AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C EM EDIFÍCIO EDUCACIONAL EM MACAPÁ/AP

Kelly Katharinne da Silva Souza (1); Beatriz Castilho Corrêa (2); Felipe da Silva Duarte Lopes (3)
(1) Estudante, Graduação em Arquitetura e Urbanismo, kellykatharinne29@gmail.com
(2) Estudante, Graduação em Arquitetura e Urbanismo, biacastilhoc@gmail.com
(3) Doutor, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo, felipe.lopes@unifap.br
Universidade Federal do Amapá, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rodovia Josmar Chaves Pinto, km 02, Jardim Marco Zero, Macapá/AP, CEP 68.903-419, Tel. (96) 3312-1791

RESUMO
A nova metodologia lançada com a Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) representa um avanço significativo na maneira de avaliar o desempenho termoenergético de edificações. No Brasil, o elevado consumo de energia elétrica em edifícios públicos é atribuído ao uso de projetos padronizados que não consideram o contexto climático regional em que são implantados. Assim, o estudo dos materiais empregados e a adoção de estratégias bioclimáticas desde a fase de concepção são cruciais para alcançar a sustentabilidade ambiental e o uso racional de recursos. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência energética e o conforto ambiental de um edifício educacional localizado em Macapá-AP, com base no método de simulação da INI-C, buscando a obtenção da Etiqueta A de eficiência através do uso de estratégias bioclimáticas adequadas ao contexto amazônico. A metodologia utilizou o método de simulação da INI-C com o software *EnergyPlus*, comparando o modelo real com um modelo de referência, a partir da análise dos sistemas da envoltória, ar-condicionado e iluminação para obtenção do consumo de energia primária e obtenção da etiqueta da edificação. O conforto térmico de dois ambientes foi analisado a partir do voto médio estimado (PMV). Os resultados demonstram que a etiqueta de eficiência do projeto foi "B", com as estratégias bioclimáticas originais da concepção. Já em relação ao conforto térmico, obteve-se valores de PMV próximo à neutralidade em um período de inverno, e sensação de leve calor em período de verão.

Palavras-chave: eficiência energética, conforto térmico, etiquetagem, simulação computacional.

ABSTRACT
The new methodology launched with the Normative for Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) represents a significant advance in evaluating the thermal energy performance of buildings. In Brazil, the high consumption of electricity in public buildings is due to the use of standardized projects that do not consider the regional climate context in which they are implemented. Thus, the study of the materials used and the adoption of bioclimatic strategies from the design phase are crucial to achieve environmental sustainability and the rational use of resources. Therefore, the objective of this work is to evaluate the energy efficiency and environmental comfort of an educational building located in Macapá-AP, based on the INI-C simulation method, seeking to obtain the Efficiency Label A, using bioclimatic strategies suited to the Amazonian context. The methodology used the INI-C simulation method with EnergyPlus software, comparing the real model with a reference model, based on the analysis of the envelope, air conditioning and lighting systems to obtain the primary energy consumption and obtain the building label. The thermal comfort of two zones was analyzed from the predicted mean vote index (PMV). The results demonstrate that the efficiency label was "B", with the original design bioclimatic strategies. Regarding thermal comfort, PMV values were close to neutrality in winter, and warm sensation in a summer period.

Keywords: energy efficiency, thermal comfort, labeling, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca por ser um país com ampla diversidade de fontes renováveis de energia, mas o uso sem controle pode desencadear uma crise energética como a ocorrida em 2001. Em relação às edificações, o setor consome atualmente cerca de 51,2% da demanda de energia elétrica no país (BRASIL, 2021). As políticas públicas de eficiência energética em edificações vêm sendo aprimoradas nas últimas décadas, buscando garantir alta qualidade ambiental. Ainda assim, a maior parte dos edifícios não-residenciais no Brasil não possuem medidas de controle de consumo energético e conforto térmico, sendo necessário estudos para contribuir com o cenário em questão (ECONOMIDOU et al., 2020; FOSSATI et al., 2016).

A partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica), foi desenvolvido o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C (BRASIL, 2010). Em 2022 foi lançada uma nova metodologia com a Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), constituindo um avanço na maneira de analisar o desempenho termoenergético das edificações (BRASIL, 2022). A normativa classifica a eficiência da edificação com base no consumo de energia primária e pode ser realizada por meio dos métodos simplificado e de simulação, buscando analisar as condições da edificação real utilizando como parâmetro um modelo de referência, cuja classificação tem nível D.

