

18

NÚMERO 1



REVISTA
**DIALOGO E
INTERAÇÃO**

ISSN 1275-3687



FACCREI



<https://www.faccrei.edu.br/revista>

DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO EDIFÍCIO CET/UESC USANDO OS CRITÉRIOS DE ETIQUETAGEM E RTQ/INMETRO

ENERGY EFFICIENCY DIAGNOSIS IN THE CET/UESC BUILDING USING LABELING AND RTQ/INMETRO CRITERIA

DIAGNÓSTICO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO CET/UESC MEDIANTE ETIQUETADO Y CRITERIOS RTQ/INMETRO

609

Caroline da Cruz Silva*

Cleverson Alves de Lima**

Thayse Gama de Carvalho***

RESUMO: O desenvolvimento tecnológico e o crescimento populacional de grandes centros urbanos vêm gerando um consumo energético crescente. Grande parte deste consumo é decorrente do uso continuado das edificações projetadas sem considerar o consumo energético em seu ciclo de vida. Com isto, faz-se necessário implementar mecanismos que tornem as edificações eficientes, sobretudo as já construídas e operacionais. Neste sentido, Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) desenvolveu Requisitos Técnicos da Qualidade para Edificações (RTQ) para avaliar o ambiente construído e identificar o nível de eficiência destas edificações, permitindo que os projetistas possam identificar e melhorar os sistemas construtivos em busca do uso racional da energia. Neste sentido, foram aplicados os RTQ em uma edificação de uso educacional para identificar seu desempenho e simular cenários para melhoria de sua eficiência energética. Após aplicado o método proposto pelo PBE obteve-se uma classificação “B” com as variáveis prescritas e “C” por simulações computacionais, considerando a envoltória, iluminação e condicionamento de ar, bem como, suas bonificações. O modelo computacional permitiu gerar cenários comparados aos requisitos regulamentados, com melhorias dos materiais aplicados na busca pela melhor performance. Os cenários permitiram identificar espaço para melhorias a partir de soluções aplicadas em cada elemento da edificação.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo energético, Edificação Educacional, Desempenho térmico, Conforto Ambiental.

*Engenheira Civil, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). ccsilva.egc@uesc.br
<https://orcid.org/0000-0003-4662-425X>

**Doutor em Engenharia Civil, Docente, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). clalima@uesc.br
<https://orcid.org/0000-0002-7068-7253>

***Mestre em Modelagem de Materiais, Docente, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).
tgcavalho@uesc.br <https://orcid.org/0000-0002-8824-4434>

ABSTRACT: Technological development and population growth in large urban centers have generated increasing energy consumption. A large part of this consumption is due to the buildings continued use, designed without considering life cycle energy consumption. Therefore, it is necessary to implement mechanisms that make buildings efficient, especially those already built and operational. In this sense, the Brazilian Labeling Program (PBE) developed Technical Quality Requirements for Buildings (RTQ) to evaluate the built environment and identify the these buildings efficiency level, allowing designers to identify and improve construction systems in search of energy rational use. In this sense, RTQ were applied to a educational use building to identify its performance and simulate scenarios to improve its energy efficiency. After applying the PBE method proposed, a “B” classification was obtained with the prescribed variables and “C” by computer simulations, considering the envelope, lighting and air conditioning, as well as their bonuses. The computational model allowed generating scenarios compared to regulated requirements, with materials applied improvements in the search for the best performance. The scenarios made it possible to identify room for improvements based on solutions applied to each element of the building.

KEYWORDS: Energy consumption, Educational Building, Thermal performance, Environmental Comfort.

RESUMEN: El desarrollo tecnológico y el crecimiento poblacional en los grandes centros urbanos han generado un consumo energético creciente. Gran parte de este consumo se debe al uso continuado de edificios diseñados sin considerar el consumo energético en su ciclo de vida. Por ello, es necesario implementar mecanismos que hagan eficientes los edificios, especialmente los ya construidos y operativos. En este sentido, el Programa Brasileño de Etiquetado (PBE) desarrolló Requisitos Técnicos de Calidad para Edificios (RTQ) para evaluar el entorno construido e identificar el nivel de eficiencia de estos edificios, permitiendo a los diseñadores identificar y mejorar los sistemas constructivos en busca del uso racional de la energía. . En este sentido, se aplicaron RTQ a un edificio de uso educativo para identificar su desempeño y simular escenarios para mejorar su eficiencia energética. Luego de aplicar el método propuesto por el PBE, se obtuvo una clasificación “B” con las variables prescritas y “C” mediante simulaciones por computadora, considerando la envolvente, iluminación y aire acondicionado, así como sus bonificaciones. El modelo computacional permitió generar escenarios frente a los requisitos regulados, con mejoras a los materiales aplicados en la búsqueda del mejor desempeño. Los escenarios permitieron identificar espacios de mejora a partir de soluciones aplicadas a cada elemento del edificio.

PALABRAS CLAVE: Consumo energético, Edificio Educativo, Rendimiento térmico, Confort ambiental.

1 Introdução

No contexto atual, uma das principais problemáticas da humanidade está em conciliar o desenvolvimento humano sem, contudo, comprometer a sadia qualidade do meio ambiente em prol das gerações futuras. A crescente degradação ambiental interfere diretamente na existência da vida humana com dignidade, no momento em que a própria humanidade pode inviabilizar a sua existência no planeta. Isso pode ser verificado através das bruscas variações climáticas, como também, da perda de inúmeros recursos naturais (GOMES; FERREIRA, 2018).

Segundo Silva (2019), a construção civil é um dos setores que causa impactos ambientais significativos devido ao consumo elevado de matéria-prima, podendo atingir 50% dos recursos naturais extraídos mundialmente. Nessa perspectiva, é possível citar a energia elétrica, em que o crescimento populacional implica na inevitabilidade de ampliação dos sistemas de produção de energia. No entanto, os impactos ambientais gerados pelo consumo excessivo de energia elétrica são consideráveis e vão desde a emissão de gases poluentes até o esgotamento de recursos não renováveis.

