XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8326

Desempenho térmico e classificação energética de um edifício universitário conforme a INI-C: análise comparativa de diferentes cenários de *retrofit*

Thermal Performance and Energy Classification of a University Building According to INI-C: Comparative Analysis of Different Retrofit Scenarios

Naara Brum Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES | Vitória | Brasil | naarabo11@gmail.com
João Luiz Calmon
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES | Vitória | Brasil | calmonbarcelona@gmail.com

Resumo

Considerando que grande parte das construções antigas continuará em uso, o estudo avalia a aplicação de estratégias de *retrofit* em uma edificação pública universitária construída na década de 1970, localizada em Vitória, Espírito Santo, sob as diretrizes da INI-C. A metodologia envolve a simulação computacional da edificação em sua condição real e em diferentes cenários de intervenção. Os programas utilizados foram o *SketchUp* e o *EnergyPlus*. A integração das soluções propostas com o uso da telha sanduíche apresentou o melhor desempenho, elevando a classificação para o nível A. Em contrapartida, a adoção isolada de telhado verde manteve a classificação do edifício em C. A adoção de *retrofit* em edificações públicas universitárias é tecnicamente viável e pode contribuir para a redução da carga térmica anual, reforçando sua importância para a eficiência energética no setor da construção civil.

Palavras-chave: *Retrofit*. Eficiência energética. Edifícios universitários. Simulação energética. INI-C.

Abstract

Considering that a large portion of older buildings will remain in use, this study evaluates the application of retrofit strategies in a public university building constructed in the 1970s, located in Vitória, Espírito Santo, under the INI-C guidelines. The methodology involves computational simulation of the building in its actual condition and under different intervention scenarios. The software used were SketchUp and EnergyPlus. The integration of the proposed solutions with the use of sandwich panels showed the best performance, raising the classification to level A. In contrast, the isolated adoption of a green roof maintained the building's classification at level C. The adoption of retrofit in public university buildings is technically feasible and can contribute to reducing the annual thermal load, reinforcing its importance for energy efficiency in the construction sector.

Keywords: Retrofit. Energy efficiency. University buildings. Energy simulation. INI-C.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8326

INTRODUÇÃO

Historicamente, grande parte das edificações foi construída sem preocupação com a sustentabilidade e seu impacto no meio ambiente, muitas vezes refletindo uma funcionalidade imediata, em curto prazo. Com o contínuo crescimento populacional nos últimos anos, a preocupação com os impactos ambientais resultantes tem se tornado extremamente importante [9]. Esses edifícios fazem parte do patrimônio construído das cidades, e a maioria continuará a ser utilizada no futuro próximo, embora muitos não atendam aos padrões atuais [18].

Em 2022, as edificações consumiram 41% da eletricidade no Brasil [6], valor que aumentou para 47% em 2023 [7]. Em edifícios comerciais e públicos, observa-se uma forte predominância da eletricidade na matriz energética, correspondendo a 73% do consumo total, enquanto 27% são provenientes de outras fontes, como gás e combustíveis. A participação das edificações no consumo de eletricidade pode ser considerada o segmento com maior potencial de eficiência elétrica, mostrando que políticas de eficiência energética possuem grande relevância ambiental. A etiquetagem em edifícios classifica a eficiência energética entre os valores de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). São contempladas as edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais [7].

Edificações construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiquetagem no âmbito do PBE Edifica, podem obter uma economia de até 50%; edificações existentes com grandes reformas podem alcançar uma economia de até 30% [13]. Para reduzir a demanda operacional de uma edificação e evitar ganhos térmicos excessivos, podem ser adotadas tecnologias passivas, como o aumento do isolamento de paredes, janelas e telhados, redução de perdas por infiltração, entre outras [9] [15]. Uma intervenção de construção que adiciona novos materiais ou elementos que não estavam anteriormente presentes pode ser chamada de *retrofit* [18].

Sob essa ótica, a análise do consumo energético de um edifício torna-se tão importante quanto quaisquer outras ferramentas aplicadas pelos projetistas [9]. Edifícios públicos federais se destacam, pois possuem características particulares em relação aos edifícios comerciais, de serviços e residenciais, além de serem os primeiros a se tornarem obrigados a adquirir a etiqueta no âmbito nacional [12].

