XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Análise de consumo de energia de Prédios Públicos nos 27 Estados Brasileiros

Análisis de consumo de energía de Edificios Públicos en las 27 Estados Brasileños

Energy Consumption Analysis of Public Buildings in the 27 Brazilian States

Eficiência Energética / *Eficiencia Energética / Energy Efficiency*

Oliveira, Belmiro Cardoso

Doutorando em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, belmirocardoso@gmail.com

Vimieiro, Jhade Iane Cunha

Doutoranda em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil, jhadevimieiro@gmail.com

Souza, Roberta Vieira Gonçalves de

Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, robertavgs@ufmg.br

Vivas, Camila Lemes Caputo

Graduanda em Arquitetura Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, camilalemescv@gmail.com

Oliveira, Pedro Henrique Figueiredo

Graduando em Estatística, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, phfopedro4025@gmail.com

RESUMO

Desde a década de 1990, métodos de comparação de eficiência energética entre edifícios com tipologias similares têm sido empregados para quantificar e qualificar a eficiência energética por meio de *benchmark*s. Este estudo utilizou dados de consumo de energia de edifícios públicos, em operação 24 horas por dia, através do cálculo do EUI (intensidade de uso de energia) e cálculo de graus-hora para os climas das cidades estudadas, com o objetivo de desenvolver um benchmark para essas edificações. A análise dos dados de 2018 e 2019 revelou que: 1) a idade e a tipologia de construção impactam o consumo energético; 2) o clima é um fator determinante no consumo, sendo que edifícios em zonas bioclimáticas quentes apresentam maior demanda de energia devido à necessidade de climatização. Estudos adicionais são necessários para aprofundar a relação entre a volumetria da envoltória, a densidade de iluminação e o consumo energético desses edifícios.

Palavras-chave: Consumo de energia. Análise de dados. Prédios públicos.

ABSTRACT

Since the 1990s, methods of comparing energy efficiency between buildings with similar typologies have been used to quantify and qualify energy efficiency through benchmarks. This study used energy consumption data from Federal Police Superintendence buildings in operation 24 hours a day, through the calculation of EUI (Energy Use Intensity) and degree hours for the climates of the studied cities, with the aim of developing a benchmark for these buildings. Analysis of the 2018 and 2019 data revealed that: 1) the age and building typology impact energy consumption; 2) the climate is a determining factor in consumption, with buildings in warm bioclimatic zones having a higher energy demand due to the need for air conditioning. Further studies are needed to deepen the relationship between the volume of the building envelope, lighting density and the energy consumption of these buildings.

Keywords: Energy consumption. Data analysis. Public buildings.

RESUMEN

Desde la década de 1990, los métodos de comparación de la eficiencia energética entre edificios con tipologías similares se han utilizado para cuantificar y calificar la eficiencia energética mediante puntos de referencia. Este estudio utilizó datos de consumo de energía de edificios de la Superintendencia de la Policía Federal en funcionamiento las 24 horas del día, mediante el cálculo de EUI (intensidad de uso de energía) y el cálculo de grados día para los climas de las ciudades estudiadas, con el objetivo de desarrollar un benchmark para estos edificios. El análisis de los datos de 2018 y 2019 reveló que: 1) la antigüedad y la tipología del edificio influyen en el consumo de energía; 2) el clima es un factor determinante en el consumo, teniendo los edificios situados en zonas bioclimáticas cálidas una mayor demanda energética debido a la necesidad de aire acondicionado. Se necesitan más estudios para profundizar en la relación entre el volumen de la envolvente del edificio, la densidad de iluminación y el consumo energético de estos edificios.

Palabras clave: Consumo de energía. Análisis de datos. Edificios públicos.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2001, o Brasil enfrentou o maior racionamento e desabastecimento de energia já registrado (GOV, 2021) e, a partir de então, medidas foram tomadas para evitar um novo racionamento. Dentre as últimas medidas, o governo do país decretou redução do consumo de energia em prédios públicos federais em até 20% até 2022 (BRASIL, 2021).

