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

Aplicação da Regulamentação de Etiquetagem em Escola Pública de Manaus: Estudo de Caso

Case Study Considering the Application of Brazilian Building Labeling Regulations in A Public School in Manaus

Amanda Paiva Apolinário
UFPA | Belém | Brasil | amandaapaiva@gmail.com
Jackquelline Cristina do Nascimento Azevedo
UFPA | Belém | Brasil | jackquelline.21@hotmail.com
Filipe Menezes Vasconcelos
UFPA | Belém | Brasil | filipe.vasconcelos01@gmail.com
Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
UFPA | Belém | Brasil | carminda@ufpa.edu.br

Resumo

Este estudo investiga a aplicação da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) como uma ferramenta para promover a eficiência energética em escolas públicas de Manaus, com potencial de expansão para outras instituições de ensino na região Norte. O problema abordado é a necessidade de melhoria da eficiência energética em edifícios públicos, especialmente em escolas, para cumprimento das exigências legais e redução de consumo energético. O objetivo é avaliar a eficácia da INI-C na classificação e melhoria da eficiência energética das edificações escolares. O método envolveu a análise de parâmetros arquitetônicos e de consumo energético para calcular a carga térmica anual total de uma escola, resultando em uma classificação energética inicial de categoria C. Foram sugeridas modificações nos parâmetros da edificação visando alcançar uma classificação mais elevada. Os resultados indicam que, com ajustes adequados, é possível atingir uma classificação A, demonstrando que a INI-C é uma ferramenta viável e eficaz para orientar o *retrofit* e a construção de novas escolas energeticamente eficientes. A contribuição do artigo reside na orientação oferecida para profissionais da área, destacando a importância da INI-C no cumprimento da legislação e na promoção da eficiência energética nas edificações escolares.

Palavras-chave: Desempenho energético. Edificação pública. Eficiência energética.

Como citar:
APOLINÁRIO, A. P. et. al. Estudo de caso considerando a aplicação da regulamentação brasileira de etiquetagem de edificações em uma escola pública em Manaus. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

This study investigates the application of the Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service, and Public Buildings (INI-C) as a tool to promote energy efficiency in public schools in Manaus, with potential for expansion to other educational institutions in the Northern region. The problem addressed is the necessity to improve energy efficiency in public buildings, particularly in schools, to meet legal requirements and reduce energy consumption. The objective is to assess the effectiveness of INI-C in classifying and enhancing the energy efficiency of school buildings. The method involved analyzing architectural parameters and energy consumption to calculate the building's total annual thermal load, resulting in an initial energy classification of Category C. Modifications to the building's parameters were suggested to achieve a higher classification. The results indicate that, with appropriate adjustments, it is possible to attain an A rating, demonstrating that INI-C is a viable and effective tool for guiding the retrofit and construction of energy-efficient schools. The article's contribution lies in the guidance it offers to professionals in the field, highlighting the importance of INI-C in complying with legislation and promoting energy efficiency in school buildings.

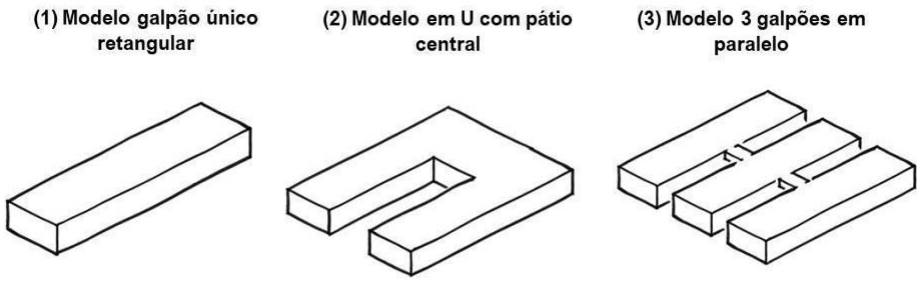
Keywords: Energy performance. Public building. Energy efficiency.

