



## **APLICAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS PARA PREVISÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS: A INFLUÊNCIA DE ESCOLHA DA FERRAMENTA DURANTE A ETAPA INICIAL DE PROJETO**

**Thalita dos Santos Maciel (1); Matheus Soares Geraldi (2); Ana Paula Melo (3); Roberto Lamberts (4)**

- (1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, thalita.maciел@posgrad.ufsc.br, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina.  
(2) Doutor, Engenheiro Civil, Matheus.s.geraldi@gmail.com, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina.  
(3) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina.  
(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina.

### **RESUMO**

O objetivo deste estudo é abordar o impacto da escolha da ferramenta de avaliação para previsão da carga térmica de edificações durante as fases iniciais do processo de projeto. Para isso, os modelos de referência foram definidos como 5 arquétipos desenvolvidos com base no método da INI-C com avaliação prevista para o contexto climático das zonas bioclimáticas 1, 3 e 8. A avaliação foi realizada por intermédio de três ferramentas de estimativa do consumo de energia: simulação computacional com software EnergyPlus, metamodelo e plataforma DEO. Os resultados demonstraram maior similaridade entre os dois primeiros métodos e maior disparidade nos resultados obtidos com o uso da plataforma DEO. Além disso, pode-se observar que existe a necessidade de aprofundamento de pesquisas sobre a viabilidade de uma inserção realista do processo de simulação ainda nas primeiras etapas do projeto e que a previsão do desempenho de uma edificação pode variar em função de inúmeros fatores, incluindo o método de avaliação e a representatividade dos dados de entrada utilizados para essa previsão.

Palavras-chave: eficiência energética em edificações, simulação computacional, metamodelo, plataforma DEO.

### **ABSTRACT**

The objective of this study is to address the impact of the choice of assessment tool for predicting the thermal load of buildings during the initial stages of the design process. To do so, reference models were defined as 5 archetypes developed based on the INI-C method with predicted evaluation for the climatic context of bioclimatic zones 1, 3, and 8. The assessment was carried out through three energy consumption estimation tools: computer simulation with EnergyPlus software, metamodel, and DEO platform. The results showed greater similarity between the first two methods and greater disparity in the results obtained using the DEO platform. In addition, it can be observed that there is a need for further research on the feasibility of a realistic simulation process in the early stages of design and that the prediction of building performance can vary depending on numerous factors, including the evaluation method and the representativeness of the input data used for this prediction.

Keywords: energy efficiency in buildings, computer simulation, metamodel, DEO platform.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação mundial com as questões ambientais, em especial o consumo de energia elétrica, está crescendo. As edificações são responsáveis por mais de 30% do consumo de energia elétrica e 40% das emissões dos gases que provocam o efeito estufa em nível global (WBCSD, 2020). No Brasil, a construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais, com estimativa de aumento na demanda de energia de cerca de 200% até 2050 (EPE, 2018). Historicamente, as edificações geram grandes impactos ambientais e a questão energética tem um papel importante tanto na economia e no desenvolvimento global quanto nas mudanças climáticas e no esgotamento de fontes fósseis (ASCIONE et al., 2020).

Incluir requisitos de desempenho durante a fase de concepção de um projeto é uma boa prática para construir edifícios com menor impacto ambiental. Para ajudar na avaliação dos parâmetros envolvidos, diferentes estratégias foram desenvolvidas nos últimos anos para melhorar a busca por projetos eficientes. Essas estratégias usam diferentes métodos para prever o consumo de energia (COAKLEY, RAFTERY, KEANE, 2014; BRE, ROMAN, FACHINOTTI, 2020). Modelos gráficos de edifícios e seus sistemas, elaborados em ambiente computadorizado, permitem prever o desempenho do edifício em diferentes fases do projeto (ZALUSKI; DANTAS, 2018).

