ReGeo ISSN: 2177-3246

IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO DE DATA CENTERS NO BRASIL FRENTE À MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DATA CENTER EXPANSION IN BRAZIL FACING THE NATIONAL ENERGY MATRIX

IMPACTOS AMBIENTALES DE LA EXPANSIÓN DE CENTROS DE DATOS EN BRASIL FRENTE A LA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

https://doi.org/10.56238/revgeov17n7-004

Data de submissão: 17/05/2026 **Data de publicação:** 01/07/2026

Ecson Gama Braga
http://lattes.cnpq.br/0876167302689618
Instituição: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Frederico Pimentel Soares de Almeida
http://lattes.cnpq.br/6433348626670259
Instituição: Instituto Meira Mattos/ECEME

Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar
http://lattes.cnpq.br/2635385727934055
Instituição: PROFNIT/UFPI

RESUMO

A aceleração da economia digital no Brasil intensifica a instalação de data centers em território nacional, estruturas que demandam volumes expressivos de energia elétrica e recursos hídricos para sua operação contínua. A ausência de regulamentação ambiental específica para esse setor e a pressão crescente sobre a matriz energética nacional configuram um problema de pesquisa de relevância para as políticas públicas de sustentabilidade. Este estudo analisa os impactos ambientais da expansão dos data centers no Brasil frente às características da matriz energética nacional, com ênfase no consumo energético, na pegada hídrica e nas emissões de carbono associadas. A pesquisa adota abordagem qualitativa, bibliográfica e documental, com base em publicações indexadas e documentos técnicos produzidos entre 2021 e 2026. Os resultados indicam que, embora a matriz elétrica brasileira apresente alta participação de fontes renováveis, a concentração geográfica dos data centers e a demanda por energia ininterrupta pressionam o sistema elétrico nacional de forma assimétrica. As considerações finais apontam para a necessidade de marcos regulatórios que articulem expansão digital e sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Data Centers. Matriz Energética. Impacto Ambiental. Sustentabilidade Digital.

ABSTRACT

The acceleration of the digital economy in Brazil intensifies the installation of data centers across the national territory, structures that demand expressive volumes of electric energy and water resources for their continuous operation. The absence of specific environmental regulation for this sector and the growing pressure on the national energy matrix configure a research problem of relevance for public sustainability policies. This study analyzes the environmental impacts of data center expansion in Brazil in relation to the characteristics of the national energy matrix, with emphasis on energy consumption, water footprint, and associated carbon emissions. The research adopts a qualitative,

bibliographic, and documentary approach, based on indexed publications and technical documents produced between 2021 and 2026. The results indicate that, although the Brazilian electricity matrix presents a high share of renewable sources, the geographic concentration of data centers and the demand for uninterrupted energy place asymmetric pressure on the national electricity system. The final considerations point to the need for regulatory frameworks that articulate digital expansion and environmental sustainability.

Keywords: Data Centers. Energy Matrix. Environmental Impact. Digital Sustainability.

RESUMEN

La aceleración de la economía digital en Brasil intensifica la instalación de centros de datos en territorio nacional, estructuras que demandan volúmenes expresivos de energía eléctrica y recursos hídricos para su operación continua. La ausencia de regulación ambiental específica para este sector y la presión creciente sobre la matriz energética nacional configuran un problema de investigación relevante para las políticas públicas de sustentabilidad. Este estudio analiza los impactos ambientales de la expansión de centros de datos en Brasil frente a las características de la matriz energética nacional, con énfasis en el consumo energético, la huella hídrica y las emisiones de carbono asociadas. La investigación adopta un enfoque cualitativo, bibliográfico y documental, basado en publicaciones indexadas y documentos técnicos producidos entre 2021 y 2026. Los resultados indican que, aunque la matriz eléctrica brasileña presenta una alta participación de fuentes renovables, la concentración geográfica de los centros de datos y la demanda de energía ininterrumpida presionan el sistema eléctrico nacional de forma asimétrica. Las consideraciones finales apuntan hacia la necesidad de marcos regulatorios que articulen expansión digital y sustentabilidad ambiental.

Palabras clave: Centros de Datos. Matriz Energética. Impacto Ambiental. Sustentabilidad Digital.

1 INTRODUÇÃO

A expansão acelerada da infraestrutura digital no Brasil, impulsionada pelo crescimento do consumo de serviços de streaming, computação em nuvem (cloud computing), inteligência artificial (*Artificial Intelligence AI*) e armazenamento massivo de dados, transforma os data centers em componentes estruturais da economia nacional. Essas instalações, responsáveis por processar, armazenar e transmitir volumes crescentes de informação, operam de forma contínua e demandam energia elétrica em escala que já compromete o planejamento do setor energético brasileiro. A tensão entre o crescimento da infraestrutura digital e as exigências da transição energética sustentável configura o problema central que este estudo investiga.

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário latino-americano de data centers, concentrando a maior parte das instalações do continente, com forte presença nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e, progressivamente, em regiões do interior com incentivos fiscais específicos. Esse crescimento se dá em um contexto em que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) já registra preocupações concretas quanto à ampliação da carga sobre o Sistema Interligado Nacional (SIN). Conforme a ANEEL (2024, p. 8), "a incorporação de grandes cargas associadas a data centers ao SIN demanda revisão dos critérios de expansão da transmissão e da geração, sob risco de comprometimento da segurança do abastecimento em regiões de alta concentração dessas instalações". Essa advertência institucional revela que o impacto dos data centers sobre a infraestrutura energética nacional transcende a dimensão setorial e adquire caráter de política pública.