No Brasil, as obras estão pautadas, em sua grande maioria, em métodos construtivos antigos que não levam em consideração o desempenho energético da edificação, resultando em ambientes que necessitam de sistemas alternativos como climatização e iluminação artificial acarretando em um elevado consumo de energia elétrica. A Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2021) mostra uma evolução no consumo de energia ao longo dos anos. Através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2021, o consumo de energia para edificações comercial, residencial e serviços públicos apresentou um aumento de 8,3% em comparação com o ano anterior. Portanto, surge a necessidade de implementação de medidas que viabilizem o uso da energia de forma eficiente.

Partindo dessa análise, para que as edificações sejam caracterizadas como eficiente energeticamente, é necessária uma avaliação criteriosa. Para tal, foram desenvolvidos os Regulamentos Técnicos da Qualidade, em destaque o RTQ-C que permite a avaliação do nível de eficiência energética de prédios públicos através de

procedimentos para a etiquetagem. Além disso, em 2021, o Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro aprovou a nova Instrução Normativa Inmetro para a classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) com o intuito de melhorar e simplificar os métodos de etiquetagem de edificações.

Nesse aspecto, desde de 2014 o processo de etiquetagem é de caráter compulsório para edificações construídas ou adaptadas com recursos públicos federais. No entanto, o Procel Edifica pretende estender a iniciativa para as edificações residenciais, comerciais e públicas, que representam a grande maioria das construções no país, logo são as principais responsáveis pelo consumo energético do setor (PROCEL, 2014).

A etiquetagem permite que as reformas sejam realizadas de maneira assertiva, isto é, as alterações da edificação serão feitas levando em consideração tanto o conforto ao usuário como a utilização adequada da energia. O PBE - Edifica (2022) instrui ainda que para toda edificação nova ou que receba qualquer reforma referente aos sistemas de iluminação, condicionamento de ar ou envoltória, o projeto deverá atingir o nível “A” de eficiência energética.

Dito isto, o objetivo deste trabalho é aplicar o método prescritivo, desenvolver um modelo paramétrico do edifício CET/UESC e realizar uma simulação computacional à luz do RTQ-C do INMETRO para possibilitar a avaliação da eficiência energética de uma edificação pública existente de uso educacional. Afinal, diversas reformas vêm ocorrendo e estão previstas para acontecer na edificação, inclusive alterações no tipo de iluminação e modelo de ar condicionado. Então, entender o comportamento atual da edificação, especialmente, no que tange aos sistemas isolados poderá viabilizar a escolha correta dos novos modelos, de modo que atenda as exigências normativas.

2 Metodologia Aplicada

O presente trabalho consiste na aplicação do RTQ-C (2013) para a avaliação do Nível de Eficiência Energética do edifício CET da Universidade Estadual de Santa

Cruz, conforme procedimentos descritos a seguir. É importante destacar que a preferência pela aplicação do RTQ-C em detrimento da INI-C se deve ao estágio avançado da pesquisa no momento em que a nova instrução entrou em vigor. Assim, optou-se por dar continuidade ao trabalho seguindo os critérios do regulamento anterior. No entanto, pretende-se atualizar os resultados para a nova metodologia de etiquetagem.

A obtenção dos resultados desta pesquisa se deu a partir da aplicação dos métodos Prescritivo e Simulação Computacional considerando a Zona Bioclimática 8. O primeiro método consistiu na avaliação de três sistemas: envoltória, iluminação, condicionamento de ar, bem como, possíveis bonificações existentes na edificação.

Finalizada a análise prescritiva, foi realizada a fase de simulações computacionais sobre o projeto *as built*, levando em consideração, dentre outros parâmetros, os padrões de uso e ocupação dos ambientes. Daí em diante, a edificação foi modelada com as características reais e as características definidas pelo RTQ-C, contendo especificações indicadas para cada nível de eficiência, isto é, parâmetros de referência para os níveis de “A” a “D”.

2.1 Caracterização do edifício

A edificação analisada neste trabalho foi construída na cidade de Ilhéus, no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz, com o principal objeto de garantir um espaço apropriado para a realização de atividades acadêmicas, sendo estas de caráter teórico ou prático. A cidade localiza-se no nordeste brasileiro, mais especificamente, na região sul do estado da Bahia, há uma distância aproximada de 454 km da capital, Salvador e com população estimada em 158 mil habitantes (IBGE, 2022).

O edifício em análise possui quatro pavimentos, sendo os três primeiros constituídos por uma série de salas destinadas a aulas teóricas e/ou práticas, bem como, para a realização de reuniões, sanitários de uso comum e específicos para portadores de necessidades especiais, ambientes destinados às secretarias de nove cursos de graduação e dos departamentos, corredores de circulação e hall de entrada,

saídas de emergência e um auditório localizado no térreo da edificação. O quarto pavimento é destinado à realização de atividades referentes ao observatório astronômico (Figura 1).

Figura 1 – Edifício CET/UESC



Fonte: Autores (2024)

Ressalta-se que para este trabalho foram considerados apenas os três primeiros pavimentos, pois a área do observatório astronômico é significativamente inferior em relação aos demais e sua influência, para fins energéticos, pôde ser desconsiderada sem prejuízos na análise. Além disso, o seu posicionamento ocasiona um certo sombreamento na edificação de modo que a sua desconsideração favorece os resultados com uma margem a favor da segurança.

2.2 Materiais Construtivos

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário identificar as características construtivas da edificação. Nesse aspecto, as informações referentes aos materiais utilizados na edificação, bem como, os sistemas instalados foram determinados a

partir de visitas técnicas in loco, tendo em vista que o projeto, fornecido pela prefeitura do Campus, não constavam especificações técnicas dos materiais empregados na edificação (CARVALHO, 2021). A Figura 2 descreve os principais materiais construtivos que compõem a edificação em análise.

