Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica

(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES INDIRETAS DE CO_2 EM SISTEMAS RESIDENCIAIS DE CLIMATIZAÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE APARELHOS SPLIT E DE JANELA

ENERGY EFFICIENCY AND INDIRECT CO_2 EMISSIONS IN RESIDENTIAL AIR-CONDITIONING SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SPLIT AND WINDOW AIR CONDITIONERS

Juliano Villar Franco Rosendo Dos Santos, Alexandre Jusis Blanco

Universidade Santa Cecília
E-mail para contato: julianorosendo@hotmail.com

RESUMO - O uso de ar-condicionado residencial amplia o consumo de energia e as emissões indiretas associadas à geração elétrica. Este estudo objetivou comparar o consumo e as emissões de CO_2 de sistemas de janela e split. Foram analisados três aparelhos de janela de 7.500 Btu/h e um split de 12.000 Btu/h, considerando eficiência, tempo de uso e fator de emissão da eletricidade. O consumo estimado foi de 1.978,43 kWh/ano para os aparelhos de janela e 1.055,17 kWh/ano para o split, com emissões de 76,17 e 40,62 kgCO_2/ano, respectivamente. A diferença foi de 46,7%. Concluiu-se que, nas condições analisadas, a configuração com split apresentou menor consumo de energia e menor emissão indireta de CO_2.

Palavras-chave: ar-condicionado; eficiência energética; consumo de energia; emissões de CO_2.

ABSTRACT - Residential air conditioning increases electricity consumption and the indirect emissions associated with power generation. This study aimed to compare the energy consumption and CO_2 emissions of window and split air-conditioning systems. Three 7,500 Btu/h window units and one 12,000 Btu/h split unit were analyzed, considering efficiency, operating time, and the electricity emission factor. Estimated consumption was 1,978.43 kWh/year for the window units and 1,055.17 kWh/year for the split unit, with emissions of 76.17 and 40.62 kgCO_2/year, respectively. The difference was 46.7%. It was concluded that, under the conditions analyzed, the split configuration had lower energy consumption and indirect CO_2 emissions.

Keywords: air conditioning; energy efficiency; energy consumption; CO_2 emissions.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

O uso de sistemas de climatização tem aumentado em diferentes regiões do mundo, principalmente em razão do crescimento das temperaturas e da necessidade de manter condições adequadas de conforto térmico.

Nesse contexto, Dong, Coleman e Miller (2021) destacam que a expansão dos serviços de ar-condicionado e refrigeração possui relação direta com o aumento da demanda por energia e com as emissões de gases de efeito estufa. Esse cenário torna a eficiência energética dos equipamentos uma questão importante também do ponto de vista ambiental.

No setor residencial, os aparelhos de ar-condicionado representam uma parcela importante do consumo de eletricidade. De Cian et al. (2025) observaram, em uma análise envolvendo 25 países, que a adoção do ar-condicionado aumenta, em média, o consumo de eletricidade das residências. Os autores também relacionam o crescimento da climatização às mudanças climáticas, uma vez que temperaturas mais elevadas aumentam a necessidade de resfriamento dos ambientes.

Entre os equipamentos utilizados em residências estão os aparelhos do tipo janela e os sistemas split, onde os aparelhos de janela possuem os componentes reunidos em uma única unidade, enquanto os sistemas split apresentam unidades interna e externa separadas.

A comparação entre essas tecnologias é importante porque Alabdulkarem e Almutairi (2020) identificaram diferenças de consumo de potência e desempenho ao analisarem experimentalmente sistemas residenciais do tipo janela e split, onde a eficiência desses equipamentos possui relação direta com a quantidade de eletricidade necessária para produzir o resfriamento do ambiente.

Al Ammar e Bin Dayil (2022), ao analisarem a substituição de aparelhos de janela por sistemas split mais eficientes, verificaram potencial de redução do consumo de energia e das emissões de CO_2. Os resultados apresentados pelos autores mostram que mudanças na tecnologia utilizada para climatização podem produzir efeitos energéticos e ambientais quando aplicadas em maior escala.

ISSN 2317-1316

O impacto ambiental da climatização não está relacionado apenas aos fluidos refrigerantes utilizados pelos equipamentos. Durante seu funcionamento, o ar-condicionado consome eletricidade e, embora não libere CO_2 diretamente no ambiente por esse consumo, a geração da energia utilizada pode produzir emissões de gases de efeito estufa.