A relevância ambiental do tema se amplia quando se consideram as dimensões hídrica e climática da operação dos data centers. Os sistemas de resfriamento dessas instalações consomem quantidades expressivas de água, em regiões que frequentemente enfrentam estresse hídrico. Além disso, o uso de geradores a combustível fóssil como fonte de energia de backup introduz emissões de gases de efeito estufa que contradizem os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris. A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial registra que "a expansão dos data centers no Brasil, sem marcos regulatórios ambientais específicos, representa um vetor de pressão sobre a matriz energética e os recursos naturais que não encontra resposta adequada no arcabouço normativo vigente" (ABDI, 2024, p. 34).

A matriz energética brasileira, predominantemente hídrica e com crescente participação de fontes eólica e solar, confere ao país uma vantagem comparativa em termos de carbono no fornecimento de energia elétrica. Essa vantagem, porém, não é homogênea no território nem garantida no longo prazo, dada a vulnerabilidade do regime hidrológico às mudanças climáticas. A ABRAPP (2023, p. 19) observa que "a dependência da geração hidrelétrica como base da matriz elétrica nacional

expõe o sistema a variações climáticas que podem comprometer a disponibilidade de energia para setores de alta demanda contínua, como os data centers", evidenciando a fragilidade estrutural do modelo vigente.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo geral analisar os impactos ambientais da expansão dos data centers no Brasil frente às características e aos limites da matriz energética nacional. Para conduzir essa análise, definem-se três objetivos específicos: (1) mapear o perfil de consumo energético e hídrico dos data centers instalados no Brasil, identificando os principais vetores de impacto ambiental; (2) examinar a compatibilidade entre a demanda energética crescente dos data centers e as projeções de oferta da matriz elétrica nacional no horizonte 2024-2030; e (3) identificar estratégias regulatórias e tecnológicas que possibilitem a expansão da infraestrutura digital com menor pressão sobre os recursos naturais e o sistema energético nacional. A hipótese orientadora sustenta que a concentração geográfica dos data centers e a ausência de regulamentação ambiental específica anulam, em determinadas regiões, as vantagens da matriz elétrica renovável brasileira, gerando impactos localizados que as médias nacionais tendem a obscurecer.

Este artigo organiza-se em seis seções: após esta introdução, apresenta-se o referencial teórico; na sequência, descreve-se a metodologia empregada; os resultados e a discussão compõem a quarta seção; as considerações finais integram a quinta seção; e as referências encerram o trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão dos impactos ambientais da expansão dos data centers no Brasil requer uma abordagem teórica que articule os fundamentos da economia da energia, a ecologia política da infraestrutura digital e os marcos conceituais da sustentabilidade ambiental. O ponto de partida analítico reside na compreensão dos data centers como infraestruturas físicas intensivas em recursos, e não apenas como plataformas tecnológicas abstratas. Essa desmaterialização perceptiva da computação em nuvem frequentemente obscurece os impactos concretos de sua base física sobre os sistemas energéticos, hídricos e climáticos.

O conceito de *Power Usage Effectiveness*[1] (PUE), métrica internacionalmente adotada para avaliar a eficiência energética dos data centers, estabelece a relação entre a energia total consumida pela instalação e a energia efetivamente utilizada pelos equipamentos de processamento. Um PUE igual a 1,0 representaria eficiência perfeita, enquanto valores superiores indicam perdas nos sistemas de resfriamento, iluminação e infraestrutura de suporte. Brito *et al.* (2023, p. 45) registram que "os data centers brasileiros apresentam PUE médio entre 1,6 e 2,1, valor superior à média europeia de 1,5,

1 É uma métrica padrão global utilizada para medir a eficiência energética de um data center

em função das condições climáticas tropicais que elevam a demanda pelos sistemas de refrigeração". Essa diferença técnica tem implicações diretas sobre o consumo energético total das instalações e sobre sua pegada ambiental.

A projeção de crescimento da demanda energética do setor de serviços digitais no Brasil aponta para um cenário de pressão crescente sobre o sistema elétrico nacional. A Empresa de Pesquisa Energética registra que "as estimativas de crescimento da demanda de energia pelo setor de serviços digitais indicam incremento anual médio de 12% até 2030, com concentração nas regiões Sudeste e Sul, onde se localiza a maior parte dos data centers de grande porte instalados no país" (EPE, 2023, p. 11). Esse crescimento, quando confrontado com as projeções de expansão da capacidade instalada de geração elétrica, revela um potencial desequilíbrio regional que demanda atenção do planejamento setorial.

O consumo de água pelos sistemas de resfriamento dos data centers constitui uma dimensão ambiental frequentemente negligenciada no debate sobre sustentabilidade digital. Sistemas de resfriamento por evaporação, que utilizam torres de resfriamento com circulação de água, consomem volumes expressivos desse recurso em operação contínua. Essa demanda hídrica se superpõe ao consumo de populações e de outros setores produtivos em regiões que já enfrentam escassez, configurando um vetor de conflito por recursos que a literatura ainda não mapeou de forma sistemática no contexto brasileiro. O Comitê Gestor da Internet no Brasil aponta que "o crescimento da infraestrutura de processamento de dados no país não é acompanhado por avaliações sistemáticas de impacto hídrico, lacuna que compromete a gestão integrada dos recursos naturais nos territórios afetados" (CGI.BR, 2024, p. 78).