Nesse sentido, cabe ressaltar que a efetividade dessa previsão está altamente atrelada à tomada de decisão que antecede a análise, incluindo a escolha do método de avaliação e os dados necessários para caracterização do edifício (HAMDY et al., 2016; GOU et al., 2018; FERRARA et al.2019). O uso de novas tecnologias como ferramenta de apoio à tomada de decisão demonstra a necessidade de investigação do papel da tecnologia no ato de projetar arquitetura, onde se insere este trabalho. Dado que a carga térmica durante a fase de operação da edificação é altamente dependente das decisões de projeto, é importante estudar o impacto dessas decisões no desempenho da edificação. Estudos e iniciativas mostram que decisões na fase inicial de projeto têm um alto impacto no desempenho final quando comparadas à otimização que ocorre durante a fase de operação das edificações – sendo este o momento ideal para se começar a introduzir estratégias de eficiência energética (IPCC, 2018; MME, 2019; GBC Brasil, 2019; OLU-AJAYI et al., 2022).

Apesar dessa linha de estudos mostrar que a previsão de consumo de energia durante a fase de projeto é importante, também cabe elucidar que há incertezas envolvidas nesse processo. Por exemplo, a escolha do método de estimativa pode variar desde uma análise baseada em equações e em aprendizado de máquina, que tendem a simplificar a representação de um fenômeno ou sistema a fim de obter uma compreensão ampla ou uma visão geral do problema em questão, até modelos com maior refinamento de dados de entrada, como a simulação computacional. Neste último, leva-se em consideração mais variáveis e parâmetros, exigindo um maior número de informações e recursos computacionais para serem construídos e analisados.

Nessa escala, entende-se que modelos que requerem maior número de detalhes tendem a fornecer resultados mais aprofundados e precisos, onde podem ser avaliados diferentes cenários e a interação entre diversas variáveis; porém, algumas avaliações simplificadas podem ser suficientes para o fornecimento de percepções rápidas, já que apresentam capacidade de prever um valor estimado na maioria das vezes com suficiente relevância durante a fase de projeto inicial, quando ainda não é possível fazer estimativas detalhadas devido à ausência de definições. Essa escolha depende diretamente do propósito da avaliação e das questões específicas que se deseja responder.

Atualmente, no Brasil, existem diferentes métodos para estimar o consumo de energia durante a fase inicial de projeto. Destacam-se a Simulação Computacional, frequentemente realizada por meio do software *EnergyPlus*, que é amplamente utilizado em simulações termoenergéticas e permite análises detalhadas (mais variáveis analisadas) e precisas para diferentes etapas de avaliação; o Metamodelo da Instrução Normativa do INMETRO para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), um modelo estatístico baseado em Redes Neurais Artificiais que pode fornecer estimativas de consumo de energia durante as fases em que há disponibilidade de dados, no entanto, de forma limitada (RASIL, 2021); e a Plataforma Desempenho Energético Operacional (DEO) (CBCS, 2021), um modelo baseado em equação multivariada que visa fornecer uma avaliação rápida e simplificada do desempenho energético de edificações, possibilitando estimativas para as fases iniciais do projeto onde existem poucas ou nenhuma definição.

Considerando a relevância atual dessas ferramentas no contexto brasileiro e suas particularidades de aplicabilidade e disponibilidade de dados, levantam-se os seguintes questionamentos: qual a magnitude das diferenças nos valores estimados de desempenho entre os diferentes métodos de estimativa existentes no Brasil? Essas diferenças variam de acordo com o clima? Além disso, essas diferenças também podem variar de acordo com as tipologias de edificações?

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar o impacto da escolha da ferramenta de avaliação para previsão do consumo de energia em diferentes tipologias de edificações comerciais, de serviço e públicas nas Zonas Bioclimáticas 1, 3 e 8, durante as fases iniciais do processo de projeto.

## 3. MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em três etapas, que consistem na caracterização dos modelos de referência, definição das ferramentas de avaliação e análise.

### 3.1. Caracterização dos modelos de referência

A primeira etapa visa a caracterização dos modelos de referência, que foram definidos como arquétipos de edificações comerciais baseados na INI-C (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas) (BRASIL, 2021). Estes arquétipos foram desenvolvidos com base nas tipologias de edifícios de uso comercial ou de serviços utilizados pelo projeto DEO (Desempenho Energético Operacional em Edificações), desenvolvido pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS).