Figura 2 - Materiais construtivos

ELEMENTO	TIPO	DESCRIÇÃO
Parede	Externas	Alvenaria em tijolo cerâmico com espessura de 9 cm, acabamento em argamassa (reboco) em ambos os lados. O lado interno possui ainda uma pintura em látex branca e meia parede em cinza escuro. Já o lado externo é revestido em cerâmica na cor barro, com espessura de 15 cm.
	Interna (1)	Entre salas: alvenaria em tijolo cerâmico com camada em argamassa (reboco). O acabamento final consiste em pintura látex branca e meia parede cinza escuro. A composição totaliza uma espessura de 14 cm.
	Interna (2)	Entre sala e banheiro: alvenaria em tijolo cerâmico com camada em argamassa (reboco). O acabamento final no lado da sala é em pintura látex branca e meia parede cinza escuro. E no lado do banheiro é em revestimento cerâmico com dimensões 25x25 cm e composição de 14 cm de espessura.
	Interna (3)	Entre banheiros: alvenaria em tijolo cerâmico com camada em argamassa (reboco) e acabamento final em revestimento cerâmico com dimensões 25x25 cm em ambos os lados da parede. A composição totaliza uma espessura de 14 cm.
Piso	Térreo	Granilite de alta resistência com espessura de 8 cm.
	1º e 2º andar	Granilite de alta resistência e laje em concreto estrutural moldado <i>in loco</i> , totalizando uma espessura de 21 cm.
Cobertura	Externa	Composta por telhas de fibrocimento com câmara de ar e laje em concreto estrutural moldado <i>in loco</i> . A espessura da telha utilizada é igual a 5 mm e a laje possui 14 cm.
Esquadrias	Portas	Em madeira pintada de azul com dimensões: 90x210 cm e 80x210 cm; em alumínio natural com vidro e dimensões 190x210 cm.
	Janelas	Em alumínio natural com vidro com dimensões variáveis.

Fonte: Adaptado Carvalho (2021).

2.3 Características dos Ambientes

No desenvolvimento do estudo os ambientes localizados na edificação foram divididos em sete ambientes principais com características de utilização semelhantes. A descrição dos mesmos, respectivas áreas e sistemas de iluminação instalados estão detalhados na Figura 3.

Figura 3 – Características dos ambientes da edificação

AMBIENTE	DESCRIÇÃO	ÁREA	ILUMINAÇÃO*
Sala de aula	Destinado apenas a realização de aulas teóricas.	866,67 m ²	8.528,00 W
Laboratório	Destinado a realização de aulas práticas, incluindo os laboratórios de informática.	1.075,42 m ²	11.588,00 W
Escritório	Composto pelos colegiados de cada curso.	287,30 m ²	3.356,00 W
Sala de reunião	Destinado a realização de reuniões, incluindo o auditório.	249,80 m ²	2.464,00 W
Banheiro	Inclui banheiros de uso comum e para portadores de necessidades especiais.	129,06 m ²	1.680,00 W
Corredor de circulação e Hall de entrada	Ambientes que possibilitam o acesso aos demais ambientes.	594,51 m ²	1.318,00 W
Saída de emergência	Composta pelas escadas e saídas de emergência.	135,30 m ²	216,00 W

*Refere-se à potência total do sistema de iluminação instalado em cada ambiente.

Fonte: Autores (2024)

Ademais, os ambientes de longa permanência possuem sistema de condicionamento de ar artificial. O equipamento instalado nesses ambientes é do tipo

Split – Cassete da marca Hitachi, com modelos de potência igual a 60.000 BTUs e 18.000 BTUs.

2.4 Aplicação do Método Prescritivo

2.4.1 Envoltória

O nível de eficiência da envoltória, segundo o RTQ-C (2013), se dá a partir do cálculo do Indicador de Consumo referente à zona bioclimática requerida. Nesta pesquisa foi utilizada a Equação 1 para o cálculo do IC_{env}, afinal a edificação encontra-se localizada na ZB – 8 e sua área de projeção é superior à 500 m² (p. 34-35 do RTQ-C).

$$IC_{env} = -160,36FA + 1277,29FF - 19,21PAF_T + 2,95FS - 0,36AVS - 0,16AHS + 290,25FFPAF_T + 0,01PAF_TAVSAHS - 120,58 \quad \text{Equação 1}$$

