R teria o equivalente ao conceito “C” na classificação de Eficiência Energética.

A reformulação que originou a INI-R se difere das atualizações anteriores do RTQ-R por dois motivos principais: (i) melhorar o indicador de desempenho para fornecer uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação, a fim de que o consumidor possa escolher adequadamente seu imóvel e para possibilitar a quantificação da contribuição das medidas de eficiência energética (INMETRO, 2022); e (ii) um método de cálculo para a classificação de eficiência energética, que se utiliza de Inteligência Artificial por meio de cálculo de rede neural e comparação com um modelo virtual da mesma edificação, onde são adotados os parâmetros mínimos da NBR 15575 (2021).

Recentemente, Eli *et al.* (2021) foram capazes de quantificar a contribuição de estratégias distintas e combinadas na carga térmica total de uma edificação unifamiliar do programa Minha Casa Minha Vida nas zonas bioclimáticas 3 e 7 em razão do novo indicador de desempenho em kWh/ano proposto pela INI-R. Brasileiro, Morgado e Torres (2023) se utilizaram da INI-R para comparar o desempenho de aberturas, sombreamento e ventilação natural com o desempenho obtido por meio do RTQ-R, observando discrepâncias significativas - classificações A e B no RTQ-R foram classificadas como B e E na INI-R - entre os resultados dos diferentes métodos. Domingues e Abreu-Harbich (2022) se utilizaram da NBR 15575 atualizada para simular o desempenho térmico de abrigos temporários, utilizando assim parâmetros comparativos da INI-R.

Neste contexto de recente atualização da classificação de eficiência energética de edificações residenciais, estudos que demonstrem a efetividade da aplicação do método reformulado são relevantes. Em particular para cenários de Habitações de Interesse Social (HIS), que muitas vezes apresentam soluções projetuais e construtivas padronizadas, desconsiderando as singularidades de cada território e os parâmetros mínimos de desempenho para a edificação (Almeida; Silvosos e Brasileiro, 2020).

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo identificar diferenças e similaridades nos resultados e métodos de cálculo de classificação de Eficiência Energética referentes ao método prescritivo do RTQ-R e o método simplificado da INI-R, partindo da comparação dos resultados de uma mesma edificação de Habitação de Interesse Social aplicada a ambos os métodos.

3 METODOLOGIA

Os métodos utilizados para esta pesquisa foram o método prescritivo do RTQ-R e o método simplificado da INI-R, ambos aplicados ao mesmo projeto unifamiliar de Habitação de Interesse Social projetado para o estado do Paraná. O método prescritivo do RTQ-R foi realizado através da planilha fornecida pelo site do PBE Edifica (INMETRO, 2012), e o método simplificado online da INI-R através da interface da web destinada à estimativa de carga térmica (INMETRO, 2022).

O projeto escolhido pertence ao Programa Morar Bem Paraná, sendo uma edificação unifamiliar contendo sala e cozinha integradas, dois quartos e um banheiro comum. O projeto foi idealizado como uma moradia de interesse social, sem terreno e implantação definidos, com a intenção de ser implantado em todas as cidades do estado do Paraná.

O projeto não contém alguns parâmetros necessários para o cálculo de Eficiência Energética, como cor externa que ficaria à escolha do morador, orientação ou implantação, como dito anteriormente, podendo ser implementado em todas as zonas bioclimáticas do Paraná. Portanto, para possibilitar o estudo, foram delimitadas estas variáveis da seguinte forma: A cidade e a zona bioclimática (ZB) definidas para o estudo foram a capital do Paraná, a cidade de Curitiba, ZB1. A orientação da implantação foi definida conforme apresentado na figura 1.

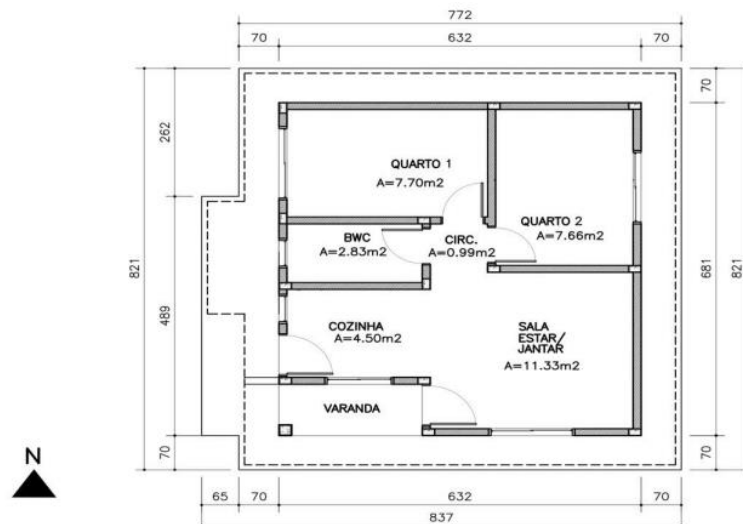


Figura 1. Planta do projeto arquitetônico Morar Bem Paraná – Orientação definida (modificado de COHAPAR, 2015).