Dentre os 15 arquétipos desenvolvidos, 5 foram selecionados para este estudo, dos quais correspondem às tipologias de edificações de Comércio de Pequeno Porte, Posto de Saúde e Assistência Social, Hospedagem de Pequeno Porte e Pousada, Escola de Ensino Fundamental e Médio e, por fim, Shopping Center. As principais características dos arquétipos são representadas pela Figura 1 e Tabela 1.

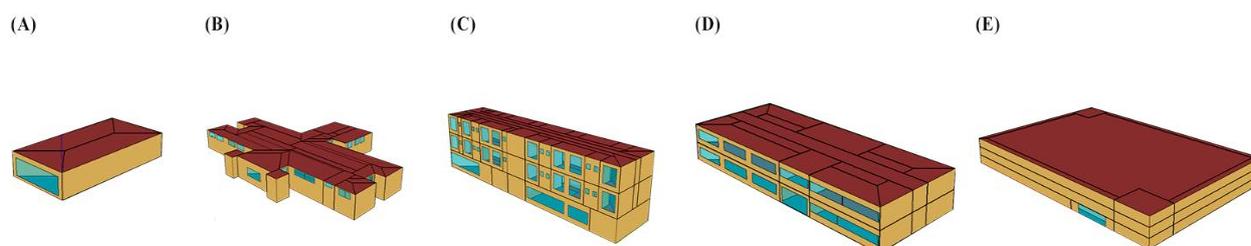


Figura 1 – Modelo tridimensional dos arquétipos: (A) Comércio de Pequeno Porte; (B) Posto de Saúde e Assistência Social; (C) Hospedagem de Pequeno Porte e Pousada; (D) Escola de Ensino Fundamental e Médio; (E) Shopping Center

Tabela 1 – Caracterização dos arquétipos

Arquétipo	Área total (m <sup>2</sup> )	Área condicionada (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Nº de pavimentos
Comércio de Pequeno Porte	200,00	200,00	3,20	1
Posto de Saúde e Assistência Social	360,00	297,84	2,60	1
Hospedagem de Pequeno Porte e Pousada	930,00	653,57	3,00	3
Escola de Ensino Fundamental e Médio	1.566,00	896,00	3,00	2
Shopping Center	65.880,00	62.448,00	4,50	3

### 3.2. Ferramentas de avaliação

#### 3.2.1. Simulação computacional

A primeira ferramenta de avaliação consiste na simulação computacional por intermédio do programa *EnergyPlus* versão 9.4. Para essa análise os parâmetros foram configurados conforme as condições de referência da INI-C (BRASIL, 2021). As propriedades dos elementos construtivos de parede e cobertura são apresentadas na Tabela 2. O percentual de área de abertura na fachada (PAF) também foi modelado conforme os valores de referência, onde foram utilizados vidros com fator solar de 0,82 e transmitância térmica de 5,7 W/(m<sup>2</sup>.K). Para caracterização do piso considerou-se uma laje de concreto com espessura de 10 cm, sem isolamento. O piso em contato com o solo foi modelado com o objeto *Ground:Domain:Slab* da própria ferramenta de simulação, onde foi utilizado o método de diferenças finitas (DOE, 2022).

Tabela 2 – Caracterização construtiva dos arquétipos

Composição		e (cm)	U(W/m <sup>2</sup> .K))	CT(kJ/(m <sup>2</sup> .K))
Paredes externas	Alvenaria de vedação em bloco cerâmico furado com revestimento de argamassa	14	2,39	150
Cobertura	Laje de concreto (10cm) com câmara de ar e telha de fibrocimento (8mm)	35	2,06	233

e = Espessura; U = Transmitância térmica; CT = Capacidade térmica.

As cargas internas foram configuradas conforme a variação das tipologias e de acordo com o que preconiza a INI-C (BRASIL, 2021), sendo apresentadas na Tabela 3. Inicialmente a previsão do consumo de energia ocorre através da configuração do *Ideal Loads System*, em que as temperaturas de setpoint foram definidas como 24 °C para resfriamento e 21 °C para aquecimento, sendo a taxa de renovação de ar igual a 0,0075 m<sup>3</sup>/s por pessoa.