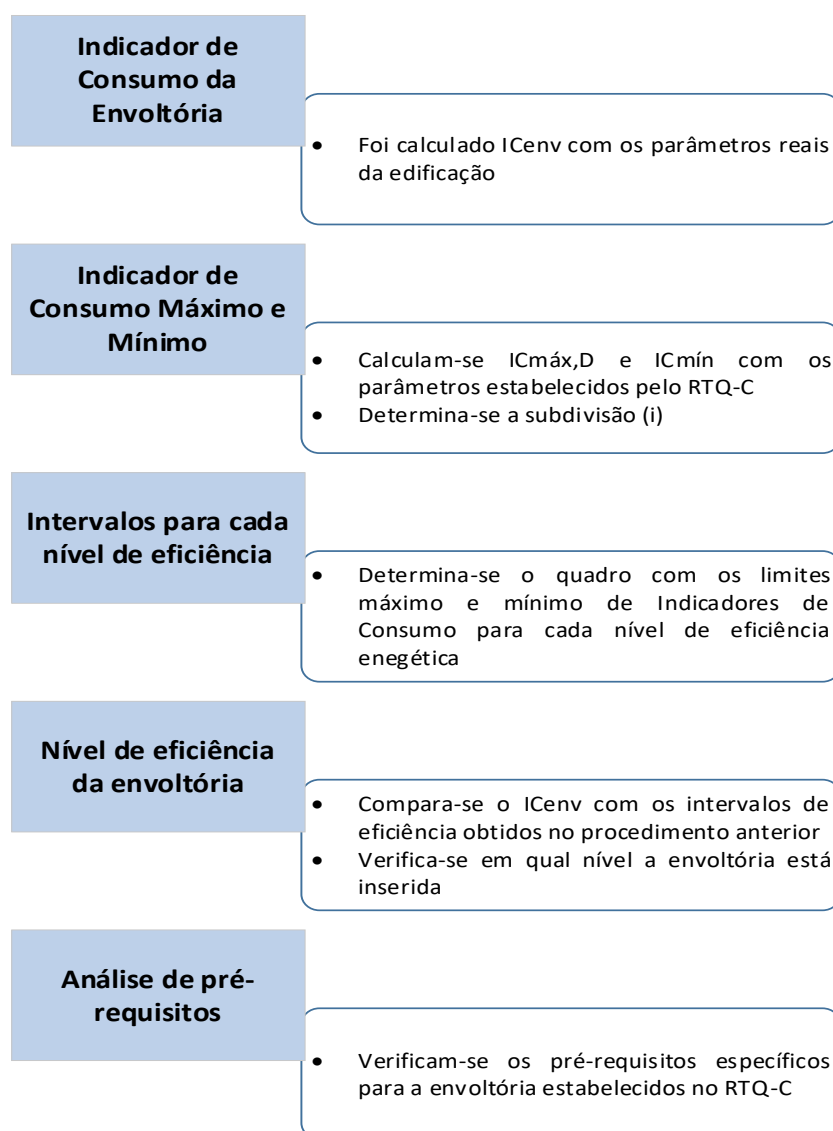
Com base nos parâmetros da edificação indicados por Silva et al. (2023), foi possível determinar o valor para IC_{env} e a partir das Tabelas 3.2 e 3.3 do RTQ-C (2013) foram determinados os valores para IC_{máx,D} e IC_{mín}, através da Equação 1. Além disso, foi determinado o valor para subdivisão (i) de acordo com a Equação 2 (p. 36 do RTQ-C), para que fossem definidos os intervalos de eficiência energética de cada nível, indicados na Tabela 3.3 do RTQ-C (2013).

$$i = \frac{IC_{máxD} - IC_{mín}}{4} \quad \text{Equação 2}$$

Posteriormente, foi realizada a comparação entre o resultado obtido para o IC_{env} e os intervalos com os limites máximo e mínimo para o IC com o intuito de verificar o nível de eficiência da envoltória. Para finalizar, foi realizada a verificação dos pré-requisitos específicos relacionados à transmitância térmica e absorvância

solar de paredes e coberturas. Para esta análise foram considerados os dados informados em Silva et al. (2023). Os procedimentos realizados foram esquematizados na figura a seguir:

Figura 4 – Sequência de procedimentos para avaliação da envoltória.



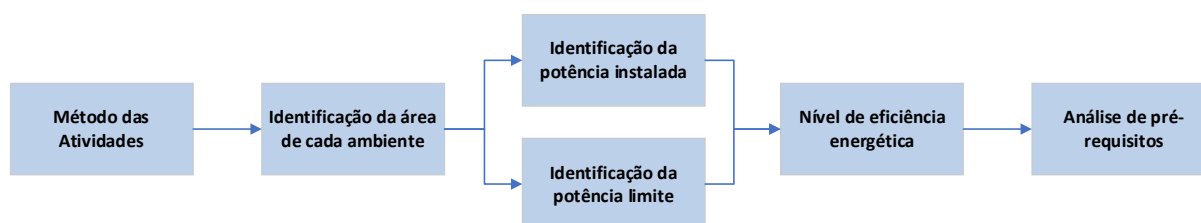
Fonte: Autores (2024)

2.4.2 Sistema de Iluminação

A classificação da eficiência energética para o sistema de iluminação foi realizada a partir da avaliação dos limites de potência e verificação dos pré-requisitos estabelecidos no regulamento, de acordo com o nível de eficiência pretendido.

Como a edificação em análise possui ambientes para diversas finalidades, tais como, escritório, sala de aula e laboratórios para variados fins, foi utilizado na avaliação do sistema o Método das Atividades do edifício. Para isto, os procedimentos realizados seguiram o esquema ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Sequência de procedimentos para análise do sistema de iluminação



Fonte: Autores (2024)

Para o cálculo da potência limite foi utilizada a Tabela 4.2 do RTQ-C. A partir dos resultados referentes à potência instalada e potência limite, foi realizada a comparação entre eles e, então, verificado o nível de eficiência energética para cada ambiente.

A classificação final do sistema foi obtida a partir da comparação entre a potência total instalada na edificação com o somatório das potências limite de cada ambiente para o mesmo nível de eficiência. Por fim, objetivando validar o resultado, foram verificados os pré-requisitos definidos no item 4.1 do RTQ-C.

2.4.3 Condicionamento de Ar

Inicialmente foi verificado o modelo dos condicionadores de ar presentes na edificação. Assim, foi coletada, através da tabela referente a etiquetagem de condicionamento de ar do INMETRO/2022 disponível no site do instituto, a

classificação atribuída a estes equipamentos de forma direta. Por fim, foi verificado se a edificação possui sistemas que melhorem a sua eficiência energética, considerados bonificações. A determinação final do nível de eficiência energética foi realizada com base no cálculo da pontuação total através da Equação 3 (p. 17 do RTQ-C).