A questão das emissões de gases de efeito estufa associadas aos data centers no Brasil apresenta um aparente paradoxo: o país dispõe de uma das matrizes elétricas com menor intensidade de carbono do mundo, em função da predominância hidrelétrica, mas os data centers utilizam geradores a diesel como fonte de energia de emergência, e parte das instalações de menor porte depende de energia proveniente de fontes térmicas nos horários de pico de demanda ou em contextos de racionamento. A EPE (2023) documenta que a variabilidade sazonal da geração hidrelétrica, especialmente nos anos de hidrologia desfavorável, pressiona o acionamento de usinas termelétricas a combustível fóssil, aumentando a intensidade de carbono do sistema elétrico e, por consequência, a pegada climática dos data centers conectados à rede.

A dimensão regulatória da sustentabilidade dos data centers no Brasil revela lacunas que a literatura especializada tem progressivamente documentado. O arcabouço normativo ambiental brasileiro, estruturado principalmente pela Lei n.º 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente)

e pela Lei n.º 12.187/2009 (Política Nacional sobre Mudança do Clima), não contempla especificidades do setor de infraestrutura digital, deixando os data centers fora do escopo dos instrumentos de licenciamento ambiental diferenciado e dos mecanismos de compensação de emissões setoriais. Essa ausência regulatória contrasta com experiências internacionais em países europeus e norte-americanos, onde regulamentações específicas para data centers estabelecem metas de eficiência energética, exigências de disclosure de consumo hídrico e obrigações de uso de energia renovável certificada.

A relação entre a Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA) e a expansão dos data centers constitui um eixo teórico de especial relevância para este estudo. O crescimento dos sistemas de AI e de aprendizado de máquina (machine learning) demanda capacidade computacional crescente, com impactos proporcionais sobre o consumo energético da infraestrutura de suporte. O treinamento de modelos de linguagem de grande escala (Large Language Models — LLMs) consome volumes de energia da ordem de centenas de megawatts-hora por ciclo, o que posiciona a expansão da AI como um vetor adicional de pressão sobre os data centers e, por extensão, sobre a matriz energética nacional. A articulação entre a agenda de inovação tecnológica expressa na EBIA e os compromissos ambientais do Brasil exige uma abordagem de planejamento integrado que a literatura identifica como ausente no modelo de governança atual.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adota abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, com delineamento bibliográfico e documental. A escolha pela abordagem qualitativa justifica-se pela complexidade do fenômeno investigado: os impactos ambientais da expansão dos data centers frente à matriz energética nacional envolvem dimensões técnicas, políticas, regulatórias e territoriais que não se prestam à análise por variáveis quantitativas isoladas, demandando interpretação sistemática das evidências disponíveis na literatura científica e nos documentos técnicos produzidos por organismos governamentais e internacionais. O delineamento bibliográfico e documental responde ao objetivo de sistematizar e analisar criticamente o conhecimento acumulado sobre o tema sem recorrer à geração de dados primários.

O levantamento bibliográfico foi conduzido nas bases de dados SciELO, Portal de Periódicos CAPES, Scopus e Web of Science, com o emprego dos descritores “data centers”, “consumo energético”, “matriz energética brasileira”, “sustentabilidade digital”, “impacto ambiental de TI”, “pegada hídrica digital” e “green data centers”, em português e em inglês. O recorte temporal abrangeu publicações produzidas entre 2021 e 2026, período que concentra a produção mais recente sobre os impactos ambientais da infraestrutura digital no Brasil e no mundo, incluindo os efeitos do crescimento

acelerado dos serviços de AI generativa sobre a demanda energética global. A seleção desse intervalo temporal se justifica pela aceleração tecnológica do setor e pela publicação de documentos regulatórios e técnicos que atualizam o debate de forma substantiva.

Os critérios de inclusão para a composição do corpus de análise foram: (a) artigos publicados em periódicos científicos com avaliação igual ou superior ao estrato B1 no sistema Qualis/CAPES; (b) documentos técnicos e relatórios produzidos por órgãos governamentais brasileiros com competência na área energética e ambiental, incluindo ANEEL, EPE e Ministério de Minas e Energia; (c) relatórios de organizações internacionais com reconhecida expertise em energia e meio ambiente, como a Agência Internacional de Energia (IEA) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP); e (d) publicações de entidades setoriais com dados primários sobre a infraestrutura de data centers no Brasil. Foram excluídas publicações sem revisão por pares, textos de caráter exclusivamente tecnológico sem interface com a sustentabilidade ambiental, e estudos anteriores a 2021 sem relevância histórica comprovada para a compreensão do fenômeno atual.

A análise dos dados seguiu os procedimentos da análise de conteúdo temática, com identificação e categorização das unidades de sentido relacionadas aos três eixos analíticos definidos no referencial teórico: consumo energético e hídrico dos data centers, compatibilidade entre demanda digital e oferta da matriz elétrica nacional, e estratégias regulatórias e tecnológicas para a sustentabilidade da infraestrutura digital. Gomes *et al.* (2023) argumentam que a análise da eficiência energética de data centers em clima tropical exige categorias analíticas específicas que levem em conta as variáveis climáticas regionais, orientação metodológica que orientou a organização das categorias empregadas neste estudo. A EPE (2024) fornece dados do Balanço Energético Nacional que embasam a contextualização quantitativa dos achados da revisão bibliográfica, mesmo que o estudo não produza análises estatísticas independentes.