INTRODUÇÃO

A preocupação em ofertar um mínimo de conforto ambiental em ambientes escolares é uma importante estratégia educacional [1]. A eficiência energética é a utilização da energia elétrica de forma mais inteligente, sem prejudicar as atividades executadas. Sabendo que edificações consomem aproximadamente 50% da energia elétrica do país durante a fase de uso e operação, os projetistas devem adotar escolhas mais eficientes em materiais para envoltória, e deixar infraestrutura preparada para futuras instalações como energia solar e aproveitamento da água [2]. As edificações situadas na região Norte do Brasil sofrem com um clima quente e úmido, devendo, portanto, seguir algumas soluções arquitetônicas para amenizar a sensação térmica elevada.

De acordo com os dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Educação (SEMED), Manaus possui atualmente 417 escolas municipais no meio urbano, distribuídas entre edificações cedidas, alugadas, ocupadas e próprias [3]. Nesse contexto, podem ser identificados diferentes padrões construtivos de edificações escolares, sendo mais comuns as edificações simples, com apenas um pavilhão em formato retangular. Há também edificações com formato em U e dois pavimentos, criando um pátio central, e edificações com três pavilhões paralelos entre si, criando afastamentos que permitem a ventilação cruzada. A Figura 1 apresenta um croqui desses modelos construtivos mais comuns.

Figura 1: Croqui de modelos arquitetônicos escolares em Manaus.



Fonte: Autores.

Com base nessa diversidade de modelos, é viável aplicar um método de avaliação das edificações que classifique o consumo energético, seguindo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) [4]. A INI-C, desenvolvida pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), estabelece critérios e requisitos para a classificação da eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas. A aplicação da INI-C em edificações públicas é uma obrigatoriedade pela Instrução Normativa nº02 de 2014 (IN MPOG/SLTI Nº 02/2014) e mostra-se como uma estratégia para promover a eficiência energética nas edificações públicas. Ao atender essas regulamentações, as escolas públicas podem se tornar disseminadoras de uma cultura de eficiência energética para os cidadãos brasileiros.

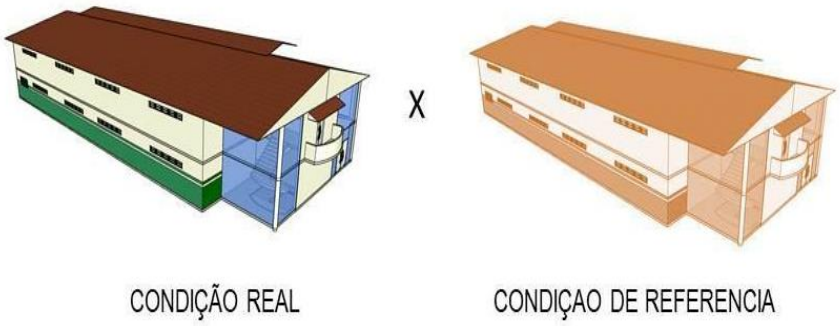
Nesse sentido, o objetivo do trabalho é classificar, por meio da avaliação pelo método da INI-C, a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar de uma escola pública situada em Manaus/AM. Com base nos resultados obtidos, serão apresentadas propostas arquitetônicas visando elevar o nível de eficiência energética da edificação em análise.

REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES

No Brasil existe o sistema de certificação pelo PBE Edifica, que é a união do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e do Procel Edifica, um dos subprogramas do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). O PBE Edifica atribui etiquetas que indicam o nível de eficiência energética de um edifício, ajudando consumidores e profissionais a tomar decisões mais assertivas no que diz respeito à construção e uso de energia.

A INI-C tem como objetivo orientar o avaliador para classificar a eficiência energética de uma edificação, visando a sua etiquetagem. Essa classificação é realizada com base no consumo de energia primária, comparando o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D, no caso de edificações comerciais (Portaria INMETRO nº 309, de 06/09/2022), conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2: Edificação na condição real e na condição de referência.



Fonte: Autores.