Em relação aos edifícios públicos federais acima de 500 m², deve-se adotar a Etiquetagem para obter o Nível A de eficiência energética (BRASIL, 2014). Sendo assim, a obrigatoriedade da eficiência energética nas edificações públicas é crucial na elaboração de políticas governamentais voltadas ao uso racional dos recursos e sustentabilidade ambiental, uma vez que o alto consumo de energia elétrica nestas tipologias pode estar atrelado aos padrões construtivos e tecnologias escolhidas nem sempre adequadas ao contexto climático regional onde são implantadas.

Estudos recentes têm avaliado a INI-C através dos dois métodos e comparado com o RTQ-C, a fim de contribuir para a consolidação dessa nova instrução. Marques e Silva (2020) apresentaram um estudo de caso de eficiência energética da envoltória em um edifício público em Mato Grosso do Sul, buscando evidenciar a relevância dessa normativa para o contexto brasileiro, devido à ausência de estudos com foco na aplicação dessa nova metodologia. Andrade (2022) realizou uma análise da eficiência energética em edificações usando os dois métodos por simulação computacional concluindo que a INI-C apresenta uma estrutura de informações mais didática e completa. O autor afirma que essas atualizações são importantes para a popularização e adesão do método para avaliação de diferentes tipologias de edificações no Brasil. Pereira de Souza, Melo e Lamberts (2022) compararam o método simplificado e o método de simulação da INI-C, concluindo que existem diferenças nos métodos considerando o nível de exposição, e o tipo de material da envoltória, bem como o clima em que a edificação está inserida. Porém, os resultados do metamodelo e da simulação apresentam comportamento semelhante.

Nesse sentido, a adoção de estratégias bioclimáticas de projeto é crucial para a garantia de eficiência energética nas edificações, de forma a considerar o contexto climático regional. Para a região amazônica, classificada pelo clima quente e úmido, por exemplo, o uso de estratégias como sombreamento, iluminação e ventilação natural traz ganhos para a saúde e bem-estar das pessoas, além de diminuir a demanda de sistemas artificiais de iluminação e ar-condicionado, garantindo eficiência energética e redução de custos em uma edificação (CELIS; GOMES; RODRIGUES, 2022; HOLANDA, 2020; TAVARES et al., 2021). A escolha dos materiais construtivos deve ser cuidadosa, pois a envoltória do edifício tem impacto significativo no seu desempenho térmico, recomendando-se o uso de materiais leves e refletores em regiões de clima quente e úmido (FARAJI et al., 2023; LOPES, 2016).

Considerando que muitas vezes se utiliza projetos padronizados para construção de edifícios públicos sem considerar o contexto regional, este trabalho visa contribuir com a avaliação do desempenho de edificações educacionais de ensino superior segundo a metodologia da INI-C, para garantir eficiência energética e conforto ambiental para os usuários.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência energética e o conforto ambiental de um edifício educacional localizado em Macapá-AP, com base no método de simulação da INI-C, buscando a obtenção da Etiqueta A de eficiência através do uso de estratégias bioclimáticas adequadas ao contexto amazônico.

3. MÉTODO

A partir dos objetivos apresentados, este trabalho traz uma aplicação do método de simulação na INI-C em edifício educacional no contexto amazônico. Foi utilizado o software EnergyPlus 9.3 (DOE, 2019) e modelagem no SketchUp 2020 (TRIMBLE INC., 2020).

A metodologia do trabalho foi baseada em aspectos da nova INI-C, considerando a obrigatoriedade de sua aplicação nos edifícios públicos federais acima de 500 m², parâmetros construtivos que atendam a NBR 15220-3, e atendimento ao índice de conforto térmico segundo o voto médio estimado (*predicted mean vote* – PMV) para ambientes condicionados artificialmente (Figura 1).

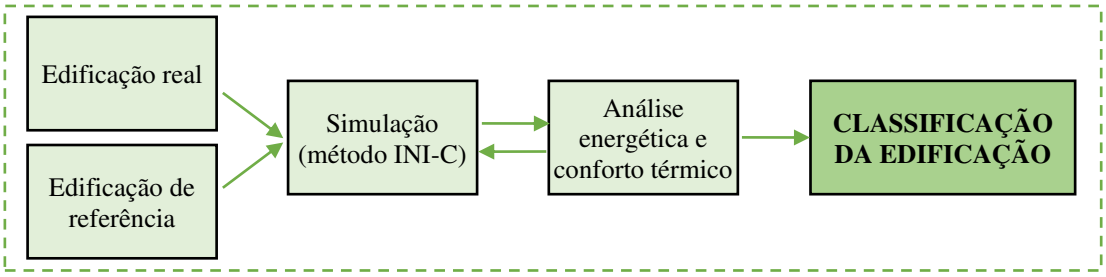


Figura 1 – Diagrama da metodologia do trabalho

A INI-C realiza a avaliação do edifício completo a partir da análise separada dos sistemas que o compõem (envoltória, ar-condicionado, iluminação e aquecimento de água). Em seguida é gerado um resultado final com base no consumo de energia primária. A edificação real é comparada com um modelo de referência com classificação "D". A porcentagem de redução do consumo de energia primária do modelo real em relação ao de referência indica sua classificação, que varia de "A" a "E", este último no caso de o consumo ser maior que o de referência. Os sistemas podem ser avaliados pelo método simplificado ou de simulação, a partir de critérios estabelecidos pela Portaria 390, de 6 de setembro de 2022.

