

COMPUTATIONAL INFRASTRUCTURE FOR THE AI ERA: CHALLENGES, POLICIES, AND OPPORTUNITIES IN DATA CENTERS IN BRAZIL

*Marconi Edson Ferreira Viana
Otávio Frederico da Costa Roma Scheidegger**

Keywords: data centers; artificial intelligence; industrial policy; energy efficiency; connectivity; backhaul; Fust.

* Respectively, manager and systems analyst of the Information Technology, Telecommunications, and Creative Economy Industries Department of the BNDES's Productive Development and Innovation Division.

Resumo

O artigo analisa o papel estratégico dos *data centers* na transformação digital e na política industrial brasileira. A difusão da inteligência artificial generativa elevou de forma acelerada os requisitos de computação e energia no mundo. A matriz elétrica majoritariamente renovável posiciona o Brasil de forma favorável, mas a expansão ainda é limitada por gargalos de conectividade de longa distância e escassez de mão de obra especializada. O texto caracteriza o cenário doméstico com base em capacidade instalada, projetos em desenvolvimento, modelos operacionais e níveis de disponibilidade, destacando determinantes de despesas de capital (Capex) e despesas operacionais (Opex) e a dependência de importações. São discutidos os entraves técnicos, os instrumentos públicos de indução, os incentivos subnacionais e a governança ambiental baseada em métricas de eficiência. Essas medidas são apresentadas como essenciais para consolidar o Brasil como *hub* regional de infraestrutura computacional de baixo carbono.

Abstract

This article looks at the key role of data centers in Brazil's digital growth and industrial policy. The fast spread of generative artificial intelligence has boosted global needs for computing power and energy. Brazil's largely renewable electricity system offers a comparative advantage; however, expansion is challenged by long-distance connectivity constraints and a limited pool of qualified professionals. The study presents the domestic context in terms of installed capacity, ongoing projects, operational models, and availability categories, emphasizing factors related to capital expenditures (CAPEX), operational expenditures (OPEX), and import reliance. It evaluates technical challenges, public policy instruments, regional incentives, and environmental governance rooted in efficiency standards. These approaches are positioned as central to establishing Brazil as a regional leader in low-carbon computing infrastructure.

Introdução

A transformação digital da indústria é um dos pilares centrais da política industrial brasileira para a década de 2020. Inserida na Missão 4 da Nova Indústria Brasil (NIB), essa agenda mobiliza instrumentos públicos e privados para modernizar processos produtivos, promover a integração de tecnologias emergentes e impulsionar a competitividade sistêmica do setor industrial nacional (Brasil, 2024).

Nesse contexto, a crescente adoção de inteligência artificial (IA) se apresenta como um novo vetor estratégico de inovação, reorganizando cadeias produtivas, modos de gestão e relações de trabalho. O avanço da IA, sobretudo com a popularização de modelos fundacionais de grande escala, como os modelos generativos de linguagem, tem gerado uma demanda cada vez mais expressiva por infraestrutura computacional de alta *performance*, com impactos significativos sobre toda a cadeia produtiva do país. No plano federal, essa agenda conecta-se às diretrizes do Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA), publicado em 2025 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que define metas e arranjos de governança para o uso ético, seguro e sustentável da IA no Brasil (Brasil, 2025). Diante desse cenário, segundo estimativas da International Energy Agency (IEA), o consumo energético associado a *data centers* e redes de IA em 2026 deverá ser o dobro do observado em 2022, impulsionado principalmente pelo crescimento exponencial de aplicações baseadas em IA generativa (IEA, 2024).

No Brasil, esse fenômeno assume contornos específicos. Por um lado, o país conta com uma matriz elétrica majoritariamente renovável, composta por mais de 80% de fontes como hidrelétrica, eólica, solar

e biomassa (EPE, 2025), o que caracteriza o território nacional como um ambiente promissor para a instalação de *data centers* sustentáveis, em consonância com as metas globais de descarbonização. Por outro lado, ainda há desafios relevantes para a expansão dessa infraestrutura, como a concentração geográfica da conectividade de alta capacidade, a escassez de mão de obra especializada e a ausência de um marco regulatório específico para o setor.

Parte-se da hipótese de que os *data centers* especializados em cargas de trabalho em IA se tornarão elementos centrais da infraestrutura industrial do século XXI, ao mesmo tempo que os *data centers* voltados a cargas de trabalho tradicionais (*general-purpose workloads*, responsáveis pelo armazenamento e processamento generalista de dados) serão pressionados por uma demanda crescente, ambos desempenhando papel estratégico na transição digital e energética do Brasil. O objetivo deste estudo é compreender como essa infraestrutura crítica pode ser expandida de forma sustentável e integrada aos objetivos de política industrial da NIB, destacando tanto os fatores tecnológicos e econômicos envolvidos quanto os instrumentos públicos de apoio e regulação.

Para isso, este artigo está organizado da seguinte forma: após esta introdução, a segunda seção apresenta os principais vetores da demanda computacional e energética gerada pela IA; a terceira descreve o panorama atual da infraestrutura de *data centers* no Brasil, incluindo capacidades instaladas e tendências de expansão; a quarta discute os desafios estruturais enfrentados pelo setor; a quinta trata das políticas públicas, marcos regulatórios e aspectos de sustentabilidade; e a última seção oferece considerações finais com propostas de ação para o fortalecimento da infraestrutura computacional nacional.

A demanda computacional e energética da IA

O lançamento do ChatGPT, no fim de 2022, marcou o início de uma nova fase da IA generativa, popularizando modelos fundacionais treinados com bilhões de parâmetros e grandes volumes de dados. Em menos de dois anos, arquiteturas multimodais capazes de processar texto, imagem, áudio e vídeo – como o Gemini e o Claude, além do próprio ChatGPT – consolidaram um novo patamar de capacidade computacional ao alcance do público. Cada salto de geração vem acompanhado de aumentos significativos nos requisitos de *hardware*: clusters de treinamento reúnem dezenas de milhares de *graphics processing unit* (GPU)¹ ou aceleradores específicos, interligados por redes de alta velocidade, para sustentar volumes de dados que ultrapassam a casa dos *petabytes*.

Esse avanço estimulou diferentes países a desenvolverem modelos fundacionais em língua nativa, buscando reduzir a dependência de tecnologias externas, além de atender a especificidades culturais, setoriais e/ou regulatórias. No Brasil, iniciativas como o modelo Sabiá, desenvolvido pela empresa Maritaca AI e treinado integralmente em português brasileiro, e o projeto Gaia, que reúne grandes conjuntos de textos de diferentes países lusófonos, ilustram a popularização do desenvolvimento de IA local e reforçam a tendência à descentralização da pesquisa.

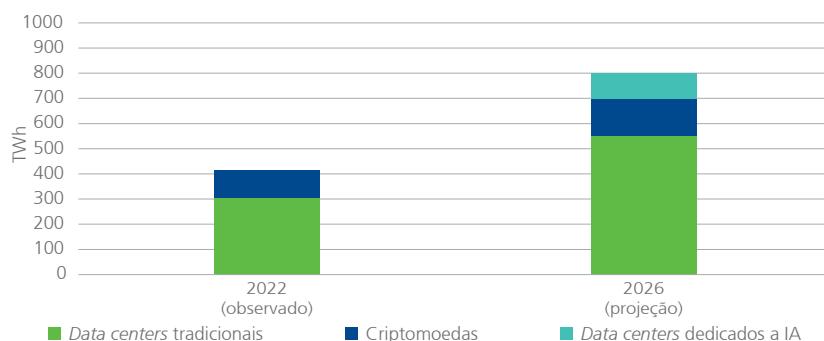
A expansão e a popularização desses sistemas elevam a demanda por poder computacional em três frentes principais: treinamento, inferência e armazenamento. O treinamento inicial demanda o trabalho simultâneo

¹ Processador originalmente projetado para operações gráficas, mas que se tornou essencial para cargas de trabalho de IA devido à sua capacidade de realizar cálculos paralelos em grande escala.

de grandes quantidades de processadores gráficos, enquanto a inferência, fase de uso do modelo, precisa responder quase instantaneamente a milhões de consultas diárias. O armazenamento, por sua vez, refere-se ao arquivamento de volumes imensos de dados, além de versões e registros que garantem integridade e conformidade. Cada estágio impõe diferentes perfis de carga aos *data centers* e pressiona tanto a capacidade de processamento quanto a infraestrutura de resfriamento e energia (IEA, 2025).

