XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8608

Benchmarking Energético das Escolas Municipais de Londrina: uma ferramenta para gestão da infraestrutura educacional

Energy benchmarking of schools in Londrina: a tool for managing educational infrastructure

Vinícius Koji Watanabe
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | viniciuskoji@hotmail.com
Camila Lima Chechin Camacho Arrebola
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | camila.arrebola@uel.br
Camila Gregorio Atem
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | camila.atem@uel.br
Thalita Gorban Ferreira Giglio
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | thalita@uel.br

Resumo

A gestão energética de edifícios públicos escolares é essencial para assegurar a qualidade nos ambientes de ensino e a redução dos custos associados ao consumo de energia elétrica. O presente estudo tem como objetivo desenvolver um *benchmarking* energético local para as escolas municipais de Londrina/PR, visando o auxílio aos gestores públicos na tomada de decisões para a conservação desta tipologia de edificação. A metodologia foi estruturada na construção de um banco de dados reais de 99 escolas via método interquartil e validação da normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk. Por meio dos indicadores de intensidade de uso (kWh/m^2.ano) e ocupação (kWh/aluno.ano), mais de 30% da amostra obteve classificação "E" na escala de eficiência energética, as quais requerem uma auditoria energética e aplicação de medidas de eficiência energética. A principal contribuição deste trabalho reside na sistematização digital do *benchmarking* energético desenvolvido, por meio de uma ferramenta que viabiliza o monitoramento contínuo e a aplicação prática da pesquisa científica na manutenção de estoques de edificações existentes.

Palavras-chave: Edificações escolares. Estoque de edificações. Eficiência energética. Gestão Pública.

Abstract

Energy management in public school buildings is essential to ensure quality in learning environments and reduce costs associated with electricity consumption. This study aims to develop a local energy benchmark for municipal schools in Londrina/PR, to assist public managers in making decisions regarding the conservation of this type of building. The methodology was structured around the construction of a real database of 99 schools using the interquartile range method and validation of normality through the Shapiro-Wilk test. Using indicators of usage intensity (kWh/m².year) and occupancy (kWh/student.year), more than 30% of the sample obtained an "E" rating on the energy efficiency scale, which requires an energy audit and the application of energy efficiency measures. The main contribution of this work lies in the digital systematization of the developed energy benchmark, through a tool that enables continuous monitoring and the practical application of scientific research in the maintenance of existing building inventories.

Keywords: Schools Buildings. Existing Buildings. Energy Efficience. Public Management.

Como citar:
WATANABE, V. K. et al. Benchmarking Energético das Escolas Municipais de Londrina: uma ferramenta para gestão da infraestrutura educacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8608

INTRODUÇÃO

Em diversos países, uma parcela importante do orçamento anual com a educação se destina ao consumo de energia elétrica para uso e operação das edificações escolares [1]. Nesta abordagem, pode-se afirmar que, dentre os aspectos que fortalecem os estudos sobre a eficiência energética nas edificações escolares, tem-se a redução do consumo de energia, a manutenção da qualidade ambiental, a contribuição no processo de aprendizagem [2][3][4], e a otimização dos orçamentos visando a redução de custos associados ao uso de recursos [5].

Neste contexto, a identificação das edificações altamente consumidoras de energia tem sido um desafio para gestores públicos, tendo em vista o grande estoque existente e sua variabilidade. As edificações escolares se inserem nesta discussão. Atualmente no Brasil, segundo o último Censo Escolar realizado pelo Inep [6], existem 179,3 mil escolas de educação básica, sendo que cerca de 80% são públicas. Na administração pública, a responsabilidade pela gestão e custeio com a conta de energia elétrica de edificações escolares da educação infantil ao 5° ano e o ensino de jovens e adultos (EJA), são das municipalidades.