A seguir, são apresentadas as especificações dos subsistemas construtivos, acompanhadas de suas propriedades térmicas adotadas conforme valor definido para o cálculo da referência do meta-modelo da INI-R.

Conforme detalhado no projeto, a cobertura é de telha cerâmica, com valor de absorvância $\alpha = 0,65$. As paredes de 14 cm são compostas por alvenaria cerâmica de 9 cm e revestimento interno e externo de 2,5 cm cada. Para o estudo, foi adotado o valor de absorvância definido como $\alpha = 0,58$. Foram adotados para o piso valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT), respectivamente, $U = 4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $CT = 220 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Os valores adotados de fator solar (FS) e transmitância térmica dos vidros foram, respectivamente, $FS = 0,87$ e $U = 5,70 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Os valores adotados conforme os valores definidos para o cálculo da referência do meta-modelo, foram assim definidos para que estas variáveis não tivessem peso comparativo, visto que a INI-R utiliza o meta-modelo de referência em comparação com o projeto real para gerar a classificação da avaliação (INMETRO, 2022). Ainda, como o estudo tem foco em comparar as classificações das envoltórias entre os dois métodos, não foram levados em conta o sistema de aquecimento de água em ambos os métodos nem as bonificações dadas no método do RTQ-R (INMETRO, 2012).

A seguir, são apresentados os dados inseridos em comum para a aplicação de ambos os métodos (Tabela 1), e os dados requisitados exclusivamente pelo método da INI-R (Tabela 2).

Tabela 1. Dados inseridos em comum no RTQ-R e na INI-R.

Identificação	Dormitório 2	Dormitório 1	Sala
Área útil do Ambiente de Permanência Prolongada (APP)	7,66m ²	7,70m ²	16,82m ²
Cobertura	Exposta	Exposta	Exposta
Contato com o solo	Sim	Sim	Sim
Sobre pilotis	Não	Não	Não
Ucob	2,12 W/m ² .K	2,12 W/m ² .K	2,12 W/m ² .K
CTcob	238 kJ/m ² .K	238 kJ/m ² .K	238 kJ/m ² .K
Upar	2,27 W/m ² .K	2,27 W/m ² .K	2,27 W/m ² .K
CTpar	150 kJ/m ² .K	150 kJ/m ² .K	150 kJ/m ² .K
Áreas de aberturas externas	0 m ² Norte 0 m ² Sul	0 m ² Norte 0 m ² Sul	0 m ² Norte 2,7 m ² Sul

	1,5 m ² Leste 0 m ² Oeste	0 m ² Leste 1,5 m ² Oeste	0 m ² Leste 0,6 m ² Oeste
Fvent	0,5	0,5	0,5
Pé direito	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Dimensão linear das paredes externas	2,4 m Norte 0 m Sul 3,19 m Leste 0 m Oeste	3,5 m Norte 0 m Sul 0 m Leste 2,2m Oeste	0 m Norte 5,9 m Sul 3,2 m Leste 2,71 m Oeste
Sombreamento nas aberturas / venezianas	Não	Não	Não

Tabela 2. Dados exigidos exclusivamente pela INI-R.

Ângulo de desvio em relação ao norte verdadeiro	0°	0°	0°
Dimensão horizontal das paredes em contato com o Ambiente de Permanência Transitória (APT)	0 m	2,43 m	3,7 m
Dimensão horizontal de paredes em contato com dormitório	2,27 m	2,2 m	4,39 m
Dimensão horizontal de paredes em contato com a sala	3,25 m	1,07 m	0 m
Ângulo Horizontal de Sombreamento Direito (AHSd)	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 0° Sul 0° Leste 67,22° Oeste
Ângulo Horizontal de Sombreamento Esquerdo (AHSe)	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 22,78° Sul 0° Leste 0° Oeste
Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 0° Sul 0° Leste 0° Oeste	0° Norte 22,78° Sul 0° Leste 45° Oeste

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos para a envoltória pelo RTQ-R para a unidade de Habitação de Interesse Social localizada em Curitiba, na ZB1, apresentam uma classificação final da envoltória “C” (com equivalente numérico igual a 2,82), após realizar a ponderação para ZB1, onde o inverno tem maior peso anual. Os ambientes isolados apresentaram classificações diferentes, onde para o verão, os dormitórios 1 e 2 apresentaram uma classificação “C” (equivalente numérico igual a 3,00) e a sala, classificação “B” (equivalente numérico igual a 4,00); e para o inverno, o dormitório 1 apresentou classificação “C” (equivalente numérico igual a 3,00), o dormitório 2 apresentou classificação “D” (equivalente numérico igual a 2,00) e a sala classificação “C” (equivalente numérico 3,00), conforme indicados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados RTQ-R.