Tabela 3 – Caracterização das cargas internas

Arquétipo	DPI (w/m <sup>2</sup> )	DPE (w/m <sup>2</sup> )	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	Horas de ocupação (horas/dia)	Taxa metabólica (W)
Comércio de Pequeno Porte	20	20	5	12	120
Posto de Saúde e Assistência Social	15	40	5	12	
Hospedagem de Pequeno Porte e Pousada	15,7	20	18	24	
Escola de Ensino Fundamental e Médio	15,5	15	1,5	8	
Shopping Center	20	20	5	12	

### 3.2.2. Metamodelo v.3.0

A avaliação do método foi realizada por meio do Metamodelo v.3.0, da INI-C (CB3E, 2022). Sua construção foi baseada nas características da condição de referência de cada uma das tipologias com base nas especificações do método simplificado da INI-C, sendo originado através de simulações computacionais de amostras de edificações com características diversas. Além disso são necessários alguns indicadores climáticos como parâmetros de entrada para o metamodelo, como latitude, altitude, velocidade do vento, graus-hora de resfriamento entre outros, que foram calculados com base nos arquivos climáticos das cidades de avaliação. As demais informações relacionadas a caracterização da envoltória e ao uso das tipologias foram configuradas iguais aos dados utilizados para simulação computacional.

### 3.2.3. Plataforma DEO

A Plataforma do projeto de Desempenho Energético Operacional em Edificações, denominada Plataforma DEO (CBCS, 2021) foi utilizada para previsão simplificada do consumo de energia dos modelos de referência. Durante o preenchimento da plataforma foram solicitadas informações referentes às características do edifício de análise e seu modo de uso e operação, em que foi utilizado o mesmo banco de dados das ferramentas anteriores ou o mais aproximado possível, de acordo com a limitação de opções da ferramenta. Esse critério viabiliza o alcance do objetivo deste estudo, aproximando o desempenho dos casos e tornando a comparação mais representativa.

## 3.3. Análise

Nas predições realizadas pela simulação computacional e metamodelo, o resultado foi inicialmente expresso em *Thermal Loads* (Carga térmica ideal, em kWh/m<sup>2</sup>.ano). Neste caso adotou-se como estratégia de avaliação a transformação destes resultados para unidade de consumo de energia, possibilitando a comparação e análise de proximidade dos métodos avaliados. Para isso foi utilizado um Coeficiente de Performance (COP) para

cada tipologia de acordo com os dados de entrada do cálculo realizado pela plataforma DEO (Tabela 4), quando as cargas internas de iluminação e equipamentos também são levadas em consideração.

Tabela 4 – Coeficiente de performance adotado

Arquétipo	COP (W/W)
Comércio de Pequeno Porte	3,40 (Split)
Posto de Saúde e Assistência Social	3,24 (Split)
Hospedagem de Pequeno Porte e Pousada	3.24 (Split)
Escola de Ensino Fundamental e Médio	3,24 (Split)
Shopping Center	2,99 (Central com água gelada condensada a água)

A análise foi realizada para o contexto das Zonas Bioclimáticas (ZBs) 1, 3 e 8, conforme as divisões estabelecidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A escolha dessas ZBs visa englobar a diversidade de condições climáticas encontradas no Brasil, proporcionando uma compreensão abrangente do impacto da escolha da ferramenta de avaliação no consumo de energia das edificações em diferentes contextos.

Na simulação e no metamodelo as ZBs foram caracterizadas, respectivamente, pelos arquivos climáticos tipo INMET das cidades de Curitiba/PR, Florianópolis/SC e São Luís/MA. Na plataforma DEO as condições climáticas são disponibilizadas pela própria ferramenta, que também considera arquivos climáticos INMET.

#### 4. RESULTADOS

As Figura 2, 3 e 4 apresentam os resultados de consumo de energia (kWh/m<sup>2</sup>ano) obtidos através das três ferramentas de avaliação, nos cinco modelos de referência e, respectivamente, no contexto das ZBs 1, 3 e 8. Com base nestes resultados, pode-se observar que, no contexto de climas frios, os consumos de energia obtidos pelo metamodelo e pela simulação foram relativamente aproximados, onde a maior variação ocorre nos arquétipos que representam a Escola de Ensino Fundamental e Médio e o Shopping Center, ambos com características bastante específicas em relação às demais tipologias. O primeiro apresenta carga interna alta em relação aos demais, principalmente no que diz respeito à distribuição da ocupação, que considera 1,5 m<sup>2</sup> por pessoa e pode justificar a necessidade de aprofundamento do metamodelo neste quesito. O segundo apresenta maior nível de exposição e área interna muito superior aos demais arquétipos, tornando o comportamento do sistema de envoltória bastante característico.