Assim, contextualiza-se a necessidade do levantamento e sistematização de dados de consumo de energia elétrica dos estoques de edificações escolares públicas visando a identificação de unidades de alto consumo e oportunidades de implementação de melhorias de eficiência energética por gestores públicos. Considerando ainda, o aumento de aparelhos de condicionamento de ar nas salas de aula pública evidenciado em todo o Brasil [7], é essencial que o foco dos estudos de eficiência energética se dirija aos estoques de edificações escolares já existentes com um cenário futuro de alta demanda energética.

Desta forma, tem-se a metodologia de *benchmarking* energético - a qual consiste na classificação das edificações em uso quanto ao seu consumo de energia [8] - como uma estratégia que visa uma maior gestão dos dados do perfil de consumo de energia elétrica do estoque de edificações de uma mesma tipologia. Tal estratégia, já empregada em vários estudos em edificações escolares no Brasil [3][4][9][10][11][12][13][14][15][16][17], ainda é considerada complexa, visto que cada edifício possui peculiaridades no que diz respeito à sua arquitetura, sua utilização, e a zona climática em que está localizado. No entanto, é possível criar indicadores energéticos (EUIs) que relacionam o consumo energético com determinados parâmetros, viabilizando uma comparação entre diferentes unidades de mesma tipologia. Em [3] e [16] por exemplo, os parques imobiliários de instituições escolares foram avaliados por meio de EUI relacionada à área (kWh/m²/ano). Já [10][12] se diferem por utilizar, além do consumo por área (kWh/m²/ano), o indicador consumo por aluno (kWh/aluno/ano).

Com base na metodologia de *benchmarking* energético e com o foco na eficiência energética de edificações existentes, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um *benchmarking* energético local, específico para as escolas municipais da cidade de Londrina, norte do Paraná, que possa ser aplicado como uma ferramenta de auxílio aos gestores públicos na tomada de decisões para a manutenção desta tipologia de edificação.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8608

MÉTODO

Seguindo o objetivo deste estudo, os dados de consumo energético mensais de 99 escolas foram disponibilizados pela Secretaria da Educação do Município de Londrina, por meio de faturas do ano de 2019. As escolas foram classificadas quanto ao seu desempenho energético e uma ferramenta para atualização do *benchmarking* e gestão dos dados gerados, foi desenvolvida. As etapas de aplicação da metodologia são descritas a seguir.

CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E SUBDIVISÃO DA AMOSTRA

A cidade de Londrina, localizada na região Norte do Paraná, segundo a classificação climática de Köppen, categoriza-se como Cfa, e apresenta clima subtropical úmido. Sua temperatura média no mês mais frio do ano é inferior a 18°C e no mês mais quente, alcança valores acima de 22°C [18]. Complementa-se que Londrina pertence à zona bioclimática 3B [19] que corresponde à uma cidade de clima quente e seco.

As escolas geridas pelo município foram subdivididas em 2 grupos devido às diferentes características físicas e de funcionamento, sendo 24 delas centros destinados à educação de crianças de até 5 anos, denominados centros municipais de educação infantil (CMEIs), e 75 escolas municipais (EMs), que ofertam serviço de ensino público do 1° ao 5° ano do ensino fundamental. Além dos períodos matutino, vespertino ou integral, algumas unidades também ofertam atividades no período noturno, destinado ao público adolescente e adultos.

OBTENÇÃO DOS INDICADORES ENERGÉTICOS

Assim como em [3], na presente pesquisa foram determinados dois indicadores energéticos de desempenho: o consumo energético anual por área construída em kWh/m^2.ano e o consumo energético anual pelo número de alunos, considerando os respectivos períodos de ocupação, em kWh/aluno.ano. As áreas construídas foram obtidas por meio de análise dos projetos executivos fornecidos pela prefeitura. As informações sobre ocupação foram levantadas na Secretaria da Educação. A ausência de algumas informações exigiu o levantamento dos dados diretamente nas escolas.

Tratando-se do indicador de consumo energético anual por área construída, a área das quadras poliesportivas não foi considerada na análise em virtude da sua alta contribuição na área construída e baixo consumo de energia elétrica, o que poderia acarretar resultados inconsistentes. Já o consumo energético anual por aluno foi determinado considerando um número equivalente de alunos de acordo com os períodos das atividades de cada unidade. Sendo assim, nas escolas com aulas integrais o número de alunos equivalente foi considerado o dobro do número de alunos matriculados.