A partir da simulação termoenergética obtém-se o consumo final dos sistemas individuais em energia elétrica. Os resultados são utilizados no cálculo do consumo de energia primária da condição real ($C_{EP,real}$) e condição de referência ($C_{EP,ref}$), para posterior identificação da classificação de eficiência energética. O programa computacional utilizado deve seguir alguns requisitos, como ser validado pela *Standard 140* (ASHRAE, 2014), modelar 8.760 horas por ano, as variações dos sistemas de iluminação, ar-condicionado, equipamentos, padrões de uso e ocupação, permitir a modelagem em zonas térmicas, simular os efeitos de estratégias bioclimáticas, dentre outros. Nesse aspecto, o *EnergyPlus* é um *software* confiável e consolidado para simulações. O programa é composto por módulos que permitem estimar a energia necessária para aquecimento e resfriamento de um edifício, baseado nas características físicas do modelo, as condições ambientais a que ele está submetido, além de padrões de ocupação e operação.

Dessa forma, foi utilizado o método de simulação da INI-C em um edifício público de ensino superior, localizado em região de clima quente e úmido, conforme descrição a seguir.

3.1 Descrição da edificação

A tipologia arquitetônica analisada consiste em um projeto para a futura sede do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Amapá (CAU-Unifap), localizada no Campus Marco Zero na cidade de Macapá-AP. Visando atender aos princípios de sustentabilidade, o projeto prevê o atendimento às normas de desempenho nacionais, uso de materiais em sistema de construção enxuta, sistema de coleta e tratamento de águas pluviais, preocupação com as estratégias de desenho bioclimático e certificação ambiental (Figura 2).

O edifício possui 03 pavimentos, com 2.893,55 m² de área total, planta em formato retangular com módulos de 7,00m x 9,00m, e fachadas principais voltadas para o eixo Norte-Sul. A setorização consiste em áreas de convivência, salas administrativas, de professores, biblioteca e auditório no pavimento térreo, laboratórios técnicos e salas de prancheta no primeiro pavimento, e salas de aula e informática no segundo pavimento (Figura 3). O projeto prevê uma estrutura pré-moldada em concreto, com vedações em alvenaria de tijolos cerâmicos, vidros simples nas janelas com marquises horizontais, e cobertura em telha termoacústica.

O projeto prevê uma estrutura pré-moldada em concreto, com vedações em alvenaria de tijolos cerâmicos, vidros simples nas janelas com marquises horizontais em estrutura metálica vazada com telas de proteção, e cobertura em telha termoacústica. Para tornar o edifício mais confortável, a circulação central dos pavimentos é naturalmente ventilada. Na fachada Leste foram distribuídas marquises horizontais e na fachada Oeste, o bloco de circulação vertical das escadas de emergência possui vedação em tela vazada.



Figura 2 – Edifício analisado: (A) perspectiva geral e (B) acesso principal (Fonte: Santos, 2022).



Figura 3 – Planta baixa dos pavimentos da edificação (Fonte: Santos, 2022).

O projeto está localizado em Macapá região que possui clima tropical úmido, ou de monção (Am) na Classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), e está na Zona Bioclimática 8 de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A cidade é cortada pela Linha do Equador (Latitude 0º02'N e Longitude 51º03'O), e localiza-se à beira do Rio Amazonas, próximo à sua foz no Oceano Atlântico. Por sua localização, a região recebe altos índices de radiação solar, com temperaturas elevadas durante todo o ano.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, Macapá possui temperaturas médias em torno de 27 ºC, com máximas que podem alcançar até 35 ºC em novembro (mês mais quente), e mínimas em torno de 23 ºC em fevereiro (mês mais frio), com alta taxa de umidade relativa (entre 70% e 90% ao longo do ano) (INMET, 2022), o que torna a sensação térmica desconfortável para seus habitantes. A ventilação predominante vem da orientação Leste-Nordeste, com velocidade média de 2,5 m/s.