Nesse contexto, os investimentos globais em *data centers* quase dobraram desde 2022, ano de lançamento do ChatGPT, alcançando cerca de US\$ 455 bilhões em 2024 (Data..., 2025), quando essas instalações consumiram aproximadamente 415 TWh de eletricidade (1,5% da demanda mundial), com forte concentração nos Estados Unidos da América (EUA) (45%), China (25%) e Europa (15%). Desde 2017, esse consumo cresce em torno de 12% ao ano, ritmo mais de quatro vezes superior ao aumento do uso global de eletricidade (IEA, 2025). A IEA projeta que em 2026 o consumo total subirá para 820 TWh, impulsionado pelo avanço do consumo dos centros tradicionais para 570 TWh, da mineração de criptomoedas para 150 TWh e pela entrada de cerca de 100 TWh provenientes de *data centers* dedicados exclusivamente a aplicações de IA (IEA, 2024), conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 | Demanda global de eletricidade de *data centers*

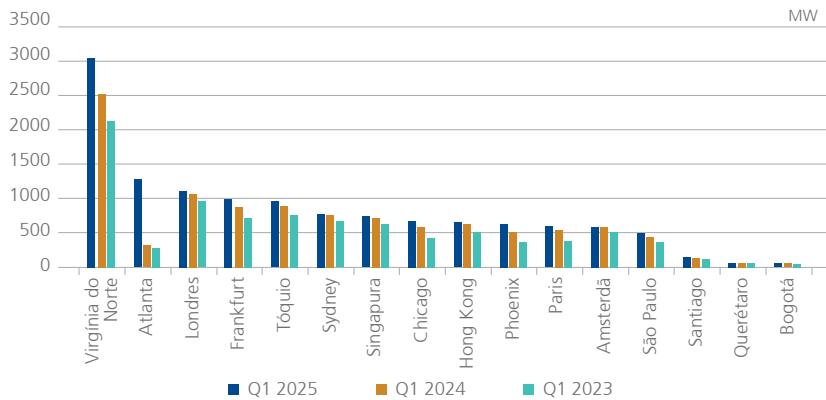


Fonte: Adaptado de IEA (2024).

A IEA projeta que, impulsionada sobretudo por cargas de IA, a demanda dos *data centers* por eletricidade mais que dobrará até 2030, atingindo cerca de 945 TWh, cifra ligeiramente superior ao consumo total atual do Japão. Somente nos EUA, o setor responderá por quase metade da expansão da demanda elétrica até o fim da década, passando a consumir mais do que a soma das indústrias de alumínio, aço, cimento, químicos e demais segmentos intensivos em energia (IEA, 2025).

Diante desse cenário, algumas análises de mercado já identificam o Brasil como um dos destinos mais promissores para *data centers* de alta densidade. O relatório *Global Data Center Trends 2025*, da Coldwell Banker Richard Ellis (CBRE), indica que a expansão do inventário latino-americano foi puxada principalmente por novos projetos em território brasileiro, contribuindo para um crescimento regional de 15% em 2024 (Global..., 2025). São Paulo é, de longe, o maior mercado da região, com 493 MW de capacidade instalada, seguido por Santiago, com 148 MW. Todavia, a América Latina não figura entre os dez maiores mercados mundiais em termos de oferta, estando aquém de centros globais como Tóquio (949 MW), Frankfurt (994 MW) e Londres (1104 MW), além dos grandes polos estadunidenses de Atlanta (1.279 MW) e Virgínia do Norte (3.046 MW). Ainda assim, São Paulo apresenta uma oferta comparável à de importantes centros europeus, como Paris (581 MW) e Amsterdã (569 MW), consolidando-se como o principal mercado da América Latina (Gráfico 2).

Gráfico 2 | Inventário de *data centers* por mercado



Fonte: Adaptado de Global... (2025).

Panorama da infraestrutura de *data centers* no Brasil

Antes de abordar o panorama da infraestrutura de *data centers* no Brasil, faz-se necessário esclarecer algumas distinções fundamentais entre os diferentes modelos e classificações desse tipo de instalação.

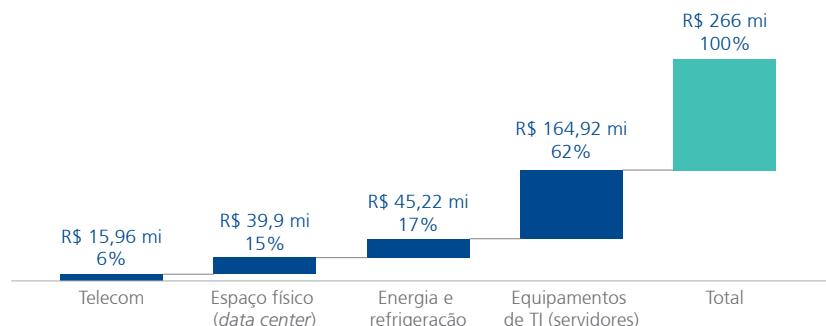
Do ponto de vista operacional, os *data centers* podem ser organizados em três formatos principais. No modelo *on-premise*, a própria empresa usuária é responsável pela instalação e operação da infraestrutura, geralmente em escala reduzida e voltada a necessidades internas. Já os *data centers* de *colocation* oferecem espaço, energia, refrigeração e conectividade para que diferentes clientes aloquem seus equipamentos em ambiente compartilhado e gerenciado por um operador especializado. Por fim, os *data centers hyperscale* são grandes instalações dedicadas a empresas de tecnologia que prestam serviços em nuvem

e plataformas digitais com alta demanda de processamento, como Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e Google Cloud. Esses modelos atendem a perfis distintos de usuários e coexistem no ecossistema digital nacional e internacional.

Outro critério relevante para qualificar a infraestrutura diz respeito à classificação de disponibilidade de um *data center*, estabelecida pelo Uptime Institute por meio da escala Tier. O Tier I representa o nível mais simples, com infraestrutura básica e sem redundância significativa. O Tier II acrescenta alguma redundância em componentes críticos, enquanto o Tier III permite manutenção simultânea de sistemas essenciais sem interrupção dos serviços. O Tier IV, por sua vez, oferece o mais alto grau de resiliência, com redundância completa e a mais baixa tolerância a falhas. Segundo relatório da Mordor Intelligence (2024), os Tier III são os *data centers* mais comuns no Brasil, e o número de novas certificações Tier IV segue limitado, consolidando o Tier III como a principal referência técnica de alta disponibilidade no mercado brasileiro.

Segundo estudo da Brasscom (2024), a construção de um *data center* Tier III de 5 MW no Brasil exigia, em 2021, investimento estimado em R\$ 266 milhões, dos quais 62% eram destinados exclusivamente à aquisição de equipamentos de tecnologia da informação (TI), como servidores e sistemas de armazenamento (Gráfico 3). Como apontam a própria Associação das Empresas de Tecnologia da Informação e Comunicação e de Tecnologias Digitais (Brasscom, 2024) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2023), esses equipamentos são em sua maioria de origem estrangeira, equivalendo a algo em torno de 85% do desembolso total vinculado a bens ou serviços importados, o que torna os projetos altamente vulneráveis à variação cambial, aos encargos de importação e aos prazos aduaneiros, além de limitar o acesso a mecanismos públicos de financiamento que priorizam conteúdo nacional.