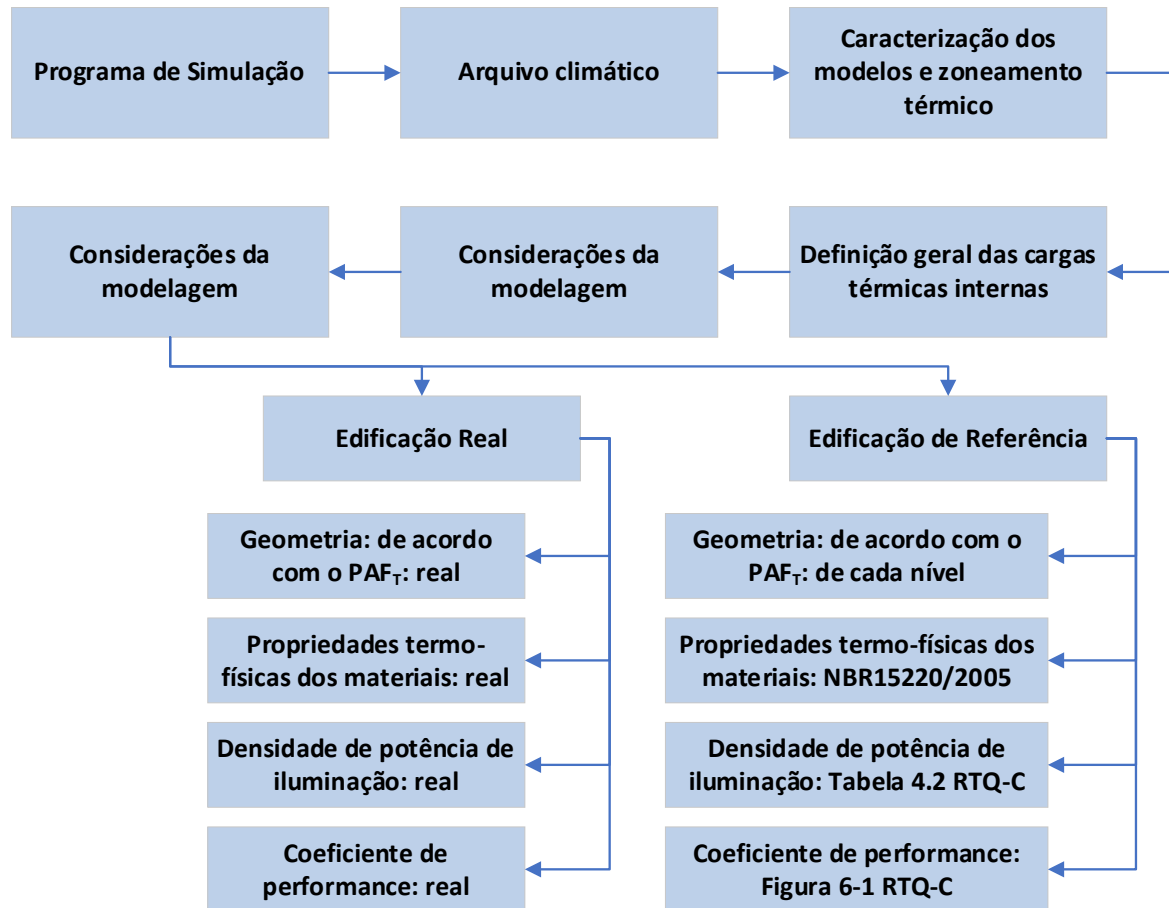
$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) \\ + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

Equação 3

2.4.4 Aplicação do método de Simulação Computacional

Os procedimentos e considerações que embasaram a classificação do edifício pelo método de simulação computacional foram esquematizados e apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Esquema de aplicação do método de simulação computacional.



Fonte: Autores (2024)

Para a construção do projeto foi utilizado o software Trimble SketchUp Pro, onde foram desenvolvidos os modelos com as características reais e que posteriormente foram ajustadas as demais especificações da RTQ-C. Em seguida, na fase das simulações, foi utilizado o software *OpenStudio 3.3.0*, que permitiu desenvolver as análises dos cenários energéticos em diversas condições. Os materiais aplicados em cada modelo foram definidos em Silva et al. (2023). Assim, foram analisados e comparados os resultados obtidos para o nível de eficiência energética da edificação através dos métodos prescritivo e simulação computacional.

Por fim, foi realizada uma simulação computacional considerando alguns materiais construtivos sugeridos por Carvalho (2021) com o intuito de apresentar alternativas que pudessem viabilizar a melhoria no nível de eficiência energética da

edificação em consonância com o seu conforto ambiental. Para esta situação, foi considerada a cobertura contendo EPS e lã de rocha, as paredes externas foram simuladas com EPS e as janelas contendo brise e vidro térmico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Método Prescritivo: Envoltória

Para determinação do nível de eficiência energética da envoltória foi necessário calcular o Indicador de Consumo. Posteriormente, foram determinados os Indicadores de Consumo Máximo e Mínimo, através da Equação 1. E, de posse desses resultados, foi possível determinar a subdivisão (i) indicada na Equação 2. Os resultados foram organizados na Figura 7.

Figura 7 – Resultados para os Indicadores de Consumo e subdivisão.

PARÂMETRO	RESULTADO
IC_{env}	142,87
$IC_{máxD}$	155,20
$IC_{mín}$	128,66
Subdivisão (i)	6,64

O indicador de consumo máximo representa o valor máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste resultado, a classificação será E. Dessa forma, foram obtidos os limites para cada nível de eficiência energética, conforme Figura 8.

Figura 8 – Limites máximo e mínimo para cada nível de eficiência energética.

NÍVEL	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	135,30	141,94	148,60	155,21
Limite Máximo	135,29	141,93	148,56	155,20	-

Dessa forma, ao comparar o resultado obtido para o IC_{env} com os intervalos destacados na Figura 8, verificou-se que a envoltória pôde ser classificada como nível C de eficiência energética, afinal para este nível:

$$\text{Limite Mínimo} < IC_{env} = 142,87 < \text{Limite Máximo}$$

3.2. Análise de pré-requisitos

Com base nas propriedades termo físicas dos materiais construtivos da edificação indicados em Silva et al. (2023) foi possível verificar a envoltória quanto aos pré-requisitos específicos. A Figura 9 apresenta os resultados para a edificação construída e os limites estabelecidos pelo regulamento.