Envoltória da Edificação	C 2,82		
Identificação	Dormitório 2	Dormitório 1	Sala
Envoltória para Verão	C 3,00	C 3,00	B 4,00
Envoltória para Inverno	D 2,00	C 3,00	C 3,00

Os resultados obtidos para a envoltória pela INI-R para a unidade de Habitação de Interesse Social localizada em Curitiba, na ZB1, apresentam uma classificação final da envoltória “A”, onde para o verão os dormitórios apresentam uma carga térmica de resfriamento igual a 14,52 kWh/ano (dormitório 1), 19,92 kWh/ano (dormitório 2) e a sala 409,03 kWh/ano; enquanto que para o inverno os dormitórios apresentam carga térmica de aquecimento iguais a 108,63 kWh/ano (dormitório 1) e 112,54 kWh/ano (dormitório 2), e a sala 77,26 kWh/ano. O método da INI-R ainda apresenta que a temperatura máxima atingida na unidade habitacional é de 31,14°C na sala e a mínima de 14,06°C no dormitório 1.

Tabela 4. Resultados INI-R.

Envoltória da Edificação	A		
Identificação	Dormitório 2	Dormitório 1	Sala
Carga térmica de resfriamento (verão) (kWh/ano)	19,92	14,52	409,03
Carga térmica de aquecimento (inverno) (kWh/ano)	112,54	108,63	77,26

É possível observar uma discrepância entre os resultados finais da envoltória nos dois métodos (classificação “C” para o RTQ-R e classificação “A” para a INI-R) e também entre os resultados do ambiente sala, onde a classificação pelo RTQ-R para o verão é dada como “B” (melhor performance da envoltória da sala) e para o inverno é dada como “C” (pior performance da envoltória da sala); enquanto os resultados da INI-R mostram a sala como precisando de maior carga térmica de resfriamento para o verão 409,03 kWh/ano (pior performance da envoltória da sala) e precisando de menor carga térmica de aquecimento para o inverno, 77,26 kWh/ano (melhor performance da envoltória da sala).

Algumas justificativas para tais diferenças nos resultados poderiam passar pelo fato de que o RTQ-R, por utilizar equivalentes numéricos, acaba “arredondando” possíveis resultados mais complexos, pois ele “trava” a fluidez do cálculo ao passar por pré-requisitos e acaba desconsiderando possíveis contribuições, mesmo que pequenas, para o desempenho geral final da envoltória, impedindo de ter uma classificação melhor, onde a INI-R se utiliza de cada contribuição, tentando se aproximar do modelo real, não as impedindo através de pré-requisitos.

Um exemplo dessa diferença de resultados percebidas no trabalho foi no desempenho térmico da sala, pois ambos os métodos consideram a carga térmica dos usuários, da iluminação e dos equipamentos durante os períodos de horas diárias de utilização dos ambientes, entretanto, o RTQ-R realiza o cálculo de Graus Hora, a fim de dar um equivalente numérico ao resultado se ele atender os pré-requisitos, enquanto a INI-R se utiliza da contribuição de carga térmica de tais itens de forma integral.

As cargas térmicas dos aparelhos da sala, contabilizadas conforme indicação da NBR 15575 (2021), interferem de forma integral e direta na carga térmica final necessária para aquecer ou resfriar o ambiente onde, se desconsideradas, conforme testado como quarto posteriormente, demonstra menor carga para o verão do que para o inverno, coincidindo com o resultado do RTQ-R. Entretanto, este resultado não interfere na avaliação final da envoltória, pois a INI-R trabalha com a comparação do meta-modelo real em relação ao meta-modelo de referência, portanto, a sala do modelo real terá as mesmas contribuições de cargas térmicas de usuários, iluminação e aparelhos consideradas no modelo de referência.