TRATAMENTO DOS DADOS

Após a formação dos indicadores energéticos, os dados espúrios foram identificados pelo método interquartil e retirados da amostra. Os dados espúrios ou *outliers* são aqueles cujos valores se afastam do restante do conjunto, fazendo com que algumas

medidas de dispersão como a média e desvio padrão não sejam representativos, visto que valores demasiadamente inferiores ou superiores tendem a causar grandes impactos nesses parâmetros estatísticos.

Segundo [20], um método muito utilizado para detectar valores discrepantes consiste em estabelecer limites inferior e superior que se afastam em 1,5 vezes a variação interquartil (IQR), que equivale a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil, em relação à média, representada por μ. Assim, determinou-se o limite inferior pela Equação (1), subtraindo-se o valor da média.

$$L_{inferior} = \mu - 1{,}5\ .\ \mathrm{IQR} \qquad (1)$$

Ao se somar o valor de 1,5 vezes IQR, obtém-se o limite superior pela Equação (2).

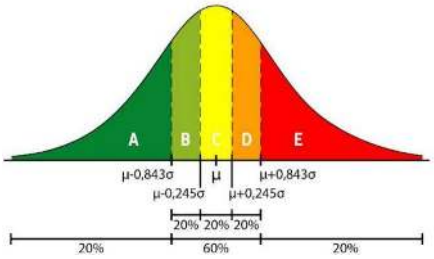
$$L_{superior} = \mu + 1{,}5\ .\ \mathrm{IQR} \qquad (2)$$

Estabelecidos os limites, foram analisados os dados da amostra e retirados todos aqueles que possuem valores que se encontram fora do intervalo. Na análise dos CMEIs, foram retirados 2 centros para cada indicador, já para as EMs, nos indicadores de consumo energético anual por área construída e consumo energético anual por número de alunos foram retirados 8 e 9 escolas, respectivamente. É necessário que os parâmetros estatísticos sejam recalculados para que todo o processo seja realizado novamente até que todos os dados da amostra se apresentem dentro dos limites.

BENCHMARKING ENERGÉTICO

O método de classificação do *benchmarking* adotado neste estudo parte de uma adaptação da ISO 52003-1 realizada por [21], na qual os indicadores podem ser categorizados de “A”, quando possuem melhor eficiência energética, até “E” nos casos com pior desempenho. Ao ser aplicado em um conjunto de dados que segue perfeitamente a distribuição normal, tem-se exatamente 20% dos valores em cada classe, já que os limites dependem exclusivamente da média e do desvio padrão, como pode ser observado na Figura 01, na qual μ representa a média e σ o desvio padrão.

Figura 01: Sistema de classificação adotado



Fonte: [21]

É importante salientar que a quantidade de unidades em cada uma das classes pode ser diferente devido as peculiaridades de cada conjunto de dados, mas que todas as porcentagens tendem a se aproximar do valor especificado. Os valores dos indicadores de área construída e número equivalente de alunos passaram pelo teste de Shapiro-Wilk para que fosse verificada a similaridade entre a distribuição dos valores da amostra e a distribuição normal.

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi realizado no programa computacional RStudio, utilizando os dados da amostra para os CMEIs e EMs com os valores dos dois indicadores estabelecidos. O teste apresenta o parâmetro estatístico W, que possui um valor de significância associada ao *p-valor*. Para que a distribuição seja considerada semelhante a uma distribuição normal, o *p-valor* deve ser superior à 0,05. A Tabela 01 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 01: Resultados do teste de Shapiro-Wilk

Resultados	W	p-valor
CMEIs (kWh/m².ano)	0,97569	0,8371
EMs (kWh/aluno.ano)	0,96327	0,5581

Fonte: Os autores.

Como todos os resultados do *p-valor* foram superiores à 0,05, pode-se concluir que as distribuições seguem uma tendência normal, e os limites para classificação podem ser determinados segundo a metodologia de [21].

