



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ENTENDENDO O DESEMPENHO ENERGÉTICO DE ESCOLAS POR MEIO DA ANÁLISE DAS FATURAS DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS¹

GERALDI, Matheus S. (1); BAVARESCO, Mateus V. (2); GHISI, EneDir (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, matheus.geraldi@posgrad.ufsc.br

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, mateus.bavaresco@posgrad.ufsc.br

(3) Universidade Federal de Santa Catarina, enedir.ghisi@ufsc.br

RESUMO

Avaliar o desempenho energético operacional é importante para conhecer o uso de energia nas edificações e proporcionar estratégias de eficiência energética baseadas na realidade. Este artigo apresenta uma análise do desempenho energético de um estoque de escolas com base nas faturas de energia, área construída e ocupação. Os dados foram fornecidos pela Secretaria Estadual de Educação de Santa Catarina, e as análises foram divididas em escolas com fornecimento de energia em baixa tensão e alta tensão. As escolas em baixa tensão foram analisadas com base nos indicadores de intensidade de uso de energia em função da área construída e número de alunos (kWh/m².ano e kWh/aluno.ano). Com base nos quartis do estoque, foram determinados os desempenhos típicos, máximos e mínimos. Nas escolas em alta tensão, analisou-se a diferença entre demanda contratada e medida, consumo na ponta e fora da ponta, e relacionou-se o consumo com as informações de área construída e número de alunos. Além disso, percebeu-se que um ajuste na contratação de demanda pode proporcionar economia financeira significativa nas escolas em alta tensão. Por fim, concluiu-se que há a necessidade de um método que considere aspectos subjetivos na avaliação comparativa de desempenho energético de escolas.

Palavras-chave: benchmarking, desempenho energético, escolas.

ABSTRACT

Assessing the operational energy performance is important to understand the energy use in buildings and to provide energy efficiency strategies based on reality. This article presents an analysis of the energy performance of a school building stock based on energy bills, gross-floor area and occupation. All data were provided by the Department of Education of Santa Catarina, and the analyses were divided into schools with low-voltage and high-voltage energy supply. Low-voltage schools were analysed based on the indicators of intensity of energy use as function of the gross-floor area and number of students (kWh/m².year and kWh/student.year). Based on the quartiles of the stock the typical, maximum and minimum performances were determined. In high-voltage schools we analysed the difference between contracted and measured demand, the peak and off-peak consumption. In

¹ GERALDI, Matheus S.; BAVARESCO, Mateus V.; GHISI, EneDir. Entendendo o desempenho energético de escolas por meio da análise das faturas de energia: estudo de caso em edificações da região da grande Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

addition, the consumption was correlated to the gross-floor area and number of students. Furthermore, an adjustment in demand contracting could provide significant financial savings in high-voltage schools. Finally, we concluded that there is a need for a method that considers subjective aspects in benchmarking the energy performance of school buildings.

Keywords: benchmarking, energy performance, school buildings.

1 INTRODUÇÃO

Escolas são edificações de importância fundamental na sociedade, pois as ações tomadas nestas estruturas servem como vetores de comunicação para alunos e profissionais, de forma a atingir grupos muito diferentes da população (PEREIRA et al., 2014). Além disso, existe uma relação da qualidade do ambiente construído destas edificações com o desempenho escolar dos alunos (BURMAN; KIMPIAN; MUMOVIC, 2018). Diversos trabalhos abordaram a avaliação do desempenho energético de escolas em outros países, focando em: identificação de indicadores relevantes de desempenho (LOURENÇO; PINHEIRO; HEITOR, 2014); relato de lições aprendidas em *retrofits* (BURMAN; KIMPIAN; MUMOVIC, 2018; ZINZI et al., 2016); avaliação do desempenho global (GIUDICE et al., 2013); caracterização do estoque (BURMAN; KIMPIAN; MUMOVIC, 2018; KIM et al., 2019; WANG, 2019; WILLIS et al., 2011); modelagem do estoque utilizando análise de agrupamento (MARRONE; GORI, 2018); e experiências com certificação LEED (SCOFIELD; DOANE, 2018). No Brasil, o desempenho energético desta tipologia ainda é pouco estudado. Destaca-se a comparação de indicadores de conforto térmico em escolas de diferentes regiões (SARAIVA et al., 2019), e a modelagem do estoque nacional a partir da associação entre questionários e dados de consumo (GERALDI; GHISI, 2020b).