Gráfico 3 | Capex aproximado de um *data center* Tier III de 5 MW no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasscom (2024).

Outros custos relevantes concentram-se em energia e refrigeração (17%) e na edificação e obras civis (15%), enquanto telecomunicações respondem por apenas 6% das despesas de capital (Capex).

No âmbito operacional, o mesmo estudo estima despesas operacionais (Opex) de cerca de R\$ 3,7 milhões por mês, dos quais entre 40% e 60% correspondem à conta de energia elétrica, evidenciando que, além do custo inicial elevado, a sustentabilidade financeira dos empreendimentos depende diretamente da confiabilidade do fornecimento de energia e de práticas avançadas de eficiência energética (Brasscom, 2024).

Em 2025, a infraestrutura de *data centers* no país atingiu cerca de 700 MW de capacidade instalada, distribuída por aproximadamente 80 instalações comerciais, com previsão de acrescentar ao menos 1.800 MW até 2029 graças a projetos já anunciados em Paulínia, Rio de Janeiro, Fortaleza, Porto Alegre e São Paulo (Research and Markets, 2025), que concentra o maior volume (493 MW) e segue como *hub* dominante para cargas *hyperscale* na região (Global..., 2025), conforme Figura 1.

Figura 1 | Distribuição de *data centers* pelo território brasileiro

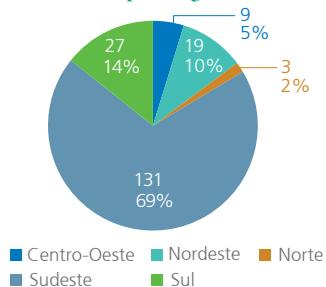


Fonte: Adaptado de Data Center Map. Disponível em: <https://www.datacentermap.com/brazil/>. Acesso em: 22 jul.2025.

Nota: O Data Center Map lista *data centers* destinados a serviços de *colocation* e/ou nuvem. Incluem também mineradores de criptomoedas e operadores de *hyperscale* (incluindo as *big techs*). Não são incluídos *data centers* corporativos, nem *data centers* governamentais. Os números dentro dos círculos indicam a quantidade de *data centers* na região. O tamanho de cada círculo é proporcional ao número.

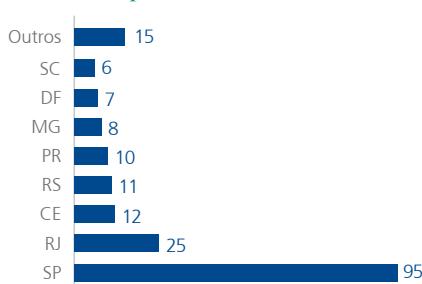
Ao concentrar a maior parte dessa infraestrutura, o estado oferece ganhos de escala e interconexão para atender à expansão de cargas em nuvem e aplicações de IA. Porém, tais vantagens são contrabalançadas por limitações na oferta de energia e pelos altos custos imobiliários decorrentes da escassez relativa de terrenos adequados em municípios como Barueri e Osasco, fatores que dificultam novos empreendimentos de grande porte (Global..., 2025), conforme gráficos 4a e 4b.

Gráfico 4a | Concentração de data centers por região



Fonte: Adaptado de Moody's Local Brasil (2025).

Gráfico 4b | Concentração de data centers por estado



Fonte: Adaptado de Moody's Local Brasil (2025).

O elevado investimento de capital e a necessidade de proximidade dos grandes centros consumidores explicam a concentração de *data centers* no Sudeste: construir um empreendimento desse tipo no Brasil requer, em média, investimento de R\$ 53,2 milhões por megawatt, bem acima dos custos estimados para Chile (R\$ 39 milhões/MW) e Argentina (R\$ 25 milhões/MW), o que favorece estados com maior oferta de financiamento e serviços financeiros (ABDI, 2023). Além disso, a maior parte da demanda corporativa nacional por banda larga e serviços de nuvem concentra-se no eixo Rio-São Paulo. Essa região também apresenta a maior concentração de infraestrutura de *backbone*,² bem como pontos de troca de tráfego (PTT)³ com maior número de provedores conectados, proporcionando alta disponibilidade dos principais provedores de nuvem, fatores que reduzem latência,⁴ custos de interconexão e reforçam a dinâmica de aglomeração nessa área.

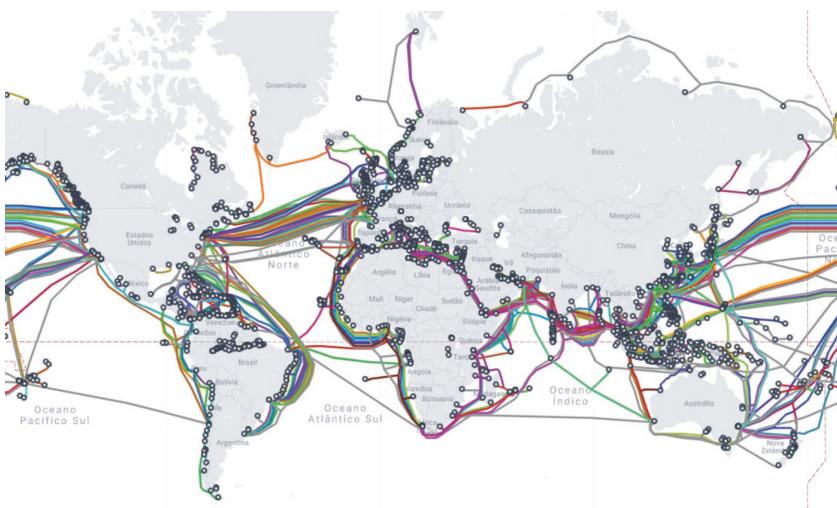
2 É o núcleo de uma rede de telecomunicações que frequentemente utiliza roteadores e *switches* de alta capacidade de transmissão, provendo conectividade em alta velocidade e transporte de dados dentro de uma rede ou entre redes.

3 PTTs são instalações privadas onde há grandes provedores que podem se conectar entre si, dividindo os custos envolvidos entre todos os usuários, encurtando o caminho até um determinado destino e aumentando a resiliência da rede como um todo.

4 Latência se refere ao tempo de resposta entre o envio de um pacote de dados e o recebimento de sua confirmação no destino.

Outras capitais também vêm ganhando relevância nesse ecossistema. Brasília destaca-se pela presença de *data centers* de colocation voltados a atender órgãos governamentais e a demanda por baixa latência em aplicações críticas. Já Fortaleza consolidou-se como *hub* estratégico de conectividade internacional, uma vez que concentra a principal chegada de cabos submarinos do país, o que a torna um ponto de interconexão privilegiado para o tráfego global de dados. A localização dos cabos submarinos, nesse contexto, configura-se um diferencial geopolítico significativo na alocação de investimentos em *data centers*, representando uma vantagem competitiva para determinadas regiões em virtude da infraestrutura instalada. A Figura 2 apresenta a malha de cabos submarinos atual.

Figura 2 | Malha de cabos submarinos



Fonte: Submarine Cable Map. Disponível em: <https://www.submarinecablemap.com>. Acesso em: 22 jul. 2025.