Pela INI-C, uma edificação pode ser classificada de forma geral a partir da avaliação do consumo de todos os sistemas envolvidos (envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) ou de uma avaliação parcial, levando em consideração a avaliação de sua envoltória somente ou da envoltória e mais um ou dois sistemas anteriormente citados, como demonstra a tabela 5.1 da INI-C. A avaliação do consumo de energia pode ser realizada pelo método simplificado ou por simulação. O método de simulação utiliza programas computacionais para representar a edificação, como o EnergyPlus. As diretrizes de aplicação deste método estão descritas no anexo C da INI-C.

O método simplificado para a envoltória utiliza como base um metamodelo que reúne um banco de dados de simulações computacionais, no qual são inseridos os parâmetros e características da edificação em análise, de acordo com o anexo B da INI-C, sendo a metodologia aplicada neste trabalho. A INI-C também inclui condições de elegibilidade, que se não forem cumpridas não permitem a classificação “A” da edificação, mesmo que os resultados indiquem um valor favorável. Essas condicionantes estão impostas aos três sistemas analisados: de ar condicionado, iluminação e aquecimento de água (Item 7 da INI-C).

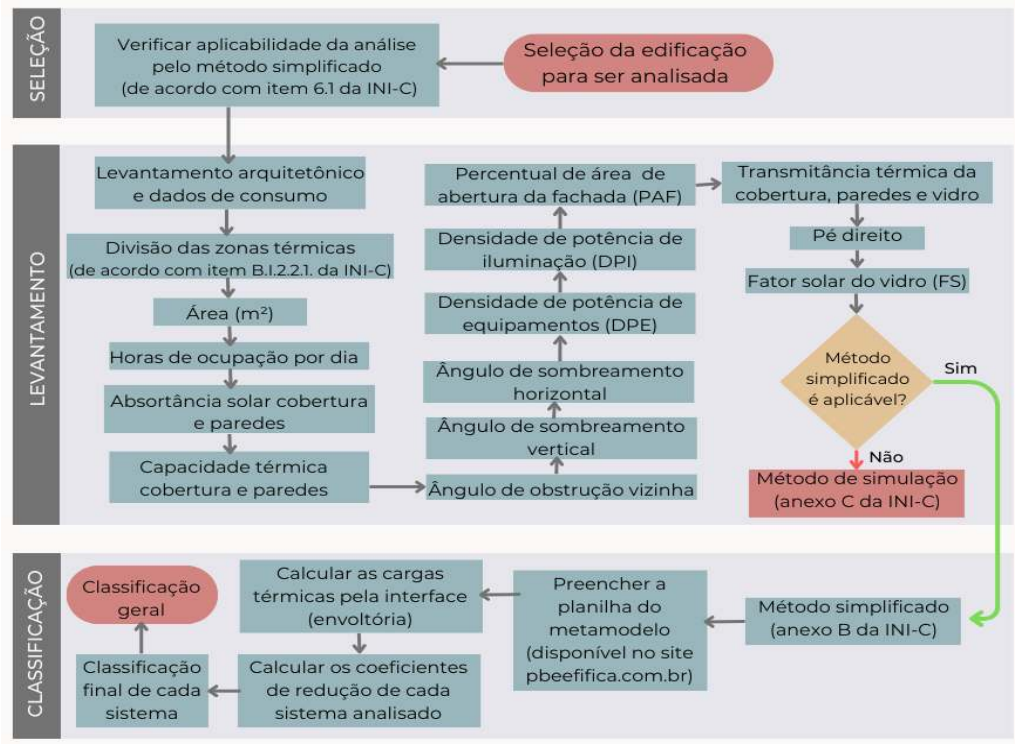
O capítulo 8 da INI-C descreve os procedimentos para determinar a classificação de eficiência energética de uma edificação comercial, de serviço ou pública. Após a aplicação de todos os procedimentos metodológicos e cálculos de acordo com as equações descritas no anexo B, é possível obter o consumo energético anual da edificação na condição real e na condição de referência, encontrando-se, assim, o coeficiente de redução de energia primária. Quanto maior a redução no consumo, melhor será a classificação da edificação. Após esse procedimento é possível submeter a análise para obtenção da ENCE.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para chegar à classificação geral da edificação, foi seguido o fluxo de trabalho apresentado na Figura 3, iniciando pela seleção da escola como objeto de análise, seguida do levantamento de dados arquitetônicos e de consumo energético da edificação e da confirmação de aplicação do método simplificado da INI-C. Serão realizadas as análises da envoltória, do sistema de ar condicionado e do sistema de iluminação para obter a classificação geral da edificação.