A partir dessa conjuntura, a classificação energética pode ser uma ferramenta aliada a decisões técnicas mais eficientes. Este artigo, portanto, tem como objetivo avaliar a influência de diferentes cenários de *retrofit* na classificação energética de um edifício universitário na cidade de Vitória - ES, conforme o método estabelecido pela Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

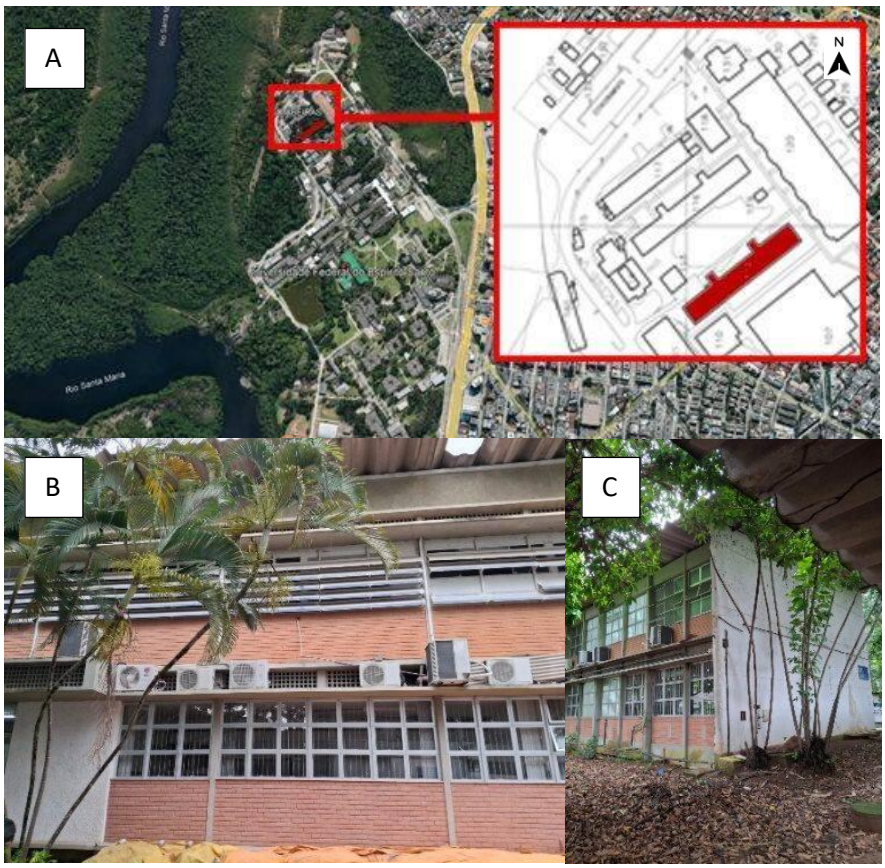
METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em cinco etapas: caracterização do objeto de estudo, simulação da envoltória conforme a INI-C, definição das variáveis e dados de entrada para simulação no *EnergyPlus* [17], análise dos resultados, por fim, as conclusões.

OBJETO DE ESTUDO

O estudo de caso refere-se ao Centro Tecnológico – I, situado em Vitória, Espírito Santo, Brasil, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no bairro Goiabeiras (Figura 1).