A avaliação do desempenho operacional – baseado em evidências de dados coletados na prática – proporciona a real noção do uso de energia nas edificações (GERALDI; GHISI, 2020a). A partir desta avaliação em um estoque de edificações, é possível tanto estabelecer uma perspectiva de desempenho para edificações em fase de projeto quanto estimar o desempenho de edificações já construídas. No caso de escolas da rede pública, o entendimento do desempenho energético proporciona a classificação do consumo de energia, de forma a facilitar a gestão de recursos públicos e possibilitar a identificação de oportunidades de melhorias. Uma das formas de se avaliar o desempenho do estoque é realizar uma avaliação comparativa (*benchmarking*). A avaliação comparativa consiste na obtenção de valores de referência (*benchmarks*) do desempenho energético, em função das características da edificação, como área construída, ocupação, tipo de uso, entre outras (CHUNG, 2011). Este procedimento deve ser realizado com base na energia final (faturada), pois há a consideração do comportamento do usuário. Processos de classificação baseados em simulação ou estimativas podem levar a resultados enviesados pelo *performance gap* (LIANG; QIU; HU, 2019).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é avaliar o desempenho energético de um estoque de escolas a partir das informações das faturas de energia, área construída e ocupação.

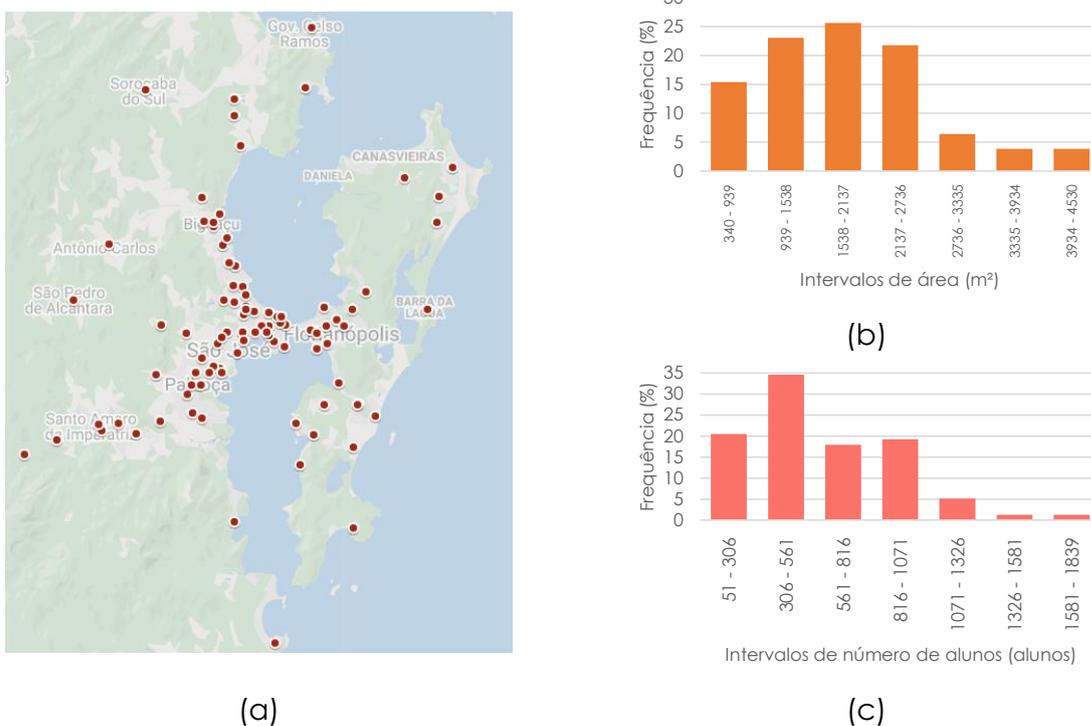
2 MÉTODO

2.1 Apresentação do estudo de caso

O recorte de estudo são as escolas da rede pública estadual da Grande

Florianópolis, Santa Catarina. Esta região compreende os municípios de Florianópolis, São José, Palhoça, Biguaçu, Santo Amaro da Imperatriz, Antônio Carlos, Águas Mornas e Governador Celso Ramos. A Figura 1 apresenta o mapa com a localização das 93 escolas que compõem o estoque de edificações em análise e as características de área e ocupação.

Figura 1 – (a) Localização das escolas em análise. (b) Histograma da área construída. (c) Histograma do número de alunos.