Apesar das estratégias bioclimáticas recomendadas para a Zona Bioclimática 8 serem em sua maioria passivas (grandes aberturas sombreadas, uso de paredes leves e refletoras e ventilação cruzada o ano todo) a própria norma adverte que apenas o condicionamento passivo não é suficiente para atingir o conforto térmico nas horas mais quentes do dia. Em vista disso, 45% da média de consumo de energia da população macapaense vem do uso de ar-condicionado, conforme aponta o governo do Amapá (AMAPÁ, 2021).

3.2 Parâmetros da simulação

Segundo a INI-C, as edificações que não atendem às condições definidas para o método simplificado, é considerada obrigatória a avaliação pelo método de simulação, como por exemplo a presença de iluminação zenital, o que é o caso do edifício CAU-Unifap. O edifício foi modelado no programa *SketchUp* através do plugin *Euclid,* que permite salvar o modelo no formato IDF para ser configurado no *EnergyPlus* (Figura 4).

Cabe ressaltar que toda simulação é uma aproximação da realidade, e conforme as instruções da INI-C, os ambientes foram agrupados em zonas térmicas de mesmas características de uso (Figura 5), respeitando a divisão em zonas condicionadas artificialmente (de permanência prolongada) e não condicionadas (de permanência transitória). Em seguida foi realizada a comparação entre o modelo real e o modelo de referência com classificação "D", de acordo com os parâmetros obtidos no Anexo A da instrução normativa, onde são especificados os valores para a função da tipologia avaliada, nesse caso para edificações educacionais.

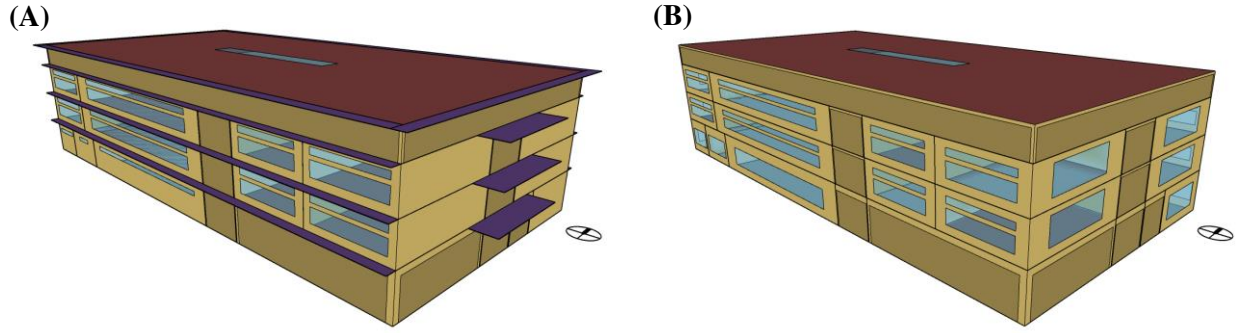


Figura 4 – Modelagem da edificação no SketchUp: (A) modelo real e (B) modelo de referência

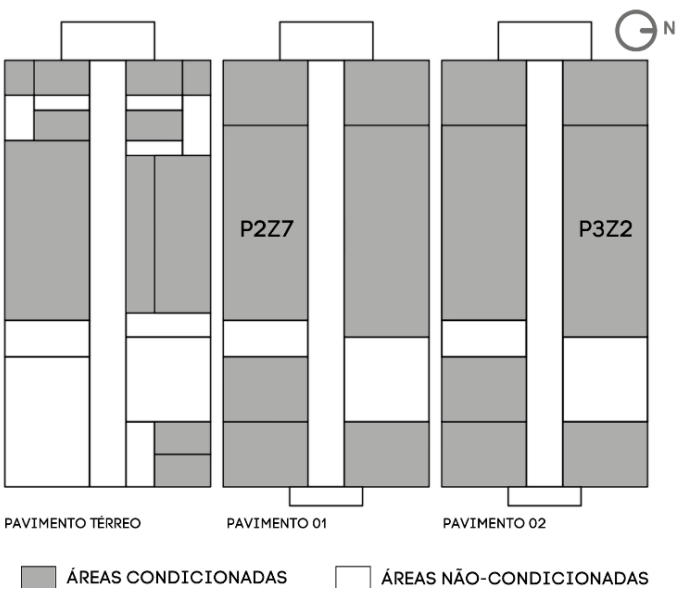


Figura 5 – Divisão das zonas térmicas para simulação

A geometria dos dois modelos é igual, assim como os padrões de uso e ocupação da edificação. O modelo real possui todas as características do projeto ou construção existente, enquanto o modelo de referência deve adotar os valores padronizados pela normativa. Para os dados de entrada no EnergyPlus, foram utilizados os modelos de camadas equivalentes para manter as propriedades termofísicas dos elementos construtivos (WEBER et al., 2017), conforme apresentado na Tabela 1.