A maior disparidade pode ser observada nos resultados obtidos através da plataforma DEO, que considera maior simplificação e menor número de parâmetros de entrada para avaliação através de equações. Nesse caso, o consumo de energia do Comércio de Pequeno Porte foi o que apresentou menor diferença relativa em relação aos outros métodos, enquanto, por outro lado, no Shopping Center o consumo obtido é quase duas vezes maior que o da simulação. Os demais arquétipos apresentaram o mesmo padrão, onde percebe-se um consumo de energia estimado inferior em relação aos demais métodos.

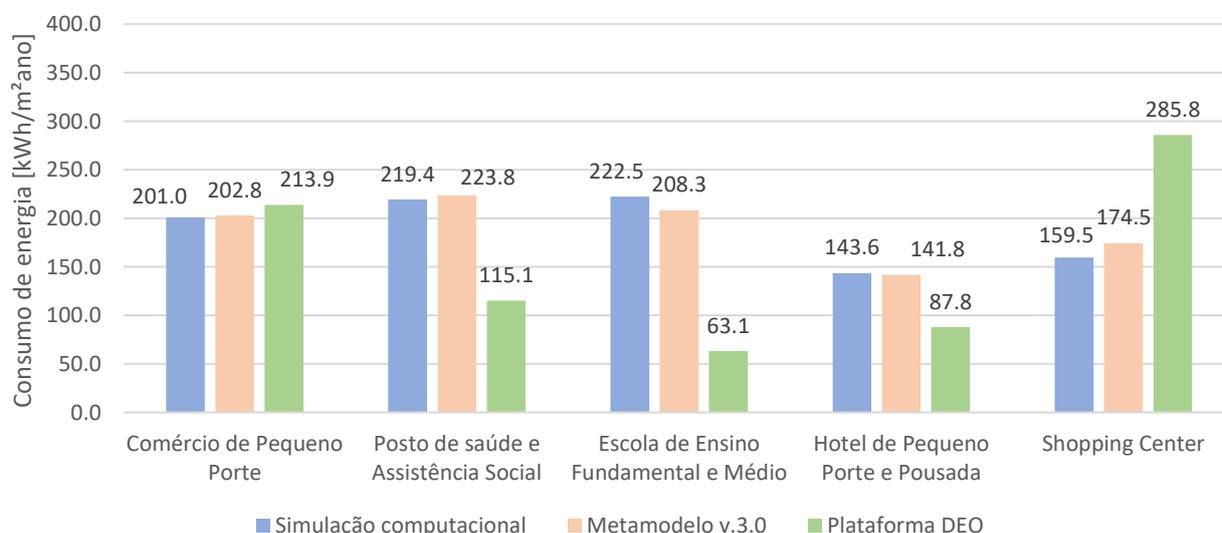


Figura 2 – Previsão do consumo de energia para cidade de Curitiba, Zona Bioclimática 1

No contexto da ZB3, representada pela cidade de Florianópolis, a diferença acumulada entre os resultados obtidos pela simulação e pelo metamodelo apresentou o mesmo comportamento em todos os arquétipos, onde os maiores índices de consumo de energia foram obtidos pelo segundo método, assim como na maioria dos casos da análise anterior (Figura 3). O arquétipo que representa o Shopping Center apresenta a maior diferença relativa, o que possivelmente pode ser atribuído à dificuldade de convergência do metamodelo frente a quantidade de área interna do edifício, assim como na avaliação anterior. Com exceção deste caso, as demais tipologias apresentam o mesmo padrão, entretanto com diferenças menos representativas.

Por outro lado, os resultados obtidos através da plataforma DEO foram bastante distintos daqueles atingidos pelas outras ferramentas, principalmente no que diz respeito à simulação. Nos edifícios que representam os arquétipos de Posto de saúde e Escola e podem ser observadas diferenças de mais de 100% na previsão do consumo de energia, onde o resultado é significativamente inferior aos demais métodos. Assim como ZB anterior, o consumo do Shopping Center dispara em relação aos demais, representando uma diferença significativa em relação aos outros métodos e uma possível atenção aos parâmetros de entrada utilizados pela plataforma.