Dessa forma, Zhang et al. (2020) demonstraram que as emissões associadas ao consumo de eletricidade representam uma parcela importante do impacto climático dos sistemas residenciais de climatização.

Essa relação permite transformar o consumo de energia elétrica, expresso em kWh, em emissões indiretas de CO_2 por meio da utilização de um fator de emissão da eletricidade. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) utilizaram essa relação para avaliar as emissões associadas à operação de aparelhos residenciais, mostrando que a fase de uso apresentou participação significativa nas emissões ao longo do ciclo de vida dos equipamentos.

A importância da fase de utilização também aparece em outros estudos. Na análise realizada por Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) com dados reais de aproximadamente 4.100 aparelhos split residenciais, o consumo de eletricidade durante a operação foi responsável por grande parte das emissões avaliadas. Os autores também observaram que as emissões podem variar mesmo entre aparelhos semelhantes, pois fatores como tempo de funcionamento e temperatura selecionada interferem no consumo energético.

Apesar do avanço das pesquisas sobre eficiência energética e emissões de sistemas de climatização, ainda existem limitações na comparação direta entre diferentes tecnologias. A análise dos estudos recentes mostrou escassez de pesquisas que comparem diretamente sistemas split e de janela em condições equivalentes, além de uma concentração dos trabalhos em países da Ásia, Europa e Oriente Médio.

Essa questão é relevante para o Brasil, pois o impacto climático associado ao consumo de eletricidade também depende das características da matriz elétrica utilizada. Por esse motivo, a análise das emissões indiretas deve considerar um fator de emissão compatível com a eletricidade brasileira, permitindo relacionar o desempenho energético dos equipamentos ao contexto em que são utilizados.

ISSN 2317-1316

Além da diferença observada em uma única residência, a análise pode ser ampliada para demonstrar os efeitos potenciais da eficiência energética em maior escala. Como apontam Al Ammar e Bin Dayil (2022), a substituição de aparelhos de janela por sistemas split mais eficientes pode gerar economias significativas de eletricidade quando considerada em grande número de residências. Assim, pequenas diferenças individuais de consumo podem adquirir maior importância quando projetadas para milhares ou milhões de equipamentos.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo comparar o desempenho energético de sistemas de condicionamento de ar do tipo split e de janela e estimar as emissões indiretas de dióxido de carbono equivalente associadas ao consumo de energia elétrica em ambiente residencial, avaliando suas implicações para a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental.

Para isso, foram comparadas duas configurações destinadas a áreas residenciais semelhantes e, posteriormente, as diferenças encontradas foram analisadas também em cenários de ampliação de escala.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido por meio de uma análise comparativa do consumo de energia elétrica e das emissões indiretas de CO_2e associadas a dois sistemas de climatização residencial: aparelhos de ar-condicionado do tipo janela e um aparelho do tipo split.

A comparação considerou configurações destinadas a climatizar áreas semelhantes, permitindo relacionar a capacidade de refrigeração instalada ao consumo estimado de energia e às emissões associadas à geração de eletricidade. A comparação entre sistemas de janela e split também foi utilizada por Alabdulkarem e Almutairi (2020) para avaliar diferenças de desempenho entre tecnologias de climatização residencial.

Para a configuração com aparelhos de janela, foram considerados três equipamentos com capacidade nominal individual de 7.500 Btu/h, responsáveis pela climatização de uma área total aproximada de 48 m². Para a segunda configuração, foi considerado um aparelho split convencional com capacidade nominal de 12.000 Btu/h, destinado a uma área aproximada de

ISSN 2317-1316

45 m². Dessa forma, a análise buscou comparar as duas configurações utilizadas para atender ambientes com áreas próximas, e não equipamentos individuais de mesma capacidade.

Inicialmente, as capacidades nominais dos equipamentos foram convertidas de Btu/h para watts (W). Foi utilizado o fator de conversão de 0,293071 W para cada Btu/h (Ashrae, 2021), conforme a Equação 1:

$$Q\ (W) = Q\ (Btu/h) \times 0{,}293071 \quad (1)$$

Com essa conversão, cada aparelho de janela apresentou capacidade de 2.198,03 W, resultando em 6.594,09 W para os três equipamentos. O aparelho split apresentou capacidade equivalente a 3.516,85 W. A capacidade total instalada considerada nos cálculos foi, portanto, de 10.110,94 W.