A pesquisa documental abrangeu instrumentos normativos e de planejamento setorial, entre os quais se destacam a Nota Técnica ANEEL nº 004/2024; o Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 do Ministério de Minas e Energia; e as diretrizes da IEA (2023) para a digitalização sustentável dos sistemas energéticos. O Greenpeace Brasil (2022) e a EPE (2024) fornecem dados sobre o crescimento do setor e sobre as projeções de demanda energética que contextualizam a análise dos impactos identificados. A articulação entre esses documentos e a literatura científica revisada permite identificar correspondências e tensões entre o conhecimento produzido academicamente e as respostas institucionais em formulação.

Os aspectos éticos foram observados em conformidade com as diretrizes aplicáveis à pesquisa bibliográfica e documental. O estudo não envolve coleta de dados com seres humanos nem acesso a

informações sigilosas, dispensando submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa. O rigor na identificação das fontes, a transparência nos critérios de seleção do corpus e a fidelidade na reprodução das ideias dos autores referenciados constituem os pilares éticos que orientaram toda a condução da pesquisa. As limitações metodológicas decorrem da circunscrição da análise ao que foi publicado no período delimitado, da sub-representação de estudos sobre regiões Norte e Nordeste do Brasil no corpus disponível e da ausência de dados primários que permitiriam verificar empiricamente as tendências identificadas na literatura.

Quadro 1. Referências Acadêmicas e Suas Contribuições para a Pesquisa

Autor	Título	Ano	Contribuições
MCTI	Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA)	2021	Define diretrizes nacionais para o desenvolvimento da inteligência artificial no Brasil, servindo como base para políticas públicas e planejamento estratégico.
GREENPEACE BRASIL	O custo ambiental da nuvem: o crescimento dos data centers no Brasil	2022	Evidencia os impactos ambientais da expansão dos data centers, com foco em consumo de recursos e sustentabilidade.
ABRAPP	Relatório de Sustentabilidade e Infraestrutura Digital no Brasil	2023	Apresenta um panorama da infraestrutura digital no país, relacionando sustentabilidade, modernização tecnológica e desafios do setor.
BRITO, A. L. et al.	O consumo de energia elétrica em data centers no Brasil: um estudo de caso	2023	Analisa o consumo energético de data centers no contexto brasileiro e destaca a necessidade de eficiência operacional.
EPE	Nota Técnica EPE-DEE-NT-024/2023: Projeções de demanda de energia para o setor de serviços digitais	2023	Projeta a demanda energética do setor digital e contribui para o planejamento do sistema elétrico nacional.
GOMES, R. S. et al.	Eficiência energética em data centers: desafios para o clima tropical brasileiro	2023	Discute soluções para aumentar a eficiência energética dos data centers diante das condições climáticas brasileiras.
IEA	Digitalization and Energy: Brazil's Path to Sustainable Data Centers	2023	Relaciona digitalização e energia, oferecendo uma visão internacional sobre caminhos sustentáveis para data centers no Brasil.
OLIVEIRA, J. C. et al.	Sustentabilidade em data centers: uma revisão sistemática da literatura brasileira	2023	Sistematiza a produção científica nacional sobre sustentabilidade em data centers e identifica tendências de pesquisa.
SILVA, M. A. et al.	O impacto da expansão da computação em nuvem na matriz elétrica brasileira	2023	Examina os efeitos da computação em nuvem sobre a matriz elétrica e reforça o debate sobre demanda energética.
ABDI	Inteligência Artificial e Sustentabilidade: o papel dos data centers na economia digital brasileira	2024	Relaciona IA, sustentabilidade e data centers, enfatizando o papel estratégico da infraestrutura digital na economia.

ANEEL	Nota Técnica nº 004/2024: Impactos da carga de data centers no Sistema Interligado Nacional (SIN)	2024	Avalia os efeitos da carga dos data centers sobre o sistema elétrico nacional e apoia decisões regulatórias e técnicas.
CGI.BR.	Pesquisa sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nos Domicílios Brasileiros (TIC Domicílios 2023)	2024	Fornece dados relevantes sobre a adoção de TIC no Brasil, úteis para compreender a base social da expansão digital.
EPE	Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023	2024	Apresenta dados consolidados da matriz energética brasileira, fundamentais para contextualizar o crescimento da demanda digital.
LIMA, F. M. et al.	Impactos hídricos e energéticos da infraestrutura de TI no Brasil	2024	Analisa os impactos da infraestrutura de TI sobre água e energia, ampliando o debate sobre sustentabilidade.
SANTOS, P. H. et al.	A matriz energética brasileira e a demanda por data centers: desafios para a transição energética	2024	Discute a relação entre a expansão dos data centers e os desafios da transição energética no Brasil.
UNEP	Relatório sobre o impacto ambiental da infraestrutura digital na América Latina e Caribe (foco no Brasil)	2024	Oferece uma visão regional dos impactos ambientais da infraestrutura digital, com destaque para o caso brasileiro.

Fonte: Elaboração do próprio autor (2026)

Esse quadro é importante porque organiza, de forma clara e progressiva, a evolução das discussões sobre inteligência artificial, infraestrutura digital, consumo energético e sustentabilidade. A disposição cronológica permite visualizar como o tema foi se consolidando ao longo dos anos, passando de diretrizes estratégicas e levantamentos iniciais para análises mais específicas sobre impactos ambientais, demanda elétrica e desafios regulatórios.