A avaliação do sistema de aquecimento de água não será considerada, pois não se aplica ao objeto de análise. Caso o método simplificado não seja aplicável, é necessário analisar a edificação pelo método de simulação.

Figura 3: Fluxo da metodologia de análise da eficiência energética da edificação escolar.



Fonte: Autores.

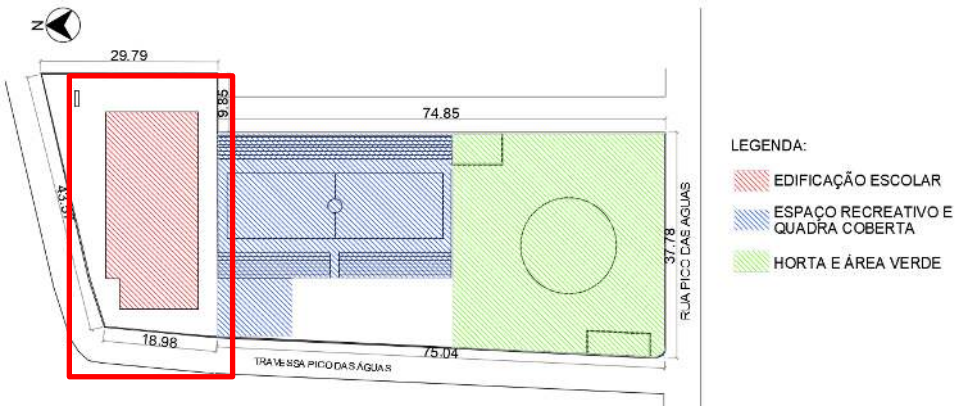
As sessões a seguir apresentam os dados do objeto de análise e a metodologia para classificação de eficiência energética pela INI-C em uma edificação escolar. Esse procedimento envolve cálculos preliminares, que permitirão a aplicação das demais etapas do método simplificado da INI-C, possibilitando a obtenção da classificação geral da edificação, apresentada em Resultados.

OBJETO DE ANÁLISE

A edificação selecionada para ser analisada é uma escola de Ensino Fundamental I, com horário das aulas de 7h às 16h e expediente administrativo de 7h às 17h. O complexo escolar pode ser setorizado por três ambientes distintos, sendo representados pela Figura 4.

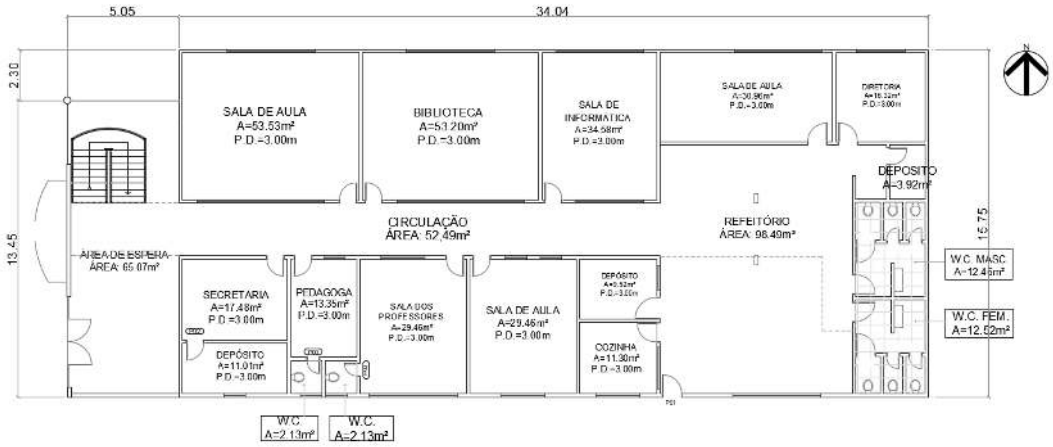
A edificação possui dois pavimentos e área construída total de 1.208,10m², divididos em 11 salas de aula, biblioteca, sala de informática, refeitório, salas administrativas, banheiros e circulação. A Figura 5 apresenta a planta baixa do pavimento térreo, contendo o ambiente administrativo da escola, refeitório, biblioteca e 3 salas de aula.