Para estimar o consumo de eletricidade, foi considerado um EER médio de 3,2, juntamente com um regime de funcionamento de oito horas por dia durante 120 dias por ano. O EER relaciona a capacidade de refrigeração fornecida pelo equipamento à potência elétrica necessária para seu funcionamento, sendo utilizado como parâmetro de eficiência energética em sistemas de climatização. Alabdulkarem e Almutairi (2015) também utilizaram parâmetros de eficiência e consumo de potência na avaliação comparativa de aparelhos residenciais de ar-condicionado.

A potência elétrica absorvida foi determinada pela relação entre a capacidade nominal instalada e o EER adotado, conforme a Equação 2:

$$P_{elétrica}\ (kW) = Q_{instalada}\ (W) / (EER \times 1000) \quad (2)$$

Em seguida, o consumo anual de energia foi calculado considerando a potência elétrica, o período diário de funcionamento e o número de dias de utilização durante o ano, conforme a Equação 3:

$$E_{anual}\ (kWh/ano) = P_{elétrica} \times horas_{diárias} \times dias_{anuais} \quad (3)$$

A aplicação dessas relações resultou em potência elétrica absorvida total de 3,160 kW e consumo estimado de 3.033,6 kWh/ano.

ISSN 2317-1316

O procedimento adotado está relacionado à importância da fase de operação apontada por Sugiyama, Honda e Itsubo (2026), que utilizaram o consumo de eletricidade como uma das principais variáveis para determinar as emissões associadas ao funcionamento de aparelhos residenciais de climatização.

Como o consumo total foi calculado a partir da capacidade instalada das duas configurações, realizou-se posteriormente sua alocação proporcional. Para isso, foi utilizada a participação da capacidade nominal de cada grupo em relação à capacidade total instalada, conforme a Equação 4:

$$E_{grupo} = E_{anual} \times (Q_{grupo} / Q_{total}) \quad (4)$$

Esse procedimento resultou em consumo anual estimado de 1.978,43 kWh para o conjunto dos três aparelhos de janela e de 1.055,17 kWh para o aparelho split.

Na etapa seguinte, os valores de consumo foram convertidos em emissões indiretas de dióxido de carbono equivalente. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) empregaram a relação entre consumo de eletricidade e fator de emissão da geração elétrica para determinar as emissões indiretas decorrentes da operação dos aparelhos, procedimento também adotado neste estudo.

As emissões foram calculadas pela Equação 5:

$$E_{CO_2} = C_{energia} \times FE \quad (5)$$

Nessa equação, E_{CO_2} representa as emissões indiretas associadas ao consumo de eletricidade, $C_{energia}$ corresponde ao consumo energético em kWh e FE representa o fator de emissão da matriz elétrica em $kgCO_2/kWh$.

A utilização do consumo de eletricidade para estimar o impacto climático da climatização residencial também é encontrada em Zhang et al. (2020), que relacionaram a demanda elétrica dos equipamentos às emissões indiretas associadas à sua operação.

Para representar as condições da geração de eletricidade no Brasil, foi adotado o fator de emissão de 0,0385 $kgCO_2/kWh$, correspondente ao valor médio anual de 2023 informado

ISSN 2317-1316

pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2024). A aplicação desse fator permitiu determinar as emissões indiretas anuais das duas configurações analisadas.

Por fim, foi calculada a diferença absoluta e percentual entre as emissões indiretas das duas configurações. A diferença também foi expressa por dia de funcionamento e utilizada na elaboração de cenários com 1.000, 100.000 e 1.000.000 de configurações equivalentes. Esses cenários tiveram finalidade comparativa e não foram utilizados como estimativa do número real de aparelhos existentes no Brasil.

A análise foi limitada às emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica. Portanto, não foram incluídas emissões provenientes da fabricação, do transporte e do descarte dos equipamentos, nem aquelas relacionadas a possíveis vazamentos dos fluidos refrigerantes. Essa delimitação permitiu concentrar a comparação na influência do consumo energético sobre as emissões de CO_2e, embora Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) demonstrem que uma avaliação completa do ciclo de vida pode incorporar também essas outras etapas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação realizada mostrou diferença no consumo de energia elétrica entre as duas configurações de climatização analisadas. O conjunto formado por três aparelhos de janela, com capacidade individual de 7.500 Btu/h e atendimento de aproximadamente 48 m², apresentou consumo estimado de 1.978,43 kWh/ano, sendo que o aparelho split de 12.000 Btu/h, utilizado para uma área de aproximadamente 45 m², apresentou consumo de 1.055,17 kWh/ano, onde mesmo atendendo áreas próximas, o sistema split apresentou menor consumo anual nas condições adotadas no estudo.

