EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO O RTQ-C E A INI-C: ESTUDO COMPARATIVO EM EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Danyeverson Oliveira (1); Ruskin Freitas (2)
(1) Mestre em Desenvolvimento Urbano, Arquiteto e Urbanista, Professor universitário, dan.rodrigues.arq@gmail.com
(2) Doutor, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/ UFPE, ruskin37@uol.com.br, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária, 50780-970, Recife–PE, Tel.: (81) 2126-8771

RESUMO
O crescimento no consumo energético das edificações acelerou a necessidade de criação de estratégias para melhoria da eficiência energética, influenciando na concepção de projetos arquitetônicos que apresentem soluções com baixo consumo energético e na diminuição da emissão de gases de efeito estufa, que aumentam com o desenvolvimento urbano acelerado. O Procel, junto ao Inmetro, implementou a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios comerciais, de serviços e públicos, classificando a eficiência energética da edificação de A (mais eficiente) até E (menos eficiente), sendo criado em 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Em 2018, o Inmetro publicou a Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Publicas (INI-C), com intuito de substituir o RTQ-C. O objetivo deste trabalho foi aplicar o RTQ-C, na avaliação da eficiência energética de uma envoltória e comparar com os resultados da INI-C. Para aplicar tais técnicas, utilizou-se o método hipotético-dedutivo, tomando-se uma edificação do Exército Brasileiro, como objeto empírico de estudo. Pelo RTQ-C, a envoltória da edificação apresentou etiqueta C e pela INI-C, obteve etiqueta A, com 17,11% de economia de consumo de energia. Pela INI-C, a avaliação da eficiência energética é feita pelo percentual de economia gerado se comparado a uma edificação em uma condição de referência com nível D. A INI-C mostrou-se ser a técnica mais eficiente, se comparada com o RTQ-C.

Palavras-chave: Conforto Ambiental, Eficiência Energética, Retrofit.

ABSTRACT
The growth in energy consumption of buildings accelerated the need to create strategies to improve energy efficiency, influencing the design of architectural projects that present solutions with low energy consumption and in the reduction of greenhouse gas emissions, which increase with urban development. accelerated. Procel, together with Inmetro, implemented the National Energy Conservation Label (ENCE) for commercial, service and public buildings, classifying the energy efficiency of the building from A (most efficient) to E (less efficient), being created in 2009 the Technical Regulation on the Quality of the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C). In 2018, Inmetro published the Inmetro Normative Instruction for the Level of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C), in order to replace the RTQ-C. The objective of this work was to apply the RTQ-C, in the evaluation of the energy efficiency of an envelope and to compare it with the results of the INI-C. To apply such techniques, the hypothetical-deductive method was used, taking the building of the Brazilian Army as an empirical object of study. By RTQ-C, the building envelope was labeled C and by INI-C, it obtained label A, with 17.11% savings in energy consumption. According to the INI-C, the energy efficiency assessment is made by the percentage of savings generated when compared to a building in a reference condition with level D. The INI-C proved to be the most efficient technique, compared to the RTQ- C.

Keywords: Environmental Comfort, Energy Efficiency, Retrofit.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade tem produzido políticas direcionadas para a eficiência energética das cidades e mudanças na relação da arquitetura com o meio ambiente. O período de 2014 a 2024 foi declarado pela ONU como "Década da Energia Sustentável para Todos", com a adoção de ações globais. A Agência Internacional de Energia (IEA - em inglês: International Energy Agency) estima que quase metade das ações necessárias para conter as mudanças do clima terão de vir da melhoria da eficiência energética (MMA, 2015).

Os princípios da eficiência energética, quando aplicados nas edificações, são um fator determinante para a economia de energia, ao diminuir a necessidade de aquecimento / resfriamento do ambiente e ao diminuir a necessidade de uso de iluminação artificial durante o dia.

No Brasil, o consumo de energia elétrica na rede se distribuiu, em 2019, por classe: as edificações residenciais consumindo 26,1%, as comerciais chegando a 17,4%, as industriais 35,9% e as edificações públicas com 8,5%, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020).

Segundo Lamberts et al. (2014, p. 260), nos setores comercial e público, o consumo de energia é fortemente influenciado pela grande quantidade de calor gerado no interior do edifício. Diferente da arquitetura residencial, edifícios comerciais e públicos contam com maior densidade de usuários, de equipamentos e de lâmpadas que levam à tendência de sobreaquecimento dos ambientes, mesmo em situações em que o clima exterior indica conforto térmico.

Tendo em vista que a construção e a utilização de edificações, em seus diversos segmentos - residenciais, comerciais e públicas – contribuem com 30 a 40% das emissões globais de gases de efeito estufa por meio de intenso uso energético, surgiu como proposta, em 2008, na III Conferência Nacional do Meio Ambiente com o tema mudanças climáticas, o incentivo à disseminação de selagem de eficiência de edifícios (BRASIL, 2008, p. 62).