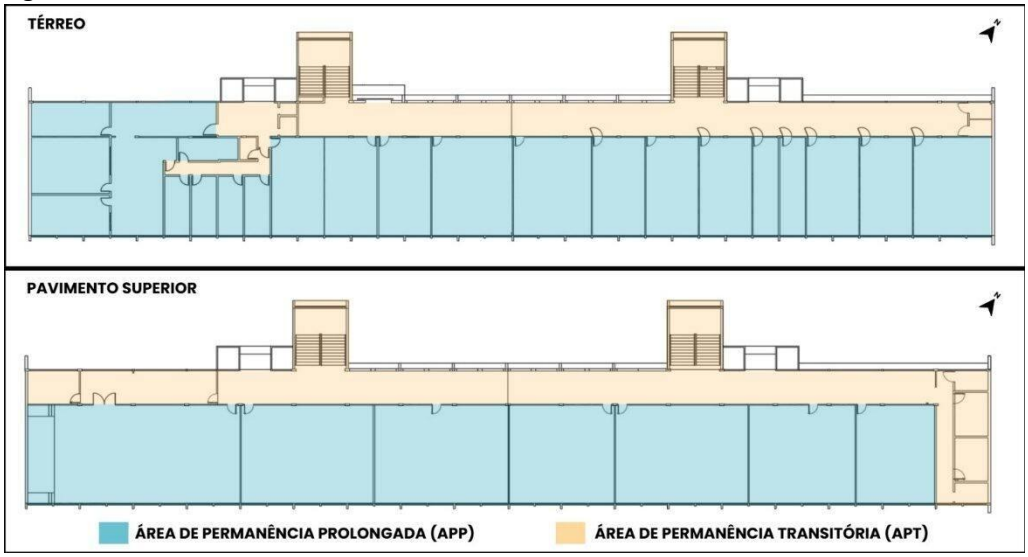
Figura 1: Localização do CT-I (A); registro fotográfico do CT-I, fachada externa noroeste (B); registro fotográfico do CT-I, fachada externa sudeste (C);



Nota: O edifício destacado em vermelho corresponde ao CT-I. Fonte: o autor.

O edifício opera desde a década de 1970, sua área construída é de 2.236,4m². A edificação é composta por dois pavimentos, sendo um lado com salas e, do outro, corredor (Figura 2). Possui paredes externas em tijolo cerâmico exposto e internas em tijolo cerâmico com reboco e pintura branca, sendo suas laterais também em reboco com pintura branca, laje sem forro e sua cobertura em telha de fibrocimento. Os fechamentos são em vidro, exceto as portas das salas, constituídas por estrutura leve em madeira oca. Os banheiros são revestidos em azulejo cerâmico.

Figura 2: Planta baixa CT-I



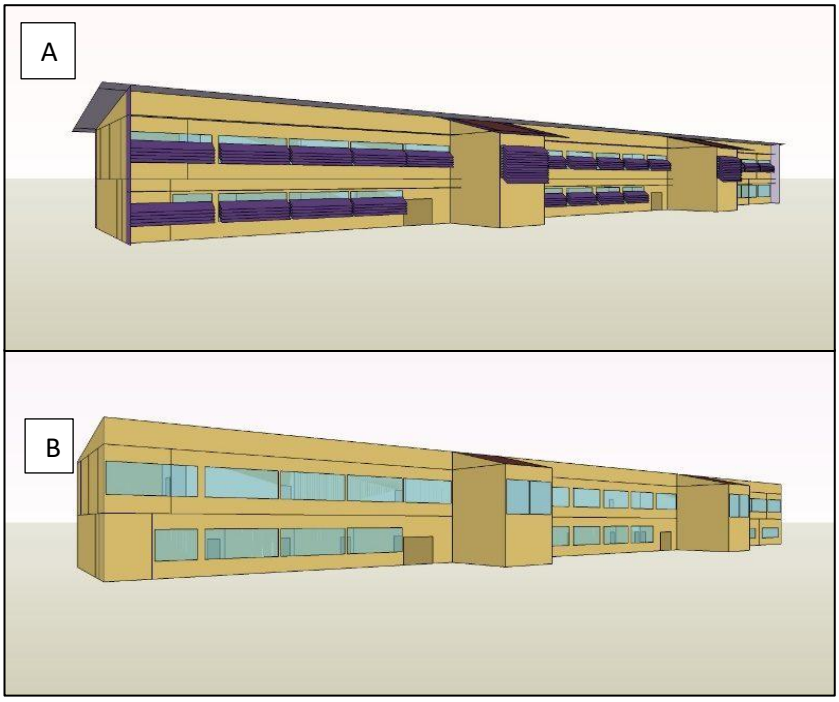
Fonte: o autor.

SIMULAÇÃO DA ENVOLTÓRIA CONFORME A INI-C

O método utilizado para classificação da envoltória foi o método computacional conforme a INI-C [11]. O software utilizado foi o *EnergyPlus* [17], modelado por meio do plugin *Euclid* [3], utilizando o *SketchUp* [16].

