ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise de eficiência energética e de *retrofit* do sistema de ar-condicionado de edificações universitárias

Analysis of energy efficiency and retrofit of the air conditioning system of university buildings

Ana Paula Silva Sousa
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | apssousa@ufmg.br
Larissa Arêdes Monteiro
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | lam2019@ufmg.br
Roberta Vieira Gonçalves de Souza
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | robertavgs@ufmg.br

Resumo

Classificou-se a eficiência energética do sistema de ar-condicionado de duas edificações universitárias existentes por meio da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Foram avaliados os CAD'S 2 e 3 da UFMG, por meio de levantamento de dados dos aparelhos de refrigeração a partir de visitas *in loco* e de consulta a manuais dos equipamentos. A eficiência dos aparelhos foi determinada pela obtenção de dados de SPLV e COP, obtendo-se classificação B. Posteriormente avaliou-se a possibilidade de *retrofit* desses sistemas, para aumento do nível de classificação. Concluiu-se que as maiores dificuldades no processo de avaliação foram encontrar dados para o cálculo do SPLV, obter o valor de COP para equipamentos antigos, e a verificação do isolamento térmico dos dutos. O *retrofit* do sistema de ar-condicionado se mostrou inviável técnica e economicamente, considerando vida útil média dos aparelhos de 15 anos, e tempo de *payback* mínimo de 13 anos, sem considerar gastos com obra.

Palavras-chave: Eficiência energética em edificações. INI-C. Ar-condicionado. *Retrofit*. *Payback*.

Abstract

The energy efficiency of the air conditioning system of two existing university buildings was classified through the Inmetro Normative Instruction for the Classification of Energy Efficiency of Commercial Services and Public Buildings, INI-C. The CAD'S 2 and 3 from the UFMG were evaluated by collecting data from the refrigeration appliances from on-site visits and consulting equipment manuals. The efficiency of the devices was determined by obtaining SPLV and COP data, obtaining a classification of B. Subsequently, the possibility of retrofitting these systems was evaluated to increase the classification level. The greatest difficulties in the evaluation process were to find data for the calculation of the SPLV, to obtain the COP value for old equipment, and to verify the thermal insulation of the ducts. The retrofit of the air conditioning system proved to be technically and economically unfeasible, considering the average useful life

Como citar:
SOUZA, A. P. S.; MONTEIRO, L.A.; SOUZA, R. V. G. Análise de eficiência energética e de retrofit do sistema de ar-condicionado de edificações universitárias. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

of the devices of 15 years, and a minimum payback time of 13 years, without considering construction expenses.

Keyword: *Energy Efficiency in buildings. INI-C. Air conditioning. Retrofit. Payback.*

INTRODUÇÃO

No Brasil, a Lei Federal nº 10.295/2001 - Lei da Eficiência Energética [1] - sancionada em 2001, decretou a conservação de energia como compromisso da Política Energética Nacional. Como uma dessas ações, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) lançou os primeiros instrumentos para a classificação do nível de eficiência energética das edificações em 2009, através do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), com a emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que visava classificar a eficiência energética dos edifícios através das análises de quatro sistemas: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. Em 2020, foi publicada a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que aperfeiçoou a metodologia de classificação de eficiência energética das edificações, visando substituir o RTQ-C [2].

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos, de forma geral, o sistema de ar-condicionado é o sistema que mais consome energia quando considerado o consumo de aparelhos de condicionamento de ar, os equipamentos e a iluminação. No Brasil, o INMETRO classifica a eficiência energética de equipamentos individuais do tipo *split* e de janela através da emissão de uma ENCE (Etiqueta Nacional de Eficiência Energética). Além da classificação da ENCE, o selo PROCEL (do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) indica os equipamentos com melhor desempenho energético dentro da categoria mais eficiente (nível A), sendo uma das ferramentas norteadoras na seleção desses aparelhos [3]. Já para aparelhos de maior porte, a classificação de eficiência energética é dada pelo CEER, coeficiente de eficiência energética para refrigeração [4].