Essa diferença é relevante porque o consumo de eletricidade representa uma parte importante do impacto ambiental dos sistemas de climatização. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) verificaram que, em aparelhos residenciais, a eletricidade consumida durante a fase de uso foi responsável pela maior parcela das emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida. No estudo dos autores, essa participação ficou entre aproximadamente 75% e 85% das emissões totais.

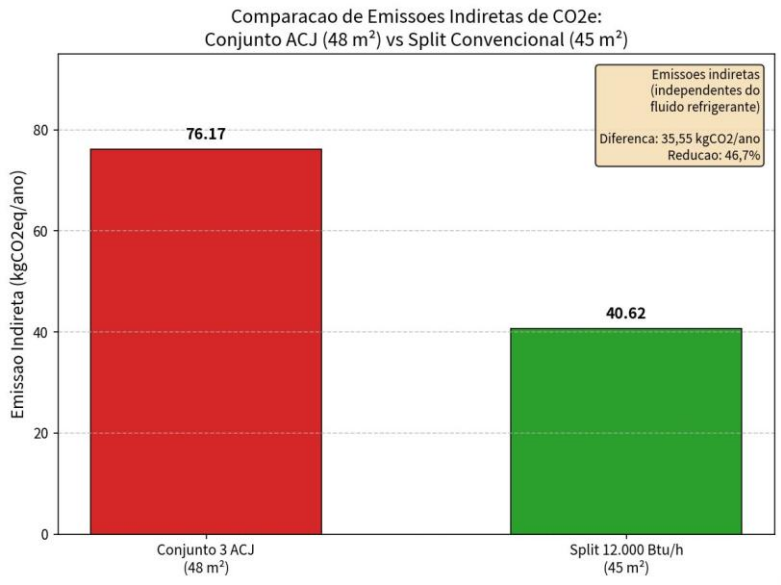
ISSN 2317-1316

A diferença encontrada também está de acordo com estudos que analisaram a substituição de aparelhos de janela por sistemas split. Al Ammar e Bin Dayil (2022) verificaram que a substituição de unidades de janela por modelos split mais eficientes poderia reduzir de forma significativa o consumo de eletricidade no setor residencial. Os autores estimaram, para o cenário estudado na Arábia Saudita, economia próxima de 20 TWh de eletricidade por ano, mostrando que a escolha da tecnologia de climatização pode produzir efeitos que ultrapassam o consumo de uma única residência.

No presente estudo, a diferença entre os equipamentos ficou ainda mais clara quando o consumo de eletricidade foi convertido em emissões indiretas de CO_2.

Para isso, foi utilizado o fator de emissão de 0,0385 $kgCO_2/kWh$, correspondente ao valor médio anual adotado para a matriz elétrica brasileira. Com esse cálculo, o conjunto dos três aparelhos de janela apresentou emissão estimada de 76,17 $kgCO_2$/ano, enquanto o aparelho split apresentou 40,62 $kgCO_2$/ano. A comparação entre as emissões indiretas anuais das duas configurações analisadas é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Comparação das emissões indiretas de CO_2 entre as configurações de aparelhos de janela e split



O resultado representa uma diferença absoluta de 35,55 $kgCO_2$ por ano, equivalente a uma redução aproximada de 46,7% nas emissões indiretas para a configuração com o aparelho

ISSN 2317-1316

split. Considerando os 120 dias anuais de funcionamento utilizados nos cálculos, a diferença correspondeu a aproximadamente 0,296 kgCO_2e por dia de operação.

Essa relação entre consumo energético e emissões também foi observada por Zhang et al. (2020). Ao analisarem sistemas residenciais de climatização, os autores identificaram que o consumo de eletricidade representou cerca de 72,5% do potencial de aquecimento global associado aos equipamentos.

Portanto, reduzir a quantidade de energia necessária para produzir o resfriamento desejado também pode contribuir para diminuir as emissões indiretas relacionadas ao funcionamento do sistema.

Os resultados, porém, precisam ser interpretados considerando as características da comparação realizada, vez que neste trabalho, não foi comparado um único aparelho de janela com um único split de mesma capacidade e sim, foram comparados três aparelhos de janela, totalizando 22.500 Btu/h, com um aparelho split de 12.000 Btu/h, porque essas configurações atendem áreas residenciais próximas, de 48 m² e 45 m², respectivamente.