Figura 41: Implantação da edificação escolar a ser analisada



Fonte: Autores

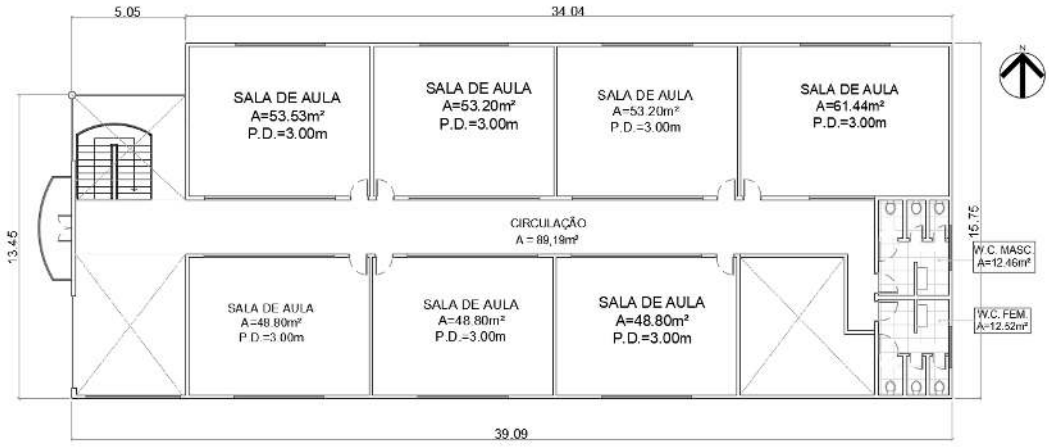
Figura 52: Planta baixa do pavimento térreo



Fonte: Autores

A Figura 6 apresenta a planta baixa do pavimento superior, com 8 salas de aula e banheiros.

Figura 63: Planta baixa do pavimento superior



Fonte: Autores

Após o levantamento arquitetônico e elaboração da planta baixa, cortes e fachadas, foi observado no local os tipos de materiais utilizados nas paredes, cobertura, cores de tinta, além dos equipamentos, aparelhos de ar condicionado e tipos de luminárias, com a finalidade de coletar as informações necessárias para análise da eficiência energética da edificação por meio do método simplificado da INI-C.

APLICABILIDADE DO MÉTODO SIMPLIFICADO

O método simplificado utiliza a mesma edificação em uma condição de referência com classificação D, cujo desempenho deve ser comparado ao da edificação real, a fim de ser obtida a classificação de eficiência da edificação real, que vai de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para a edificação em questão, foi consultada a Tabela A.2 da INI-C, onde são apresentados os valores para a condição de referência de edificações educacionais. Dessa forma, é necessário fazer o levantamento de todos os parâmetros contidos nesta tabela. Esses dados podem ser obtidos por meio do projeto arquitetônico atual e detalhado ou por visita *in loco* à edificação.

Os dados de absortância solar da cobertura e parede, capacidade térmica da cobertura e parede externa, fator solar do vidro, pé direito e transmitância térmica da cobertura, parede externa e vidro foram obtidos a partir de consulta à portaria INMETRO nº 50/2013, considerando as características físicas observadas no local durante o levantamento arquitetônico.

O Quadro 1 reúne as informações dos materiais usados na escola em análise.