No Brasil, a etiquetagem de edificações faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

O Governo criou em 2009, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, parceria entre o INMETRO e a Eletrobras/PROCEL Edifica, elaborando a ENCE específica para edificações chamada PBE Edifica, classificando a edificação de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). Foram desenvolvidos os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que especificam requisitos para avaliação e classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos, quanto à eficiência energética.

Um novo roteiro de avaliação, chamado de Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e que tem o objetivo de aperfeiçoar e substituir o RTQ-C, foi publicado pelo INMETRO, em 2018.

A falta da adoção de princípios bioclimáticos no projeto de edificações tem relação direta com o consumo e, consequentemente, com o nível de eficiência energética da edificação. As edificações planejadas com soluções e sistemas que não são adequados para o ambiente no qual se inserem, influenciam no comportamento energético. Diante disso, questiona-se: Que influência soluções arquitetônicas inadequadas exercem no desempenho energético e na classificação de eficiência energética de uma edificação? Que diferenças podem ocorrer quando um sistema arquitetônico é avaliado por meio da etiqueta PBE Edifica, segundo o regulamento brasileiro de etiquetagem vigente, o RTQ-C e por aquele que visa substitui-lo, a INI-C?

É nesse contexto que a presente pesquisa se apresenta como ferramenta para uma análise do desempenho energético do sistema envoltório de uma edificação. Como objeto empírico, foi analisada uma edificação pública militar, localizada no aquartelamento do 4º Batalhão de Polícia do Exército Brasileiro-4ºBPE, em Recife-PE. Esta edificação foi escolhida, primeiro por pertencer ao poder público, podendo servir de exemplo para as demais; segundo, por apresentar um tipo arquitetônico padrão que se repete dentro do sistema de obras militares, onde este experimento poderá ser replicado em outras edificações com as mesmas características e utilizando as mesmas técnicas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar comparativamente duas técnicas de avaliação e classificação do nível de eficiência energética de uma edificação, o RTQ-C e a INI-C, avaliando o desempenho energético da envoltória de uma edificação pública militar, com estudos de retrofit, e classificando a envoltória, em ambos os casos, com a etiqueta de eficiência energética em edificações PBE Edifica.

3. MÉTODO

Neste estudo foram utilizadas duas técnicas para avaliação do desempenho energético da envoltória, o "método prescritivo" do RTQ-C e o "método simplificado" da INI-C. As técnicas foram aplicadas na edificação como ela se encontra na atualidade e em três situações alternativas, como sugestões de retrofit. Os resultados dos retrofits foram analisados e comparados de acordo com o desempenho energético para obtenção da etiqueta PBE Edifica da envoltória.

Os procedimentos adotados passaram por 5 fases:

a) Leitura da edificação na sua condição real, atual;

b) Leitura da edificação na sua condição de referência, simulando o nível de desempenho classe D;

c) Aplicação de duas técnicas propostas, RTQ-C e INI-C, analisando os resultados;

d) Experimentação de soluções arquitetônicas no sistema envoltória visando melhorar o desempenho da edificação, aplicando retrofits e em seguida os dois roteiros RTQ-C e INI-C e,

e) Análise comparativa de resultados obtidos após as aplicações do RTQ-C e INI-C.

O 4º BPE localiza-se no km 06, da rodovia BR-232, no bairro do Curado, em Recife – PE, como pode ser visto na Figura 1. O batalhão integra o complexo militar do Curado e é diretamente subordinado ao Comando Militar do Nordeste (CMNE). O batalhão é formado por um conjunto de edificações com funções específicas de um batalhão operacional. A Figura 2 apresenta a edificação objeto de estudo, o Pavilhão de Comando, que abriga atividades administrativas, tais como, secretaria, seção jurídica e seção de inteligência.



Figura 1 - Localização do aquartelamento do 4°BPE.



Figura 2 - Edificação do pavilhão de comando do 4ºBPE.

O edifício foi projetado pela arquiteta Ana Carolina Canuto Coelho e sua construção foi concluída no ano de 2002. Ele possui elementos modernistas, com linhas retas e simples, em volume prismático horizontal, com saliência em forma de terraço / marquise, que sombreia e marca o acesso principal. Na fachada, destacam-se a marcação modulada da estrutura e a presença de janelas em fita. As paredes externas são formadas por tijolos cerâmicos com 8 furos com densidade de 1700 Kg/m³, assentados na menor dimensão. Receberam argamassa com densidade de 1900Kg/m³ nas superfícies interna e externa.