Fonte: (a) Adaptado de Google Maps. (b) e (c) Autores.

O estoque é composto por 34 escolas de ensino fundamental, 12 escolas de ensino médio, e 47 escolas de ensino fundamental e médio. Doze por cento das escolas abrigam também ensino de jovens e adultos em contraturnos.

As faturas de energia de 2017 e 2018, o número de alunos de cada escola, e o tipo de ensino e endereço foram fornecidos pela Secretaria Estadual de Educação de Santa Catarina. A área construída foi obtida por meio de coleta remota com auxílio do Google Earth e algumas confirmações foram realizadas em campo.

2.2 Edificações em baixa tensão

Das 93 escolas, 78 recebem energia em baixa tensão (grupo B3 da concessionária CELESC). A análise do desempenho das escolas em baixa tensão foi feita pela associação do consumo anual de energia com a área construída e com o número de alunos, resultando em indicadores de intensidade de uso de energia (kWh/m².ano e kWh/aluno.ano) para cada escola.

O estoque foi dividido em quartis a partir dos indicadores obtidos, estabelecendo-se assim um *benchmarking* estatístico simples. As edificações que se enquadraram no quartil inferior (0-25% do estoque) foram consideradas com bom desempenho. Os quartis médios (25-50% e 50-75%) foram considerados médio desempenho e o quartil

superior (75-100%), de baixo desempenho.

2.3 Edificações em média/alta tensão

Quinze escolas recebem energia em média/alta tensão (grupo A4 da concessionária CELESC). Este fornecimento de energia possibilita uma avaliação mais completa, pois a fatura informa o consumo em horário de ponta e fora de ponta. Além disso, este tipo de fornecimento de energia é feito por demanda contratada. Ou seja, a escola informa anualmente à concessionária a demanda que vai contratar mensalmente. Caso a escola ultrapasse a demanda, é cobrado um valor acrescido de multa pela demanda ultrapassada. Caso a escola demande menos energia do que o contratado, é cobrado o valor contratado. A fatura informa a demanda contratada e a demanda medida.