Figura 9 – Propriedades térmicas da envoltória.

ELEMENTO CONSTRUTIVO	TRANSMITÂNCIA (U)		ABSORTÂNCIA (α)	
	Edificação	Limite máximo	Edificação	Limite máximo
Paredes externas	2,221 W/(m ² .K)	2,50 W/(m ² .K)	0,40	-
Cobertura	1,105 W/(m ² .K)	2,00 W/(m ² .K)	0,64	-

Ao comparar os limites estabelecidos pelo regulamento com os dados da edificação, verificou-se o atendimento do sistema aos pré-requisitos regulamentados tanto para a transmitância térmica como para a absortância solar. Afinal, nenhum dos resultados foram superiores aos limites máximos definidos para o nível de eficiência obtido através do Indicador de Consumo. De posse desses resultados, foi possível confirmar o nível C de eficiência energética para a envoltória e seu equivalente numérico é igual a 3.

3.3. Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação da edificação pôde ser classificado a partir da comparação entre a resultante das potências limite para cada nível de eficiência e a potência total instalada. Os resultados encontrados foram apresentados na Figura 10. Os resultados referentes ao nível de eficiência energética de cada ambiente da edificação podem ser consultados em Silva et al. (2023).

Figura 10 – Comparação entre a potência total instalada e potência limite para cada nível.

NÍVEL	A	B	C	D
Potência instalada (W)	29.150,00			
Potência limite (W)	32.068,35	38.482,02	44.895,69	51.309,36

Observando a Figura 10, verifica-se que a potência total instalada na edificação é inferior ao limite de potência encontrado para o nível A de eficiência, permitindo, inicialmente, que o sistema de iluminação seja classificado nesse nível. Contudo, ainda é necessário verificar o atendimento aos pré-requisitos específicos para confirmar o resultado obtido.

3.4. Análise de pré-requisitos

Para que o nível de eficiência encontrado através do Método das Atividades seja mantido é preciso que todos os pré-requisitos para o sistema sejam atendidos em todos os ambientes analisados. No entanto, foi verificado que alguns critérios não foram obedecidos, como por exemplo, a contribuição da luz natural. Neste caso, uma nova classificação foi atribuída aos ambientes.

Então, a classificação final do sistema de iluminação foi obtida a partir da ponderação entre o equivalente numérico dos novos níveis de eficiência e a potência total instalada em cada ambiente. Os resultados foram apresentados na

Figura 11:

Figura 11 – Ponderação por potência dos ambientes e classificação final do sistema.

Ambiente	Nível Atual	Eq. Numérico	Potência Instalada (W)	Potência · Eq. Numérico (W)
Sala de aula	C	3	8.528,00	25.584,00
Laboratório	C	3	11.588,00	34.764,00
Escritório	C	3	3.356,00	10.068,00
Sala de reunião	C	3	2.464,00	7.392,00
Banheiro	C	3	1.680,00	5.040,00
Corredor de circulação e Hall de entrada	C	3	1.318,00	3.954,00
Saída de emergência	A	5	216,00	1.080,00
TOTAL			29.150,00	87.882,00
PONDERAÇÃO			3,015	

Portanto, constata-se que o sistema de iluminação é classificado em nível C de eficiência energética e seu equivalente numérico é igual a 3,015.

3.5. Sistema de Condicionamento de ar

O sistema foi avaliado de maneira direta. Dessa forma, foi verificado que o modelo instalado na edificação é classificado pelo INMETRO em nível B de eficiência e o seu equivalente numérico é igual a 4. Além disso, o modelo possui um Coeficiente de Performance (COP) igual a 3,08.

3.6. Classificação Final

A partir dos resultados obtidos para cada sistema foi possível classificar a edificação através da Equação 3. Os parâmetros de entrada na equação, bem como, o resultado referente a pontuação total da edificação, foram organizados na Figura 12.

Figura 12 – Parâmetros de entrada e cálculo da pontuação total.

PARÂMETROS	VALOR
AC	2.394,47
AU	3.253,34
APT	858,87
ANC	0,00
EqNumV	1,00
EqNumDPI	3,015
EqNumCA	4,00
EqNumEnv	3,00
b^1_0	0,00
PONTUAÇÃO	3,67

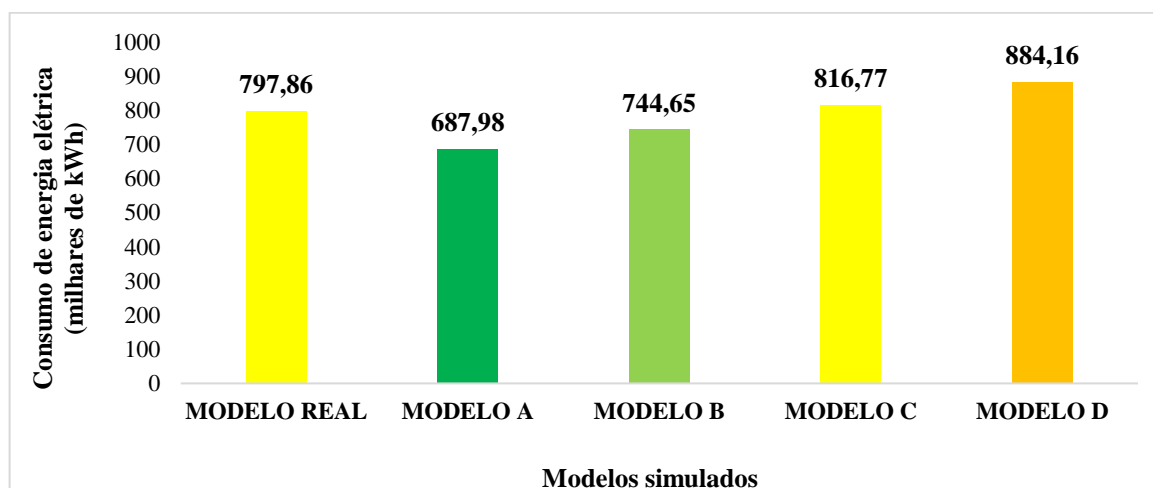
De acordo com a pontuação obtida e os intervalos para cada nível de eficiência definidos na Tabela 2.3 do RTQ-C (2013), verifica-se que o resultado da edificação se encontra entre os limites estabelecidos para o nível B de eficiência.