Quadro 1: Informações sobre materiais construtivos da edificação escolar.

Sistema construtivo	Absortância solar	Transmitância térmica	Capacidade térmica	Fator Solar (vidro)
Cobertura	0,7	2,46 W/m²K	150 kJ/m²K	-
Paredes externas cor pérola	0,35	2,05 W/m²K	238 kJ/m²K	-
Paredes externas cor verde bandeira	0,75	2,05 W/m²K	238 kJ/m²K	-
Vidro comum (6mm)	-	5,79 W/m²	-	0,87

Fonte: Autores.

De acordo com o quadro 1, as paredes externas e internas da edificação são de tijolo cerâmico revestido com massa corrida e pintura que varia entre as cores verde bandeira e pérola. A cobertura é em telha cerâmica apoiada sobre estrutura de madeira e forro em laje convencional. Os vidros das janelas são comuns, de 6mm.

Seguindo o fluxo de trabalho, os valores de ângulo de sombreamento (horizontal, vertical e de obstrução vizinha) foram calculados de acordo com a característica física construída. A densidade de potência de equipamentos e de iluminação foram calculadas a partir das informações obtidas do levantamento realizado no local.

Ainda nesta etapa é necessário fazer o zoneamento térmico da edificação, que consiste em dividir a edificação em zonas de acordo com suas características térmicas e critérios estabelecidos pelo item B.I.2.2.1. da INI-C. Para a edificação em questão, foram encontradas ao todo 24 zonas térmicas, sendo 18 no pavimento térreo e 6 no pavimento superior. Para cada zona térmica é necessário encontrar 16 parâmetros (descritos no item B.I.2.2.1 da INI-C) que serão aplicados ao metamodelo a fim de calcular o valor da carga térmica total anual da edificação.

A partir dos dados coletados, foi elaborado o Quadro 2, destacando nas colunas 1 e 2 os parâmetros que devem ser analisados e os intervalos dentro dos quais poderá ser aplicado o método simplificado, de acordo com a tabela 6.1 da INI-C; a terceira coluna mostra os valores calculados para a edificação que está sendo analisada.
Ao realizar a comparação de valores entre o intervalo de aplicação e os dados da edificação em análise para cada parâmetro, foi identificada a viabilidade de aplicação do método simplificado. Caso algum parâmetro estivesse fora do intervalo de aplicação, seria necessário fazer a avaliação da edificação pelo método de simulação, conforme o delineado previamente no fluxograma de trabalho da Figura 3.

Quadro 2: Verificação dos limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado.

Parâmetro	Intervalo de aplicação	Dados da edificação em análise	Método Simplificado é aplicável?
Densidade de Potência - equipamentos (DPE)	4 - 40 W/m²	10,46	Sim
Densidade de Potência - iluminação (DPI)	4 - 40 W/m²	5,66	Sim
Fator solar do vidro (FS)	0,21 - 0,87	0,80	Sim
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 - 5,7 W/m²	5,7	Sim
Absortância da cobertura (α)	0,2 - 0,8	0,7	Sim
Absortância da parede (α)	0,2 - 0,8	0,39	Sim
Pé-direito (Pd)	2,6 - 6,6 m	3,00 m	Sim
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0 - 80%	20,36%	Sim
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0 - 80°	0	Sim
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0 - 90°	21,8	Sim
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0 - 80°	51,34	Sim
Contato com o solo	Sem ou Em contato	Em contato	Sim
Transmitância da cobertura (Ucob)	0,51 - 5,07 W/m²K	2,05 W/m²K	Sim
Transmitância da parede (Upar)	0,50 - 4,40 W/m²K	2,46	Sim
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 - 450 kJ/m²K	238 kJ/m²K	Sim
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 - 450 kJ/m²K	150	Sim
Piso com isolamento	Não ou Sim	Não	Sim