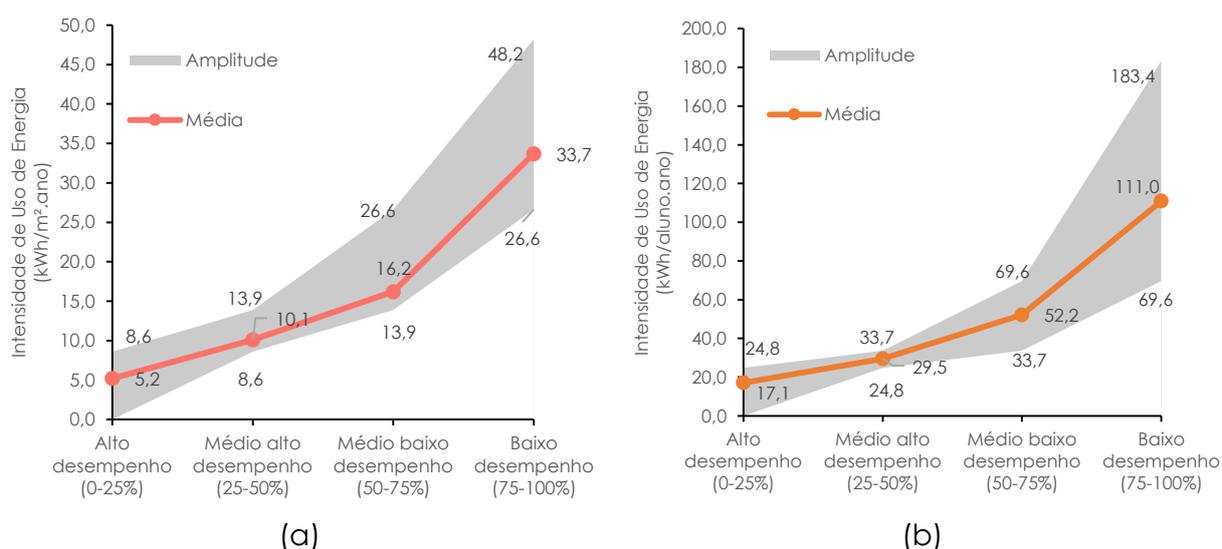
A análise de consumo foi feita pela comparação percentual do consumo em ponta e fora de ponta. A análise de demanda foi feita pela comparação da média de demanda contratada e média de demanda medida. Calculou-se, em termos de demanda e financeiro, a diferença entre demanda efetivamente usada e contratada. Por fim, a associação do consumo e demanda ao aspecto construtivo e ao aspecto de ocupação foi feita por meio de uma análise de dispersão.

3 RESULTADOS

3.1 Edificações em baixa tensão

Os indicadores de desempenho em relação à área construída e à ocupação são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Desempenho em função (a) da área construída e (b) do número de alunos.



Fonte: Autores.

De forma prática, é possível analisar o desempenho de uma dada edificação escolar a partir das informações da Figura 1, de forma a posicionar seu desempenho no estoque. Por exemplo, se uma escola apresentar intensidade de uso de energia de 10 kWh/m².ano, é possível perceber que ela se encontra entre a

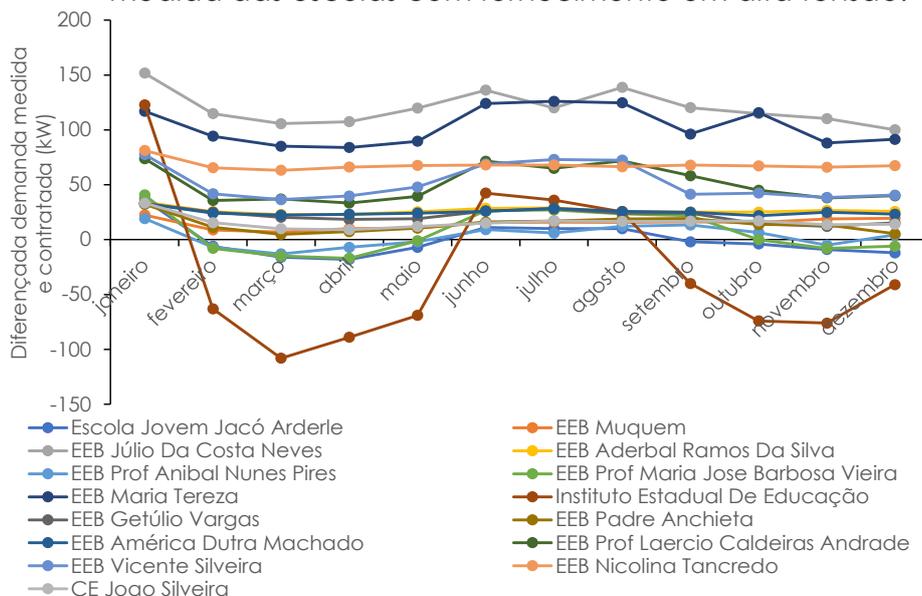
faixa de desempenho médio para bom (entre 8,6 e 13,9 kWh/m².ano), e é 10% mais eficiente que a média desta categoria (10,1 kWh/m².ano). O mesmo se aplica para a outra unidade de análise, em função do número de aluno).