Sabendo que os limites inferior e superior dos indicadores energéticos são os próprios valores mínimos e máximos respectivos de cada grupo, os valores limites entre as classes para cada um deles pode ser visualizado na Tabela 02. Após estabelecidos os limites, as escolas foram classificadas de acordo com a sua eficiência na escala proposta, identificando assim, as escolas de maior consumo de energia elétrica.

Tabela 02: Limites entre classes

Indicador	Escola	Entre A e B	Entre B e C	Entre C e D	Entre D e E
kWh/m².ano	CMEIs	17,38	21,26	24,44	28,31
kWh/aluno.ano	CMEIs	50,43	61,37	70,33	81,27
kWh/m².ano	EMs	14,99	18,92	22,13	26,05
kWh/aluno.ano	EMs	24,08	31,72	37,98	45,63

Fonte: Os autores.

FERRAMENTA DE APOIO AOS GESTORES MUNICIPAIS

Visando uma maior aplicabilidade do estudo científico, foi desenvolvida uma ferramenta que automatiza o processo de classificação das escolas de acordo com seu nível de desempenho energético. A partir da inserção de uma base de dados, a ferramenta faz o tratamento estatístico necessário, apresentando os resultados individuais de cada escola e sua classificação de desempenho. Assim, o propósito principal se dá no auxílio na tomada de decisão de gestores do município mesmo que estes não possuam conhecimento técnico para aplicação da metodologia de *benchmarking*.

O sistema foi desenvolvido por meio da utilização da linguagem de programação Visual Basic for Applications (VBA), com a intenção de automatizar todo o processo de análise estatística, retirando os *outliers* de acordo o método interquartil, e classificando cada uma das escolas segundo os indicadores especificados. O sistema possibilita criar formulários para entrada de dados e processar as informações de acordo com os parâmetros determinados, estabelecendo como critério para consistência estatística um volume mínimo de 20 conjuntos de dados. A ferramenta gera os perfis de consumo

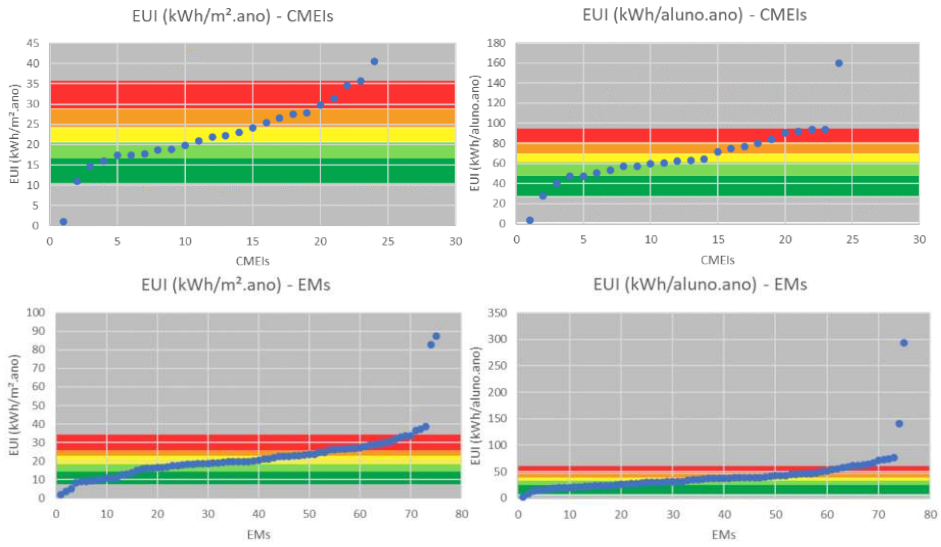
de energia anuais de cada escola, histogramas e a classificação da escola dentro do conjunto de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 02 apresenta as classificações dos CMEIs e EMs de acordo com o indicador de consumo energético anual por área construída e consumo energético por aluno, respectivamente. A escala de cores representa a classificação de cada edificação, partindo do nível "A", em verde escuro, até o nível "E", em vermelho. Já a cor cinza representa as unidades excluídas pelo processo de retirada de dados espúrios.