A avaliação do sistema de ar-condicionado através da INI-C pressupõe a prévia avaliação da envoltória do edifício, já que, para determinar os consumos de refrigeração da edificação na condição real e referência, é necessário o valor da carga térmica da envoltória. Assim, a classificação da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar é pautada pelo cálculo do percentual de redução do consumo de refrigeração (RedCR), onde a condição real da edificação é comparada com uma edificação de referência. O consumo de refrigeração (CR) é a razão entre a carga térmica total anual do edifício (CgTT) e o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEER). Para calcular o CEER, seis métodos são ofertados, dependendo da capacidade e do tipo do sistema. Para sistemas com capacidade de até 17,6 kW, pode-se utilizar os métodos baseados no Coeficiente de Performance (COP), Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) e *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF). Para sistemas com capacidade

acima de 17,6 kW, pode-se utilizar os métodos de *System Part Load Value* (SPLV), fator de ponderação K e simulação computacional [4].

Tendo o sistema de condicionamento de ar obtido classificação de nível A, para se garantir a classificação máxima, ainda é necessário atender a requisitos específicos por equipamentos (1) e do sistema como um todo (2), em pelo menos 90% da capacidade instalada da edificação avaliada. Os pré-requisitos são: (1) garantir um IDRS, SPLV ou ICOP mínimo de acordo com sua capacidade, existência ou não de aquecimento e categoria de acordo com as Tabelas 7.1 a 7.6 da Instrução Normativa; (2) ter isolamento térmico das tubulações cuja espessura é determinada em função do sistema; sistemas centrais devem atender aos requisitos da Tabela 7.8 da Instrução Normativa que estabelecem, entre outros, a necessidade de existência de controle de temperatura por zona, existência de sistema de desligamento automático e controle dos sistemas de ventilação e hidráulicos [4].

O presente trabalho encontrou apenas um artigo publicado com classificação da eficiência energética do sistema de ar-condicionado pela INI-C, fato motivado, talvez, pela recente publicação da Instrução Normativa [5].

OBJETIVO

Classificar o nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar de duas edificações educacionais de ensino superior pelo método da INI-C, e analisar a viabilidade de *retrofit* para obtenção da etiqueta nível A.

METODOLOGIA

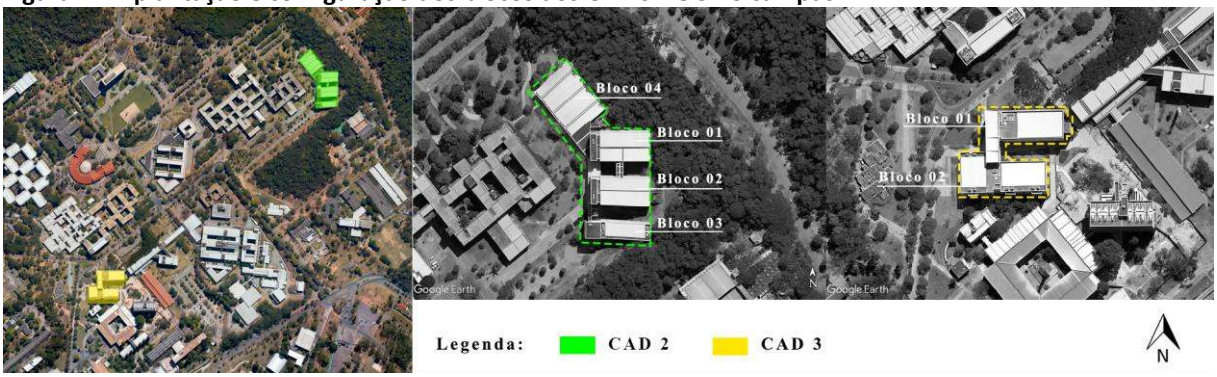
A metodologia do trabalho possui 3 etapas principais. A primeira consta da aplicação do Método Simplificado para avaliação do sistema de ar-condicionado da INI-C. Na segunda fez-se a análise do *retrofit* dos sistemas de ar-condicionado para melhoria da eficiência energética dos edifícios e obtenção da classificação A pela INI-C, com o cálculo de *payback*. A terceira consta da análise dos resultados.