A capacidade nominal instalada correspondeu a 6.594,09 W para o conjunto de janela e 3.516,85 W para o split.

Essa característica deve ser considerada na interpretação dos resultados, pois parte da diferença de consumo decorre da própria diferença entre as capacidades nominais instaladas. Por isso, o resultado não permite afirmar que todo aparelho split consome 46,7% menos energia do que todo aparelho de janela. Ele mostra que, nas configurações e condições consideradas neste estudo, o sistema split apresentou menor consumo estimado e, consequentemente, menores emissões indiretas.

A literatura também mostra que o desempenho não depende somente do tipo de aparelho. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) observaram grande variação de consumo mesmo entre equipamentos split de mesma capacidade.

Os autores identificaram que fatores relacionados ao uso, principalmente o tempo de funcionamento e a diferença entre a temperatura ajustada no aparelho e a temperatura interna, influenciaram os resultados de consumo e emissões.

ISSN 2317-1316

Esse aspecto é importante porque os cálculos do presente estudo consideraram condições definidas de utilização, com oito horas diárias de funcionamento durante 120 dias por ano e EER médio de 3,2. O consumo anual foi estimado a partir da potência nominal instalada e dessas condições de operação. Assim, alterações no número de horas de utilização, na eficiência dos aparelhos ou nas condições ambientais poderiam produzir resultados diferentes.

Os estudos reunidos para a contextualização também mostram que essa influência das condições de uso é uma questão atual na pesquisa sobre climatização. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) utilizaram registros reais de aproximadamente 4.100 aparelhos split e encontraram diferenças importantes entre padrões de utilização, enquanto outros estudos destacam que clima, comportamento dos usuários e características do sistema elétrico podem modificar o impacto ambiental da climatização residencial.

Outro ponto importante é que as emissões calculadas neste trabalho correspondem somente às emissões indiretas associadas ao consumo de eletricidade. Não foram incluídas no cálculo as emissões decorrentes de fabricação, transporte, descarte ou eventual vazamento do fluido refrigerante. Essa delimitação permite concentrar a análise na relação entre eficiência energética e emissões associadas à geração de eletricidade.

Essa separação é coerente com a literatura. Sugiyama, Honda e Itsubo (2026) diferenciam as emissões diretas causadas pelo vazamento de refrigerantes das emissões indiretas decorrentes do consumo de eletricidade.

Os autores também incluem fabricação e fim de vida quando realizam a avaliação completa do ciclo de vida, mostrando que o cálculo realizado neste trabalho representa especificamente a etapa operacional dos equipamentos.

Embora a diferença anual de 35,55 $kgCO_2e$ possa parecer pequena quando observada em apenas uma residência, seu significado muda quando o resultado é projetado para um número maior de equipamentos. Essa diferença corresponde a aproximadamente 0,296 $kgCO_2e$ por dia de operação nas condições analisadas.

ISSN 2317-1316

Mantida essa diferença apenas como exercício de ampliação de escala, 1.000 configurações equivalentes representariam aproximadamente 296 kgCO_2e de diferença por dia de operação. Para 100.000 unidades equivalentes, o valor alcançaria cerca de 29,6 toneladas de CO_2e por dia, enquanto, para 1 milhão, chegaria a aproximadamente 296 toneladas de CO_2e por dia de operação.

Esses valores não representam uma estimativa das emissões reais de todos os aparelhos existentes no Brasil. São cenários construídos a partir da diferença encontrada no estudo para demonstrar o efeito da escala. Essa distinção é necessária porque, conforme observado por Sugiyama, Honda e Itsubo (2026), o consumo real pode variar consideravelmente conforme o equipamento, o clima e a forma de utilização.

A análise em maior escala, entretanto, ajuda a mostrar por que pequenas melhorias de eficiência podem ser ambientalmente relevantes. Al Ammar e Bin Dayil (2022) chegaram a conclusão semelhante ao projetarem a substituição de aparelhos de janela por sistemas split eficientes em larga escala, indicando potencial de economia energética e redução das emissões de CO_2 no setor residencial.