O sistema de ar-condicionado foi simulado como um variable refrigerant flow (VRF) para cada zona térmica, representando o sistema split. Para o modelo de referência, a carga térmica é calculada com o sistema ideal (ideal loads). As informações de ganhos internos e configuração do sistema de ar-condicionado estão na Tabela 2.

Tabela 1 – Parâmetros da geometria e componentes construtivos

Parâmetros	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Área total (m²)	2.893,55	
PAF: Percentual de abertura da fachada (%)	17,6%	40%
AHS: Ângulo horizontal de sombreamento (°) AVS: Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
Componentes construtivos		
Parede	Argamassa interna (2,5cm) + Bloco cerâmico de 6 furos (9cm) + Argamassa externa (2,5cm)	

Parâmetros	Condição real	Condição de referência
U_{PAR}: Transmitância da parede (W/m²K)	2,39	
α_{PAR}: Absortância da parede	0,4	0,5
CT_{PAR}: Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	150	
Cobertura	Telha sanduíche (4,2cm) suspensa + Laje maciça de concreto (10cm)	Telha de fibrocimento (1cm) + Câmara de ar (>5cm) + Laje maciça de concreto (10cm)
U_{COB}: Transmitância da cobertura (W/m²K)	0,55	2,06
α_{COB}: Absortância da cobertura	0,6	0,8
CT_{COB}: Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	230	233
Vidro	Simples incolor 6mm	
U_{VID}: Transmitância do vidro (W/m²K)	5,70	
FS: Fator solar do vidro	0,82 (esquadrias) / 0,67 (abertura zenital)	

Tabela 2 – Parâmetros de ganhos internos e sistema de condicionamento de ar

Parâmetros	Condição real	Condição de referência
Ganhos internos		
Uso da edificação	8 horas/dia (200 dias/ano)	
Ocupação (m²/pessoa)	1,5	
Vestimentas (clo)	0,52 (calça e camisa de manga curta, com sapatos, meias e roupa íntima)	
DPI: Densidade de potência de iluminação (W/m²)	10,0	15,5
DPE: Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	15,0	
Condicionamento de ar		
Temperatura de setpoint de resfriamento (°C)	24,0	
COP: Coeficiente de performance (W/W)	3,24	2,60

Com todos os parâmetros e dados de entrada configurados, foi realizada a simulação no *EnergyPlus,* e os resultados são apresentados a seguir.

4. RESULTADOS

Os resultados das simulações foram tabulados em planilhas do Excel para a obtenção de dados mais objetivos. A seguir apresentam-se os valores analisados para consumo energético e a classificação da eficiência energética da edificação. Em seguida são analisados os dados sobre o conforto térmico para os usuários.

4.1 Consumo energético e classificação de eficiência

Inicialmente, foram obtidos os dados de consumo energético para os sistemas individuais da edificação (iluminação, equipamentos e ar-condicionado), apresentados na Tabela 3. Para Macapá, o sistema de ar-condicionado é utilizado apenas para resfriamento, não sendo necessário consumo para aquecimento. No caso do modelo real, os valores são retirados diretamente dos dados de saída do *EnergyPlus.* Para o modelo de referência, divide-se a carga térmica anual total da edificação de referência (CgTR) por 2,6 W/W, que é o valor do coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (CEE_R).

Tabela 3 – Consumo anual total e por sistema dos modelos simulados

Modelo	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Ar-condicionado (kWh)	TOTAL (kWh)
Real	50.806,72	76.210,08	145.885,66	**272.902,46**
Referência	78.750,42	76.210,08	201.235,75	**356.196,25**

Na sequência, para obter a classificação final de eficiência energética da edificação, deve-se seguir os procedimentos da INI-C. Primeiro determina-se o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRC_{EPD-A}), baseado no fator de forma da edificação (FF = 0,14) e na zona bioclimática

onde está inserida (ZB8). Em seguida encontra-se a variável "i" para calcular os limites de intervalo da classificação de eficiência. A Tabela 4 traz os valores de porcentagem limite de redução do consumo para cada classe de eficiência.