Além disso, a tabela contribui para a compreensão acadêmica ao reunir fontes institucionais e científicas que se complementam na construção do debate. Com isso, o quadro fortalece a fundamentação teórica de trabalhos na área, facilita a identificação de tendências de pesquisa e evidencia a relevância crescente do tema para políticas públicas, planejamento energético e desenvolvimento sustentável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura e dos documentos técnicos produzidos entre 2021 e 2026 sobre os impactos ambientais dos data centers no Brasil revelou um campo de tensões crescentes entre a aceleração da demanda por infraestrutura digital e as capacidades e os limites do sistema energético nacional. Os resultados organizados em torno dos três eixos analíticos definidos anteriormente permitem uma leitura articulada dos impactos identificados, das condições estruturais que os potencializam e das estratégias disponíveis para sua mitigação. A integração desses eixos confirma,

com precisão, a hipótese central do estudo e aponta para a urgência de respostas regulatórias e tecnológicas que o debate acadêmico e institucional ainda não consolidou de forma satisfatória.

O mapeamento do perfil de consumo energético dos data centers instalados no Brasil revelou um setor em expansão acelerada, com características que amplificam seus impactos sobre o sistema elétrico nacional. Silva *et al.* (2023) documentaram que o conjunto dos data centers de grande e médio porte instalados no Brasil consumiu, em 2022, aproximadamente 20 terawatts-hora (TWh) de energia elétrica, volume equivalente ao consumo residencial de uma cidade do porte de Belo Horizonte. Essa cifra, projetada para crescer em ritmo superior a 10% ao ano em função da expansão dos serviços de computação em nuvem e de AI, coloca o setor entre os maiores demandantes de energia elétrica do país, com características operacionais que dificultam a modulação da carga em resposta às variações da oferta do sistema.

A concentração geográfica dos data centers no estado de São Paulo representa uma das dimensões mais delicadas dos impactos identificados na pesquisa. Aproximadamente 65% da capacidade instalada de processamento de dados do Brasil se localiza na região metropolitana de São Paulo e em municípios do interior paulista, como Campinas, Barueri e Cotia. Essa concentração pressiona de forma assimétrica o subsistema elétrico Sudeste/Centro-Oeste, que já opera com margens de reserva mais estreitas do que os demais subsistemas do SIN. Santos *et al.* (2024) registraram que a demanda crescente dos data centers na região Sudeste exige investimentos acelerados em transmissão e transformação de energia que não estavam previstos nos planos de expansão do setor com a velocidade que o crescimento do setor digital impõe, gerando uma pressão de planejamento que a regulação setorial ainda não absorveu adequadamente.

O consumo de água pelos sistemas de resfriamento dos data centers emergiu, na análise da literatura, como um impacto ambiental de primeira ordem que a agenda pública brasileira ainda não incorporou com o rigor necessário. Lima *et al.* (2024) identificaram que as torres de resfriamento evaporativo utilizadas pelos data centers de grande porte consomem entre 1,8 e 3,2 litros de água por quilowatts-hora (kWh) de energia processada, valor que, multiplicado pelo volume total de energia consumida pelo setor, representa uma demanda hídrica da ordem de dezenas de bilhões de litros por ano. Essa demanda se materializa em regiões que já enfrentam pressões sobre os recursos hídricos, como o estado de São Paulo, onde a crise hídrica de 2014-2015 expôs a vulnerabilidade do sistema e onde o crescimento dos data centers acrescenta uma nova fonte de demanda sobre mananciais e aquíferos já sob estresse.

A análise da compatibilidade entre a demanda energética dos data centers e as projeções de oferta da matriz elétrica nacional revelou que a vantagem comparativa do Brasil em termos de energia

renovável é real, mas geograficamente circunscrita e temporalmente vulnerável. A predominância hidrelétrica na matriz elétrica brasileira, que respondia por aproximadamente 63% da capacidade instalada em 2023, confere ao país um perfil de baixa intensidade de carbono na geração de energia. Santos *et al.* (2024) argumentam, contudo, que essa vantagem se dilui quando se consideram os cenários de hidrologia crítica, que forçam o acionamento de termelétricas a gás natural e óleo combustível, elevando a intensidade de carbono do sistema e, por consequência, aumentando a pegada climática dos data centers conectados à rede nacional.

A relação entre a expansão dos data centers e os compromissos climáticos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris constitui um nó analítico que a literatura documenta com preocupação crescente. O Brasil assumiu, em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), metas de redução de emissões que pressupõem a continuidade da expansão das fontes renováveis e a contenção do crescimento das emissões de setores intensivos em energia. A expansão não regulamentada dos data centers, com uso de backup a diesel e dependência de energia térmica nos períodos de hidrologia desfavorável, introduz um vetor de emissões que as NDCs não contemplaram de forma explícita, criando uma lacuna de contabilização que compromete a integridade dos compromissos climáticos assumidos. O UNEP (2024) alerta que a América Latina, incluindo o Brasil, corre o risco de tornar-se receptora de infraestrutura digital migrada de países com regulamentação ambiental mais rigorosa, em um fenômeno que a literatura denomina carbon *leakage* digital.

A análise dos impactos do consumo energético dos data centers sobre a tarifa de energia elétrica para os demais consumidores revela uma dimensão socioeconômica que a pesquisa brasileira ainda aborda de forma incipiente. O crescimento da demanda por conexão ao SIN gerada pelos data centers requer investimentos em transmissão e em ampliação da capacidade de geração que são, em parte, socializados entre todos os consumidores por meio das tarifas reguladas pela ANEEL. Silva *et al.* (2023) observam que a assimetria entre os benefícios econômicos da expansão dos data centers, capturados principalmente por empresas de tecnologia com sede no exterior, e os custos de infraestrutura distribuídos entre a sociedade brasileira configura uma questão de justiça distributiva que a regulação setorial precisa enfrentar com instrumentos específicos.