No recorte por tipo de instalação, a maior parte do novo *pipeline* brasileiro está associada a *data centers* de *colocation*, operados por empresas como Equinix, Odata e Ascenty, que atendem desde clientes corporativos até grandes provedores globais de nuvem. Nesse cenário,

os chamados *hyperscales* correspondem sobretudo à demanda contratada pelas *big techs* (AWS, Google, Microsoft), que podem tanto utilizar infraestrutura de terceiros quanto desenvolver instalações próprias. Já a computação de borda (*edge computing*) avança por meio de módulos menores implantados próximos a torres de telecomunicações, voltados à redução da latência em serviços críticos.

Nesse contexto, a computação de borda se apresenta como uma solução para descentralizar o processamento e aproximar a capacidade computacional dos pontos de geração de dados, e começa a atender casos de uso fora dos grandes centros: no agronegócio, sensores e câmeras em fazendas transmitem dados para micro *data centers* instalados em silos ou torres de comunicação, reduzindo a latência de análises de solo e climatologia; na saúde, hospitais em cidades de médio porte utilizam inferência local para exames de imagem; e programas-piloto de cidades inteligentes em Curitiba e Salvador testam processamento distribuído para controle de tráfego e iluminação pública.

Desafios estruturais para o crescimento do setor: conectividade e *backhaul* nacional

Antes de discutir os entraves específicos à expansão da infraestrutura de *data centers* no Brasil, é importante considerar os fatores estruturais que condicionam o funcionamento e a localização desses empreendimentos. A operação eficiente de um *data center* depende de um conjunto de variáveis técnicas e estratégicas que envolvem, entre outros aspectos, a proximidade com as redes de fibra óptica de alta capacidade e pontos

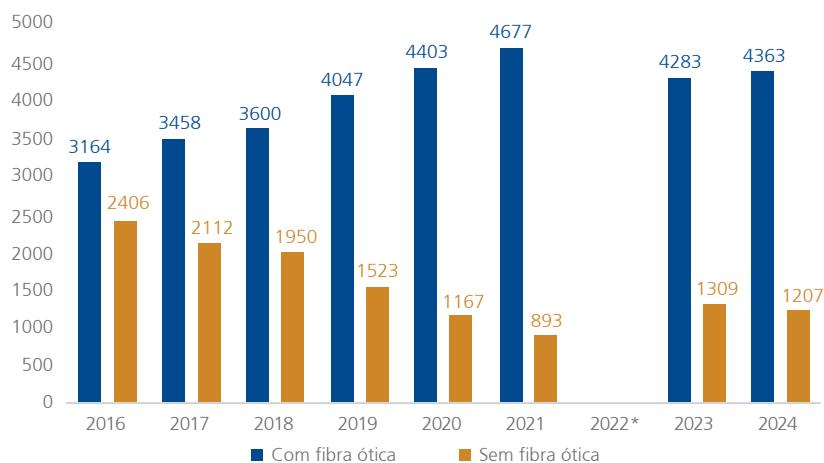
de interconexão, elementos que garantem elevada disponibilidade de dados. Em paralelo, a latência das conexões assume papel decisivo: tele-medicina, jogos *on-line*, *streaming* interativo, sistemas de IA baseados em nuvem e aplicações que demandem replicação síncrona de dados exigem proximidade física entre o *data center* e o usuário final para assegurar tempo de resposta mínimo e qualidade de serviço.

Além dessas exigências técnicas, outros critérios estruturais influenciam a viabilidade dos projetos. A disponibilidade de infraestrutura elétrica e hídrica confiável é indispensável, com destaque para a crescente valorização de fontes de energia renovável diante da alta demanda energética desses ativos. A gestão de riscos também orienta decisões de localização, sendo preferíveis regiões de baixa incidência de desastres naturais que possam comprometer a continuidade operacional. Por fim, marcos regulatórios estáveis e incentivos fiscais consistentes são fatores de atração para investidores, considerando os altos custos fixos e a baixa mobilidade desses empreendimentos após instalados (Moody's Local Brasil, 2025).

O ritmo de expansão dos *data centers* no Brasil passa por um conjunto de restrições que vão além do investimento em capacidade bruta. A primeira delas é a conectividade de longa distância: embora os novos cabos submarinos que aportam em Fortaleza garantam ligação direta com os EUA, Europa e África, grande parte do tráfego nacional ainda percorre rotas terrestres concentradas no eixo Sudeste-Nordeste, gerando assimetrias relevantes de latência e custo. Fora desse corredor, as redes de fibra óptica de alta capacidade se tornam menos acessíveis, sobretudo no Centro-Oeste e no Norte, elevando o preço de trânsito de dados para plataformas de vídeo, aplicações em nuvem e soluções de IA que exigem resposta em tempo real (Brasscom, 2024).

A escassez de rotas redundantes e *backbones* regionais de alta capacidade compromete não apenas a resiliência dos serviços, mas também a expansão de modelos distribuídos de computação, como a inferência local de modelos de IA e a computação de borda. Segundo dados do Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações (PERT), publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) em 2025, cerca de 27% dos municípios brasileiros ainda não estão conectados a redes de transporte de alta capacidade, enquanto 43% contam com apenas um provedor de *backhaul* óptico⁵ – um indicador preocupante para a expansão de serviços que exigem baixa latência e alta disponibilidade (Anatel, 2025), como mostra o Gráfico 5.

Gráfico 5 | Evolução dos municípios brasileiros atendidos com *backhaul* com fibra óptica



Fonte: Adaptado de Plano... (2025).

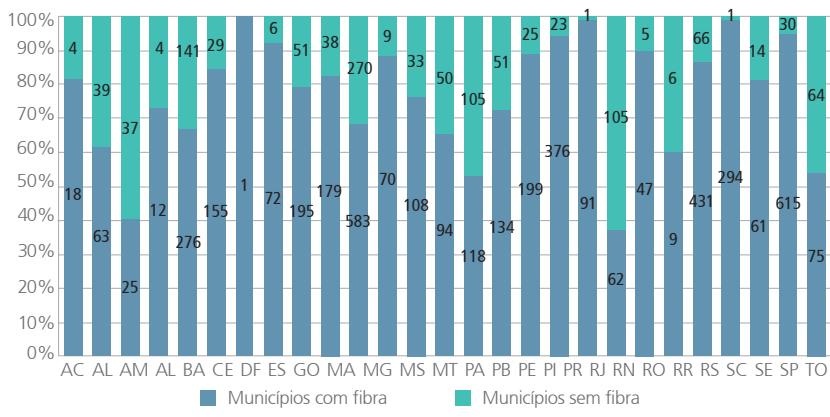
* Não houve coleta de dados em 2022.

⁵ *Backhaul* é parte da infraestrutura de telecomunicações responsável por conectar redes de acesso (como antenas de celular, redes wi-fi, ou pequenas redes locais) ao núcleo da rede (*core network*). Nesse caso, é referido como óptico porque a conexão é feita por meio de fibras ópticas.

A interiorização da infraestrutura de telecomunicações depende, em grande medida, de políticas públicas e instrumentos de financiamento que viabilizem o investimento em áreas menos atrativas do ponto de vista comercial. A fragmentação do *backbone* nacional é agravada pela baixa interoperabilidade entre redes de transporte regionais, pela ausência de PTTs em regiões estratégicas e pela concentração das principais rotas em eixos saturados.

O PERT revela que, apesar da ampla cobertura nacional de *backhaul* em fibra óptica, persistem desigualdades regionais significativas. Em 2024, a infraestrutura de *backhaul* em fibra óptica alcançava 76,5% dos municípios brasileiros, abrangendo 94,3% da população residente e sustentando 98,2% dos acessos ativos de Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) (Anatel, 2025). Contudo, a desagregação por unidade da Federação (UF), conforme observado no Gráfico 6, revela que os estados das regiões Norte e Nordeste concentram a maior proporção de municípios ainda não contemplados por essa infraestrutura. Tal disparidade configura um vetor persistente da desigualdade digital, uma vez que a presença de fibra óptica no *backhaul* é determinante para a qualidade do serviço, refletindo-se em maior velocidade média de conexão e densidade superior de acessos nas localidades atendidas.