Tabela 4 – Limites intervalo para classificação da eficiência

Classe de eficiência	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Limites (%)	$RedC_{EP} > 28.00$	$28.00 \geq RedC_{EP} > 18.67$	$18.67 \geq RedC_{EP} > 9.33$	$9.33 \geq RedC_{EP} \geq 0$	$RedC_{EP} < 0$

A classificação geral da edificação é determinada por meio da comparação entre o percentual de redução de energia primária da edificação real e os intervalos calculados, identificando assim a classificação de eficiência energética geral. Para o cálculo da energia primária (C_{EP}), o consumo de energia para resfriamento é multiplicado pelo fator de conversão de energia elétrica ($fc_E = 1,60$), e depois somado com o consumo de iluminação artificial e equipamentos. O C_{EP} da edificação real foi de 436.643,94 kWh, e da edificação de referência foi de 569.914,00 kWh.

No caso da edificação avaliada, o percentual de redução de energia primária foi de 23,38%. Assim, a classificação final do edifício foi "B". O resultado demonstra que a proposta do projeto para o CAU-Unifap possui estratégias bioclimáticas adequadas ao contexto climático, como materiais construtivos adequados e cobertura ventilada. Apesar disso, não foi atingido o nível "A" de eficiência, entendendo-se que podem ser aplicadas outras estratégias no projeto antes da sua execução, como mudanças nos tipos de vidros das janelas, melhoria do sistema de sombreamento das aberturas e possibilidade do uso de sistema híbrido de condicionamento artificial com ventilação natural.

Por se tratar de um edifício de médio porte, com apenas 3 pavimentos, e com comprimento significativamente maior que a largura, a influência da radiação recebida pela cobertura e pelos vidros das janelas tem um grande impacto na carga térmica acumulada pela edificação. Alguns estudos apontam para a relação entre a forma do edifício, sua orientação, quantidade de pavimentos e seu consumo de energia (ANDRADE, 2022; REILLY; KINNANE, 2017; WANG; ZHAO, 2018). Assim, faz-se necessário análises complementares para entender a relação entre as variáveis do projeto e o consumo de energia de cada zona térmica. Para a classificação da eficiência pelo método da INI-C, foi considerado o consumo total do conjunto.

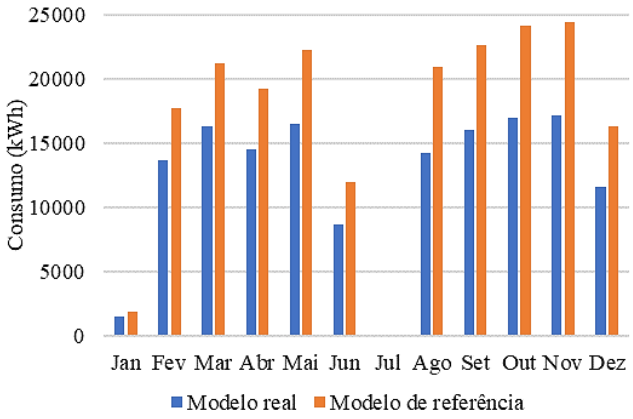


Figura 6 – Consumo mensal para resfriamento

Após a classificação do nível de eficiência, foi realizada a análise mensal do consumo de energia para o sistema de ar-condicionado. A Figura 6 mostra que entre os meses de fevereiro e junho, os valores são ligeiramente inferiores ao segundo semestre (agosto a dezembro). No modelo real, o consumo no primeiro semestre é 6,7% inferior ao segundo semestre, e no modelo de referência, 13,1% inferior. Este resultado condiz com as características climáticas de Macapá, com temperaturas mais amenas no início do ano, e superiores nos meses entre agosto e novembro.

4.2 Conforto térmico

Para avaliar o conforto térmico dos usuários da edificação, foram selecionadas duas zonas térmicas representativas do uso principal da tipologia educacional, as salas de aula. As zonas P2Z7 e P3Z2 na Figura 5 apresentada na metodologia estão localizadas no primeiro pavimento (fachada sul) e segundo pavimento (fachada norte), respectivamente.

Foram analisados os valores do *Predicted Mean Vote* (PMV), que prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas baseado no balanço térmico do corpo humano, em uma escala sétima de sensação térmica, onde +3 é muito quente, +2 é quente, +1 é levemente quente, 0 é neutro (sensação de conforto), -1 é levemente frio, -2 é frio e -3 é muito frio (ISO, 2005). Para climas quentes, um PMV com valores entre 0 e +1 resultaria em um percentual entre 75% e 95% de pessoas satisfeitas termicamente com o ambiente.

Na sequência foi analisada a temperatura operativa das zonas térmicas, um indicador que leva em consideração a temperatura de bulbo seco e a temperatura radiante média. A Figura 7 apresenta os resultados

da avaliação para dois dias típicos, 21/02 para o “inverno amazônico” e o dia 23/10 para o “verão amazônico”. As estações do ano são consideradas invertidas pelas variações de temperatura entre o primeiro semestre mais ameno e segundo semestre mais quente.