Em 2022, o Brasil consumiu mais de 522 milhões de megawatt-hora de energia elétrica, sendo as edificações responsáveis por 55% desse total (EPE, 2022). Aumentar a eficiência energética desses edifícios é uma estratégia para reduzir o consumo. Indicadores de eficiência energética são utilizados para avaliar o desempenho no consumo de energia, e o *benchmarking* energético é uma ferramenta eficaz nesse processo. O *benchmarking* permite identificar os edifícios com maior eficiência energética, com base em modelos comparativos, além de identificar melhores práticas e promover melhorias contínuas (CHUNG, HUI e LAM, 2006).

Para a avaliação energética, são utilizados métodos e ferramentas baseadas em indicadores de eficiência energética, essenciais para a gestão do consumo de energia por governos e setor privado. Alguns governos adotam essas ferramentas na formulação de políticas para promover o uso eficiente de energia em edificações (LI, HAN e XU, 2014; FEDERSPIEL, ZHANG e ARENS, 2002).

Ao aplicar essas metodologias, é possível identificar tanto os pontos fracos quanto as melhores práticas de edifícios com desempenho superior, facilitando a adoção de estratégias bem-sucedidas e tecnologias inovadoras. Dessa forma, a avaliação do consumo energético em edifícios públicos torna-se essencial para o desenvolvimento de políticas e práticas sustentáveis.

Este estudo analisa os dados de consumo de energia de edifícios públicos nos 27 estados brasileiros, com operação contínua, visando a criação de um *benchmark* energético para essas construções. A análise, realizada com dados de 2018 e 2019, antes da pandemia de Covid-19, escolhido para evitar distorções nos dados devido a consumos atípicos, mostrou que fatores como a idade, tipologia da construção e clima influenciam o consumo de energia, sendo as edificações em zonas bioclimáticas quentes mais exigentes em climatização. A pesquisa propõe, ainda, um estudo futuro sobre a correlação entre a volumetria da envoltória, a densidade de iluminação e o consumo energético, com o objetivo de identificar padrões,

ineficiências e melhores práticas para promover a eficiência e sustentabilidade energética, considerando as diversas características desses edifícios públicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O *benchmarking* de energia é uma ferramenta utilizada para avaliar o consumo de energia de um edifício, comparando-o com o de outros edifícios ou com seu desempenho anterior.

O processo de *benchmarking* envolve quatro etapas principais: 1) criação de uma base de dados com informações sobre o desempenho energético de edifícios, categorizadas por clima, materiais da envoltória, sistema de climatização, tipo de uso e tamanho da construção (ENTERIA, YOSHINO e MOCHIDA, 2013); 2) coleta de dados sobre o consumo de energia do edifício real; 3) análise comparativa para avaliar o desempenho energético em relação às amostras do banco de dados; 4) recomendação de medidas de eficiência energética viáveis, técnicas e econômicas (MATSON e PIETTE, 2005).

Vários métodos de *benchmarking*, baseados em indicadores de eficiência energética, são essenciais para a gestão de consumo de energia por governos e setor privado. Recentemente, Tardioli *et al.* (2022) analisaram políticas de eficiência em edifícios governamentais, concluindo que sistemas de gestão de energia reduzem significativamente o consumo, destacando também a importância da participação ativa dos usuários para maximizar os benefícios das medidas de eficiência energética.

Para prédios públicos o *benchmarking* de energia são uma grande oportunidade para melhoria no consumo de energia uma vez que esses prédios não possuem sistemas de condicionamento e iluminação atualizados com tecnologias eficientes. O processo gera oportunidades para reduzir custos e economizar energia por meio de melhores práticas de gerenciamento, uso de equipamentos mais avançados e melhorias arquitetônicas (ROCHA, 2012).

Nos *benchmarkings* de energia a intensidade de uso de energia (EUI), medida em kWh/m², é um indicador importante do consumo energético de edificações, amplamente usado em comparações entre edifícios semelhantes (AHMAD et al., 2018; KIM et al., 2020). No entanto, os EUI's variam devido a fatores como clima, tipo de uso, densidade de ocupação e características construtivas do imóvel, o que exige a consideração dessas variáveis para comparações precisas (CUI et al., 2017; CHEN et al., 2019). Isso ressalta a importância de

metodologias de *benchmarking* que integrem múltiplos fatores e dados para uma avaliação mais completa do desempenho energético (HONG et al., 2016).