Gráfico 6 | Distribuição dos municípios atendidos com *backhaul* de fibra óptica por UF



Fonte: Adaptado de Anatel (2025).

Mesmo nos estados com maior densidade de fibra óptica, como São Paulo, a competição entre provedores e a existência de redes neutras de alta capacidade ainda são limitadas a áreas urbanas densas, o que se reflete na baixa resiliência de aplicações empresariais críticas, que demandam redundância de rotas, múltiplos fornecedores e integração direta com pontos de interconexão globais. Essa limitação impacta diretamente o custo operacional de *data centers* em regiões periféricas, reduzindo sua atratividade e capacidade de evoluir para aplicações mais intensivas em dados, como os modelos de IA generativa.

Nesse contexto, o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (Fust) desempenha papel estratégico. Criado pela Lei 9.998, de 17 de agosto de 2000, o fundo tem como objetivo financeiar a expansão, o uso e a melhoria dos serviços de telecomunicações em áreas e populações não atendidas ou atendidas de forma precária. Historicamente subutilizado, o fundo teve seu escopo de atuação ampliado a partir da Lei 14.109, de 16 de dezembro de 2020, que autorizou o uso de recursos para projetos em regime privado, o que abriu caminho para

maior participação do setor produtivo e mais agilidade na execução de investimentos.

Atualmente, o Fust tem sido orientado por uma lógica de indução ao investimento em infraestrutura em regiões com menor atratividade econômica, com foco na redução das desigualdades regionais de conectividade. Entre as prioridades definidas pelo conselho gestor do fundo estão a ampliação do *backhaul* em municípios sem atendimento adequado, a conectividade em escolas públicas e a inclusão digital de populações vulneráveis – elementos relacionados aos desafios enfrentados pela expansão da infraestrutura de *data centers* e redes de alta capacidade fora dos grandes centros urbanos (Brasil, 2025).

Desde sua operacionalização, em agosto de 2023, até outubro de 2025, o Fust aprovou mais de R\$ 2,5 bilhões em projetos financiados com recursos do fundo, incluindo ações voltadas à implantação de redes ópticas em áreas remotas e à ativação de pontos de troca de tráfego regionais. Essas medidas buscam não apenas garantir acesso à internet em localidades isoladas, mas também criar as condições técnicas mínimas para a operação de serviços avançados, como os necessários ao funcionamento de aplicações de IA baseadas em nuvem (BNDES, [2025]).

Com a aceleração do uso industrial de IA, essas limitações tornam-se ainda mais evidentes. A capacidade de distribuir a carga computacional por múltiplos nós – reduzindo latência e otimizando uso energético – depende de uma malha de conectividade nacional robusta, confiável e aberta à interconexão. A superação desse desafio exige coordenação entre entes públicos e privados, planejamento integrado de redes de telecomunicações e uso estratégico de instrumentos como o Fust para fomentar a interiorização da infraestrutura digital e garantir capilaridade ao ecossistema de *data centers* emergente no país.

Políticas públicas, regulação e sustentabilidade

O arcabouço regulatório que disciplina a instalação e a operação de *data centers* no Brasil ainda é fragmentado, composto por um conjunto de normas gerais aplicáveis a diferentes aspectos da cadeia digital. A Lei Geral de Telecomunicações (Lei 9.472, de 16 de julho de 1997) estabelece prerrogativas de interconexão e compartilhamento de infraestrutura; o Marco Civil da Internet (Lei 12.965, de 23 de abril de 2014) define direitos e deveres sobre armazenamento de dados, privacidade e neutralidade de rede; e a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei 13.709, de 14 de agosto de 2018) impõe padrões de governança da informação e segurança cibernética que já integram a *due diligence* de operadores globais.

No eixo da sustentabilidade, o Brasil parte de uma vantagem estrutural: mais de 80% da geração elétrica provém de fontes renováveis, com destaque para fontes hidrelétricas, eólicas e solares (EPE, 2025). Essa característica transforma o país em uma alternativa promissora para a instalação de infraestruturas digitais sustentáveis, em contraste com centros de dados situados em países cuja matriz energética é intensiva em carbono. Grandes operadoras têm explorado esse diferencial, abastecendo seus *data centers* instalados em território nacional com energia de fonte renovável certificada, por meio de contratos de longo prazo (*power purchase agreements* – PPA) com usinas hídricas, eólicas e solares (ABDI, 2023; Moody's Local Brasil, 2025). Ainda assim, o custo da eletricidade no Brasil segue pressionado por encargos setoriais. Segundo estudo do Grupo de Estudos do Setor Elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GESEL-UFRJ), a incidência

de componentes como a conta de desenvolvimento energético (CDE), as bandeiras tarifárias e os encargos de segurança do sistema (ESS) pode adicionar até 35% à tarifa-base, reduzindo parte da vantagem comparativa do insumo renovável (Arbache, 2024).

Nesse cenário, a busca por eficiência energética e hídrica tornou-se imperativa. Indicadores padronizados vêm sendo utilizados para mensurar e comparar o desempenho ambiental de *data centers*, orientando tanto decisões de engenharia quanto políticas públicas. Os três principais indicadores internacionais são o *power usage effectiveness* (PUE), o *water usage effectiveness* (WUE) e o *carbon usage effectiveness* (CUE), definidos pelo consórcio The Green Grid e amplamente adotados por certificações como Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e ISO/IEC 30134 (Quadro 1).

Quadro 1 | Indicadores internacionais de eficiência energética e hídrica

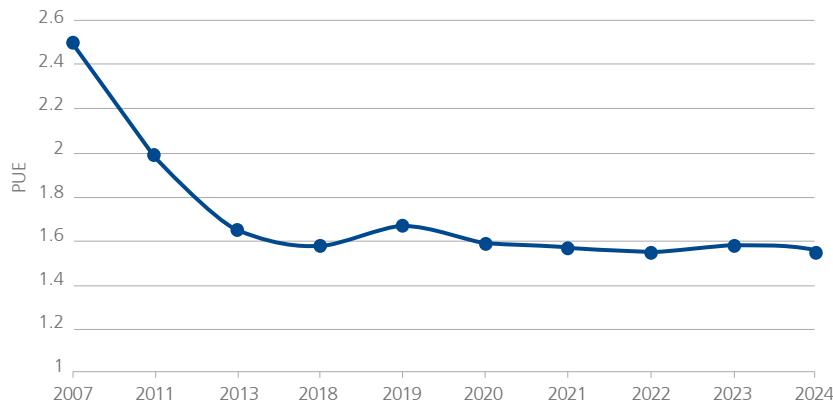
Indicador	Fórmula	Objetivo	Intervalos típicos
PUE	Energia total consumida ÷ Energia dos servidores	Medir a eficiência energética global do <i>data center</i>	1,1 a 2,5
WUE	Água consumida (litros) ÷ Energia dos servidores (kWh)	Avaliar o consumo hídrico associado à refrigeração	0,2 a 2 L/kWh
CUE	Emissão de CO ₂ (kg) ÷ Energia dos servidores (kWh)	Quantificar a intensidade de carbono da operação energética	0,1 a 1,5 kg/kWh

Fonte: Elaboração própria com base em The Green Grid (2023) e Uptime Institute (2024).