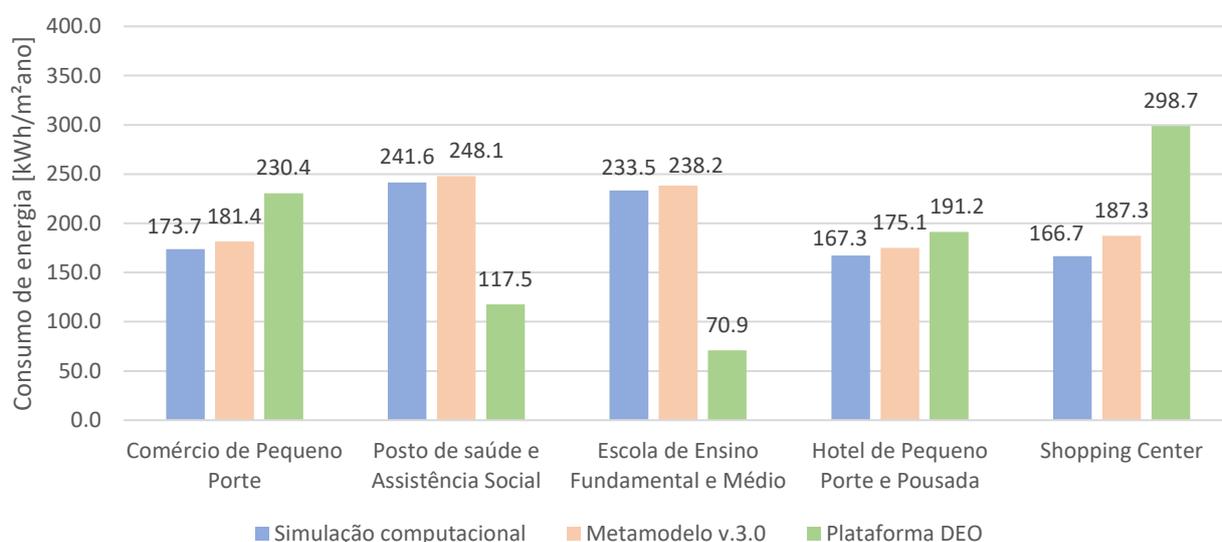


Figura 3 – Previsão do consumo de energia para cidade de Florianópolis/SC, Zona Bioclimática 3

No contexto de climas quentes pode-se observar um padrão diferente das demais zonas, onde o metamodelo superestima a previsão do consumo de energia no contexto de todas as tipologias. Nota-se que, para a cidade de São Luís, pode ser observada uma diferença relativa de até 25% do consumo previsto entre simulação e metamodelo, sendo que o primeiro método é o que apresenta resultados mais coerentes em relação as análises já realizadas para o contexto das demais ZBs. No Comércio de Pequeno Porte e no Shopping Center os resultados calculados pela plataforma DEO demonstraram um comportamento aproximado a avaliação já realizada para os contextos mais frios. O consumo de energia para estes casos é superior ao que pode ser observado para os outros dois métodos. Isso pode ocorrer devido a simplicidade dos modelos, que além da distribuição uniforme das cargas internas também possuem formas simplificadas e superfícies transparentes ao longo de uma única fachada. Os demais arquétipos apresentaram consumo de energia inferior aos outros métodos, e neste contexto não foi observado um padrão em relação aos índices obtidos pela plataforma, mas é possível que o seu melhor desempenho esteja atrelado a análise de edificações em outros contextos climáticos. O resumo destes resultados é apresentado na Tabela 5.