Uma forma simplificada de analisar o impacto das temperaturas externas, em diferentes regiões bioclimáticas, sobre o consumo energético das edificações devido ao condicionamento ambiental é o uso dos métodos de graus-hora e graus-dia. Ambos utilizam medidas de temperatura, horárias para o primeiro caso e diária para o segundo caso (STENSJÖ, FERREIRA, LOURA, 2017). O método Graus-hora desenvolvido pela ASHRAE, é calculado tomando-se como base a temperatura de conforto máxima para resfriamento fazendo um somatório da temperatura externa em relação a uma temperatura base. Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), o Brasil possui 8 zonas bioclimáticas (ZB), cada uma com características climáticas de conforto térmico específicas, que devem ser consideradas no processo de *benchmarking*.

3. OBJETO DE ESTUDO

Os 27 edifícios públicos um em cada unidade da federação no Brasil, foram selecionados para a análise de consumo de energia elétrica, visando o desenvolvimento de um *benchmarking*. Com características variadas de área construída, terreno, volumetria e clima, essas edificações funcionam 24 horas por dia, todos os dias, e incluem escritórios, laboratórios, copas, depósitos, áreas de detenção, vestiários, banheiros, espaços de atendimento ao público, iluminação externa e estacionamento. A análise abrange os dois anos anteriores à pandemia de Covid-19 para evitar distorções por consumos atípicos. As edificações possuem sistemas de climatização artificial, como mini *splits, splits*, VRF (*Variable Refrigerant Flow*), centrais de água gelada e *chillers*, mas não contam com sistemas de aquecimento devido ao clima tropical.

As unidades da região Norte estão nas capitais Rio Branco (AC), Macapá (AP), Manaus (AM), Porto Velho (RO), Boa Vista (RR) e Belém (PA), construídas entre 1987 e 2018. No que se refere aos sistemas de climatização, observa-se que a edificação de Rio Branco utiliza o sistema VRF, enquanto a unidade de Belém conta com uma central de condensação a ar. Nas demais unidades da região, são empregados sistemas de ar-condicionado do tipo split e mini split. Todas as edificações estão inseridas na Zona Bioclimática 8 (ZB8), conforme a ABNT. A unidade de Palmas (TO), construída em 2010, utiliza sistema de resfriamento mini *split* e está na ZB7.

No Nordeste, as edificações em Maceió (AL), Salvador (BA), Fortaleza (CE), São Luís (MA), João Pessoa (PB), Recife (PE), Teresina (PI), Natal (RN) e Aracaju (SE) têm construções que variam

desde as décadas de 1970 até 2018. Os sistemas de resfriamento incluem condensação de água, ar-condicionado mini *split* e *chiller*. A maioria está na ZB8, exceto Teresina (ZB7).

No Centro-Oeste, as unidades em Brasília (DF), Cuiabá (MT) e Campo Grande (MS) foram construídas entre 1977 e 1996, com sistemas de resfriamento por condensação de água e mini *split*. A edificação de Goiânia (GO), por sua vez, foi construída em 2005 e utiliza sistema de climatização por condensação a ar. Quanto à classificação bioclimática, Brasília está inserida na Zona Bioclimática 4 (ZB4), Cuiabá na Zona Bioclimática 7 (ZB7), enquanto as unidades de Campo Grande e Goiânia encontram-se situadas na Zona Bioclimática 6 (ZB6).

No Sudeste, as unidades em Belo Horizonte (MG), Vila Velha (ES), São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) têm construções entre 1979 e 2005, utilizando sistemas de resfriamento como mini *split*, central de água gelada e condensação de água. A maioria das cidades está na ZB8, exceto Belo Horizonte, que está na ZB3.

Na região Sul, as edificações localizadas em Porto Alegre (RS), Florianópolis (SC) e Curitiba (PR) foram construídas em 1994, 1998 e 2007, respectivamente. Quanto aos sistemas de climatização, a edificação de Curitiba possui *chiller* com condensação a ar, enquanto as unidades de Florianópolis e Rio Grande do Sul utilizam *chiller* com condensação de água. Curitiba está na ZB1, enquanto Porto Alegre e Florianópolis estão na ZB3.

4. MÉTODO

O método consiste em três etapas: levantamento de dados e cálculo de EUI, cálculo de graus-hora para os climas das cidades estudadas e análise de dispersão dos dados para verificar o peso das variáveis analisadas.

Na primeira etapa, foi criado um banco de dados com informações das 27 edificações, e os EUI's anuais foram calculados com base em plantas-baixas, cadernos de encargos, catálogos de equipamentos e faturas de energia de 2018 e 2019.