Sob essa perspectiva, observa-se no Gráfico 7 a seguir, que o PUE global teve forte queda entre 2007 e 2013, mas logo em seguida o indicador se manteve relativamente estável ao longo dos anos. O período de queda considerável se deve, principalmente, ao aumento

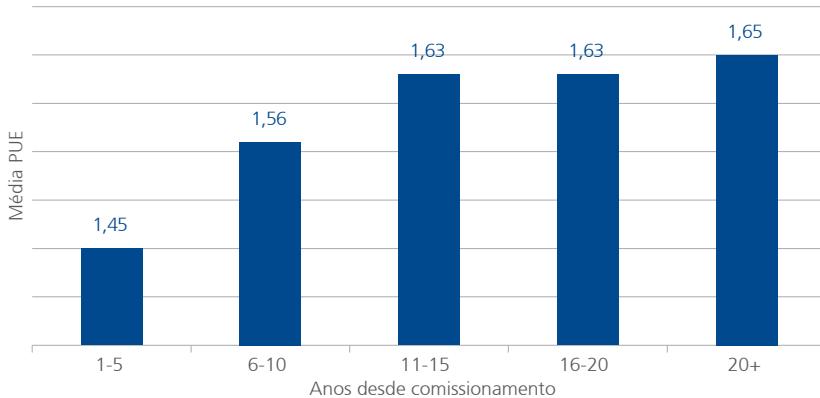
da eficiência dos equipamentos de TI e dos sistemas de controle, monitoramento e refrigeração dos *data centers*.

Gráfico 7 | Evolução do PUE médio anual global de operadores de *data center*



Fonte: Adaptado de Moody's Local Brasil (2025).

A estabilização subsequente é fruto de alguns fatores combinados: o primeiro é o fato de as primeiras medições de PUE global terem se concentrado nos EUA e na Europa, onde o clima, em geral, é mais frio (o que reduz significativamente a necessidade de refrigeração artificial) e a infraestrutura é mais eficiente. Com a coleta de dados nos mais variados continentes, incluindo Ásia, África e América Latina, o número naturalmente se estabilizou. Como exemplo, o survey de 2018 do Uptime Institute contou com dois terços das respostas oriundas de EUA e Europa, proporção que em 2023 caiu para menos da metade. Ademais, é consenso que, de forma geral, *data centers* mais novos tendem a ser mais eficientes, conforme se percebe no levantamento feito com *data centers* de 1 MW ou mais (Gráfico 8).

Gráfico 8 | PUE médio por idade dos *facilities* (para *data centers* a partir de 1 MW)

Fonte: Adaptado de Bizo (2023).

Outra questão relevante é o tamanho da capacidade instalada. *Data centers* menores são mais propensos a utilizar sistemas de climatização com tecnologias menos eficientes, como expansão direta e resfriamento a ar. Nos *data centers* mais modernos instalados no Brasil, esses índices vêm apresentando desempenho acima da média mundial. Segundo o estudo Global Data Center Trends 2025, os projetos mais recentes no país registram PUE entre 1,30 e 1,40, abaixo da média global de 1,56, conforme dados do Uptime Institute (Global..., 2025; Uptime Institute, 2024). Esses resultados são alcançados por meio de técnicas como resfriamento líquido direto em racks de alta densidade (100 kW), uso de corredores confinados e reaproveitamento de água por meio de sistemas fechados. Ainda assim, a maior parte do setor carece de padronização na divulgação desses indicadores, o que dificulta a comparação entre operadores e a formulação de políticas públicas baseadas em desempenho ambiental comprovado.

Os indicadores WUE e CUE têm adquirido relevância nos últimos anos graças ao crescimento da agenda ASG (ambiental, social e governança). O primeiro, relacionado à eficiência do consumo de água em um *data center*,

tornou-se fundamental após o aumento das tecnologias intensivas em modelos de IA. Isso se deve ao fato de que a energia térmica gerada por uma GPU é significativamente maior do que a dos servidores convencionais que utilizam apenas unidades centrais de processamento (CPU). Segundo Patel *et al.* (2024), GPUs respondem, em média, por metade do consumo de energia de um servidor, apesar da eficiência energética variar amplamente entre diferentes tipos de cargas de trabalho. *Data centers* que utilizam apenas resfriamento a ar apresentam WUE próximos de zero, enquanto os que dependem exclusivamente de resfriamento evaporativo podem atingir até 2,5 de WUE (Higgins, 2024).

Apesar de relevante, alguns pontos do WUE são passíveis de aperfeiçoamento, principalmente as medições, que em geral são feitas a partir de um único ponto de entrada de água. Mesmo sendo menos trabalhoso do ponto de vista operacional, o WUE dificulta a realização de ajustes pontuais no ambiente. Adicionalmente, o indicador desconsidera o consumo de água para a geração de energia, o que no Brasil, país cuja matriz energética é mais limpa, poderia ser um diferencial de mercado. O WUE também desconsidera a fonte hídrica, o que faz com que dois *data centers* com o mesmo consumo nominal de água, mas que utilizam fontes diferentes – água captada da chuva *versus* água potável, por exemplo –, sejam avaliados sob a mesma perspectiva.

Em um *data center*, a maior parte das emissões de carbono é oriunda da matriz energética, ou seja, da pegada de carbono advinda da geração de energia. Geradores a diesel são utilizados como fonte redundante em caso de falha no fornecimento da concessionária de energia e devem ser considerados no cálculo das emissões de carbono. Quanto mais próximo de zero, melhor é o CUE. Tendo em vista que o CUE é fortemente dependente da fonte de energia, sua diminuição significativa pode ser inviável, a depender

do local em que o *data center* esteja localizado. O Brasil, com sua matriz predominantemente hidrelétrica, tem um grande diferencial competitivo.

No plano subnacional, observa-se a disseminação de políticas fiscais e regulatórias voltadas à atração de investimentos em infraestrutura digital, com destaque para *data centers* de grande porte. O estado do Ceará, por exemplo, tem adotado uma estratégia integrada que articula incentivos fiscais, infraestrutura energética renovável e acesso internacional à conectividade, aproveitando a baixa latência proporcionada pelo *hub* de cabos submarinos de Fortaleza. Projetos instalados na Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do Pecém, como o megacomplexo anunciado pela Casa dos Ventos em parceria com o grupo ByteDance, contam com suspensão de tributos como Imposto de Importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Programa de Integração Social e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS-Cofins) e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) por até vinte anos, além de diferimento de ICMS na importação de equipamentos para o ativo fixo (ZPE Ceará [2025]; Goethe, 2025).

Medidas similares foram implementadas pelo Estado do Rio de Janeiro, que aprovou a Lei 10.431, de 21 de junho de 2024, instituindo até 2032 um regime especial de tributação para empresas do setor de *data centers*, com isenção e diferimento do ICMS na aquisição de servidores, equipamentos ópticos e sistemas de resfriamento utilizados na construção, ampliação ou modernização desses empreendimentos (Rio de Janeiro, 2024). A mesma agenda de atração de infraestrutura digital foi complementada pela Prefeitura do Rio de Janeiro, que anunciou, em 2025, o projeto Rio AI City, um *campus* de *data centers* localizado no Parque Olímpico, concebido em parceria com a Elea Data Centers. Prevista para operar com capacidade inicial entre 1,5 GW e 1,8 GW de energia renovável até 2027 – podendo alcançar até 3,2 GW em fases futuras –,

a iniciativa integrará infraestrutura de supercomputação, ambientes de pesquisa e ecossistema de IA, contando com fornecimento dedicado de água e energia limpa, além de conexão direta ao Porto Maravilha e ao *hub* de cabos submarinos (Elea..., 2025; Rio..., 2025).