Fonte: Autora

RESULTADOS

CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA

A envoltória é classificada através do cálculo de redução de carga térmica total anual. Para isso, é possível calcular a carga térmica total anual da edificação por meio do metamodelo da interface web desenvolvido pelo PBE Edifica (encontrado no site: https://pbeedifica.com.br/interface-ini-c/) [5].
Após preencher a planilha disponibilizada pelo site do PBE Edifica com os parâmetros encontrados no levantamento de acordo com as diretrizes do anexo B da INI-C, o valor calculado pela interface é a carga térmica total anual real e na condição de referência,

obtendo-se o percentual de redução de consumo (conforme o item B.I.1 da INI-C), que neste caso foi de apenas 1%, por isso a envoltória possui classificação D.

CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Para a classificação do sistema de condicionamento de ar da edificação educacional em análise foi feito um levantamento no local dos aparelhos de ar condicionado existentes. Os valores do Coeficiente de Eficiente Energética (CEE) foram obtidos consultando-se a tabela de Condicionadores de Ar Índice Antigo, disponibilizada pelo INMETRO.

Todos os aparelhos de ar condicionado presentes na escola são do tipo Split high wall. Apesar de todos os aparelhos possuírem classificação A no selo Procel, o pré-requisito para classificação A não é atendido, pois eles não possuem o Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) maior ou igual a 5,5, de acordo com a exigência do item 7.1.1 da INI-C.

Para classificação do sistema de ar condicionado é necessário calcular o consumo de refrigeração real (equação B.II.2 da INI-C) e o consumo de refrigeração na condição de referência (equação B.II.3 da INI-C). Com o resultado desses valores é possível calcular o percentual de redução de consumo (equação B.II.1 da INI-C).

Consultando-se a tabela 8.20 da INI-C para a Zona Bioclimática 8 com o valor de percentual de redução de consumo real em relação ao consumo de referência (RedCR) obtido, que foi de 16,6%, encontra-se a classificação C para o sistema de condicionamento de ar.

CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para a classificação do sistema de iluminação é necessário, inicialmente, calcular o consumo na condição real (equação B.III.2. da INI-C) e na condição de referência (equação B.III.3. da INI-C), sendo considerados a potência de iluminação total instalada e o tempo de uso desse sistema na edificação.

Ao comparar os valores calculados de percentual de redução do consumo de iluminação (equação B.III.1. da INI-C) e valores de intervalo entre as classes (i) (equação 8.11. da INI-C), de acordo com a tabela 8.21 da INI-C, o sistema de iluminação da escola avaliada possui classificação A.

Apesar de ter obtido a classificação A, a edificação não atende alguns critérios de elegibilidade necessárias para manter a classificação, descritos no item 7.2 da INI-C, sendo eles:

- A iluminação dos depósitos é acionada por interruptores que ficam fora do ambiente;
- A iluminação dos corredores é acionada diretamente no quadro de energia;
- As salas de aula possuem apenas um circuito, acionando todas as luminárias juntas, não considerando o aproveitamento da iluminação natural próximo da janela.

A INI-C admite uma tolerância de até 10% da área total da edificação não cumprir os pré-requisitos para que alcance a classificação A. Porém, a edificação em análise não cumpre os pré-requisitos listados anteriormente em mais de 50% da área da escola,

portanto, a classificação do sistema de iluminação cai para B, podendo ser aplicadas algumas melhorias para atingir a classificação A, que serão descritas posteriormente.

CLASSIFICAÇÃO GERAL

Após o levantamento de dados da edificação escolar em análise e aplicação do método da INI-C para classificação da eficiência energética, foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 3:

Quadro 3: Resumo de classificação dos sistemas da edificação em análise.

Envoltória	Sistema do condicionamento de ar	Sistema de iluminação	Geral
Classificação D	Classificação C	Classificação B	Classificação C

Fonte: Autores

Nenhum dos sistemas avaliados atinge a classificação A, resultando na classificação geral C da edificação.

RECOMENDAÇÕES PARA A CLASSIFICAÇÃO A

Na edificação analisada neste trabalho, algumas alterações projetuais podem ser realizadas para que seja alcançada a classificação A, como indicado do Quadro 4.