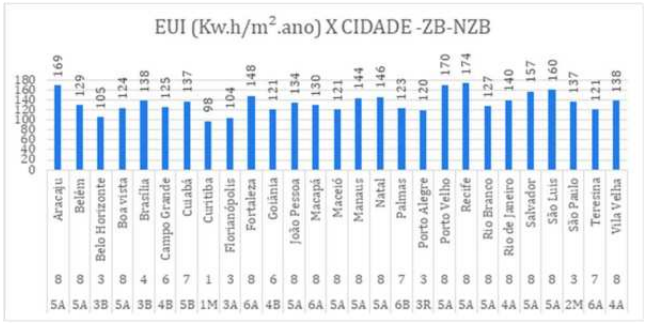
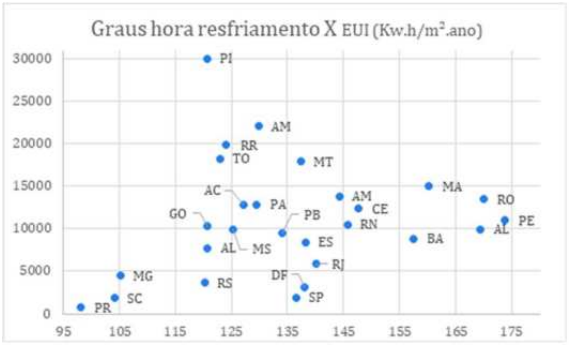
Na segunda etapa, calcularam-se os graus-dia para as cidades em estudo, a fim de entender a demanda de aquecimento ou resfriamento devido às condições climáticas externas.

Na terceira etapa, foi realizada uma análise de dispersão dos dados, considerando variáveis como intensidade do uso de energia, coeficiente de desempenho, graus-hora de resfriamento e densidade de funcionários por área nas edificações utilizando o software *Excel* da *Microsoft*.

5. RESULTADOS

O consumo médio de energia das edificações analisadas foi de 134 kWh/m²/ano, com desvio padrão de 19 kWh/m²/ano. O gráfico 1 revela uma grande variação no desempenho energético, com o prédio de Recife apresentando o maior consumo e o de Curitiba o menor. Fatores como clima, densidade de ocupação, idade, tipos de sistemas de ar-condicionado, iluminação e equipamentos instalados influenciam o consumo, embora aspectos como operação e comportamento dos ocupantes não tenham sido considerados nesse estudo.

Os valores de EUI encontrados são mais altos do que os de prédios comerciais no Brasil, o que se justifica pelo funcionamento 24 horas por dia dessas edificações, ao contrário de prédios comerciais com horários restritos. A distribuição de consumo revelou que 7 prédios consomem entre 98 e 121 kWh/m²/ano, 7 entre 123 e 134 kWh/m²/ano, 6 entre 137 e 144 kWh/m²/ano, e 7 entre 146 e 174 kWh/m²/ano, conforme mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 1: Intensidade de uso de energia das 27 edificações	**Gráfico 2: Intensidade de uso de energia x Graus-hora de resfriamento**
	

Fonte: Autores.

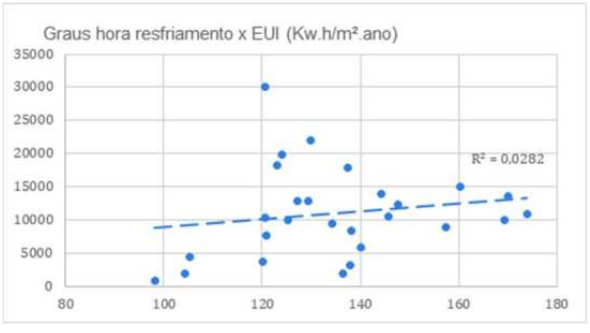
Graus-hora é um indicador da demanda de aquecimento ou resfriamento relacionada às condições externas do edifício, impactando o consumo de energia elétrica, gás ou outros combustíveis. A Intensidade de Uso de Energia (EUI) aumenta com a ampliação da diferença entre as temperaturas interna e externa. Uma forma simplificada de avaliar o impacto climático é analisar os graus-hora de resfriamento por ano.