No plano federal, foi recentemente lançado o regime especial de tributação para serviços de *data center* no Brasil (Redata), que prevê a isenção de tributos federais na importação de equipamentos de TI, condicionada ao cumprimento de critérios de sustentabilidade e à destinação de parte da capacidade computacional ao mercado nacional, com potencial de atrair até R\$ 2 trilhões em investimentos na próxima década (MP..., 2025). Essas medidas refletem uma disputa federativa por empreendimentos intensivos em infraestrutura digital e energética, ainda que faltem mecanismos nacionais de coordenação e padronização que assegurem critérios técnicos mínimos, como desempenho energético e hídrico, para concessão de benefícios.

A União Europeia (UE) tem avançado significativamente na regulação ambiental de *data centers*, especialmente diante do aumento do consumo energético e hídrico desses empreendimentos. A Diretiva 2023/1791 do Parlamento Europeu e do Conselho da UE, de 13 de setembro de 2023, determina que, a partir de 2026, todos os *data centers* com carga superior a 500 kW deverão reportar anualmente indicadores de consumo de energia, água e calor residual, cujos dados serão integrados a um repositório pan-europeu de transparência climática (UE, 2023). Além disso, regulamentos complementares estabelecem metas progressivas de reaproveitamento do calor residual, incentivando sua integração a redes de aquecimento urbano. Com isso, a UE se consolida como referência na formulação de políticas que promovem a eficiência energética e a governança ambiental no setor de infraestrutura digital.

Nos EUA, o incentivo à instalação de *data centers* ocorre principalmente por meio de regimes fiscais estaduais voltados à atração de investimentos, com ênfase em isenções tributárias sobre equipamentos e infraestrutura. Estados como Virgínia e Arizona concedem isenção total do imposto sobre vendas (*sales tax*) para centros de dados que atendam a determinados critérios de investimento e geração de empregos. Na Virgínia, segundo relatório da Joint Legislative Audit and Review Commission (JLARC, 2024), os benefícios fiscais não estão atualmente vinculados à adoção de práticas ambientais ou energéticas avançadas, embora o órgão recomende que o legislativo estadual avalie a inclusão de contrapartidas de sustentabilidade nas próximas revisões do programa. Já no Arizona, o Computer Data Center Program oferece benefícios semelhantes, podendo estender o prazo de isenção para empreendimentos certificados por padrões de construção sustentável, como Energy Star ou Green Globes (Computer..., [2024]). Essas políticas têm estimulado a atração de investimentos bilionários em infraestrutura computacional, ao mesmo tempo que buscam contrapartidas que favorecem a mitigação de impactos ambientais. Há, no entanto, um debate crescente sobre a necessidade de rever esses benefícios em função da pressão sobre recursos naturais e do aumento da demanda energética projetada para a próxima década.

Na Ásia, países como Malásia, Tailândia e Índia vêm se destacando por políticas voltadas à atração de *data centers* ancoradas a critérios de sustentabilidade. A Malásia, por exemplo, permitiu que grandes centros de dados comprassem energia renovável diretamente dos produtores por meio de seu Corporate Green Power Programme, ao mesmo tempo que adotou uma nova estrutura tarifária de energia (incluindo sobretaxas para grandes consumidores) com o objetivo de incentivar o uso de fontes limpas. Projeta-se que a capacidade instalada em Johor alcance cerca de 1,6 GW até 2035 (Ghosal; Thian, 2025). Já a Tailândia tem promovido zonas econômicas especiais com infraestrutura energética dedicada,

além de oferecer mecanismos de fornecimento de energia limpa que facilitam contratos diretos entre produtores de renováveis e operadores de centros de dados (Azhar, 2024). A Índia, por sua vez, ampliou seu marco regulatório por meio de iniciativas que combinam eficiência energética e uso de tecnologias avançadas de resfriamento, alinhadas ao *Energy Efficiency Guidelines*, do Bureau of Energy Efficiency (BEE, 2023), e conta com parcerias público-privadas que promovem certificações verdes e compartilhamento de boas práticas (Ganguly; Parial, 2025; Kaladharan; Kidambi, 2025). Essas experiências asiáticas mostram como a combinação entre incentivos econômicos e exigências ambientais pode impulsionar a infraestrutura digital de maneira sustentável em regiões cuja demanda por serviços de dados é crescente.

A China consolidou-se como um dos principais polos globais de *data centers*, graças a um planejamento estatal de longo prazo e a metas rigorosas de eficiência energética. Em 2022, o governo central lançou a iniciativa Eastern Data, Western Computing, com o objetivo de descentralizar a capacidade computacional e reduzir a pressão nas regiões litorâneas por meio da construção de oito *hubs* nacionais e dez *clusters* regionais incentivados tecnicamente a operar com energia renovável e resfriamento natural (Ye, 2025). As diretrizes incluem padrões progressivos de PUE, uso obrigatório de fontes limpas e sistemas de reaproveitamento de calor, refletindo o papel articulador do estado na integração entre transformação digital e transição energética.

Esses exemplos demonstram que políticas bem-sucedidas dependem de uma articulação robusta entre estímulos regulatórios, exigências técnicas e metas ambientais – uma base essencial para que o Brasil possa avançar com seu próprio modelo regulatório, envolvendo esforços federativos, sustentabilidade e competitividade digital.

Considerações finais

A infraestrutura de *data centers* ocupa posição central na nova geopolítica da transformação digital. Sua capilaridade territorial, eficiência energética e capacidade de interconexão passaram a ser ativos estratégicos para a atração de investimentos, o avanço da IA e a ampliação da soberania tecnológica dos países. No Brasil, essa infraestrutura encontra terreno propício para se desenvolver tendo em vista a matriz elétrica majoritariamente renovável, um mercado digital em expansão e localização geográfica privilegiada. No entanto, essas condições vantajosas precisam ser acompanhadas de planejamento coordenado, marcos regulatórios robustos e instrumentos de financiamento capazes de direcionar os investimentos para projetos sustentáveis e distribuídos territorialmente.

A expansão dessa infraestrutura exige mais do que a construção de grandes centros de dados em polos tradicionais. É necessário articular uma política nacional que considere as assimetrias regionais, incentive a interiorização da conectividade e promova uma nova geração de empreendimentos com maior densidade computacional, menor consumo de recursos e alto desempenho ambiental. Essa transição passa pela valorização de métricas universais de eficiência energética e hídrica, como PUE, WUE e CUE, bem como pela integração entre redes de telecomunicações, centros de supercomputação e zonas industriais com potencial para reaproveitamento de calor residual e uso racional da água.

A universalização da infraestrutura digital depende da expansão das redes de telecomunicações, especialmente do *backbone* óptico nacional. A instalação de novos *data centers* em regiões fora do eixo Sudeste-Sul só será viável com o aumento da capilaridade de redes de alta capacidade,

rotas redundantes e pontos de troca de tráfego regionais. O investimento em redes ópticas de alta velocidade é condição para a interiorização da capacidade computacional e para a redução da latência em aplicações críticas, como inferência de IA, telemedicina e automação industrial. Fundos públicos como o Fust, combinados a linhas de crédito com prazos compatíveis com a maturação dessas redes, devem desempenhar papel central nesse processo, viabilizando a presença de infraestrutura digital em territórios hoje negligenciados pelas lógicas de mercado.

No campo regulatório, a harmonização entre normas federais, estaduais e municipais é condição indispensável para destravar o licenciamento e criar um ambiente de previsibilidade jurídica. A ausência de um marco nacional específico para *data centers*, que contemple aspectos construtivos, operacionais e ambientais, gera insegurança e dificulta o planejamento de longo prazo por parte dos investidores. A definição de parâmetros técnicos mínimos, a padronização de exigências e a inclusão de critérios de sustentabilidade nas políticas de incentivos são passos fundamentais para alinhar o setor aos referenciais internacionais.