OBJETO DE ESTUDO

Os objetos de estudo desta pesquisa são o Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD 2) e o Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3) da Universidade Federal de Minas Gerias (UFMG), edificações destinadas a atividades diversas, inseridas no campus Pampulha, localizados em Belo Horizonte. Os edifícios fazem parte do escopo do Projeto Oásis da UFMG, que objetiva a redução de gastos com energia elétrica através da instalação de um sistema próprio de minirrede instalado no campus, da eficientização dos sistemas dos edifícios e da conscientização dos usuários. Para cumprir o objetivo de eficientização dos sistemas foi necessário avaliar os sistemas instalados de condicionamento de ar e de iluminação das edificações em estudo e verificar a viabilidade econômica de *retrofit* para aumento de desempenho dos mesmos.

O CAD 2 é formado por quatro blocos, dos quais os dois primeiros são destinados à salas de aula e de informática, o terceiro à sede da Editora da UFMG e o quarto bloco contempla dois espaços de auditório. O CAD 3 é composto por dois blocos, dos quais o primeiro é dedicado à salas de aula e laboratórios, enquanto o segundo abriga os auditórios. O foco do artigo são os quatro blocos do CAD 2 e o bloco 2 do CAD 3, uma vez que estes apresentam sistemas de ar-condicionado implementados. A Figura 1 apresenta a localização dos CAD's no campus e a disposição dos blocos.

Figura 1: Implantação e configuração dos blocos dos CAD's 2 e 3 no campus.

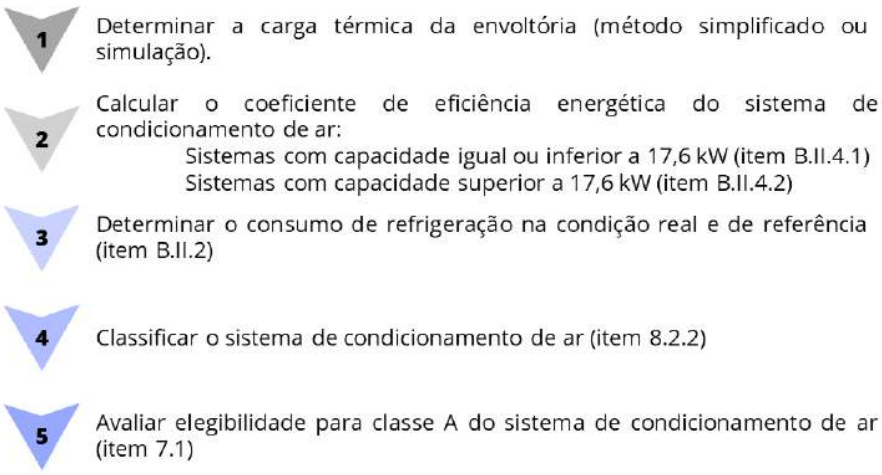


Fonte: Google Earth, 2024, adaptado pelas autoras.

CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO A INI-C

O procedimento delineado para a aplicação do método de avaliação do sistema de ar-condicionado aplicado no estudo, de acordo com a INI-C [6], é detalhado na Figura 2.

Figura 2: Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação do sistema de condicionamento de ar



Fonte: BRASIL, 2022.

Os valores relativos à carga térmica foram obtidos na avaliação da envoltória feita para os edifícios, a partir de relatórios internos do Projeto Oásis.

O cálculo do coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEER) foi realizado com base no método COP para sistemas com capacidade até 17,6 kW, calculado segundo a equação:

Equação 1: $$CEEr = 1{,}062 \times COPr$$

O COPR se refere ao coeficiente de performance para refrigeração do aparelho de condicionamento de ar e foi obtido nos manuais técnicos dos equipamentos.