Considerando que os 27 edifícios estão em diferentes regiões bioclimáticas do Brasil, foi necessário ajustar a diferença climática. Dados climáticos por horários dos arquivos do Instituo Nacional de Meteorologia, INMET, foram utilizados para calcular os graus-hora de resfriamento. A temperatura base foi subtraída das temperaturas de bulbo úmido a cada hora do ano e somada, resultando nos graus-hora de resfriamento anual para 27 climas distintos no Brasil.

O Gráfico 3 mostra a amplitude de graus-hora de resfriamento dos edifícios estudados. O prédio em Curitiba tem 733 graus-hora de resfriamento, 39 vezes menos que o de Teresina, com 29.993 graus-hora. Nos edifícios analisados, apenas equipamentos de resfriamento foram instalados, sem EUI's de aquecimento. Ao observar os gráficos de Consumo x Graus-hora de resfriamento e Consumo x Densidade de servidores, vê-se que os prédios com maior densidade de ocupação e localizados em regiões quentes têm maior consumo de energia por metro quadrado. O Gráfico 3 também revela que os maiores consumos ocorrem em zonas quentes, exceto em São Paulo, onde outras variáveis afetam o consumo.

Os edifícios com menor consumo geralmente estão em zonas frias ou, no caso de Roraima e Amapá, apesar do clima quente, tem baixa densidade de ocupação, resultando em menor uso de áreas climatizadas. Assim, edifícios em regiões mais frias tendem a consumir menos energia devido à menor demanda de resfriamento, enquanto os de regiões quentes apresentam maior consumo por causa do uso intensivo de ar-condicionado.

Gráfico 3: Intensidade de uso de energia x Graus-hora de resfriamento

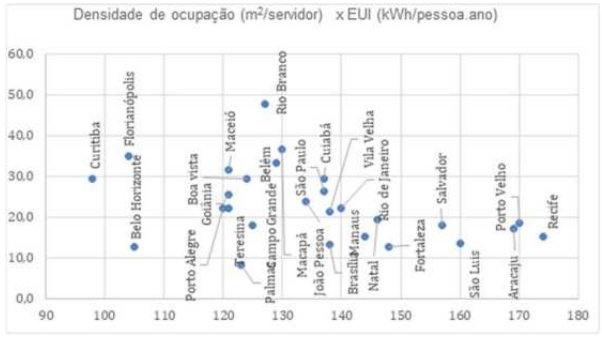
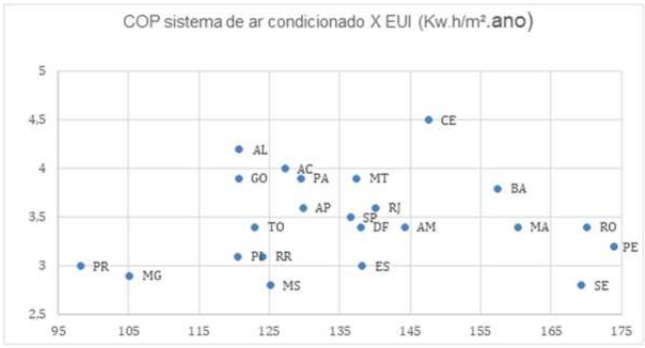


Fonte: Autores

Os prédios estudados têm diferentes taxas de ocupação que variam de 8 metros quadrados por servidor até 47 metros quadrados por servidor. Essa diferença irá refletir nas demandas

de carga térmica do prédio. Espera-se que quanto menor a quantidade de metros quadrados por servidor maior a demanda de iluminação, refrigeração e tomadas para utilização de equipamentos elétricos.