A coberta da edificação é formada por laje, telha e ático. A laje da cobertura é plana e horizontal, formada por uma camada com 12cm de concreto armado e densidade de 2300 Kg/m³. A telha da cobertura é de fibrocimento do tipo ondulada, na cor cinza, com densidade de 1600 Kg/m³ executada sobre madeiramento. Existe uma câmara de ar, também chamada de ático, entre a laje de cobertura e a telha, mas não existe circulação de vento.

3.1 Avaliação da envoltória segundo o RTQ-C

Para determinação da classificação do nível de eficiência da envoltória do edifício, utilizando a técnica "método prescritivo" do RTQ-C, foram verificados os pré-requisitos gerais e depois os específicos. Como pré-requisito geral, atendendo ao RTQ-C, o edifício possui circuito elétrico separado por uso final.

Para o cálculo da transmitância térmica da parede (Upar), foram consideradas as resistências de todos os componentes da parede: a resistência superficial externa (RSE), a resistência térmica total Rt (seções "a", "b" e "c") e a resistência da superfície interna (RSI). Tem-se a área da seção "a" (cerâmica + reboco + argamassa + reboco) igual a 0,0039m² e a resistência térmica da seção "a" igual a 0,1328m²k/w. Para a seção "b" (cerâmica + reboco + cerâmica + reboco) tem-se área igual a 0,0019m² e resistência térmica da seção "b" igual a 0,1545m²k/w. Para a seção "c" (cerâmica + reboco + cerâmica + ar + cerâmica + ar +cerâmica + reboco) tem-se área igual a 0,0066m² e resistência térmica da seção "c" igual a 0,4079m²k/w. Da equação Rt=Aa + Ab + Ac / (Aa/Ra) + (Ab/Rb) + (Ac/Rc) encontra-se Rt =0,21445 m²k/w. Da equação RT= RSE + Rt + RSI encontra-se RT= 0,3845 m²k/w. Da equação Upar=1 / Rt, encontra-se Upar = 2,60 m²k/w.

O mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo da transmitância da cobertura (Ucob), composta por concreto, telha de fibrocimento e câmara de ar. Para o cálculo da resistência tem-se que $R_{conc=}$0,068, $R_{telha=}$ 0,012 e R_{ar}=0,21. Para as resistências superficiais, foram adotados os valores recomendados na NBR 15220-2/2005, onde RSE=0,17 e RSI=0,04. Tem-se então, Rcob= RSE + Rconcr + Rcam + Rtelha + RSI, onde Rcob=0,50 m²k/w. Da equação Ucob=1 / Rt, tem-se que Ucob =1/0,50, então Ucob=2,00 m²k/w.

As cores e os valores da absortância (α) foram extraídos do documento Anexo V dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações-RAC. Para a edificação em estudo, foi considerada absortância térmica da cobertura de 0,75, valor para a cor cinza do fibrocimento natural, cor da telha da edificação, e absortância térmica da parede de 0,80, valor para a cor vermelho do revestimento em litocerâmica da parede externa da edificação. Portanto, αcob=0,75 e αpar=0,80.

Para o cálculo do Fator Altura (FA), segundo o RTQ-C, foram necessárias a área de projeção da cobertura (Apcob), que é 632,45m², e a área total construída (Atot), que é 1.264,90m². Então FA=0,50.

Para o cálculo do Fator de Forma (FF), segundo o RTQ-C, foram necessárias a área da envoltória (Aenv), que é 1.500,34m², e o volume total da edificação (Vtot), que é 3.984,45m³. Então FF=0,376.

Para o cálculo do Percentual de Abertura de Fachada (PAF), deve-se comparar o Percentual de Abertura de Fachada Total-PAF_T da edificação com o Percentual de Abertura da Fachada Oeste-PAF_O. Caso o PAF_O seja maior que o PAF_T em mais de 20%, deve-se utilizar o PAF_O no cálculo. Caso seja menor, utiliza-se o PAF_T normalmente. Neste caso, o valor do Percentual de Abertura de Fachada (PAF) foi 22,24%.

Os Ângulos de sombreamento utilizados no cálculo da envoltória determinam a obstrução à radiação solar direta por dispositivo de proteção solar nas aberturas. O ângulo utilizado no cálculo da envoltória foi dado pela média ponderada do ângulo do sombreamento gerado pelos dispositivos, em função da área das respectivas aberturas, utilizando a fórmula mostrada na Equação 1.

$$AS= (Ajan1 \times \theta jan1) + (Ajan2 \times \theta jan2) + \ldots + (AjanN \times \theta janN) / Ajan1 + Ajan2 + \ldots + AjanN \quad \text{Equação 1}$$

O Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) encontrado foi 34,27º e o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) foi 8º.