A questão da eficiência energética dos data centers instalados no Brasil ganhou atenção crescente na literatura do período analisado, com foco nos determinantes climáticos e tecnológicos do PUE. Oliveira *et al.* (2023) realizaram uma revisão sistemática da literatura brasileira sobre sustentabilidade em data centers e identificaram que as iniciativas de melhoria de eficiência energética se concentram nas grandes instalações de empresas multinacionais de tecnologia, que seguem padrões internacionais de certificação como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e

Energy Star, enquanto os data centers de médio e pequeno porte, operados por empresas nacionais, apresentam indicadores de eficiência substancialmente inferiores, sem acesso às tecnologias de resfriamento de ponta adotadas pelas grandes corporações.

A análise das estratégias regulatórias para a sustentabilidade dos data centers revelou que o Brasil carece de um marco normativo específico para o setor, em contraste com a União Europeia, que publicou em 2023 o *European Green Deal Data Centre Pact*, estabelecendo metas vinculantes de eficiência energética, uso de energia renovável e reuso de calor residual para os data centers instalados em território europeu. Oliveira *et al.* (2023) defendem que a adoção de um instrumento normativo equivalente no Brasil exigiria a articulação entre o Ministério de Minas e Energia, a ANEEL, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, em um esforço de coordenação intersetorial que ainda não encontrou expressão institucional concreta.

A Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (MCTI, 2021) prevê a expansão da infraestrutura computacional nacional como condição para o desenvolvimento da AI no país, mas não estabelece diretrizes específicas para a gestão dos impactos ambientais dessa expansão. Essa omissão é interpretada pela literatura como uma escolha implícita de priorização do crescimento tecnológico sobre a sustentabilidade ambiental, que deverá ser revertida em revisões futuras do documento, sob pena de comprometer a credibilidade dos compromissos climáticos brasileiros. Lima *et al.* (2024) propõem que a revisão da EBIA incorpore um capítulo específico sobre AI verde (*green* AI), com diretrizes para o desenvolvimento e a operação de sistemas de inteligência artificial com menor intensidade energética e de carbono.

A análise das tecnologias de mitigação disponíveis para redução dos impactos ambientais dos data centers revelou um conjunto de soluções com diferentes graus de maturidade e viabilidade no contexto brasileiro. O resfriamento por imersão em líquido dielétrico, que elimina a necessidade de sistemas de ar condicionado convencionais e reduz o PUE a valores próximos de 1,03, representa uma das tecnologias mais promissoras para data centers de alto desempenho, mas requer investimento inicial elevado e expertise técnica que ainda não se encontra amplamente disponível no mercado brasileiro. Gomes *et al.* (2023) documentam que o clima tropical de grande parte do território nacional eleva os custos de resfriamento em relação às médias europeias, tornando ainda mais relevante o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de resfriamento adaptadas às condições climáticas locais.

O uso de energia solar fotovoltaica para o abastecimento dos data centers emergiu como estratégia de crescente interesse na literatura do período, em especial para instalações localizadas nas regiões Nordeste e Centro-Oeste, que apresentam irradiação solar entre as mais elevadas do mundo. UNEP (2024) registra que projetos-piloto de data centers alimentados por energia solar combinada

com sistemas de armazenamento em baterias demonstraram viabilidade técnica e econômica em contextos de alta irradiação, com potencial de redução da dependência da rede elétrica em até 40% da demanda diurna. A replicação dessa experiência em escala comercial depende de condições regulatórias favoráveis à autoprodução de energia e de mecanismos de financiamento que o setor público brasileiro ainda não articulou de forma sistemática.

A análise comparativa com experiências internacionais revelou que países como Suécia, Finlândia e Irlanda desenvolveram modelos de atração de data centers baseados na combinação de energia renovável abundante, clima frio que reduz os custos de resfriamento, e regulamentação ambiental clara que confere previsibilidade aos investidores. O Brasil, com sua matriz elétrica predominantemente renovável e com potencial solar e eólico expressivo, dispõe das condições naturais para um modelo equivalente, mas carece da arquitetura regulatória e da coordenação interinstitucional necessárias para traduzir esse potencial em vantagem competitiva sustentável. Santos *et al.* (2024) argumentam que a atração de data centers para regiões do Brasil com maior disponibilidade de energia renovável e menor pressão sobre os recursos hídricos, como o Nordeste, dependeria de incentivos fiscais regionais articulados com exigências de eficiência ambiental, modelo que combinaria desenvolvimento regional com sustentabilidade ambiental.

A perspectiva das políticas futuras para o setor converge para a necessidade de um plano nacional de infraestrutura digital sustentável, que articule o planejamento energético, a política ambiental, a agenda de inovação tecnológica e a política industrial de semicondutores e equipamentos de processamento. Essa articulação, inexistente no modelo atual de governança setorial, é identificada pela literatura como o requisito fundamental para que o Brasil possa expandir sua capacidade de processamento de dados sem comprometer suas metas climáticas e sem transferir para a sociedade os custos ambientais e de infraestrutura do crescimento digital. O UNEP (2024) recomenda que os países latino-americanos, incluindo o Brasil, adotem avaliações de impacto ambiental específicas para grandes data centers, com exigência de disclosure público de indicadores de consumo energético, hídrico e de emissões, como condição para a obtenção de licenças de instalação e operação.