Com base nos resultados expostos na Figura 02, e desconsiderando os dados espúrios, o indicador EUI em kWh/m^2.ano variou de 11,01 a 35,64 para os CMEIs e de 8,40 a 33,73 para as EMs. Já para o indicador EUI em kWh/aluno.ano, houve uma variação de 27,88 a 94,04 para os CMEIs e de 8,19 a 62,38 para as EMs.

Figura 02: Classificação das CMEIs com o indicador EUI em kWh/m^2.ano (à esquerda acima); e indicador EUI em kWh/aluno.ano (à direita acima); e das EMs (à esquerda abaixo e à direita abaixo).



Fonte: Os autores.

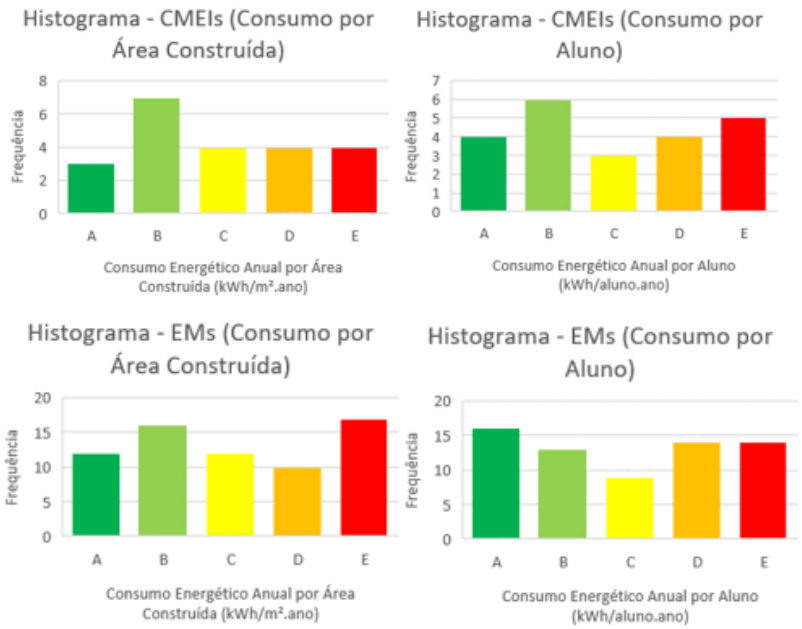
Nos estudos de [12], para as escolas públicas de Florianópolis, foram obtidos valores que variam de 2,29 a 42,57 para o indicador em kWh/m^2.ano e de 14,81 a 141,93 para o indicador em kWh/aluno.ano, evidenciando que o consumo de energia elétrica e o desvio padrão dessa amostra foram superiores àqueles das escolas públicas de Londrina.

Observaram-se situações em que, por um indicador, uma escola obteve classificação "A" e por outro, a classificação "E". Poucos alunos matriculados em uma escola de grande área construída podem, por exemplo, gerar esta divergência de classificação. Para os CMEIs, o indicador em kWh/aluno.ano foi o que melhor se adequou a amostra, visto que o valor do coeficiente percentílico de curtose se aproxima mais do valor esperado para uma distribuição perfeitamente normal, que equivale a 0,263. Já para as EMs, o indicador em kWh/m^2.ano apresentou menor diferença entre os valores de

coeficiente percentílico de curtose, resultando em uma maior proximidade entre a distribuição da amostra e a curva normal.

A Figura 03 apresenta os histogramas de frequência para as CMEIs e EMs. Observa-se que os CMEIs são mais eficientes do que as EMs, visto que muitos dos centros educacionais infantis se enquadram na classe B para os dois indicadores energéticos. Já as EMs possuem grande parte da amostra classificada como “E”. Este resultado pode, em parte, ser atribuído ao maior consumo de energia com condicionamento de ar, uma tendência que vem crescendo nas escolas brasileiras.