Por fim, foi calculada a Capacidade Térmica (CT), que é a relação entre a quantidade de calor recebida por um corpo e a variação de sua temperatura. O valor obtido foi 178,24 kJ/m²K. A Tabela 1 apresenta um resumo dos parâmetros encontrados.

Após determinar os pré-requisitos e calcular todos os valores mostrados nas etapas anteriores, a classificação do nível de eficiência da envoltória foi realizada utilizando-se a ferramenta online webprescritivo.

O webprescritivo é um serviço web on line e gratuito para a avaliação de eficiência energética que simula a ENCE pela técnica "método prescritivo" do RTQ-C, para edificações comerciais, de serviços e públicos. O objetivo da ferramenta não é obter a etiqueta, mas automatizar os procedimentos de avaliação de acordo com o RTQ-C. A ferramenta foi usada para simular a obtenção da etiqueta parcial de eficiência energética para a envoltória da edificação. A ferramenta permite a avaliação dos pré-requisitos gerais e específicos do RTQ-C. Os valores previamente calculados foram lançados na plataforma do webprescritivo, marcando-se a localização de Recife (Zona bioclimática 8). A classe de eficiência energética obtida para a envoltória foi a C, conforme Figura 3.

Tabela 1 - Resultados dos parâmetros calculados.

Parâmetros	Resultados
Fator altura (FA)	0,50
Fator de forma (FF)	0,376
Fator solar do vidro (FS)	0,85
Absortância da cobertura(α)	0,75
Absortância da parede (α)	0,80
Percentual de abertura da fachada (PAF)	22,24%
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	8°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	34,27°
Transmitância da cobertura (Ucob)	2,00 W/m²K
Transmitância da parede (Upar)	2,60 W/m²K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	178,24 kJ/m²K



Figura 3- Simulação da etiqueta no webprescritivo.

3.2 Avaliação da envoltória segundo a INI-C

A técnica "método simplificado" da INI-C é aplicável para edificações que apresentam parâmetros construtivos com valores compreendidos entre determinados intervalos, utilizados na sua proposição, segundo a INI-C (INMETRO, 2018). De posse dos dados dos pré-requisitos da edificação real, foi verificado que eles se encontram no intervalo de aplicação do "método simplificado" da INI-C. Para a aplicação do "método simplificado" e determinação do nível de eficiência energética da envoltória da edificação, seguiram-se os seguintes passos, de acordo com a INI-C (INMETRO, 2018):

a) Primeiro passo: Definição do uso dos espaços. A edificação tem uso administrativo. Considerou-se como uso de escritório, cujos parâmetros para este uso são estabelecidos pela INI-C. Foram separadas as áreas condicionadas das áreas não condicionadas artificialmente.

b) Segundo Passo: Divisão das zonas térmicas. As cores foram utilizadas para diferenciar as zonas perimetrais e internas, conforme pode ser visto na Figura 4.



Figura 4 - Divisão das zonas térmicas, segundo a INI-C.

c) Terceiro passo: determinação dos parâmetros de entrada da edificação real por tipo de zona térmica. Foram simuladas as cargas térmicas para resfriamento utilizando os parâmetros de entrada da edificação, tanto na condição real (parâmetros com base nos valores extraídos no projeto de arquitetura e colhidos no local) quanto na condição de referência, conforme uso de escritório.

d) Quarto passo: cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração (DCT). Os dados dos parâmetros de entrada foram inseridos em uma interface web, que executou o cálculo da densidade de carga térmica para resfriamento, tanto para a condição real quanto para a condição de referência. A interface web executa o metamodelo com base nas redes neurais artificiais das zonas térmicas definidas. Após a inserção dos parâmetros na interface web, foram calculados e extraídos os dados da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m². ano) e os valores da carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, da condição real e da condição de referência da edificação.

e) Quinto passo: cálculo da carga térmica total por ano na condição real e condição de referência. Esses resultados são produto da densidade de carga térmica, pelas respectivas áreas das zonas térmicas. O valor total encontrado para a carga térmica de resfriamento foi de 140.730,87 KWh/ano para a condição real e 169.785,08 KWh/ano para a condição de referência.

f) Sexto passo: obtenção do nível de eficiência energética da envoltória. As cargas térmicas totais anuais da condição real e da condição de referência foram comparadas para obtermos a classificação do nível de eficiência energética da envoltória de acordo com o percentual de economia da condição real em relação à condição de referência, segundo a escala de valores.