A INI-C determina que devem ser elaborados dois modelos: a) modelo na condição real representando a edificação conforme suas características geométricas, propriedades térmicas, composição de elementos e cargas internas, conforme Figura 3 (A); b) modelo na condição de referência representando a edificação avaliada considerando as mesmas características de volume interno, a mesma divisão de zonas térmicas da edificação real, mas com características de referência conforme a classificação D de eficiência energética da envoltória. Não são considerados os elementos de sombreamento externos na fachada [11], conforme Figura 3 (B).

Figura 3: Modelagem do edifício real (A) e em sua condição de referência (B)



Fonte: o autor.

Ambos os modelos devem ser simulados considerando o cálculo da carga térmica de refrigeração anual (CgTR). A carga térmica de aquecimento (CgTA) só é necessária para os casos em que há projetos com demanda de aquecimento [11].

A carga térmica total anual (CgTT) é o somatório da CgTR e da CgTA, utilizada para determinação da redução de carga térmica total anual (RedCgTT), conforme a Equação 1 [11]:

$$RedCgTT = ((CgTT_{refD} - CgTT_{real})/CgTT_{refD}) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:
RedCgTT é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (%);
CgTTrefD é a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência (classificação D), em kWh/ano;
CgTTreal é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano).

Os percentuais de economia de uma classificação para outra variam conforme a tipologia da edificação e clima. A classificação de eficiência energética da envoltória baseia-se no coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação de D para A (CRCgTTD-A), conforme Equação 2:

$$i = (CRCgTTD{-}A \cdot 100)/3 \quad (2)$$

Onde:
i é o intervalo entre as classes, em %;
CRCgTTD-A é o coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para A (determinado a partir da classificação climática da edificação).

A partir do valor calculado de “i”, deve-se preencher a tabela de limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória (Figura 4).

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8326

Figura 4: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória

	RedCgTT (%)				
	A	B	C	D	E
Classificação de Eficiência	RedCgTT > 3i	3i ≥ RedCgTT > 2i	2i ≥ RedCgTT > i	i ≥ RedCgTT ≥ 0	RedCgTT < 0

Fonte: [11] p. 57

VARIÁVEIS E DADOS DE ENTRADA

Foram definidos sete cenários para a envoltória da edificação, sendo um referente à edificação existente e seis cenários variáveis de *retrofit* (Tabela 1).

Tabela 1: Definição de cenários

	Cenário
C0	Edifício real (situação existente)
C1	Fachada clara (pintura branca)
C2	Janelas com película refletora
C3	Fachada ventilada
C4	Cobertura com telha sanduíche
C5	Cobertura com telhado verde
C6	Estratégias integradas com telha sanduíche
C7	Estratégias integradas com telhado verde

Fonte: o autor.

Os materiais utilizados no C0 são apresentados na Tabela 2, sendo o vidro configurado conforme padrão 3mm do *EnergyPlus* [17].

Tabela 2: Parâmetros dos materiais do edifício real

Material	Espessura equivalente (m)	Condutividade térmica (W/m.k)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/ Kg.K)	Resistência térmica (m².K/W)	Absortância Solar
Concreto (laje)	0,1	2,5	2400	1000	-	0,75
Argamassa reboco	0,025	1	1800	1000	-	0,75
Reboco com pintura branca	0,025	1	1800	1000	-	0,2
Contrapiso	0,025	1	1800	1000	-	0,75
Tijolo maciço	0,1	1,05	1800	790	-	0,7
Telha fibrocimento	0,008	0,65	1800	1000	-	0,46
Cerâmica	0,01	0,9	1600	790	-	0,2
Madeira (portas)	0,0127	0,15	608	1630	-	-
Câmara de ar	-	-	-	-	0,21	-
Vidro simples	0,003	-	-	-	-	-

Fonte: [14] [8] [1] [17] [5]

No C1, apenas a absortância solar dos materiais foi alterada para o valor correspondente à pintura branca. O C2 foi configurado conforme a Tabela 3. O C3 foi modelado com novas zonas para as fachadas ventiladas. As aberturas inferior e

superior das fachadas foram configuradas como sempre abertas (Figura 5). Os dados para o C3 estão descritos na Tabela 4.