Dessa forma, os resultados obtidos mostram que a escolha do sistema de climatização pode ter consequências tanto para o consumo de eletricidade quanto para as emissões indiretas associadas a esse consumo. No cenário analisado, o sistema split apresentou menor consumo estimado e 46,7% menos emissões indiretas de CO_2 do que o conjunto de aparelhos de janela utilizado como comparação.

Ao mesmo tempo, os resultados não devem ser utilizados para generalizar o desempenho de todos os aparelhos split e de janela disponíveis no mercado. O estudo mostra uma diferença para as configurações analisadas e para as condições estabelecidas no cálculo. Essa cautela também encontra apoio em Sugiyama, Honda e Itsubo (2026), que demonstraram que características técnicas e condições reais de utilização podem alterar de forma importante o consumo e as emissões associadas aos aparelhos de climatização.

Assim, a comparação realizada permite relacionar um problema típico da Engenharia Mecânica, envolvendo capacidade de refrigeração e consumo energético, com uma questão

ISSN 2317-1316

ambiental. Os resultados indicam que melhorias na eficiência dos sistemas residenciais de climatização podem contribuir para a redução das emissões indiretas de CO_2 e que esse efeito se torna mais relevante quando considerado em maior escala.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram diferenças no consumo de energia elétrica e nas emissões indiretas de CO_2 entre as configurações analisadas. O conjunto de três aparelhos de janela apresentou consumo anual estimado de 1.978,43 kWh e emissões de 76,17 $kgCO_2$/ano, enquanto o sistema split apresentou 1.055,17 kWh e 40,62 $kgCO_2$/ano, representando uma diferença de 35,55 $kgCO_2$/ano e redução de aproximadamente 46,7%. Em cenários projetados para 1 milhão de configurações equivalentes, essa diferença evidencia o potencial impacto ambiental acumulado, sem representar as emissões reais dos equipamentos existentes no Brasil. Ressalta-se que a análise considerou configurações específicas e apenas as emissões indiretas da eletricidade, excluindo fabricação, descarte e vazamentos de refrigerantes. Conclui-se que a configuração e a eficiência energética dos sistemas residenciais de climatização influenciam o consumo elétrico e as emissões associadas, reforçando a importância da eficiência energética para a Engenharia Mecânica e a sustentabilidade. Agradeço ao Núcleo de Estudos Jurídicos Ambientais - NEJUAM, pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento da pesquisa e pela contribuição para a construção de uma perspectiva interdisciplinar entre engenharia, eficiência energética e sustentabilidade ambiental.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Utilizou-se o ChatGPT exclusivamente para revisão ortográfica e o Grok para apoio na elaboração gráfica dos resultados. O autor revisou e validou o conteúdo, assumindo integral responsabilidade pelo trabalho.

6 REFERÊNCIAS

Alabdulkarem A, Almutairi Z. Testing and simulation of potential energy savings in renewing used split-type and window-type air-conditioners. *Building Services Engineering Research & Technology*, v. 41, n. 5, p. 586–602, 2020. DOI: 10.1177/0143624419894438.

ISSN 2317-1316

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE. 2021 ASHRAE handbook—fundamentals: SI edition. Peachtree Corners, GA: ASHRAE, 2021.

Ammar EA, Dayil AB. Window Air Conditioners Transition and Restriction in Saudi Arabia. *Journal of Power and Energy Engineering*, v. 10, n. 5, p. 1–21, 2022. DOI: 10.4236/jpee.2022.105001.

De CE, Falchetta G, Pavanello F, Romitti Y & Sue W I .The impact of air conditioning on residential electricity consumption across world countries. 2025. DOI: 10.1016/j.jeem.2025.103122.

Dong Y, Coleman M, Miller SA. Greenhouse gas emissions from air conditioning and refrigeration service expansion in developing countries. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 46, n. 1, p. 59–83, 2021. DOI: 10.1146/annurev-environ-012220-034103.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Fatores de emissão de CO_2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. Brasília, DF: MCTI, 2024.

Sugiyama G, Honda T, Itsubo N. Data-driven life-cycle assessment of household air conditioners: identifying low-carbon operation patterns based on big data analysis. *Big Data and Cognitive Computing*, v. 10, art. 32, 2026. DOI: 10.3390/bdcc10010032. BDCC-10-00032

Zhang N, Wang H, Gallagher J, Song Q, Tam VWY, Duan H. A dynamic analysis of the global warming potential associated with air conditioning at a city scale: an empirical study in Shenzhen, China. DOI: 10.1016/j.eiar.2019.106354.