Outro motivo é o caso da INI-R levar em consideração o sombreamento das fachadas, podendo contribuir para um melhor desempenho térmico das vedações verticais, algo que o RTQ-R não levava em consideração, apenas o sombreamento das aberturas. Porém, em relação ao método simplificado da INI-R, especificamente no caso das porções das fachadas sul e oeste da sala, que apresentam um recuo conformando a varanda (ver figura 1), gerando sombreamento nas duas partes das fachadas, mas não nas fachadas inteiras, é percebida uma alteração no resultado que possivelmente considera o sombreamento de toda a fachada, e não de parte dela – a efetivamente sombreada no projeto em questão. Um dos indicadores que apontam para essa possibilidade é o fato de não haver, no método, espaço para a inserção do quantitativo de fachada que está submetido àquele ângulo de sombreamento.

5 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo identificar diferenças e similaridades nos resultados obtidos e nos métodos de cálculo de classificação de Eficiência Energética referentes ao método prescritivo do RTQ-R e o método simplificado da INI-R. Com a mudança do método, houve uma dificuldade inicial ao aprender a utilizar a interface e compreender como funcionava o cálculo da INI-R, porém o estudo possibilitou a investigação e compreensão de forma mais clara. Ainda, o estudo levantou a questão do sombreamento das fachadas, onde é possível compreender que o método simplificado compreende sombreamento da fachada integral, algo que pode ser confirmado com mais investigação.

Os resultados obtidos indicam uma melhora no novo método da INI-R em comparação ao antigo método do RTQ-R, pela alteração no indicador de desempenho, possibilitando uma ideia de grandeza mais clara em relação ao consumo real da edificação; por considerar as contribuições dos materiais de forma integral no cálculo e trazer um novo dado a ser considerado, o sombreamento das fachadas, possibilitando uma análise mais próxima da realidade; além de atrelar o cálculo do desempenho à NBR 15575 (2021), através do modelo virtual comparativo, que possibilita um indicativo de eficiência do edifício caso ele não atenda aos requisitos mínimos indicados na norma.

Compreende-se que a reformulação do RTQ-R para INI-R se dá como uma modernização necessária ao método, se utilizando de novas tecnologias, atribuindo variáveis importantes, melhorando os indicadores de Eficiência Energética e aproximando o método da norma brasileira. Desta forma contribuindo com a compreensão da importância das medidas de Eficiência Energética e seu impacto nas edificações brasileiras tanto por pesquisadores quanto por consumidores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2021). NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro.

Almeida, Tatiane Pilar de; Silvano, Marcos Martinez; Brasileiro, Alice de Barros Horizonte. (2020). Simulações de desempenho termo-energético para sistemas de vedações verticais em habitações de interesse social. 2020. In: SALGADO, M.S.; SILVOSO, M.M.; GRABOIS, T.M. (org.). Arquitetura, materialidade e tecnologias digitais: aplicações na construção e conservação do ambiente construído. Rio de Janeiro: PROARQ, Paisagens Híbridas, 2020. p. 180-205.

Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). (2022). Portaria nº309 – Instruções Normativas e Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais.

Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). (2010). Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Brasília.

Brasil. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). (2012). Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Brasília.

Brasileiro, Alice; Morgado, Claudio Oliveira; Torres, Thiago Coutinho. (2023). Eficiência energética da envoltória de habitações no Rio de Janeiro: o impacto das esquadrias pela INI-R. Artigo aceito para publicação XVII ENCAC 2023.

Domingues, Gabriella; Abreu-Harbach, Loyde. (2022). Avaliação do desempenho térmico da envoltória de um módulo de habitação temporária em diferentes cidades brasileiras. XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2022. In: Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022.

Eli, Gabriela; Olinger, Marcelo; Krelling, Amanda; Melo, Ana Paula; Lamberts, Roberto. (2021). Análise da eficiência energética da envoltória de edificações residenciais conforme Instrução Normativa do Inmetro (INI-R). XVI ENCAC e XII ELACAC, Palmas, 2021, In: Anais... Palmas.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2023). Anuário estatístico de energia elétrica. Rio de Janeiro: EPE/MME.

Kamimura, Artur; Gnecco, Veronica; Fossati, Michele; Vecchi, Renata de; Lamberts, Roberto. (2021). Da eficiência energética à NZEB: Avaliação de uma edificação educacional pelo método simplificado da INI-C. 2021. In: XVI ENCAC XII ELACAC, 2021, Palmas, Brasil.

Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. (2014). Eficiência Energética na Arquitetura. ELETROBRAS/PROCEL, Rio de Janeiro 3ª Edição.

Martins, Fernanda Gonçalves. (2022). Avaliação da Eficiência Energética de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas do Brasil por meio de um método simplificado. Trabalho de conclusão do curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico (UFSC CT). Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem o suporte das agências brasileiras de financiamento CNPq e FAPERJ.