Figura 03: Histogramas de frequência para os CMEIs com o indicador EUI em kWh/m².ano (à esquerda acima); e indicador EUI em kWh/aluno.ano (à direita acima); e EMs (à esquerda abaixo e à direita abaixo).

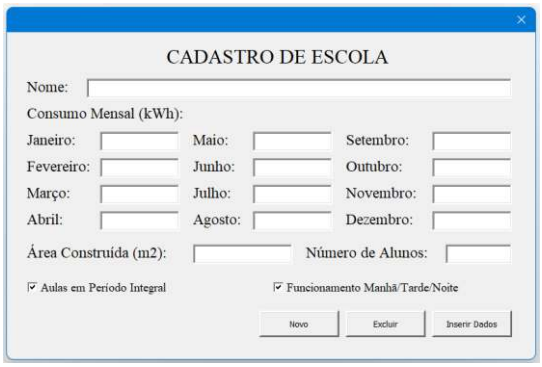


Fonte: Os autores.

A ferramenta de *benchmarking* desenvolvida permite criar uma base de dados para anos mais recentes a qual realizará todo o tratamento estatístico e aplicação da metodologia de *benchmarking* (Figura 04). A ferramenta permite também que o gestor use a base de dados atual, dentro do conjunto de dados gerados para o ano de 2019, visando avaliar o desempenho energético de determinada escola dentro da amostra. Na Figura 05, pode ser visualizada a classificação de uma escola dentro do conjunto de dados, para os dois EUIs.

Figura 04: Aba de cadastro dos parâmetros de entrada (à esquerda) e exemplo de resultado de tratamento estatístico para uma base de dados (à direita).

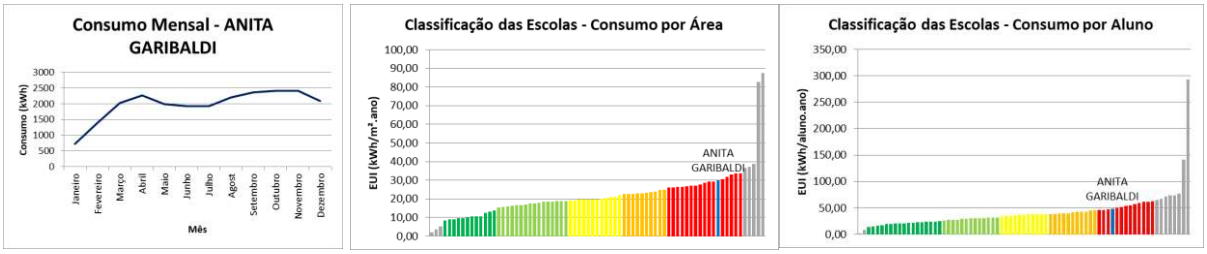
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8608



Número de Dados	60
Média Aritmética	20,27
Desvio Padrão	5,51
Curtose	-0,61
Coeficiente Percentílico	0,25

Fonte: Os autores

Figura 05: Exemplo de gráficos gerados pela ferramenta para análises individuais dentro do estoque de edificações de mesma tipologia.



Fonte: Os autores.

CONCLUSÕES

Neste estudo, foi desenvolvido um *benchmarking* energético local para a cidade de Londrina com base em um conjunto de dados de 99 escolas municipais, possibilitando classificá-las em classes de eficiência energética. Para isso, foram determinados indicadores energéticos, que relacionam o consumo energético anual com a área construída e o número equivalente de alunos das escolas.

Obteve-se que, para os Centros de Educação Infantil (CMEIs) destinados às crianças de até 5 anos, o indicador em kWh/aluno.ano foi o que melhor se adequou a amostra. Já para a avaliação das Escolas Municipais (EMs), sugere-se o emprego do indicador em kWh/m^2.ano. Porém, para ambos os indicadores, observou-se um número substancial de escolas com baixo desempenho energético, o que requer a realização de auditorias energéticas.