É importante perceber que ambos os indicadores se comportaram de maneira similar para os dados utilizados. No entanto, considerando-se o estoque analisado, percebe-se que uma análise conjunta proporciona uma avaliação mais completa. Por exemplo, no indicador em função da área construída, identifica-se que a média está afastada da borda superior da amplitude, informando que existem observações pontuais de escolas com alto consumo e pouca área naquela faixa (como observado no desempenho médio baixo, onde a média é 16,2 kWh/m².ano e o valor máximo é 26,6 kWh/m².ano). Por outro lado, o indicador por número de alunos é mais consistente, uma vez que a média de cada faixa é visualmente posicionada no meio da amplitude. Essa percepção referente ao desempenho em relação ao número de alunos revela que este indicador é mais adequado em relação aos dados analisados. De fato, o uso da intensidade do uso energia em função do número de alunos é recomendado pela literatura, pois representa melhor a realidade no contexto brasileiro (GERALDI; GHISI, 2020b). De todo modo, um próximo passo para aperfeiçoar a análise de desempenho é levar em consideração outros fatores, como, por exemplo, a satisfação e o conforto dos usuários quanto à qualidade do ambiente construído. Estes fatores impactam diretamente no desempenho da edificação. Dizer que uma edificação tem um bom desempenho por ter baixo consumo pode ser equivocado, pois a edificação pode estar falhando em proporcionar um ambiente confortável.

3.2 Edificações em alta tensão

As edificações em alta tensão foram analisadas pela ótica da demanda, do consumo, e da relação entre consumo e área construída e ocupação (Figura 3).

Figura 3 – Diferença entre demanda média contratada e demanda média medida das escolas com fornecimento em alta tensão.



Fonte: Autores.

Percebe-se que, em média, a demanda contratada é muito maior que a demanda medida, uma vez que a diferença entre demanda medida e contratada é muito

variável. O ideal seria que todas as linhas do gráfico ficassem em zero. Os valores negativos correspondem à demanda ultrapassada (demanda contratada menor que a medida), e os valores positivos à demanda excedente (demanda contratada maior que a utilizada). Há uma demanda maior por energia nos meses de fevereiro, março e abril, devido ao uso do ar-condicionado no verão (mais próximos do zero). No entanto, mesmo nestes meses, a demanda medida ainda foi em média 20 kW menor do que a contratada. Em algumas escolas houve ultrapassagem da demanda em alguns meses, no entanto, na maioria das 15 escolas, a demanda medida é muito menor do que a contratada.

Apesar de essa análise não tratar de eficiência energética em si, é possível identificar uma oportunidade de economia de recursos públicos apenas com um ajuste no contrato. A Tabela 1 apresenta um resumo do custo com demanda em 2018, pago pela Secretaria Estadual de Educação referente a estas 15 escolas.

Tabela 1 – Resumo da demanda contratada excedente e ultrapassada em 2018.

| Demanda | Custo unitário (R\$/kW) | Demanda em 2018 (kW) | Custo em 2018 (R\$) | % do custo total |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Demanda contratada excedente | 13,14 | 11.172,00 | 146.832,03 | 88,4 |
| Demanda ultrapassada | 26,53 | 723,05 | 19.184,13 | 11,6 |
| Total | | | 166.016,16 | 100 |

Fonte: Autores.