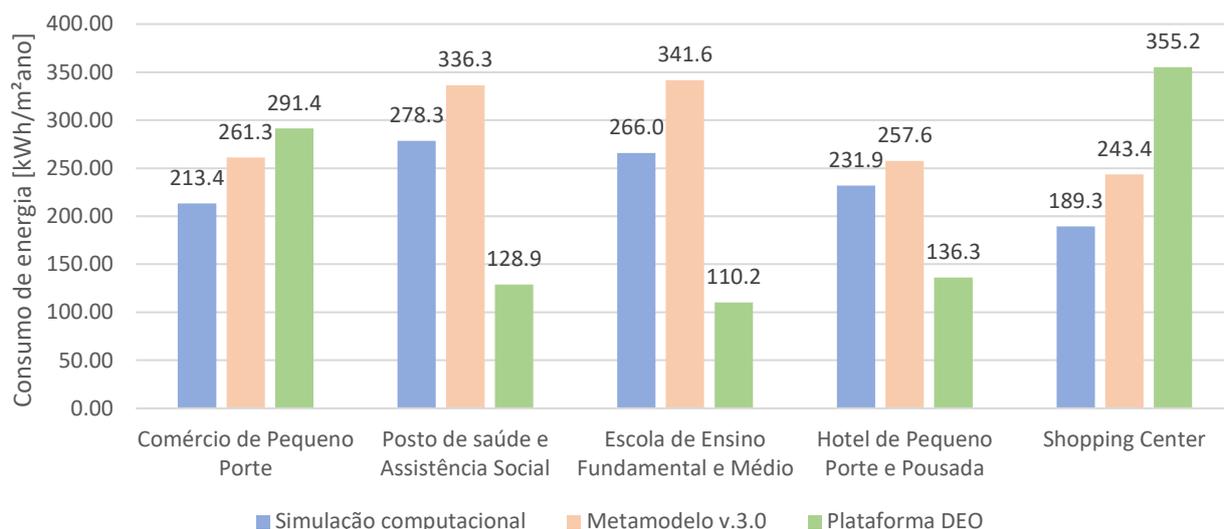


Figura 4 – Previsão do consumo de energia para cidade de São Luís/MA, Zona Bioclimática 8

Tabela 5 – Compilado dos resultados obtidos pelas ferramentas de avaliação

Tipologia	Clima	Simulação computacional	Metamodelo v.3.0	Plataforma DEO
Comércio de pequeno porte	Curitiba	201,0	202,8	213,9
	Florianópolis	173,7	181,4	230,4
	São Luís	213,4	261,3	291,4
Posto de saúde e Assistência Social	Curitiba	219,4	223,8	115,1
	Florianópolis	241,6	278,1	117,5
	São Luís	278,3	336,3	128,9
Escola de Ensino Fundamental e Médio	Curitiba	222,5	208,3	63,1
	Florianópolis	233,5	238,2	70,9
	São Luís	266,0	341,6	110,2
Hotel de Pequeno Porte e Pousada	Curitiba	143,6	141,8	87,8
	Florianópolis	167,3	175,1	191,2
	São Luís	231,9	257,6	136,3
Shopping Center	Curitiba	159,5	174,5	285,8
	Florianópolis	166,7	187,3	298,7
	São Luís	189,3	243,4	355,2

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi discutir a influência da escolha da ferramenta de avaliação na previsão do consumo de energia de edifícios durante a fase inicial de projeto, quando os parâmetros ainda não estão completamente definidos. Para isso, foram avaliados cinco arquétipos através do uso de três ferramentas: simulação computacional, metamodelo e plataforma DEO.

Os resultados indicam que é fundamental escolher cuidadosamente a ferramenta de previsão de desempenho energético dos edifícios, especialmente nas etapas iniciais do projeto, quando as informações obtidas geralmente são utilizadas para nortear a proposta de melhorias. A efetividade da ferramenta garante maior fidelidade ao comportamento real dos edifícios e maior assertividade na escolha de estratégias de otimização. Resultados mal interpretados podem levar a um baixo desempenho dos sistemas.

De maneira geral, os resultados da simulação e do metamodelo foram semelhantes, mas o metamodelo tende a superestimar os valores de consumo de energia, principalmente em climas quentes. Os resultados da plataforma DEO apresentaram maior distinção entre os demais métodos, principalmente devido à simplificação dos parâmetros de entrada. O cálculo para edifícios onde os parâmetros de forma são originalmente simplificados demonstrou-se menos efetivo e com maior disparidade entre os resultados obtidos para as outras duas ferramentas.