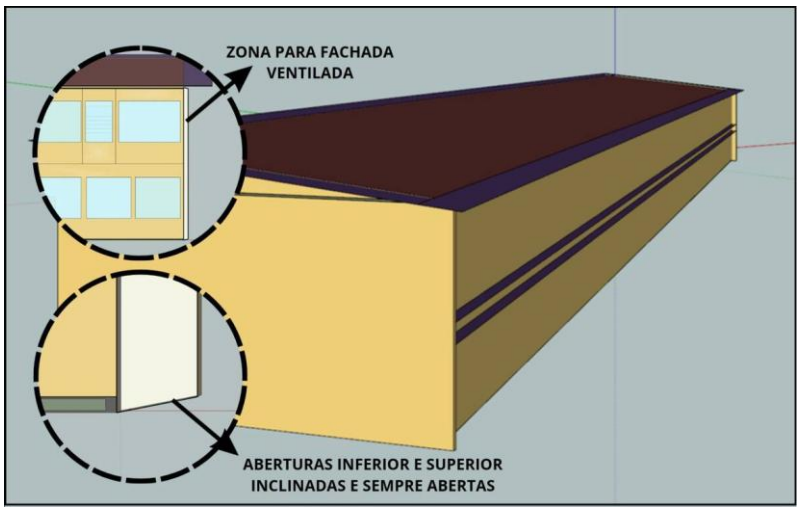
Para aplicação do C4, os dados da cobertura em telha sanduíche são apresentados na Tabela 5.

Tabela 3: Parâmetros do vidro com película refletora

Tipo de vidro	U-Factor (W/m²·K)	SHGC	Transmitância visível
Vidro refletivo	4,974	0,321	0,201

Fonte: [10]

Figura 5: Modelagem da fachada ventilada adotada na simulação



Fonte: o autor.

Tabela 4: Parâmetros da fachada ventilada

Material	Espessura equivalente (m)	Condutividade térmica (W/m.k)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/ Kg.K)	Resistência térmica	Absortância Solar
Placa cimentícia	0,01	0,95	1520	1000	-	0,75
lã de rocha	0,075	-	-	-	1,94	-

Fonte: [8] [14] [17]

Tabela 5: Parâmetros da telha sanduíche

Material	Espessura equivalente (m)	Condutividade térmica (W/m.k)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/ Kg.K)	Absortância Solar
Telha metálica	0,01	160	2800	500	0,05
Poliuretano	0,04	0,03	1200	1590	-
Telha metálica	0,01	160	2800	500	0,05

Fonte: [8] [14] [17]

Para a simulação do telhado verde, C5, os dados das camadas anteriores à vegetação e ao substrato foram definidos conforme a Tabela 6. A simulação do substrato e da vegetação foi realizada conforme os valores padrão apresentados nos exemplos do *EnergyPlus* [17] (Tabela 7).

Tabela 6: Propriedades dos materiais utilizados na cobertura verde

Material	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.k)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/ Kg.K)
Camada filtrante	0,005	0,06	160	2500
Camada de drenagem	0,06	0,08	800	920
Barreira impermeabilizante	0,007	0,17	1200	920

Fonte: [4]

Tabela 7: Parâmetros da vegetação e da camada do solo

Vegetação	
Altura das plantas (m)	0,2
Índice de área foliar	1,0
Refletância das folhas	0,22
Emissividade das folhas	0,95
Resistência estomatal mínima (s/m)	180
Camada do Solo	
Rugosidade	*MediumRough*
Espessura (m)	0,1
Condutividade (W/m.K)	0,35
Massa específica (kg/m3)	1100
Calor específico (J/kg.K)	1200
Absortância térmica	0,9
Absortância solar	0,7
Absortância visível	0,75
Conteúdo volumétrico saturado de umidade	0,3
Conteúdo volumétrico residual de umidade	0,01
Conteúdo volumétrico inicial de umidade	0,1
Método de cálculo da difusão da umidade no solo	*Advanced*

Fonte: [17]