Para sistemas com capacidade acima de 17,6 kW, o cálculo do CEER foi realizado com base no método *System Part Load Value* (SPLV), obtido a partir do preenchimento de dados de projeto na planilha disponibilizada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE EDIFICA) [2]. Neste método, o CEER é igual ao SPLV calculado.

O levantamento de dados dos aparelhos de refrigeração foi realizado a partir de projetos, visitas *in loco* e de consulta aos manuais dos equipamentos. Essas visitas são importantes para garantir a conformidade entre as especificações técnicas planejadas e a configuração real dos equipamentos instalados, especialmente para edificações existentes, para as quais as informações necessárias podem estar dispersas ou desatualizadas.

A partir desses resultados foi possível determinar o consumo de refrigeração do edifício na condição real e de referência, calcular o percentual de redução do consumo de refrigeração (RedCR) comparando a condição real com a de referência e, então, classificar a edificação, conforme os limites de RedCR da zona bioclimática 3, onde se localiza Belo Horizonte (Figura 03), conforme Tabela 1 da INI-C.

Tabela 1: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética de acordo com a classificação climática da edificação

Classificação climática	$RedC_R$ (%)				
	Classif. A	Classif. B	Classif. C	Classif. D	Classif. E
Zonas bioclimáticas 1, 2 e 3	$RedC_R > 51$	$51 \geq RedC_R > 34$	$34 \geq RedC_R > 17$	$17 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
Zonas bioclimáticas 4, 5 e 6	$RedC_R > 48$	$48 \geq RedC_R > 32$	$32 \geq RedC_R > 16$	$16 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
Zonas bioclimáticas 7 e 8	$RedC_R > 43$	$43 \geq RedC_R > 29$	$29 \geq RedC_R > 14$	$14 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$

Fonte: BRASIL, 2022.

RETROFIT DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

Com o intuito de aprimorar a eficiência do sistema de condicionamento de ar dos prédios analisados e alcançar a classificação A, foi elaborada uma proposta de *retrofit* para as edificações. Os aparelhos de alta capacidade foram selecionados com base nos orçamentos fornecidos pelo Departamento de Projetos da UFMG, enquanto para os de menor capacidade, a escolha foi feita consultando as tabelas de eficiência energética do INMETRO e os preços consultados de forma *online* com fornecedores. Também foi calculado o gasto anual de energia dos aparelhos de ar-condicionado, baseado no consumo médio anual dos edifícios, conforme registrado nas faturas de energia. O novo consumo foi calculado a partir da equação:

Equação 2: $$\text{Consumo}_2 = \text{Consumo}_1 \times \frac{COP_1}{\text{COP}_2}$$

Sendo que os subscritos 1 e 2, para consumo e COP, indicam seus valores antes e depois do *retrofit*, respectivamente.

Em seguida, determinou-se o novo gasto após a implementação do *retrofit*. Esses dados proporcionaram uma visão numérica da redução nos custos de condicionamento de ar após o *retrofit*, além de permitir o cálculo do *payback*, que indica o período necessário para recuperar o capital investido em um projeto.

Para o cálculo do *payback*, segundo Gitman [7], dividiu-se o investimento para o *retrofit* pela entrada de caixa, no caso a economia com a redução no consumo de energia elétrica. Para tal, utilizou-se o valor de redução anual na conta de energia elétrica em reais (*VP*), o valor da conta de energia elétrica (*VF*), a taxa de juros do período entre parcelas, em porcentagem (*i*), e o número de períodos (*n*), aplicando-se a seguinte equação:

Equação 2: $$VP = \frac{VF}{(1-i)^n}$$

Os valores de projeto analisado foram os custos para o *retrofit* dos sistemas de ar-condicionado dos edifícios. Para valores economizados, foi considerada a estimativa da redução no consumo de energia elétrica, obtida através da diferença entre os consumos dos sistemas atuais e propostos. O valor economizado foi ajustado para seu valor presente (VP), considerando a taxa de juros de 12,25% estabelecida pelo Banco Central em setembro de 2023 [8].