O Coeficiente de Redução de Carga Térmica Anual (CRCgTA-D) é encontrado tomando como parâmetro o fator de forma (FF) e o grupo climático (GCL) da edificação, de acordo com zoneamento climático proposto por Roriz (RORIZ, 2014). O valor do coeficiente foi retirado da tabela que está contida na INI-C (INMETRO, 2018), para o uso de escritórios. O GLC da cidade de Recife é 17 e o fator de forma, já calculado, é 0,376. Portanto o coeficiente é 0,15. Para a subdivisão das escalas de eficiência energética, calculou-se o valor "i", correspondente ao intervalo das classes A até E. Foi preenchida a Tabela 2, extraída da INI-C (INMETRO, 2018) que estabelece os limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação, onde i= 169.785,08 x 0,15 / 3. Então i= 8.489,25. Sendo a carga térmica de resfriamento total (CgT_{TREF}) para a classe D na condição de referência, igual a 169.785,08 kWh/ano e i=8.489,25, e substituindo os valores, encontraram-se os limites dos intervalos das classes de eficiência energética para a envoltória, obtendo-se os valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	> 144.317,33	> 152.806,58	> 161.295,83	> 169.785,08
Limite inferior	< 144.317,33	≤ 152.806,58	≤ 161.295,83	≤ 169.785,08	–

A carga térmica total real (CgT_{TREAL}) do pavilhão do 4º BPE é 140.730,87 kWh/ano. Este valor é menor que o valor de referência calculado para a classe A. Isso indica que envoltórias com cargas térmicas menores que 144.317,33 kWh/ano recebem a classe A de eficiência energética. A envoltória se enquadra na **Classe A** de eficiência energética e o percentual de economia em relação ao nível D é de 17,11%.

4. RESULTADOS

Visando desenvolver avaliação comparativa entre o RTQ-C e a INI-C, foram feitas três sugestões de retrofits na envoltória da edificação, com o intuito de verificar a influência das alterações no comportamento do desempenho da envoltória e na obtenção do nível de eficiência energética com a etiqueta PBE Edifica. Foram alterados alguns parâmetros por meio de algumas intervenções. Os retrofits foram aplicados com o auxílio das ferramentas webprescritivo do RTQ-C e interface web da INI-C.

No **retrofit número 1,** optou-se por fazer intervenção apenas no parâmetro da absortância da envoltória completa, contemplando cobertura e paredes da fachada, sem trocar nenhum revestimento nestes fechamentos. A absortância da coberta de 75% foi alterada para 37% e a absortância das paredes de 80% foi alterado para 37%. O valor da absortância de 37% correspondeu à cor branco gelo, ou seja, a intervenção consistiu na pintura das fachadas e das telhas da coberta com cor branco gelo, mais adequada considerando o clima local. Não houve alteração no restante dos parâmetros. A modelagem da edificação após o retrofit 1 pode ser vista na Figura 5. Nesta simulação, a ideia foi analisar o comportamento da eficiência da envoltória realizando intervenção de baixo custo. Após estas intervenções, o nível de eficiência da envoltória, manteve-se na **classe C**, pelo RTQ-C, como pode ser visto na Figura 6.



Figura 5 - Modelagem da edificação após o retrofit 1.

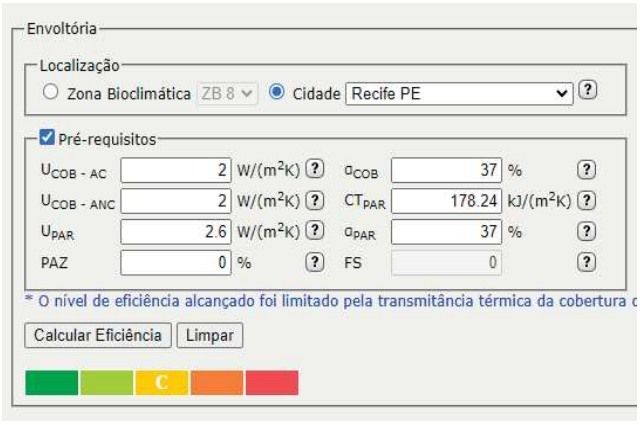

Figura 6 - Resultado do retrofit 1 pelo RTQ-C.

Com essas intervenções percebeu-se, que não foi eficaz realizar pintura com cor em tom claro, sem realizar intervenção na parte mais frágil da envoltória, o material da coberta, pois o nível de eficiência da envoltória continuou limitado pela transmitância térmica da cobertura (Ucob). A forma mais horizontalizada da edificação pode ter contribuído para que o ganho térmico pela coberta influenciasse no desempenho da envoltória.

Pela INI-C, após o retrofit 1, a carga térmica CgTTREAL passa de 140.730,87 kWh/ano para 115.212,96 kWh/ano. O nível de eficiência energética da envoltória continua **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para 32,14%. Esse retrofit 1 realizado na envoltória, realizando pintura na cor clara, gerou mais economia de carga térmica. Esse tipo de análise de economia de carga térmica gerada é uma das grandes vantagens da INI-C em comparação ao RTQ-C, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado do retrofit 1 pela INI-C.