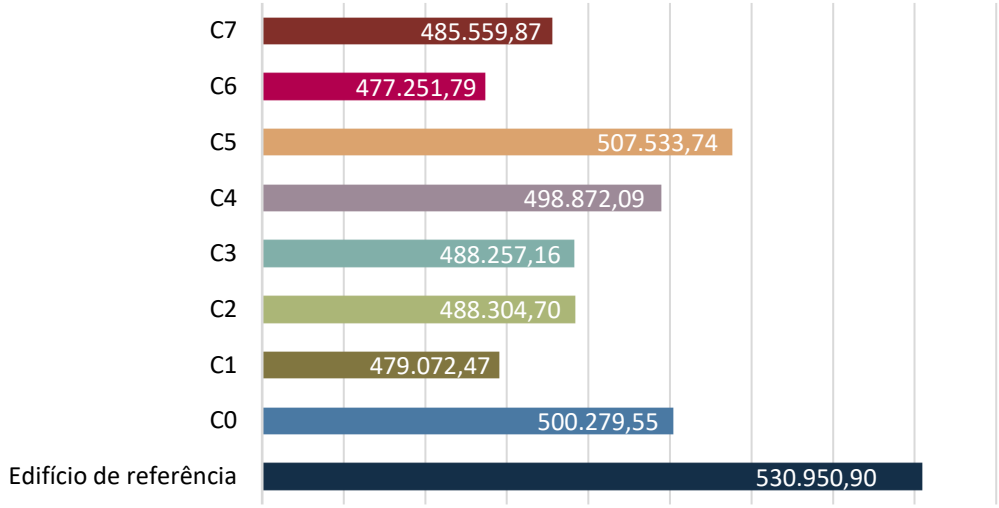
O C6 abordou todas as intervenções integradas, considerando a telha sanduíche como elemento de cobertura. Já o C7 integrou todas as intervenções, com a mudança apenas na cobertura, que considerou o telhado verde. Os dados de entrada para o edifício de referência e demais não abordados aqui foram extraídos exclusivamente da INI-C [11].

RESULTADOS

A edificação encontra-se na zona bioclimática 4A [2]. A resolução da Equação 2 se dá com a substituição de CRCgTTD−A por 0,09 [11], para tipologia educacional na ZB4A, sendo o resultado final i=3.

Os valores de CgTT são apresentados na Figura 6, incluindo a CgTTrefD.

Figura 6: Comparativo de carga térmica total anual (CgTT) [Kwh/ano]



Nota: C0 Edifício real; C1 fachada clara; C2 janelas com película refletora; C3 Fachada ventilada; C4 Cobertura telha sanduiche; C5 Cobertura telhado verde; C6 Estratégias integradas com telha sanduíche; C7 Estratégias integradas com telhado verde. Fonte: o autor.

O RedCgTT do C0 é calculado pela diferença entre CgTTrefD (530.950,9 kWh/ano) e a CgTTreal (500.279,55 kWh/ano), dividida pela CgTTrefD e multiplicada pelo valor fixo de 100, resultando em 5,78% de RedCgTT, conforme Tabela 8.

Considerando que o valor de i=3 e o valor de RedCgTT = 5,78, subentende-se que 2i (6) ≥ RedCgTT (5,78) > i (3), ou seja, a classificação de eficiência energética da edificação existente em estudo é C. A mesma CgTTrefD é utilizado para classificação dos demais cenários, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados da análise da CgTT e classificação energética da edificação por cenário simulado em relação ao edifício de referência

Cenário	Carga térmica total anual (CgTT) [Kwh/ano]	Redução da carga térmica total anual (RedCgTT) [Kwh/ano]	Percentual de redução da carga térmica total anual (RedCgTT) [%]	Classificação energética
C0	500279,55	30671,35	5,78	C
C1	479072,47	51878,43	9,77	A
C2	488304,70	42646,20	8,03	B
C3	488257,16	42693,74	8,04	B
C4	498872,09	32078,81	6,04	B
C5	507533,74	23417,16	4,41	C
C6	477251,79	53699,11	10,11	A
C7	485559,87	45391,03	8,55	B