Para cálculo do valor do kWh economizado, tomaram-se as faturas da concessionária de energia, dos meses de janeiro a dezembro de 2023, que contemplaram bandeira tarifária no nível verde em todo o ano. Foi feita uma média dos valores do kWh em Horário de Ponta (HP) e Horário Fora de Ponta (HFP).

RESULTADOS

CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO A INI-C

As visitas *in loco* nas edificações permitiram constatar a presença de novas instalações de aparelhos de ar-condicionado nos prédios, não apresentadas nas plantas do projeto da edificação, indicando que ocorreram atualizações desde a construção inicial. No CAD 2, 14% dos ambientes são condicionados artificialmente. Já no CAD 3, 54% dos ambientes possuem ar condicionado. A Tabela 2 apresenta os aparelhos identificados nos prédios.

Tabela 2: Lista de aparelhos de ar-condicionado dos CAD 2 e CAD 3.

X	Bloco	Fornecedor	Modelo	Capacidade (kW)	Quantidade	COP	Condensador a Ar ou Água
2	01	Carrier	MDV-140W/DVN	14	1	3.54	Ar
		Carrier	38CCD060535MC	16.98	4	3	Ar
		Carrier	38CCD036515MC	10.54	1	2.83	Ar
3	02	Carrier	38CCD060535MC	16.98	4	3	Ar
	03	Fujitsu	AOBG18LAC2	5.27	2	3.42	Ar
	04	Carrier	38ABA390226S	99.2	2	2.77	Ar
	02	Hitachi	40RTC390236VH	87.9	8	2.76	Ar

Fonte: as autoras.

Foi realizado o levantamento de dados de todos os equipamentos e então feita a avaliação quanto ao sistema de condicionamento de ar, segundo a INI-C. Os prédios avaliados obtiveram classificação B, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação dos sistemas de ar-condicionado

CAD	Bloco	Coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEER)	Consumo de refrigeração da edificação real (CRreal)	Consumo de refrigeração da edificação de referência (CRref)	Percentual de redução do consumo de refrigeração (RedCR) (%)	Atendimento aos pré-requisitos	Classificação final do sistema de ar-condicionado
2	01	3,23	114.287	188.543	39	Não	B
	02	3,18	36.480	194.538	81	Não	B
	03	3,63	34.993	68.456	49	Não	B
	04	2,77	19.478	34.835	44	Não	B
3	02	3,31	135.871	227.992	40	Não	B

Fonte: as autoras.

Dentre as barreiras identificadas durante a avaliação do sistema, destaca-se a dificuldade em obter o valor do Coeficiente de Performance (COP) para equipamentos de modelos mais antigos, pois, em alguns casos, essa informação não é fornecida nos manuais dos equipamentos. Nessas situações, o COP foi calculado como a razão entre a capacidade e a potência do aparelho. Além disso, o uso da planilha de cálculo do método *System Part Load Value* (SPLV) requer o preenchimento com os dados do projeto do sistema de condicionamento de ar, e, no caso de edificações já existentes, muitas vezes essas informações não constam nos projetos originais para um cálculo mais preciso.

O Bloco 02 do CAD 2 foi o único que apresentou RedCR suficiente para classificação A. No entanto, todos os blocos dos edifícios analisados não atendem aos pré-requisitos devido à ausência de desligamento automático, o que limita a classificação no nível B. Na análise, os pré-requisitos de cálculo da altura manométrica das bombas, aquecimento suplementar, evitar aquecimento e refrigeração simultâneos, controle e dimensionamento de sistema de ventilação, e equipamentos de rejeição de calor, não se aplicam. O isolamento térmico das tubulações com fluxo de fluidos não pôde ser confirmado, uma vez que não está especificado em projeto e requer a remoção do forro de gesso para confirmação.