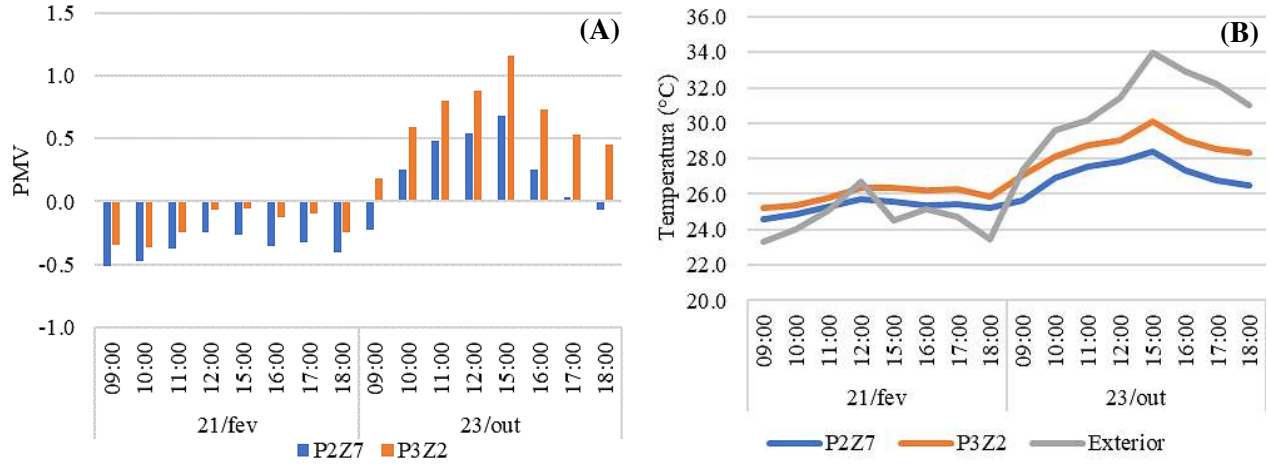


Figura 7 – Dados de conforto térmico para as zonas térmicas P2Z7 e P3Z2: (A) PMV e (B) temperatura operativa

Percebe-se que os valores de PMV encontram-se na faixa aceitável de conforto térmico durante praticamente todo o período. Em fevereiro, a sensação de conforto fica em média -0,5 (leve frio) na zona voltada para a fachada sul (P2Z7) e próxima a 0 (neutralidade) na fachada norte (P3Z2). O padrão segue em outubro, quando a sensação é de menor calor na P2Z7 (em média 0,5) e leve calor na P3Z2 (1,0). Os valores condizem com a maior incidência de radiação solar na fachada voltada para a orientação norte.

Em relação à temperatura operativa, durante o dia típico de inverno, os valores ficam em média 25 ºC na P2Z7 e 26 ºC na P3Z2, enquanto a temperatura exterior varia entre 23 ºC e 27 ºC. Durante o verão, a temperatura externa é bem superior (entre 27 ºC e 34 ºC), porém a temperatura operativa mantém-se em média 27 ºC na P2Z7 e 29 ºC na P3Z2. Isso demonstra o amortecimento térmico provocado pelas paredes, e maior incidência de calor na zona do último pavimento por influência da cobertura.

Ainda que o índice utilizado para a avaliação de conforto térmico foi o PMV, indicado para ambientes condicionados artificialmente, os padrões de uso e ocupação de edificações educacionais apontam para uma adaptabilidade dos espaços, sobretudo com variações no isolamento das vestimentas pelos usuários, mudanças de comportamento e localização no espaço, dentre outros. O estudo considerou um valor de vestimenta padrão, que impacta nos resultados obtidos, especialmente no dia típico de verão. A adaptação dos espaços, tanto em padrões de comportamento, quanto nos sistemas artificiais pode gerar índices mais satisfatórios de conforto para a maior parte dos usuários durante o ano.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou avaliar a classificação da eficiência energética no projeto para a futura sede de um edifício educacional em Macapá/AP. A metodologia utilizou os procedimentos do método de simulação da INI-C para a obtenção da etiqueta de eficiência energética, e avaliação de parâmetros de conforto térmico em ambientes representativos.

A partir dos resultados do método de simulação da INI-C, o edifício do CAU-Unifap apresenta uma etiqueta “B”, com redução do consumo de energia primária de 23,38% em relação ao modelo de referência nível “D”. As estratégias originais adotadas no projeto antes da avaliação demonstram a conscientização por parte dos projetistas em relação à importância do uso de estratégias bioclimáticas desde a fase de concepção da edificação. Em relação ao conforto térmico, pôde-se observar a garantia de valores próximos à neutralidade térmica para os usuários, tanto em ambientes voltados para a fachada sul, com menos incidência de radiação solar, quanto para a fachada norte, esta com resultados discretamente mais voltados para o desconforto ao calor.