No caso específico das 15 escolas em 2018, caso a demanda contratada fosse mais próxima da medida, haveria uma economia financeira da ordem de 166 mil reais. É importante ressaltar que o reajuste da demanda contratada pode ser feito uma vez ao ano. A Secretaria de Educação informou que geralmente a demanda é contratada com base no projeto elétrico da escola (potência instalada), mas o que ocorre na realidade é que raramente há a aquisição de todos os equipamentos do projeto elétrico. De fato, esta é uma oportunidade para avaliação anual dos usos finais de energia pelas escolas e renegociação de demanda com a concessionária, que proporcionaria uma otimização dos recursos públicos. A Figura 4 apresenta a média do consumo na ponta (entre 18h e 21h) e fora de ponta.

Figura 4 – Consumo na ponta e fora de ponta das escolas em alta tensão.

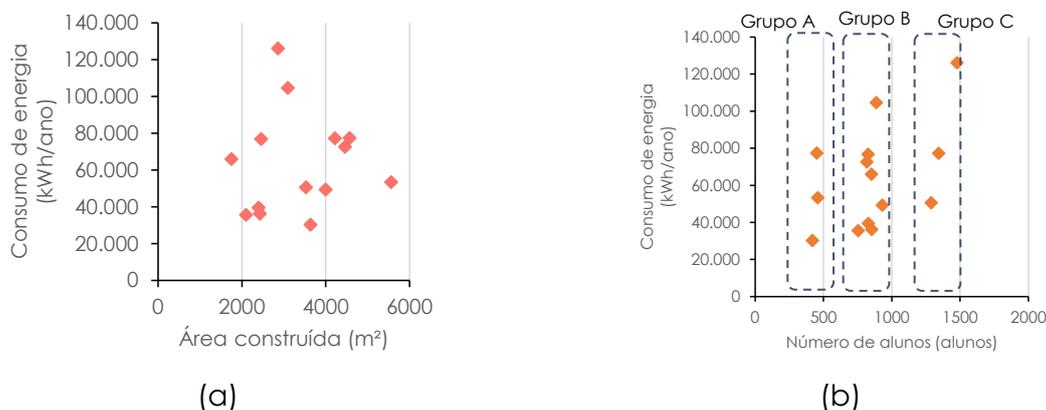


Fonte: Autores.

Percebe-se consumo maior em março e abril devido ao uso do ar-condicionado. Ressalta-se que em fevereiro o uso de ar-condicionado também é recorrente; entretanto, o ano letivo, geralmente, não engloba a totalidade desse mês, minimizando o consumo energético das escolas. Em média, o consumo na ponta é

constante durante todo o ano. Relacionando-se o consumo total (na ponta somado ao fora de ponta) com a área construída e número de alunos, é possível verificar indicadores para nortear a avaliação comparativa. Como esta amostra contém poucos dados (15 escolas), o *benchmarking* foi feito por uma análise da dispersão dos resultados, apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Relação entre consumo anual e (a) área construída e (b) número de alunos de escolas em alta tensão.



Fonte: Autores.

A relação entre consumo e área construída não resultou em uma correlação forte, como observa-se na Figura 5(a). Da análise entre consumo e número de alunos, não é possível estabelecer uma relação de causa e efeito; no entanto, percebem-se agrupamentos bem definidos. Estes agrupamentos possibilitam a obtenção de valores representativos para os grupos. Os agrupamentos estão representados por caixas pontilhadas. O grupo A apresentou média de consumo de 54,02 kWh/aluno.ano, o grupo B 71,67 kWh/aluno.ano e o grupo C 124,95 kWh/aluno.ano.