RETROFIT DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

Para obtenção do nível de classificação A de eficiência energética pela INI-C, é necessária a substituição de todos os equipamentos de ar-condicionado dos edifícios CAD'S 2 e 3. No entanto, ressalta-se que é preciso também instalar um temporizador para desligar automaticamente os equipamentos, já que nenhum dos CAD's possui esse recurso atualmente.

A escolha dos dispositivos na tabela de eficiência energética do INMETRO foi baseada na eficiência e no custo-benefício, já que a análise do custo-benefício engloba aparelhos com diferentes níveis de eficiência. Foram comparados dois dispositivos com a mesma capacidade, ambos classificados como A, com COP's de 8,25 e 5,89. Apesar de ser R$ 518,00 (14,5%) mais caro, o primeiro apresenta um custo de R$ 495,63 por COP, enquanto o segundo tem um custo de R$ 606,28 por COP, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 4: Comparação de desempenho e custo-benefício de aparelhos de ar-condicionado de 5.27 kW classificados como A

Aparelho	Desempenho COP (W/W)	Custo (R$)	Diferença de custo (R$)	Custo (R$/COP)	Diferença de custo por COP (R$)
1	8,25	4.089,00	+518,00 (14,5%)	495,63	-110,65 (-22,3%)
2	5,89	3.571,00		606,28	

Fonte: as autoras.

Assim, pode-se dizer que especificar um aparelho com classificação A não basta, uma vez que dois aparelhos com a mesma classificação apresentam significativa diferença de desempenho e de custo-benefício.

A média dos valores do kWh, HP e HFP, de janeiro a dezembro de 2023, foi de R$0,99. Com isso, foi calculada a economia que se pode ter na conta de energia elétrica, com o *retrofit* dos sistemas de ar-condicionado.

Para *retrofit* dos equipamentos, foi adicionado 30% ao custo dos aparelhos, para cobrir os custos totais de instalação. As pesquisas sobre os sistemas atuais e novos, e as análises de acordo com a INI-C são resumidas na Tabela 5.

Tabela 5: Análises dos sistemas de ar-condicionado, atuais e novos

	Análises baseada na INI-C						Análises para *retrofit*		
Sistema	Consumo de energia anual com ar-condicionado (kWh)	Redução percentual no consumo total do edifício (%)	CEE	Consumo de refrigeração da edificação real (CRreal, kWh)	Consumo de refrigeração de referência (CRref, kWh)	Percentual de redução do consumo de refriger. (RedCR) (%) / Classificação final	Custo do *retrofit* (R$)	Valor economizado VP (R$)	*Payback* (anos)
CAD 2 Atual	82.530	16	2,8	73.642	186.920	60 B*	312.754	44.546,00	13
CAD 2 Novo	37.569		6,7	30.556		83 A			
CAD 3 Atual	66.780	20	3,3	135.871	227.992	40 B	582.878	26.490,00	> 135
CAD 3 Novo	40.043		5,5	81.473		64 A			

Fonte: as autoras.

No CAD 2, estima-se uma redução anual de 44.961 kWh/ano no consumo energético com ar-condicionado, o que poderia gerar uma economia anual de R$ 44.546,00 nas faturas de energia. Já no CAD 3, a redução anual no consumo energético seria de 26.737 kWh/ano, com economia anual estimada em R$26.490,00. No entanto, o retorno financeiro para o CAD 3 mostra que o investimento não seria recuperado durante a vida útil dos equipamentos, em média de 15 anos. Essa diferença é atribuída ao fato de o sistema de condicionamento de ar do CAD 3 ser constituído apenas por aparelhos do tipo *splitão*, que possui custo inicial mais alto. Por isso, o *retrofit* desse sistema se mostrou inviável economicamente.

CONCLUSÕES

O estudo entendeu que a INI-C é um instrumento eficaz para a implementação de edifícios mais eficientes energeticamente, uma vez que mostra a eficiência dos sistemas propostos ou existentes e permite avaliar a necessidade ou a viabilidade de *retrofit* de sistemas para aumento de desempenho.