Quadro 4: Propostas para melhoria da eficiência energética na escola.

Sistema	Condições atuais	Alterações propostas
	Class. D	Class. A
Envoltória	Pintura do telhado cor telha (absortância solar 0,7) Pintura parede cor verde bandeira (absortância solar 0,75) Parede comum (transmitância térmica 2,05 W/m²K) Vidro comum (Fator solar 0,87)	Pintura do telhado cor pérola (absortância solar 0,34) Pintura parede cor pérola (absortância solar 0,34) Parede comum com isolação de 2cm (transmitância térmica 0,9 W/m²K) Vidro laminado 8mm (Fator solar 0,28)
Ar condicionado	Aparelhos antigos	Aparelhos com a nova etiqueta com índice IDRS mínimo de 5,5
Iluminação	Acionamento de iluminação em quadro geral	Acionamento de iluminação em interruptor, locado no ambiente iluminado

Fonte: Autores.

Para a envoltória é proposta a mudança de cor da fachada para cor clara e mudança do vidro simples para um vidro laminado, com valor de fator solar entre 0,25 e 0,30. Essas alterações já iriam garantir a classificação A da envoltória, mas para maior eficiência, poderá ser acrescentado às paredes com maior insolação direta (norte e oeste) uma isolação com Expanded Polystyrene (EPS) de 2cm.

Para o sistema de ar condicionado é necessário cumprir os pré-requisitos, instalando novos aparelhos de ar condicionado com os valores de 5,5 IDRS, pois os aparelhos de ar condicionados instalados ainda são antigos, com os índices de CEE. Cumprindo essa elegibilidade, o sistema de ar condicionado terá classificação A.

Para o sistema de iluminação também é necessário o cumprimento dos pré-requisitos de acionamento de iluminação em cada ambiente com seu interruptor independente, pois atualmente algumas luminárias são acionadas diretamente no quadro de energia. Após os ajustes indicados, a edificação educacional analisada poderá alcançar a classificação A.

Um aspecto particularmente vantajoso da abordagem da INI-C é a utilização de uma edificação de referência como ponto de comparação. Os valores determinados para cada parâmetro fornecem uma representação dos materiais menos eficientes em termos numéricos, orientando os profissionais de projeto na seleção de materiais mais apropriados desde as fases iniciais do processo. Essa prática encoraja a busca por materiais com absortância solar e transmitância térmica com valores diferentes aos valores de referência, promovendo assim a eficiência energética e o desempenho térmico otimizado nos projetos arquitetônicos.

CONCLUSÃO

Dentro da ampla abordagem do conceito de sustentabilidade, este trabalho busca oferecer uma contribuição concreta para a perspectiva ambiental através da aplicação de estratégias práticas que resultem na redução do consumo de energia elétrica em escolas públicas através da análise de edificações e ajustes na estrutura física para melhorar a eficiência energética. Esse esforço não apenas influencia a operação mais sustentável das escolas, mas também educa e inspira os alunos a valorizarem a eficiência energética como parte integrante de suas vidas e a trazerem futuras contribuições para a sociedade.

REFERÊNCIAS

[1] KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura Escolar: o Projeto do Ambiente de Ensino**. FAPESP, 2011. Capítulo 4 e 5.

[2] CBCS. Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis. **Eficiência energética no ambiente construído**. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS15_Posicionamento_EE-ambiente-construido.pdf> acesso em 16 de setembro de 2022.

[3] SEMED. **Lista de escolas da Secretaria Municipal de Educação de Manaus**. Disponível em: https://www.manaus.am.gov.br/semed/wp-content/uploads/sites/3/2024/07/enderecos-das-escolas-marco-2024.pdf

[4] Instrução Normativa do Inmetro para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, **INI-C**. Portaria 309 de 2022.

[5] PBE Edifica. **Interface para cálculo das cargas témicas INI-C**. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/interface-ini-c/. Acesso em: 10 de abril de 2024.