3.7. Simulação Computacional

O nível de eficiência energética da edificação através do método de simulação do RTQ-C foi determinado a partir da comparação do consumo anual de energia elétrica do modelo real com os modelos de referência para cada nível. Nesse sentido, é preciso demonstrar que esse resultado para a edificação em suas condições reais é igual ou inferior ao modelo de referência para que seja classificada com tal nível. Os

resultados obtidos para o consumo anual de energia das simulações foram organizados no gráfico ilustrado pela Figura 13:

Figura 13 – Consumo anual de energia elétrica em milhares de kWh para cada modelo simulado.



Ao analisar o gráfico apresentado na Figura 13 é possível identificar um crescimento no consumo anual de energia elétrica nos modelos de referência à medida que propriedades da edificação são alteradas, como esperado. Afinal, quanto menor o consumo de energia elétrica em uma edificação, melhor é a sua classificação em relação ao nível de eficiência energética.

Verifica-se que o consumo do modelo real é superior ao obtido para o modelo B, porém inferior ao encontrado para o modelo C. Assim, é possível classificar a edificação como nível C de eficiência energética pelo método de simulação computacional.

3.8. Comparação entre os métodos

A partir da análise dos resultados, constatou-se uma divergência entre a classificação final da edificação pelos métodos prescritivo e simulação computacional. Através do primeiro método foi determinado o nível B de eficiência ao passo que o segundo indicou um nível C de eficiência energética (Figura 14).

Figura 14 – Resultados para os níveis de eficiência energética da edificação.

MÉTODO	Prescritivo	Simulação Computacional
NÍVEL DE EFICIÊNCIA	B	C

Essa divergência corrobora com o estudo acerca da imprecisão do método prescritivo devido à ausência de considerações como o uso e operação dos sistemas na edificação. O resultado obtido pelo método informa apenas índices de consumo, sem relação direta com o consumo de energia elétrica da edificação. Ao passo que a simulação computacional permite, não somente a obtenção do consumo anual de energia elétrica, como também entender o funcionamento dos equipamentos na edificação considerando o clima em que está inserida, como por exemplo, o sistema de condicionamento de ar.

Neste caso, para o método prescritivo, onde a classificação é determinada de maneira direta devido o modelo de equipamento instalado, foi obtido o nível B de eficiência energética. No entanto, ao realizar a análise pelo método de simulação, levando em considerações o padrão de uso e condições climáticas, verificou-se um consumo de energia elétrica em nível D de eficiência, reforçando a ideia de que a simulação computacional possibilita resultados mais precisos por buscar a aproximação dos modelos simulados a condições reais.

Mesmo que os resultados obtidos tenham sido divergentes, ambos os métodos indicaram que a edificação não possui as melhores condições para garantir a eficiência energética, dando margem para aplicação de soluções que objetivem o nível A de eficiência. Nessa perspectiva, as melhorias variam desde alterações na envoltória do prédio até a modificação nos sistemas instalados. Para a envoltória, a inserção de elementos de sombreamento, por exemplo, forneceria um menor Indicador de Consumo, contribuindo com o aumento na eficiência energética do sistema.

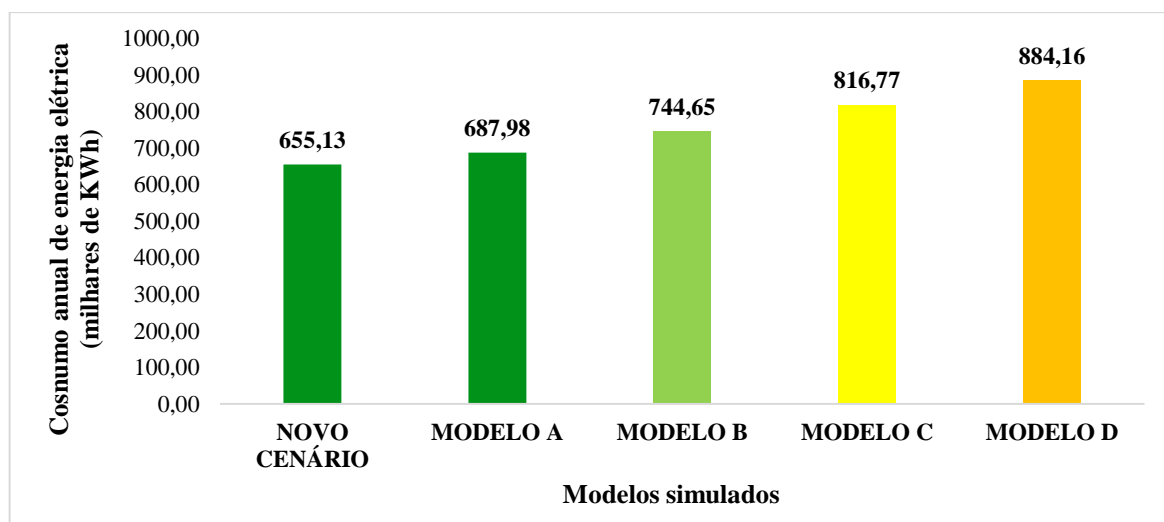
Em se tratando de possíveis soluções para os sistemas instalados, foi verificada uma queda considerável na classificação da iluminação após análise dos pré-requisitos específicos pelo fato de não ser atendido o critério de contribuição da luz natural. Isso indica que a existência de um acionamento específico para a fileira

de lâmpadas paralela as aberturas, resultaria em um nível de eficiência mais elevado para o sistema e, conseqüentemente, acarretaria em uma melhoria significativa na eficiência energética da edificação. Em relação ao sistema de ar condicionado, sugere-se que os aparelhos sejam substituídos por outros com classificação A de eficiência, conforme atribuição do Inmetro.