Por fim, os resultados desse estudo contribuem para a identificação dos edifícios ineficientes por gestores públicos. A partir da proposição de uma ferramenta destinada aos gestores, o estudo permite a aplicabilidade de resultados científicos visando a solução de problemas reais da sociedade. A estrutura proposta estabelece um caminho para uma transformação digital na gestão de ativos da Secretaria Municipal de Educação, servindo como modelo para a integração em plataformas de cidades inteligentes ou sistemas de gestão de energia em nuvem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de estudos concedida à um dos autores.

REFERÊNCIAS

[1] LAGE, W. M.; LAGE, M. H. M.; LAGE, B. L. M. Aplicação da gestão energética como ferramenta de redução estratégica de custos nas escolas públicas municipais de Belo Horizonte/MG. **In: XXII Congresso Brasileiro de Custos, 2015**, Foz do Iguaçú- PR. Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC, 2015.

[2] SINGH, M. K. OOKA R.; RIJAL, H. B; KUMAR, S. KUMAR A.; MAHAPATRAG S. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. **Energy and Buildings**, v. 188-189, p. 149-174, 2019.

[3] GERALDI, M. S.; GHISI, E. Mapping the energy usage in Brazilian public schools. **Energy and Buildings**, v. 224, 1100309, 2020.

[4] PEREIRA, L. D.; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S. P.; SILVA, M. G. Energy consumption in schools - A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 911-922, 2014.

[5] BRASIL. Decreto 9.741 de 29 de março de 2019. Estabelece programação orçamentária e financeira. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2019.

[6] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Inep. **Censo Escola 2024**. Brasília, 2025.

[7] IEA – International Energy Agency. **World Energy Outlook 2025**. Disponível em https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025. Acesso em 27/04/26.

[8] BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82-91, 2014.

[9] CHIHIB, M.; SALMERÓN-MANZANO, E.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Benchmarking Energy Use at University of Almeria (Spain). **Sustainability**, v. 12,1336, 2020.

[10] GERALDI, M. S.; GNECCO, V.; NETO, A. B.; MARTINS, B. A. M.; GHISI, E.; FOSSATI, M.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking. **Journal of Building Engineering,** v. 43, 103142, 2021.

[11] GNECCO, V. M.; GERALDI, M. S.; FOSSATI, M.; MONTES, M. A. T. Comparison between national and local benchmarking models: The case of public nursery schools in Southern Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 78, 103639, 2022.

[12] GNECCO, V. M.; GERALDI, M. S.; FOSSATI, M.; MONTES, M. A. T.; GHISI, E. Benchmarking estatístico considerando diferentes indicadores de desempenho energético: estudo em escolas de ensino infantil de Florianópolis. In: **XVI ENCAC**, 2021, Palmas. p. 1312-1321.

[13] GUILLÉN, E. E.; SAMUELSON, H. W.; LAURENT J. G. C. Comparing energy and comfort metrics for building benchmarking. **Energy and Buildings**, v. 205, 109539, 2019.

[14] KHOSHBAKHT, M.; GOU, Z.; DUPRE, K. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy and Buildings**, v. 164, p. 61-76, 2018.

[15] MARRONE, P. et al. Energy Benchmarking in Educational Buildings through Cluster Analysis of Energy Retrofitting. **Energies**, v. 11, p. 1-20, 2018.

[16] QUEVEDO, T. C.; GERALDI, M. S.; MELO, A. P. Applying machine learning to develop energy benchmarking for university buildings in Brazil. **Journal of Building Enginnering**, v. 63, 105468, 2023.

[17] SARAIVA, T. S.; SILVA, E. M.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. Comparative Study of Comfort Indicators for School Constructions in Sustainability Methodologies: Schools in the Amazon and the Southeast Region of Brazil. **Sustainability**, v. 11, p. 1-14, 2019.

[18] ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711- 728, 2014.

[19] ABNT. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[20] BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5. Ed. Florianópolis: USFC, 2002.

[21] VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G.; SANTOS, F. N. Energy benchmarking for office building towers in mild temperate climate. **Energy and Buildings**, v. 222, p.12-14, 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110059