3.3 Aplicações práticas dos resultados

De maneira geral, as análises realizadas neste estudo favorecem tomadas de decisão de setores da administração pública em relação à contratação de demanda nas escolas estaduais. É evidente que estipular um limite para contratação de demanda igual à demanda mensal máxima observada em um ano representaria economias financeiras significativas por reduzir a contratação de demanda inutilizada. Geraldi, Bavaresco e Ghisi (2019) apresentaram modelos baseados em aprendizado de máquina capazes de estimar o consumo energético de escolas com base em suas características construtivas e variáveis contextuais. Englobar esses algoritmos em plataformas com alta usabilidade e apresentá-las a gestores públicos pode ajudar na otimização de contratação de demanda.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o desempenho energético de um estoque de escolas a partir das informações das faturas de energia, área construída e ocupação. Pode-se concluir que o desempenho das escolas em baixa tensão apresentou mais aderência ao indicador em função do número de alunos. Identificou-se que escolas em alta tensão necessitam de ajustes nos contratos de demanda. Em relação à avaliação comparativa do consumo em escolas de alta tensão, pode-se concluir que é necessário um estudo mais aprofundado e uma amostra maior para garantir

uma análise estatística apropriada. Por fim, é evidente a necessidade de um método de *benchmarking* que considere fatores subjetivos como os níveis de satisfação e produtividade dos usuários.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pelo apoio financeiro, e à Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina por disponibilizar os dados.

REFERÊNCIAS

BURMAN, Esfand; KIMPIAN, Judit; MUMOVIC, Dejan. Building Schools for the Future: Lessons Learned From Performance Evaluations of Five Secondary Schools and Academies in England. **Frontiers in Built Environment**, v. 4, p. 1–16, 2018.

CHUNG, William. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. **Applied Energy**, v. 88, n. 5, p. 1470–1479, 2011.

PEREIRA, Luísa *et al.* Energy consumption in schools - A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 911–922, 2014.

GERALDI, Matheus Soares; BAVARESCO, Mateus Vinicius; GHISI, EneDir. Bayesian Network for Predicting Energy Consumption in Schools in Florianópolis – Brazil. **BS 2019**, p. 4188–4195, 2019.

GERALDI, Matheus Soares; GHISI, EneDir. Building-level and stock-level in contrast: A literature review of the energy performance of buildings during the operational stage. **Energy & Buildings**, v. 211, p. 109810, 2020a.

GERALDI, Matheus Soares. GHISI, EneDir. Mapping the energy usage in Brazilian public Schools. **Energy and Buildings**. 2020b.

KIM, Tae Woo *et al.* The study on the Energy Consumption of middle school facilities in Daegu, Korea. **Energy Reports**, v. 5, p. 993–1000, 2019.

LIANG, Jing; QIU, Yueming; HU, Ming. Mind the energy performance gap: Evidence from green commercial buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 141, p. 364–377, 2019.

LOURENÇO, Patrícia; PINHEIRO, Manuel Duarte; HEITOR, Teresa. From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings. **Energy and Buildings**, v. 85, p. 212–224, 2014.

MARRONE, Paola; GORI, Paola. Energy Benchmarking in Educational Buildings through Cluster Analysis of Energy Retrofitting. **Energies**, v. c, p. 1–20, 2018.

GIUDICE, G. *et al.* Analysis of energy performance of school building stock in Rome. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 179, p. 121–129, 2013.

SARAIVA, Tatiana Santos *et al.* Comparative study of comfort indicators for school constructions in sustainability methodologies: Schools in the amazon and the southeast region of Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 19, 2019.

SCOFIELD, John H.; DOANE, Jillian. Energy performance of LEED-certified buildings from 2015 Chicago benchmarking data. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 402–413, 2018.

WANG, Jen Chun. Energy consumption in elementary and high schools in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1107–1116, 2019.

WILLIS, Rachelle M. *et al.* Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 8, p. 1996–2009, 2011.

ZINZI, Michele *et al.* Deep energy retrofit of the T. M. Plauto School in Italy—A five years experience. **Energy and Buildings**, v. 126, p. 239–251, 2016.