Ao falar sobre processo de projeto e previsão de desempenho de edifícios, é necessário mencionar o tempo de resposta e o nível de conhecimento necessário para a aplicação de tais ferramentas. Todas as ferramentas apresentam benefícios e limitações, e é preciso uma análise preliminar da necessidade de aplicação. Embora a obtenção de dados reais em grande escala ainda necessite de mais investigações, medidas como a plataforma DEO surgem como facilitadores para o conhecimento do desempenho energético de edificações e um possível aumento do número de aplicações de medidas de eficiência energética no setor da construção civil. Por outro lado, é importante que a ferramenta utilizada permita a investigação global do projeto, onde entra a simulação computacional e, principalmente, o metamodelo.

A principal distinção entre os métodos analisados está na construção da base de dados, o que se reflete nos resultados obtidos. A simulação apresenta resultados mais precisos e permite a avaliação de cada uso no consumo final da edificação – visto que é um método que replica os fenômenos termodinâmicos que ocorrem na operação da edificação por meio de modelos físicos, mas requer mais tempo e mais dados de entrada. O metamodelo, por outro, permite rapidez de análise e facilita a avaliação de um maior número de parâmetros de forma concomitante, mas requer maior conhecimento e uma base extensa de dados – sendo que este é um método baseado em um modelo estatístico robusto, como aprendizado de máquina. E, por fim, o diagnóstico simplificado – baseados em modelos estatísticos menos robustos, que possibilita análises rápidas e demanda pouco conhecimento específico, mas podem estabelecer maior incerteza sobre os resultados, principalmente no que diz respeito a edificações com maior simplicidade quanto à forma e demais parâmetros.

Essa discussão demonstra a necessidade de aprofundamento de pesquisas sobre a viabilidade de uma inserção realista do processo de simulação ainda nas primeiras etapas do projeto e que a previsão do desempenho de uma edificação pode variar em função de inúmeros fatores, incluindo o método de avaliação e a representatividade dos dados de entrada utilizados para essa previsão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASCIONE et al. A real industrial building: Modeling, calibration and Pareto optimization of energy retrofit. **Journal of Building Engineering**, v. 29, 2020.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021**. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 mar. 2021. Seção 1, p. 55.
- BRE, F.; ROMAN, N.; FACHINOTTI, V. D. An efficient metamodel-based method to carry out multi-objective building performance optimizations. **Energy and Buildings**, v. 206, p. 109576, 2020.
- CB3E. CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Relatório interno: desenvolvimento do metamodelo v.3**, 2022.
- CBCS. CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **DEO: Plataforma de Cálculos de Benchmarking de Energia**. Disponível em: <https://plataformadeo.cbcs.org.br/> Acesso em: 13 abr. 2023.
- COAKLEY, D.; RAFTERY, P.; KEANE, M. A review of methods to match building energy simulation models to measured data. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.37, p.123-141, 2014.
- FERRARA, M. et al. EDeSSOpt – Energy Demand and Supply Simultaneous Optimization for cost-optimized design: Application to a multi-family building. **Applied Energy**, v. 236, p. 1231-1248, 2019.
- GBC BRASIL. GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Referencial GBC Brasil Casa e Condomínio**. São Paulo: GBC Brasil, 2019.
- GOU, S. et al. Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 484-506, 2018.
- HAMDY, M.; NGUYEN, A.; HENSEN, J. L. M. A performance comparison of multiobjective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems. **Energy and Buildings**, v. 121, p. 57-71, 2016.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Guia Prático para Eficiência Energética em Edifícios**. Brasília: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, 2019.

- OLU-AJAYI, R. et al. Building energy consumption prediction for residential buildings using deep learning and other machine learning techniques, **Journal of Building Engineering**, v. 45, 2022.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY – DOE. **EnergyPlus Documentation: Input Output References**. US Department of Energy, 2022.
- WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. **Transforming the Built Environment**. Disponível em: <https://www.wbcd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Sustainable-Cities/Transforming-the-Built-Environment>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- ZALUSKI, P. R. da S.; DANTAS, M. J. P. Application of simulation softwares in engineering education: a report of successful international experiences in modeling and system simulation courses. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 1, p. 170-181, 2018.