No entanto, fica evidente a necessidade de melhor dimensionamento dos planos de proteção horizontais e verticais, para garantir menor exposição à incidência solar no interior da edificação, melhorando o conforto térmico para os usuários e redução do consumo energético. O projeto paisagístico no entorno da construção também pode contribuir para o amortecimento térmico, sendo considerado para próximos estudos.

Este trabalho faz parte de uma pesquisa em andamento, e em trabalhos futuros serão apresentadas novas análises com o método de simulação da INI-C para atingir o nível "A" de eficiência energética, com avaliação de diferentes cenários a partir do uso de estratégias bioclimáticas passivas nos diferentes sistemas na edificação. Percebeu-se também, que a nova metodologia de simulação da INI-C constitui um avanço positivo em relação ao método anterior do RTQ-C, sendo necessário novos estudos de comparação das normativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.**Rio de Janeiro, 2005.

AMAPÁ. **Consumidores devem moderar o uso de aparelhos "vilões" no consumo de energia**. Disponível em: <https://www.amapa.gov.br/noticia/0308/consumidores-devem-moderar-o-uso-de-aparelhos-ldquo-viloes-rdquo-no-consumo-de-energia>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ANDRADE, H. J. C. DE. **Análise da Eficiência Energética em Edificações Usando os Métodos RTQ-C e INI-C**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

ASHRAE. **Standard 140-2014: Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**Atlanta, 2014.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 390, de 6 de setembro de 2022. Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2022. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/pam/pdf/PAM007184.pdf>.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço energético nacional 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relatório Síntese BEN 2021-ab 2020_v2.pdf>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014.** Brasília, DF, Brasil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2014. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=102&totalArquivos=164>

CELIS, A. M. C.; GOMES, M. F.; RODRIGUES, A. K. N. S. **Boas práticas de projeto arquitetônico e recomendações bioclimáticas para o clima quente e úmido : O caso da Amazônia Amapaense**. In: Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 10. **Anais**... Marabá: UNIFESSPA, 2022

DOE. US DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Energy Simulation Software v. 9.3**. Disponível em: <https://energyplus.net/>.

ECONOMIDOU, M. et al. Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. **Energy and Buildings**, v. 225, p. 110322, 2020.

FARAJI, A. et al. A Meta-Synthesis Review of Occupant Comfort Assessment in Buildings (2002–2022). **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 5, 2023.

FOSSATI, M. et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216–1231, 2016.

HOLANDA, M. R. A. **Influência da definição do setpoint do ar- condicionado para o conforto térmico e consumo energético em clima quente e úmido**. 2020. Tese (Doutorado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas Brasileiras (1991-2020)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>.

ISO. **BS EN ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**Switzerland, 2005. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?start=10&q=asi+interface&hl=es&as_sdt=0,5#6>

LOPES, F. DA S. D. **Simulação de consumo energético e conforto térmico para edifício de escritórios em Teresina/PI com o uso de estratégias bioclimáticas passivas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

MARQUES, G. M.; SILVA, A. S. **Eficiência Energética Da Envoltória De Um Edifício Público De Acordo Com O Método De Simulação Da Ini- C – Estudo De Caso No MS**. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 17 **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 11 out. 2007.

PEREIRA DE SOUZA, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Comparativo de predição de carga térmica por meio de simulação e metamodelo com base na INI-C**. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 19. **Anais**... Canela: ANTAC, 2022

REILLY, A.; KINNANE, O. The impact of thermal mass on building energy consumption. **Applied Energy**, v. 198, p. 108–121, jul. 2017.

TAVARES, D. F. et al. Conforto térmico em salas de aula climatizadas para o clima quente e úmido. **Ciências Humanas e Sociais**, v. 6, n. 3, p. 169–184, 2021.

TRIMBLE INC. **SkecthUp 2020**, 2020. Disponível em: <https://www.sketchup.com/>

WANG, Z.; ZHAO, J. Optimization of passive envelop energy efficient measures for office buildings in different climate regions of china based on modified sensitivity analysis. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 4, p. 907, 21 mar. 2018.

WEBER, F. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/node/714>.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao professor Me. Elizeu Santos, pela contribuição com o objeto de estudo analisado. A pesquisa foi financiada pelo programa de Bolsa de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amapá (PROBIC/UNIFAP), e pelo Programa Rede Ciências (PRC) – Projetos de Iniciação Científica Superior da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP/SETEC).