Parâmetro alterado	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 1	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 1	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 1
αcob	0,75	0,37	A	A	17,11%	32,14%
αpar	0,80	0,37				

No **retrofit número 2**, optou-se por fazer intervenção também na absortância da envoltória completa, contemplando cobertura e paredes da fachada, e também nos vidros das esquadrias. A absortância da coberta de 75% e das paredes de 80%, foram ambas alteradas para 37%. O valor da absortância proposto corresponde à cor branco gelo, correspondente à pintura das fachadas e nas telhas da coberta. Foi proposto também trocar os vidros das esquadrias, alterando o fator solar, de 0,85 para 0,27, com maior proteção solar para as janelas. Não houve intervenção na transmitância térmica de paredes e cobertura, bem como no restante dos parâmetros. A modelagem da edificação após o retrofit 2 pode ser vista na Figura 7.



Figura 7 - Modelagem da edificação após o retrofit 2.

Após estas intervenções, o nível de eficiência da envoltória, manteve-se na **classe C**, pelo RTQ-C, como pode ser visto na Figura 8. Com essas intervenções, percebe-se que não adianta intervir nas esquadrias da envoltória, com a troca de vidros simples por vidros com maior proteção solar que apresentam alto custo e propor pintura com cores claras, sem realizar intervenção na parte mais frágil da envoltória, nesse caso no material da coberta, pois o nível de eficiência da envoltória continuou limitado pela transmitância térmica da cobertura (Ucob).

Pela INI-C, após o retrofit 2, a carga térmica CgTTREAL passa de 140.730,87 kWh/ano para 104.294,15 kWh/ano. O nível de eficiência energética da envoltória continua sendo **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para **38,57%.** Na INI-C, deve-se informar a transmitância (Uvid) e o fator solar (FS) do vidro. No RTQ-C não é exigido a Uvid. Esse retrofit promoveu maior economia de carga térmica. Um resumo das intervenções feitas pela INI-C pode ser visto na Tabela 4.



Figura 8 - Resultado do retrofit 2 pelo RTQ-C.

Tabela 4 - Resultado do retrofit 2 pela INI-C.

Parâmetro alterado	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 2	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 2	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 2
αcob	0,75	0,37	A	A	17,11%	38,57%
αpar	0,80	0,37				
Uvid	4,77	4,41				
FS	0,85	0,27				

No **retrofit número 3**, foram feitas intervenções em toda a envoltória. A absortância da coberta de 75% foi alterada para 37% e a absortância das paredes de 80% foi alterado para 37%, correspondente a uma pintura na cor branco gelo. Foi alterada a transmitância térmica da cobertura de 2,00 W/m²K para 0,60 W/m²K, utilizando telhas com proteção térmica de poliestireno com 6cm. As paredes da envoltória permanecem com a litocerâmica, mas receberam pintura na cor branco gelo. Foi proposto um vidro com maior proteção solar para as janelas, alterando o fator solar, de 0,85 para 0,27. Foi proposta a criação de uma proteção solar horizontal de maior tamanho permitido pelos regulamentos para obtenção do nível A, onde a angulação resultante foi 45º. A modelagem da edificação após o retrofit 3 pode ser vista na Figura 9.

Essa intervenção nas proteções promove mais sombra nas aberturas das fachadas leste e oeste e pode ser realizada construtivamente, complementando a laje de coberta existente ou criando um elemento de proteção que se adeque à solução existente. Após essas intervenções, a envoltória obteve o maior nível de eficiência energética entre os retrofits, obtendo a **classe A**, pelo RTQ-C, como pode ser visto na Figura 10.



Figura 9 - Modelagem da edificação após o retrofit 3.



Figura 10 - Resultado do retrofit 3 pelo RTQ-C.

Pela INI-C, após o retrofit 3, a carga térmica CgTTREAL passa de 140.730,87 kWh/ano para 102.847,62 kWh/ano. O nível de eficiência energética da envoltória continua sendo **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para 39,42%. Pela INI-C, deve-se informar a carga térmica da coberta (CT) e transmitância do vidro (Uvid). No RTQ-C esses parâmetros não são exigidos. Foi o retrofit que obteve maior índice de redução de carga térmica, com parte das alterações de baixo impacto financeiro e menor intervenção possível na solução da envoltória, como pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do retrofit 3 pela INI-C.