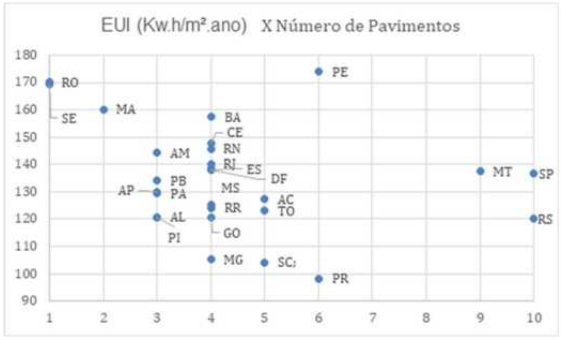
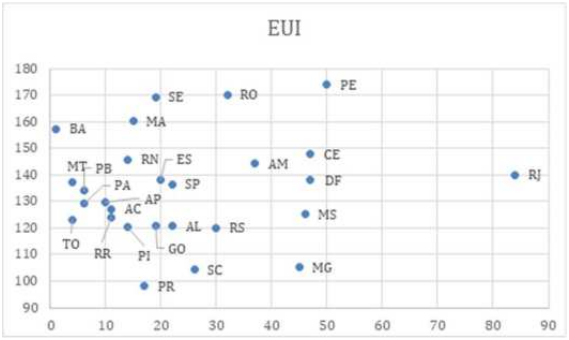
É possível perceber no Gráfico 4 que as unidades com grande concentração de servidores por metro quadrado, como em Salvador, Fortaleza e São Luís, que estão localizadas em climas quentes, são os maiores consumidores de energia. Também é possível observar que prédios com baixa densidade de ocupação estão entre os prédios com menor consumo de energia.

Gráfico 4: Intensidade de uso de energia x Densidade de ocupação	**Gráfico 5: Coeficiente de performance do sistema de ar-condicionado x Intensidade de uso de energia**
	

Fonte: Autores.

Em climas quentes como o do Brasil, a área da cobertura dos edifícios climatizados artificialmente afeta diretamente o consumo de energia, sendo que edifícios mais altos tendem a consumir menos, embora o último pavimento exija maior gasto energético. A avaliação do COP é crucial, especialmente para edificações que utilizam sistemas de ar-condicionado com baixo coeficiente de performance.

Edifícios localizados na Bahia, Maranhão, Rondônia, Pernambuco e Sergipe, em climas quentes, apresentam alto consumo de energia, alta densidade de servidores por metro quadrado e COPs baixos, indicando uma forte correlação entre esses fatores. A análise abrange edifícios de 1 a 10 pavimentos, com predominância de prédios de 4 andares, sem correlação direta entre número de pavimentos e consumo. Destaca-se, no entanto, o edifício de São Paulo, que, apesar do clima ameno, apresenta alto consumo devido à grande área e alta densidade de servidores.

Gráfico 6: Intensidade de uso de energia x Número de pavimentos	Gráfico 7: Intensidade de uso de energia x Idade das edificações
	

Fonte: Autores.

Não foi observada correlação entre o consumo total de energia e a altura dos prédios nos 27 analisados. Para uma análise mais precisa, é necessário agrupar as correlações entre características geométricas, como volume, áreas de fachada, área construída e áreas de abertura.

As edificações estudadas variam desde a década de 40 às construções mais recentes, com menos de 10 anos. Prédios antigos, sem reformas de modernização nos sistemas de iluminação, ar-condicionado e elevadores, tendem a ter maior consumo de energia. Além disso, reformas na fachada, como instalação de *brises*, mudança de cor ou melhorias nas coberturas, podem impactar diretamente no consumo energético.

Nos 27 prédios analisados, não foram consideradas reformas de modernização, apenas o estado atual das envoltórias e sua idade. Sendo assim, observou-se que edifícios mais antigos, como no RJ, PE, CE e BA, localizados em zonas quentes, apresentam os maiores consumos energéticos. Já os prédios mais eficientes, como os de AP, RR e PB, são mais recentes, situados em zonas quentes, com consumos semelhantes.

6. CONCLUSÕES

A eficiência energética de uma edificação pode ser melhor explicada dependendo do indicador e variáveis escolhidas para avaliação, considerando sua localização, características construtivas e uso. A comparação do consumo de eletricidade por área entre edifícios com características semelhantes é um método comum de análise.

Este estudo avaliou 27 prédios com diferentes idades, tipologias, sistemas de ar-condicionado e iluminação, e constatou que edifícios com o mesmo uso, mas localizados em diferentes regiões, apresentam consumos energéticos variados. A zona bioclimática e a densidade de ocupação são fatores determinantes para o desempenho energético, e a tipologia e idade da edificação devem ser analisadas juntamente com outras variáveis, como percentual de abertura das fachadas, transmitância térmica dos telhados e paredes externas para uma melhor correlação do consumo. Essa diferença se deve, principalmente, ao fato de estarem inseridas em distintas zonas bioclimáticas, uma vez que o clima exerce influência direta sobre a demanda energética, especialmente nos sistemas de resfriamento

Oportunidades de *retrofit* devem ser consideradas ao verificar discrepâncias na eficiência de sistemas como o de ar-condicionado, cobertura além da idade das edificações.