No entanto, quando se trata de aparelhos de condicionamento de ar mais antigos e, principalmente, quando se busca aplicar métodos como o SPLV em edificações já construídas o tipo de informação requerida pela INI-C pode se configurar como uma barreira para a obtenção da classificação de eficiência energética deste sistema. Isso ocorre devido à dificuldade em se encontrar manuais ou especificações técnicas relevantes para equipamentos fora de linha, mesmo com consulta direta à fabricantes.

Além disso, nem sempre são fornecidas todas as informações necessárias, como o COP, sendo necessário recorrer a métodos alternativos para calculá-lo. Ademais, a aplicação do método SPLV enfrenta desafios devido à falta de dados nos projetos existentes, como carga térmica total simultânea, temperatura de entrada do ar externo, valores referentes aos ventiladores dos equipamentos, o que pode comprometer os resultados obtidos por meio desse método.

Para otimizar o consumo de energia elétrica nos edifícios e reduzir os desperdícios com o sistema de condicionamento de ar, faz-se fundamental o *retrofit* desses sistemas nas edificações. No entanto, muitas vezes, o tempo de *payback* do investimento se mostra inviável financeiramente. No estudo de caso realizado no CAD 3, esse tempo é bastante elevado em relação à vida útil desses equipamentos, sendo a troca recomendada, apenas quando estes aparelhos estiverem em final de vida útil. Há ainda limitações para a realização de obras nessas edificações, que, voltadas para aulas, precisam de planejar as modificações em tempos de recesso escolar. Os aparelhos encontrados nas edificações, não sendo os mais eficientes, apresentam a necessidade premente de que as instituições façam especificações técnicas dos aparelhos a serem adquiridos levando em conta as mais altas eficiências disponíveis no mercado, uma vez que depois de instalados esses sistemas são de difícil substituição.

A pesquisa compreende que o investimento inicial em equipamentos de ar-condicionado mais eficientes, com selo PROCEL nível A, e o atendimento aos requisitos construtivos do sistema, colocados pela INI-C, é um bom caminho para edificações mais eficientes energeticamente. No entanto, a classificação A pelo PROCEL não é suficiente, uma vez que aparelhos com a mesma classificação apresentam grandes diferenças de desempenho e custo-benefício. O investimento inicial mais elevado em equipamentos melhores, é compensado na vida útil dos edifícios, principalmente em edifícios públicos, onde mostra-se que a modernização desses sistemas, depois do edifício construído e em uso, apresenta inviabilidade técnica e econômica.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio da UFMG (FUNDEP) pelo fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. **Lei N° 10.295, de 17 de outubro de 2001.** Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 out. 2001.

[2] BRASIL. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM – PBE Edifica. **Etiquetagem de Edificações**. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem. Acesso em: 10 março 2024.

[3] NEOENERGIA. **Eficiência Energética em Prédios Públicos**. 2021. Disponível em: https://servicos.neoenergiacoelba.com.br/Documents/guias/guia_predios_publicos.pdf. Acesso em: 09 março 2024.

[4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (Brasil). **INI-C – Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022. Brasília: Inmetro, 2022. 125p.

[5] BARBOSA, A. T. R.; PIMENTEL, B. P. Estudo de caso: Comparação entre metodologia de etiquetagem do RTQ-C e do INI-C, em uma edificação militar. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2019, João Pessoa. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 2323-2332.

[6] BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Manual INI-C Método Simplificado**. Brasília, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual-INI-C_Simplificado-AGO-23.pdf. Acesso em: 11 abril 2023.

[7] GITMAN, Lawrence. J. Técnicas de orçamento de capital. *In*: **Princípios de Administração Financeira**. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2009. p. 363-377.

[8] BANCO CENTRAL DO BRASIL - BCC. **Histórico das taxas de juros fixadas pelo Copom e evolução da taxa Selic**. Banco Central do Brasil. 2023. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros. Acesso em 20 novembro 2023.