Parâmetro alterado	**Valor Condição Real**	**Valor no Retrofit 3**	**Classe Condição Real**	**Classe Após o Retrofit 3**	**Economia Condição Real**	**Economia Após o Retrofit 3**
αcob	0,75	0,37	A	A	17,11%	39,42%
αpar	0,80	0,37				
Uvid	4,77	4,41				
FS	0,85	0,27				
Ucob	2,00	0,60				
CTcob	178,24	191,60				

Segundo o **método prescritivo do RTQ-C**, quando a envoltória foi avaliada, o nível de eficiência foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados. Como pré-requisito específico, a transmitância térmica da cobertura (Ucob) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar os seguintes limites na zona bioclimática 8: 1,00 W/m²K, para atingir o nível A e 1,50 W/m²K, para atingir o nível B. O valor da transmitância térmica da cobertura (Ucob) da edificação foi 2,00 W/m²K. A cobertura da edificação é formada por laje de 12cm, ático sem ventilação e telha de fibrocimento. Essa solução elevou o valor da transmitância da coberta. Pelo RTQ-C, a envoltória se enquadrou na **classe C** de eficiência energética. Conclui-se que, se o pré-requisito específico da transmitância térmica da cobertura, não for atendido, ou seja, se não atingir no máximo o valor de 1,00 W/m²K, a avaliação da envoltória não resulta em classe A. Boas soluções de coberta são essenciais, em especial no clima tropical quente e úmido, principalmente, em edificações que têm uma predominância horizontal na sua volumetria. A coberta recebe muita insolação a maior parte do dia, durante o ano inteiro e esse fato precisa ser amenizado, pois aquece ainda mais o interior da edificação com o ganho de calor.

Em relação ao **método simplificado da INI-C**, a classificação é feita a partir da comparação entre o consumo de energia primária da edificação real e da edificação na condição de referência, analisando-se o percentual de economia gerado de uma condição para a outra. A avaliação da envoltória se dá com base na avaliação da carga térmica gerada por ela. Isso permite avaliar e calcular a diferença do desempenho das envoltórias na condição real e na condição de referência. Essa informação é importante para quem está planejando a edificação e para o consumidor final, pois permite entender o índice de economia, mensurando o desempenho do sistema. A carga térmica total real da edificação (CgT_{TREAL}) foi 140.730,87 kWh/ano. A envoltória se enquadrou na **classe A** de eficiência energética e o percentual de economia em relação ao nível D foi de 17,11%. A Tabela 6 apresenta um resumo das intervenções realizadas pelos retrofits, com seus respectivos resultados apresentados pelo RTQ-C e pela INI-C.

Tabela 6 – Resumo comparativo dos resultados dos retrofits.

Retrofit	Parâmetro alterado	Modificações na edificação	Resultado RTQ-C (Classe)	Resultado INI-C	
				Classe	Economia de carga térmica
Retrofit 1	Acob, αpar	Pintura em toda envoltória na cor branca.	C	A	32,14%
Retrofit 2	Acob, αpar, Uvid FS	Pintura em toda envoltória na cor branca. Troca dos vidros das esquadrias.	C	A	38,57%
Retrofit 3	Acob, αpar, Uvid FS, Ucob, CTcob	Pintura nas paredes da envoltória na cor branca. Troca dos vidros das esquadrias. Troca da telha de fibrocimento por telha de poliestireno. Aumento da extensão do brise horizontal na coberta	A	A	39,42%

Após a aplicação dos retrofits, algumas questões foram constatadas:

a) O melhor resultado entre os retrofit realizados, utilizando a INI-C foi o de número 3. A envoltória se manteve na melhor classificação de eficiência energética, gerando uma economia de carga térmica de 39,42%, que se reflete em economia de consumo de energia elétrica.

b) Pelo RTQ-C, a envoltória foi avaliada e obteve nível de classificação C. O resultado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura. A cobertura da edificação é formada por laje de 12cm, ático sem ventilação e telha de fibrocimento. A absortância das paredes e da coberta também teve papel importante na baixa classificação. Através dos estudos de retrofit, foi constatado que a envoltória recebe a classificação A quando melhorias são realizadas na coberta, com a troca da telha de fibrocimento por telha com proteção térmica na cor branca, e nas paredes com a pintura na cor branca, melhorando transmitância e absortância.

c) Pela INI-C, a envoltória foi avaliada e obteve nível de classificação A, gerando uma economia de 17,11% de carga térmica em relação à edificação na condição de referência. Através dos estudos de retrofit, foi constatado que o maior percentual de economia foi alcançado com intervenções nas paredes, nas telhas e nos vidros das esquadrias da envoltória, onde foram sugeridas melhorias: nas paredes com uma pintura em cor clara; na coberta, um telhado com proteção térmica na cor branca; e nas janelas, um vidro de 6mm com proteção solar. Foram geradas alterações nos valores da transmitância da coberta, absortância da coberta e parede, assim como na transmitância e fator solar do vidro. Após essas intervenções, o nível de eficiência energética da envoltória continuaria sendo classe A, mas aumentou a porcentagem de economia de carga térmica em relação ao nível D de 17,11% para 39,42%, no retrofit 3.