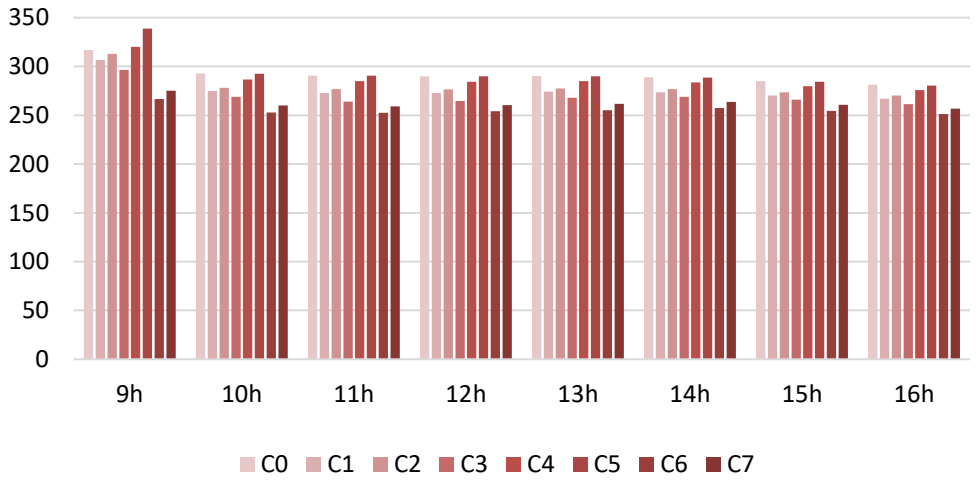
Fonte: o autor.

Observa-se que, em todos os cenários, houve redução da carga térmica em relação ao edifício de referência. O cenário com maior RedCgTT foi o C6, seguido pelo C1, com classificação energética A. A menor RedCgTT ocorre em C5, mostrando redução inferior à do cenário real e mantendo a classificação da envoltória em C. Os demais cenários,

apresentaram redução maior que o C0, alterando a classificação energética da envoltória para B.

A Figura 7 mostra a análise horária da carga térmica de resfriamento no período entre 9h e 16h, no dia 21 de dezembro, primeiro dia de verão do ano de 2022, correspondente ao ano do arquivo de simulação.

Figura 7: Variação horária da carga térmica de resfriamento (Kwh) no dia 21 de dezembro de 2022



Fonte: o autor.

A Figura 7 evidencia que o C3 apresentou os menores valores ao longo do dia entre as intervenções isoladas. O C3, nesse dia específico, teve uma melhoria maior que C1; porém, quando comparado com a redução anual, C1 se mostrou mais eficiente com reduções consistentes ao longo do ano, mostrando que o desempenho anual não depende apenas do pico térmico, possivelmente devido ao seu efeito mais contínuo sobre o ganho térmico por radiação solar no restante do ano.

Os menores valores ao longo das horas, comparando todos os cenários, são observados em C6 e C7. O C2 (película refletora) apresenta melhoria, mas menos expressiva que C1. Por outro lado, o C5 apresentou cargas térmicas semelhantes ou superiores às do edifício real, especialmente nas primeiras horas de operação, indicando acúmulo de calor durante o período noturno e liberação gradual ao longo do dia. A telha sanduíche (C4) se mostra mais eficiente que o telhado verde (C5). Esse comportamento pode estar associado à maior inércia térmica do sistema de cobertura vegetal, o que pode impactar negativamente a classificação energética em edifícios condicionados. Em contrapartida, o edifício real apresenta maior carga térmica ao fim do dia, o que indica uma relação entre o período de operação do edifício e a influência da envoltória na carga térmica de resfriamento.

CONCLUSÕES

A pesquisa foi desenvolvida com o intuito de classificar a envoltória de um edifício educacional e verificar a influência do *retrofit* em seu desempenho termoenergético.

Todas as estratégias de *retrofit* resultaram em uma carga térmica menor que a da edificação em sua condição de referência.

Os cenários C2, C3 e C4 alteraram a classificação energética, para o nível B. A associação desses cenários com o C1 alcançou a classificação A. O C5 apresentou redução inferior ao cenário existente. A alta inércia do telhado verde, nas condições em que a edificação se insere, pode fazer com que o calor armazenado no substrato não se dissipe por completo durante a noite, permanecendo na envoltória e resultando em uma carga térmica residual no início do dia seguinte. O pico de carga da manhã exige mais do resfriamento, necessitando de uma carga térmica anual maior, devido à dissipação noturna ineficiente. Por outro lado, a telha sanduíche (C4) possui baixo armazenamento de calor e maior dissipação, que, reduz a carga térmica anual e altera a classificação energética do edifício para B, pois o dia inicia com menos calor armazenado.