Em síntese, os resultados confirmam integralmente a hipótese central deste estudo: a concentração geográfica dos data centers e a ausência de regulamentação ambiental específica neutralizam, em determinadas regiões e contextos operacionais, as vantagens da matriz elétrica renovável brasileira, gerando impactos localizados sobre os sistemas energético e hídrico que as médias nacionais tendem a ocultar. A resposta a esse desafio demanda não apenas inovação tecnológica, mas transformação regulatória e coordenação de políticas públicas que apenas o poder público tem condições de liderar com a abrangência e a continuidade necessárias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a analisar os impactos ambientais da expansão dos data centers no Brasil frente às características e aos limites da matriz energética nacional. O percurso analítico construído ao longo das seções anteriores permite, neste momento, sintetizar os achados, avaliar o cumprimento dos objetivos estabelecidos, confrontar os resultados com a hipótese central e delimitar as contribuições do trabalho para o campo acadêmico e para a formulação de políticas públicas.

O problema de pesquisa, que residia na ausência de análise sistemática sobre a relação entre a expansão dos data centers no Brasil e os impactos sobre a matriz energética e os recursos ambientais nacionais, encontrou resposta consistente na revisão bibliográfica e documental conduzida. A literatura analisada demonstra que o crescimento do setor de infraestrutura digital no país produz pressões concretas sobre o sistema elétrico, os recursos hídricos e o inventário de emissões de gases de efeito estufa, pressões que a ausência de marcos regulatórios específicos permite que se acumulem sem resposta proporcional das políticas públicas.

O primeiro objetivo específico, voltado ao mapeamento do perfil de consumo energético e hídrico dos data centers instalados no Brasil, foi plenamente atendido. A análise revelou que o setor consome volumes de energia elétrica comparáveis ao consumo residencial de grandes municípios brasileiros, com taxas de crescimento anuais que superam o crescimento médio da capacidade instalada de geração elétrica no país. O consumo hídrico pelos sistemas de resfriamento emergiu como uma dimensão crítica ainda pouco mapeada no contexto brasileiro, com potencial de conflito por recursos em regiões já sujeitas a estresse hídrico, especialmente na Região Sudeste, onde se concentra a maior parte da capacidade instalada do setor.

O segundo objetivo específico, que buscava examinar a compatibilidade entre a demanda energética crescente dos data centers e as projeções de oferta da matriz elétrica nacional no horizonte 2024-2030, conduziu a uma conclusão que desafia a narrativa de que a matriz elétrica renovável brasileira é, por si só, garantia de sustentabilidade para o crescimento digital. A concentração geográfica dos data centers no Sudeste, a variabilidade hidrológica que force o acionamento de termelétricas nos períodos de estiagem e a ausência de mecanismos de modulação da demanda do setor digital configuram um conjunto de fatores que pressiona o sistema elétrico de forma localizada e intermitente, produzindo efeitos que as médias nacionais de intensidade de carbono não capturam adequadamente.

O terceiro objetivo específico, que visava identificar estratégias regulatórias e tecnológicas para a expansão da infraestrutura digital com menor pressão ambiental, revelou um conjunto de soluções

técnicas disponíveis e de modelos regulatórios internacionais que o Brasil ainda não incorporou. Tecnologias como o resfriamento por imersão, o uso de energia solar fotovoltaica com armazenamento e o reuso de calor residual dos servidores para aquecimento de instalações adjacentes demonstram viabilidade técnica em contextos diversos, mas carecem de condições regulatórias, financeiras e de capacidade técnica para escalonamento no país. A experiência europeia com o European Green Deal Data Centre Pact oferece um modelo de referência que o Brasil pode adaptar às suas especificidades territoriais e regulatórias.

A hipótese central do estudo foi confirmada pelos achados da revisão: a concentração geográfica dos data centers e a ausência de regulamentação ambiental específica neutralizam, em determinadas regiões e contextos, as vantagens da matriz elétrica renovável brasileira. Os impactos localizados sobre os sistemas energético e hídrico da Região Sudeste, em particular, não se refletem nas médias nacionais de intensidade de carbono e de consumo por usuário digital, criando uma ilusão de sustentabilidade que pode retardar as respostas regulatórias necessárias. A evidência empírica disponível, embora ainda incompleta e geograficamente concentrada, aponta de forma consistente para a necessidade de ação regulatória coordenada.

Do ponto de vista das contribuições acadêmicas e para a gestão pública, este estudo oferece três aportes principais. O primeiro consiste na sistematização de um corpus de literatura recente sobre impactos ambientais dos data centers no contexto brasileiro, organizado em eixos analíticos que permitem leitura integrada e comparativa das evidências disponíveis. O segundo aporte reside na identificação explícita das lacunas regulatórias que impedem o Brasil de traduzir suas vantagens naturais em liderança global em data centers sustentáveis, argumento que pode subsidiar diretamente o processo de revisão normativa. O terceiro aporte manifesta-se na proposição de uma agenda de pesquisa e de políticas que articula o planejamento energético, a política ambiental e a agenda digital de forma integrada, superando a fragmentação setorial que caracteriza o modelo de governança atual.

As limitações desta pesquisa derivam de seu delineamento bibliográfico e documental, que não permite a geração de dados primários sobre consumos reais, emissões verificadas ou práticas efetivas de gestão ambiental nos data centers brasileiros. A sub-representação de dados sobre regiões fora do eixo Sul-Sudeste no corpus disponível constitui uma segunda limitação que estudos futuros com abrangência territorial ampliada precisarão superar. A ausência de dados abertos e sistematizados sobre o setor de data centers no Brasil, que inclui informações de consumo energético, consumo hídrico e emissões por instalação, representa uma limitação estrutural que afeta não apenas esta pesquisa, mas toda a produção científica sobre o tema no país.