d) A análise da envoltória utilizando o RTQ-C não leva em consideração a orientação da edificação, o que prejudica a avaliação, uma vez que a incidência solar é diferente sob cada orientação, interferindo no desempenho da edificação e atuando diferentemente sobre ambientes, a depender da disposição desses na planta. Na INI-C, os parâmetros podem ser preenchidos considerando as diferentes zonas térmicas e as orientações das fachadas. As zonas térmicas podem ter dados diferentes. Os resultados podem ser mais bem discriminados e analisados. A utilização de um metamodelo de redes neurais artificias na INI-C ajuda a mensurar a carga térmica anual, considerando as características termo físicas dos componentes da envoltória.

e) Uma vantagem da INI-C é a inserção de Densidade de Potência de Equipamento-DPE, que o RTQ-C não contempla. Este parâmetro é importante porque permite mensurar o consumo energético dos equipamentos elétricos utilizados na edificação e verificar a influência destes no consumo energético final.

f) No RTQ-C é utilizado o zoneamento bioclimático da NBR 15220-3/2005, que divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas. Na INI-C considera-se o zoneamento proposto por Roriz, que divide o Brasil em vinte e quatro grupos climáticos. Isso pode representar mais exatidão, mas ainda faltam mais estudos.

g) A definição pela INI-C, de edificações com usos comerciais e parâmetros pré-estabelecidos é um fator positivo na análise, pois a consideração de dias e horas de ocupação, densidade de potência de iluminação e de equipamentos podem determinar resultados mais precisos nos produtos da carga térmica.

h) A avaliação pelo método do RTQ-C permite mudança de sua classe de eficiência energética, conforme o cumprimento ou não de pré-requisitos e/ou bonificações, mas não reflete o impacto real com relação ao consumo energético da edificação.

i) Na avaliação pela INI-C a informação relativa à redução do consumo de energia na edificação fica visível, principalmente para o consumidor final, além de ser uma informação relevante para os projetistas, ainda na fase de concepção do projeto.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa diagnosticou, avaliou e classificou a eficiência energética da envoltória de uma edificação pública federal militar existente, localizada no 4º Batalhão de Polícia do Exército, em Recife-PE, aplicando as técnicas "método prescritivo" do RTQ-C e "método simplificado" da INI-C. A INI-C mostrou-se ser uma ferramenta mais eficiente para avaliar o desempenho energético e auxiliar o projetista, se comparada ao RTQ-C, pois além de apresentar maior precisão na análise do desempenho da envoltória, a técnica permite comparar a edificação real com uma edificação de referência com desempenho energético classe D e mensurar o quanto se pode reduzir de consumo de energia.

Confirmou-se a importância de pensar na eficiência energética, ainda na fase de concepção do projeto de arquitetura, escolhendo a melhor disposição da edificação e de cada um de seus ambientes, considerando as estratégias bioclimáticas mais indicadas, tais como orientação, materiais construtivos e diretrizes construtivas de acordo com a localização e com o uso, e parâmetros de projeto, como: transmitância térmica, fator solar e percentual de aberturas das fachadas.

Esse estudo pode ser replicado para outras edificações com as mesmas características do objeto de estudo, o que permite comparar os resultados obtidos aplicando as técnicas RTQ-C e INI-C, deixando importantes contribuições para o estudo do desempenho das envoltórias das edificações.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

BRASIL. Instrução Normativa n. 02 de 04 de junho de 2014. **Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores pela APF Direta, Autárquica e Fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n.106, p.102-103, 05 jun. 2014.

_____. **Ministério do Meio Ambiente: III Conferência Nacional do Meio Ambiente:** Mudanças climáticas. Texto-base consolidado, 2008. Disponível em: < https://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/conferencias/Meio_ambiente_III/texto_base_3_conferencia_meio_ambiente.pdf >. Acesso em: 06 out. 2019.

ELETROBRÁS; INMETRO. **Manual para a aplicação do RTQ-C**: requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Versão 4, 2015. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica/manuais. Acesso em: 22 set. 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional (BEN) 2020**: Ano base 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben. Acesso em: 06 out. 2020.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/regulamentos>. Acesso em: 06 out. 2019.

_____. Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018 **- Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência energética:** guia para etiquetagem de edifícios: volume 1. Brasília: MMA, 2015a. 70 p.

_____. **Etiquetagem do nível de eficiência energética do edifício sede do ministério do meio ambiente e ministério da cultura:** bloco B / esplanada dos ministérios - parte 1 - levantamento: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2015b. 76 p.

_____. **Etiquetagem do nível de eficiência energética do edifício sede do ministério do meio ambiente e ministério da cultura:** bloco B / esplanada dos ministérios - parte 2 - memorial de simulação e relatório das propriedades térmicas: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2015c. 76 p.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP: 2014.