Evidencia-se que nem toda solução com apelo ambiental resulta, necessariamente, em melhor desempenho sob os critérios da INI-C. Dessa forma, a análise anual da carga térmica mostra-se fundamental para a tomada de decisão em projetos de *retrofit* energético. A implementação de uma nova pintura e a integração das propostas mostram-se viáveis no contexto da análise operacional do edifício. No entanto, levando em consideração a classificação energética do edifício e o fato de já haver materiais incorporados à envoltória, faz-se necessária uma análise mais aprofundada do ciclo de vida da edificação para compreender os impactos ambientais incorporados resultantes da adição ou não de materiais termicamente mais eficientes. Com base nesses dados, é possível estimar a amortização ambiental do cenário, identificando em que medida os benefícios operacionais decorrentes da melhoria térmica compensam os impactos iniciais da intervenção ao longo do tempo.

DECLARAÇÃO

A ferramenta de inteligência artificial utilizada foi o ChatGPT (OpenAI, 2026), modelo GPT-5.5, desenvolvido pela OpenAI. A ferramenta foi utilizada para revisão gramatical, ortográfica e de pontuação do texto, sem alteração do conteúdo, da argumentação ou das conclusões, o mesmo não foi empregado para gerar conteúdo. Após o uso desta ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário, permanecendo o autor integralmente responsável pelo trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Componentes e Elementos Construtivos das Edificações - Resistência e Transmitância Térmica - Métodos de Cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro, 2022.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3-1**: desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

[3] BIG LADDER SOFTWARE LLC. **Euclid.** 2025. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/. Acesso em: 18 março 2025.

[4] DIAS, Adriano Ethur. **O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras.** 2016. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

[5] DORNELLES, Kelen Almeida. **Biblioteca de absortância de telhas: base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2021.

[6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da eficiência energética: Relatório de Indicadores.** Brasil, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-788/Atlas_Brasil_2023_PT_rev_set2024.pdf#search=setor%20de%20edifica%C3%A7%C3%B5es%20no%20Brasil. Acesso em: 28 fevereiro 2025.

[7] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da eficiência energética Brasil 2024: relatório de indicadores.** Brasil, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-857/Atlas%20da%20Efici%C3%AAncia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202024.pdf. Acesso em: 18 março 2026.

[8] GERALDI, Matheus Soares; LONGEN, João; NUNES, Victória Silveira. **Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022.** 2022. 17 f. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, 2022.

[9] LAMBERTS, Paulo; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

[10] MAZZAROTTO, Ana Carolina Elizabeth Kolb. **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios de Curitiba: verificação computacional de desempenho comparativo com soluções convencionais.** 2011. 264 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011.

[11] Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). **Portaria nº 309, de 06 de setembro de 2022.** Brasil, 2020. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada. Acesso em: 20 fevereiro 2026**.**

[12] Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). **Etiquetagem de Edificações Comerciais e de Serviços.** Brasil, c2020. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/. Acesso em: 21 dezembro 2025.

[13] PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES (PBE Edifica). **Sobre o PBE Edifica**. 2020. Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sobre. Acesso em: 18 março 2026.

[14] RORIZ, V. F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Fatores determinantes da absortância solar de superfícies opacas. **IX encontro nacional de conforto no ambiente construído e V encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído**, p. 1-10, ago. 2007. DOI: https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1622.3445

[15] SARTORI, I.; HESTNES, A. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy And Buildings**, v. 39, n. 3, p. 249-257, mar. 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001.

[16] Trimble Sketchup. **SketchUp**. EUA, 2026. Disponível em: https://sketchup.trimble.com/pt-br/plans-and-pricing. Acesso em: 10 março 2026.

[17] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **EnergyPlus version 9.6.0.** GitHub. 2021. Disponível em:

https://github.com/NatLabRockies/EnergyPlus/releases/tag/v9.6.0. Acesso em: 18 março 2025.

[18] VILCHES, A.; GARCIA-MARTINEZ, A.; SANCHEZ-MONTAÑES, B. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. **Energy and Buildings**, v. 135, p. 286–301, jan. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042.