Como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se avaliar as características de iluminação e da envoltória das edificações, além de utilizar regressão multivariada para aprimorar a explicação da correlação entre as variáveis e possíveis intervenções nas edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, T.; HUANXIN, C.; YABIN, G.; JIANGYU, W. A comprehensive overview on the data driven and large scale-based approaches for forecasting of building energy demand: A review. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 301-320, 2018. DOI:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse socia**l. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n° 372, de 17 de setembro de 2010.

BRASIL: **Medidas adotadas pelo Governo Federal evitaram racionamento e apagão.** GOV 2021. Disponível em https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/11/medidas-adotadas-pelo-governo-federal-evitaram-racionamento-e-apagao.

BRASIL: **Decreto estabelece medidas para redução do consumo de energia em prédios públicos.** GOV 2021. Disponível em https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/decreto-estabelece-medidas-para-reducao-do-consumo-de-energia-em-predios-publicos

BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe. 02, fevereiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 01/12/2021.

CHEN, Y.; YANG, Z.; SUN, Y. Building energy efficiency: From individual buildings to districts and communities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 101, 322-332, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013.

CHUNG, W.; HUI, Y. V.; LAM, Y. M. Benchmark Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings, **Applied Energy**, Volume 83, Issue 1, Pages 1-14, 2006. DOI: 10.1016/j.apenergy.2004.11.003

CUI, Y.; YAN, D.; HONG, T.; MA, J. Temporal and spatial characteristics of urban human activities and their impact on building energy use: A review. **Energy**, 133, 1133-1147, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.053

ENTERIA, N.; YOSHINO, H.; MOCHIDA, A. Review of the advances in open-cycle absorption air-conditioning systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 265-289, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.012

FEDERSPIEL, C.; ZHANG, Q.; ARENS, E. Model-based benchmark benchmarking with application to laboratory buildings, **Energy and Buildings**, Volume 34, Issue 3, 2002, Pages 203-214, ISSN 0378-7788, DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00092-5

HONG, T.; TAYLOR-LANGE, S.; D'OCA, S.; YAN, D.; CORGNATI, S. P. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 116. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052

LI, Z.; HAN, Y.; XU, P. Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: An overview, **Applied Energy**, Volume 124, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.020.

LIU, H.; ZHAO, L.; ZHANG, X. Integration of physical and data-driven approaches for building energy benchmark benchmarking. **Energy**, 223, 120073, 2001.

KIM, J.; PARK, S.; KIM, S. Energy consumption analysis and prediction model using smart building energy management system. **Journal of Cleaner Production**, 2020, 258, 120803.

MATSON, N. E; PIETTE, M. A. Review of California and National Methods for Energy Performance Benchmarking of Commercial Buildings**.** Technical Report**,** United States: N. p., 2005. **Web**. DOI: https://doi.org/10.2172/887197

ROCHA, A. C. G. Eficientização energética em prédios públicos: Um desafio aos gestores municipais frente aos requisitos de governança e sustentabilidade. **Fundação Getúlio Vargas**. Escola de Administração Pública de São Paulo. São Paulo 2012. Disponível em: < https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/a9f566b1-56b2-49c2-8003-28fa340b19a9/content>. Acesso em agosto de 2024.

SHAO, W.; ZHANG, Y.; LI, M. A review of machine learning and statistical models for energy forecasting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 135, 110116, (2021). DOI: http://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i3.pp1874-1886.

STENSJÖ, I. P.; FERREIRA, C. C.; LOURA, R. M. Classificação e agrupamento das cidades brasileiras em graus-dia de aquecimento e resfriamento: 1960 a 2013. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9, p. 286-300, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.SUPL1.AO03

TARDIOLI, Giovanni; FILHO, Ricardo; BERNAUD, Pierre; NTIMOS, Dimitrios. An Innovative Modelling Approach Based on Building Physics and Machine Learning for the Prediction of Indoor Thermal Comfort in an Office Building. **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 475, 12 abr. 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12040475

VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G.; SANTOS, Felipe Nunes dos. Energy benchmarking for office building towers in mild temperate climate. **Energy and Buildings**, Volume 222, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110059.