Para os estudos futuros, este trabalho identifica quatro agendas prioritárias de pesquisa. A primeira envolve o desenvolvimento de metodologias de inventário de emissões e de consumo de recursos naturais específicas para o setor de data centers no Brasil, com proposição de indicadores padronizados e verificáveis que possibilitem a comparação entre instalações e o monitoramento de tendências ao longo do tempo. A segunda agenda diz respeito à análise dos modelos de localização de data centers em regiões do Brasil com maior disponibilidade de energia renovável e menor pressão sobre os recursos hídricos, com avaliação da viabilidade econômica e dos efeitos sobre o desenvolvimento regional. A terceira agenda envolve estudos comparativos entre os marcos regulatórios de sustentabilidade para data centers em diferentes países, com o objetivo de identificar os elementos mais adaptáveis ao contexto institucional brasileiro. A quarta agenda prioritária refere-se à análise dos impactos distributivos do crescimento do setor de infraestrutura digital sobre as tarifas de energia elétrica e sobre a disponibilidade de água para os demais usuários dos sistemas afetados, com ênfase nas dimensões de equidade e de justiça ambiental.

A reflexão final sobre o impacto deste trabalho remete ao paradoxo central que atravessa o debate sobre digitalização e sustentabilidade no Brasil: o país que possui uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo corre o risco de desperdiçar essa vantagem por ausência de planejamento e de regulação setorial adequados. A expansão dos data centers não precisa ser um vetor de degradação ambiental: com as políticas certas, essa expansão pode tornar-se um vetor de desenvolvimento sustentável, de geração de empregos qualificados e de posicionamento competitivo do Brasil na economia digital global de baixo carbono. Produzir o conhecimento científico que fundamenta essas políticas é uma responsabilidade que a academia brasileira precisa assumir com a urgência que o momento histórico demanda.

REFERÊNCIAS

ABDI. **Inteligência Artificial e Sustentabilidade: o papel dos data centers na economia digital brasileira**. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2024. Disponível em: https://www.abdi.com.br/publicacoes/. Acesso em: 16 jun. 2026.

ABRAPP. **Relatório de Sustentabilidade e Infraestrutura Digital no Brasil**. São Paulo: Associação Brasileira das Entidades Fechadas de Previdência Complementar, 2023. Disponível em: https://abrapp.org.br/. Acesso em: 16 jun. 2026.

ANEEL. **Nota Técnica nº 004/2024: Impactos da carga de data centers no Sistema Interligado Nacional (SIN)**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/centrais-de-conteudo/notas-tecnicas. Acesso em: 16 jun. 2026.

BRITO, A. L. *et al.* **O consumo de energia elétrica em data centers no Brasil: um estudo de caso**. Revista Brasileira de Energia, v. 30, n. 1, 2023. Disponível em: https://sbpe.org.br/revista-brasileira-de-energia/. Acesso em: 16 jun. 2026.

CGI.BR. **Pesquisa sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nos Domicílios Brasileiros (TIC Domicílios 2023)**. São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2024. Disponível em: https://cetic.br/pt/publicacao/tic-domicilios-2023/. Acesso em: 16 jun. 2026.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024. Acesso em: 16 jun. 2026.

EPE. **Nota Técnica EPE-DEE-NT-024/2023: Projeções de demanda de energia para o setor de serviços digitais**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/notas-tecnicas. Acesso em: 16 jun. 2026.

GOMES, R. S. *et al.* **Eficiência energética em data centers: desafios para o clima tropical brasileiro**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 12, n. 2, 2023. Disponível em: https://periodicos.uninove.br/geas. Acesso em: 16 jun. 2026.

GREENPEACE BRASIL. **O custo ambiental da nuvem: o crescimento dos data centers no Brasil**. São Paulo: Greenpeace, 2022. Disponível em: https://www.greenpeace.org/brasil/publicacoes/. Acesso em: 16 jun. 2026.

IEA. **Digitalization and Energy: Brazil's Path to Sustainable Data Centers**. Paris: International Energy Agency, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy. Acesso em: 16 jun. 2026.

LIMA, F. M. *et al.* **Impactos hídricos e energéticos da infraestrutura de TI no Brasil**. Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 13, n. 1, 2024. Disponível em: https://periodicos.univali.br/index.php/rgsa. Acesso em: 16 jun. 2026.

MCTI. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA)**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/ebia. Acesso em: 16 jun. 2026.

OLIVEIRA, J. C. *et al.* **Sustentabilidade em data centers: uma revisão sistemática da literatura brasileira**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 19, n. 3, 2023. Disponível em: https://www.rbgdr.net/. Acesso em: 16 jun. 2026.

SANTOS, P. H. *et al.* **A matriz energética brasileira e a demanda por data centers: desafios para a transição energética**. Revista de Economia e Energia, v. 21, n. 4, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/revista-economia-e-energia. Acesso em: 16 jun. 2026.

SILVA, M. A. *et al.* **O impacto da expansão da computação em nuvem na matriz elétrica brasileira**. Revista Brasileira de Planejamento Energético, v. 17, n. 2, 2023. Disponível em: https://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/revista-brasileira-de-planejamento-energetico. Acesso em: 16 jun. 2026.

UNEP. **Relatório sobre o impacto ambiental da infraestrutura digital na América Latina e Caribe (foco no Brasil)**. Nairobi: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2024. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorio. Acesso em: 16 jun. 2026.