3.9. Requalificação da edificação

Conforme fora citado, algumas alterações na envoltória do edifício forneceriam melhores resultados para a sua eficiência energética. Nessa perspectiva, após a inserção dos materiais sugeridos por Carvalho (2021) na simulação computacional para uma possível requalificação do edifício foi verificado o consumo anual de energia elétrica para esse novo cenário, conforme indicado na Figura 15.

Figura 15 – Consumo anual de energia elétrica em milhares de kWh para um novo cenário.



A comparação entre o resultado obtido para o novo cenário e os modelos de referência indica que materiais como EPS e lã de rocha, como também a utilização de vidro térmico nas fachadas, são alternativas para obtenção de melhores resultados para a envoltória. De acordo com Carvalho (2021), a combinação desses materiais com a adição de brise nas aberturas possibilitou um resultado positivo no que tange

ao desempenho térmico da edificação. O mesmo foi verificado na análise do desempenho energético, afinal o consumo anual de energia para esse cenário foi inferior ao indicado pelo modelo A de referência (Figura 15). Portanto, foi possível verificar que tal requalificação permite a obtenção do nível A de eficiência energética.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi estruturado a partir da necessidade de avaliar o desempenho energético de edificações construídas, atentado para a relevância de informações relacionadas à eficiência energética, já que os processos construtivos estão em constante evolução e, portanto, precisam estar em conformidade com as questões referentes a sustentabilidade ambiental. O principal objetivo consistiu em classificar o edifício CET da Universidade Estadual de Santa Cruz quanto ao nível de eficiência a partir dos modelos de avaliação indicados do Regulamento Técnico de Qualidade para Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas.

Através do método prescritivo do RTQ-C foi evidenciado que a edificação se encontra no nível B de eficiência energética. Apesar dos sistemas isolados, envoltória e iluminação, permitirem a classificação C, o condicionamento de ar, por sua vez foi classificado como nível B de eficiência. Este sistema corresponde à 40% da pontuação total, maior peso entre os sistemas, portanto, gera um incremento ao nível de eficiência energética final da edificação. É válido ressaltar que o método possui algumas limitações que podem interferir diretamente no resultado obtido.

Já o método de simulação computacional do RTQ-C permitiu uma classificação mais inferior indicado pelo nível C de eficiência. Nesse caso, características de uso e ocupação foram consideradas na avaliação do edifício, o que torna o resultado mais preciso, quando comparado ao método anterior. Além disso, o método possibilitou a análise do sistema de resfriamento da edificação, indicando um elevado consumo anual de energia elétrica com climatização artificial. Este resultado corrobora com a previsão da NBR 15220/2005 a respeito da insuficiência no condicionamento térmico natural em edificações inseridas na Zona Bioclimática 8.

Nesse sentido, apesar da edificação possuir um Percentual de Abertura de Fachada considerável, principalmente, ao comparar com o modelo de referência para o nível A, o uso de equipamentos que realizam o fluxo de ar forçado, tais como, ar condicionado torna-se justificável, durante a utilização dos espaços, devido à localização do edifício. Portanto, o consumo de energia elétrica tende a ser maior. Mesmo com a distinção entre os resultados obtidos pelos métodos prescritivo e de simulação computacional, especialmente, devido às limitações do primeiro, ambos indicaram que a edificação não possui condições para o melhor nível de eficiência energética, dando espaço para implementação de melhorias em possíveis reformas, considerando que a partir destas a eficiência energética da edificação deverá atingir o nível A.

Ademais, relembra-se o fato de que todas as análises deste trabalho foram realizadas com base nas características da edificação construída. Portanto, a necessidade de aperfeiçoamento nos sistemas reforça a importância da concepção de um projeto considerando, dentre outros aspectos, o desempenho energético da edificação para que não seja necessária a realização de modificações, após execução, objetivando atingir um melhor nível de eficiência.

5 REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei Federal 10.295, de 17/10/2001. Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 24/08/2024

CARVALHO, T. G. de. *Avaliação do conforto ambiental no edifício CET/UESC através da requalificação dos materiais de construção e modelagem computacional.* 2021. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3X69HQd>. Acesso em: 27/08/2024

EPE. *Atlas da Eficiência Energética Brasil 2021.* MME/EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2021>. Acesso em: 27/08/2024

GOMES, M. F.; FERREIRA, L. J. *Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável.* Direito & Desenvolvimento. V9. N.2. 2018. Disponível



<https://www.faccrei.edu.br/revista>

em: <https://doi.org/10.25246/direitoedesenvolvimento.v9i2.667>. Acesso em: 26/08/2024

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25/08/2024

PBE - EDIFICA, P. *Nova Instrução Normativa Inmetro*. 2022. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/nova-ini>. Acesso em: 25/08/2024

PROCEL. *Lei de Eficiência Energética*. 2014. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>. Acesso em: 24/08/2024.

PBE Edifica. *RTQ-C: Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. 2013. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>. Acesso em: 25/08/2024

SILVA, C. da C.; LIMA, C. A. de; CARVALHO, T. G. *Avaliação da eficiência energética no prédio “Evandro Sena Freire” (CET/UESC) usando os critérios de etiquetagem e RTQ/Inmetro* Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). UESC. 2023. Disponível em: <http://bit.ly/3YEyzxr>. Acesso em: 26/08/2024

SILVA, M. K. P. da. *Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica*. 2019. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/node/829>. Acesso em: 26/08/2024

Recebido em: 13/02/2024.

Aprovado em: 07/08/2024.