Também é urgente estruturar um plano nacional de formação de mão de obra técnica especializada. A operação de *data centers* modernos demanda competências específicas em gestão de infraestrutura crítica, climatização líquida, proteção de dados e automação de processos energéticos. Sem profissionais qualificados, mesmo projetos com acesso a financiamento e energia limpa enfrentarão gargalos operacionais. A articulação entre setor privado, redes de educação técnica e programas de bolsas públicas voltados à pesquisa aplicada pode reduzir esse descompasso e fortalecer o ecossistema nacional de inovação em hardware, eficiência e segurança cibernética.

A adoção de medidas similares no Brasil – como a obrigatoriedade de reportar PUE, WUE e CUE relativos a *data centers* acima de determinado

porte, combinada a incentivos tarifários e fiscais atrelados ao desempenho ambiental – poderia catalisar o alinhamento do setor brasileiro aos referenciais globais. Essa agenda requer articulação federativa, envolvimento das agências reguladoras, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a Anatel, e coordenação com as políticas industriais e de inovação voltadas à infraestrutura digital.

O alinhamento entre regras claras, metas ambientais mensuráveis e instrumentos de financiamento direcionados constitui, assim, o pilar fundamental para transformar a atual vantagem potencial do Brasil em *hub* de *data centers* de baixo carbono em uma vantagem efetiva e estratégica. Essa consolidação do ambiente regulatório e financeiro será decisiva para atrair a próxima geração de investimentos em cargas intensivas de IA, que exigem não apenas conectividade e energia, mas sustentabilidade comprovada por métricas universais.

Cumpre ainda destacar que a elevada dependência externa, que responde por cerca de 85% do Capex do setor, não deve ser interpretada apenas como uma fragilidade a ser sanada pela internalização integral da cadeia de bens de capital. A dinâmica da indústria de *data centers*, fortemente globalizada e sujeita a rápidas inovações tecnológicas, torna economicamente complexa a reprodução doméstica de toda a base de equipamentos e insumos. Contudo, isso não elimina a importância de estimular o desenvolvimento interno de fornecedores em áreas onde haja vantagens comparativas, potencial de inovação e capacidade de geração de valor agregado, de modo a reduzir vulnerabilidades críticas e ampliar a autonomia tecnológica do país. Assim, a estratégia deve, de forma complementar, articular o fortalecimento da cadeia nacional de bens e serviços com ações que garantam a inserção competitiva do Brasil no ecossistema global – por

meio da atração de investimentos externos, do reforço da capacidade nacional em elos estratégicos (como *software*, integração de sistemas, operação e manutenção) e da articulação com políticas industriais horizontais já existentes.

Além de sua relevância como infraestrutura crítica, os *data centers* exercem um efeito multiplicador sobre a economia nacional, ao estimular tanto a cadeia de máquinas e equipamentos pela elevada demanda por *hardware*, sistemas de armazenamento e tecnologias de refrigeração, quanto a cadeia de serviços especializados, que envolve operação, manutenção, integração de sistemas e segurança digital. Esse caráter dinâmico reforça o potencial do setor de contribuir não apenas para a transformação digital, mas também para a dinamização industrial e tecnológica do país.

Ao reunir políticas de inovação, sustentabilidade e soberania digital em uma mesma agenda estratégica, o Brasil tem a oportunidade de ocupar um papel de liderança regional na nova economia intensiva em dados. Isso requer visão de longo prazo, governança integrada e capacidade de execução articulada entre Governo Federal, estados, municípios, empresas e universidades. A infraestrutura computacional precisa deixar de ser um ativo invisível para se tornar vetor explícito de desenvolvimento econômico e social, com impacto sobre produtividade, geração de empregos qualificados e inserção competitiva nas cadeias globais.

Referências

- ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Estratégia para a implementação de política pública para atração de data centers.* Brasília, DF: ABDI, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/comercio-e-servicos/comercio/estudo_completo_datacenters_jun2023.pdf. Acesso em: 29 set. 2025.
- ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações – PERT 2025-2029.* Brasília, DF: Anatel, 2025. (Edição 02/2025). Acesso em: 9 jul. 2019. Disponível em: https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?8-74Kn1tDR89f1Q7RjX8EYU46IzCFD26Q9Xx5QNDbqbmlCCLfdG-ywH0SwsCKU9iX7BTWJde-Q7Vp4niu1EefU20NNGY1BqHWvcfpXWTW0uxGoMPOlNVHXqeLGDq7Tvi. Acesso em: 29 set. 2025.
- ARBACHE, J. *Os custos e benefícios dos data centers.* Rio de Janeiro: Gesel-UFRJ, 2024. (Texto de Discussão do Setor Elétrico, n. 128). Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2024/11/Sobre-os-beneficios-dos-data-centers-Jorge-Arbache_VF.pdf. Acesso em: 29 set. 2025.
- AZHAR, A. Big tech will scour the globe in its search for cheap energy. *Wired*, 16 dez. 2024. Disponível em: <https://www.wired.com/story/big-tech-data-centers-cheap-energy/>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- BEE – BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY. *Energy efficiency guidelines and best practices in Indian datacenter: a sourcebook for Indian datacenter industry.* New Delhi: BEE, 2023. Disponível em: <https://beeindia.gov.in/sites/default/files/datacenterbook.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.
- BIZO, D. Global PUEs – are they going anywhere? *Uptime Institute*, 4 dez. 2023. Disponível em: <https://journal.uptimeinstitute.com/global-pues-are-they-going-anywhere/>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Fust – Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações.* Rio de Janeiro: BNDES, [2025]. Disponível em: <https://www.bnDES.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/fundos-governamentais/fust/>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRASIL. Ministério das Comunicações. *Agentes financeiros*. Brasília, DF: MCom, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/assuntos/fust/agentes-financeiros>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. *Nova Indústria Brasil: uma política para o novo ciclo de transformação produtiva*. Brasília, DF: MDIC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica/programas-em-destaque/nova-industria-brasil>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRASSCOM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO E DE TECNOLOGIAS DIGITAIS. *Atração de investimentos em data centers no Brasil: Plano Brasil Digital 2030+*. Brasília, DF: Brasscom, 2024. Disponível em: <https://brasscom.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Brasscom-Investimentos-em-Data-Center.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

COMPUTER Data Center Program. *Arizona Commerce Authority*, Phoenix, [2024]. Disponível em: <https://www.azcommerce.com/incentives/computer-data-center-program/>. Acesso em: 29 set. 2025.

DATA Center Capex Surged 51 Percent to \$455 Billion in 2024, According to Dell’Oro Group. *Dell’Oro Group*, Redwood City, 19 mar. 2025. Disponível em: <https://www.delloro.com/news/data-center-capex-surged-51-percent-to-455-billion-in-2024/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ELEA anuncia a Rio AI City: projeto de campus de data centers com capacidade de até 3,2 GW. *Datacenter Dynamics*, São Paulo, 8 mai. 2025. Disponível em: <https://www.datacenterdynamics.com/br/noticias/elea-anuncia-a-rio-ai-city-projeto-de-campus-de-data-centers-com-capacidade-de-ate-32-gw/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional*. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-BEN>. Acesso em: 10 set. 2025.

GANGULY, S.; PARIAL, A. Decarbonisation: ensuring efficiency in India's data centres. *Turner & Townsend*, 17 mar. 2025. Disponível em: <https://www.turnerandtownsend.com/insights/decarbonisation-ensuring-efficiency-in-indias-data-centres/>. Acesso em: 10 set. 2025.

GHOSAL, A.; THIAN, V. Malaysia is betting on data centers to boost its economy. But experts warn they come at a price. *AP News*, 19 fev. 2025. Disponível em: <https://apnews.com/article/malaysia-johor-data-centers-energy-electricity-power-cfb087f755d3e203a347463af229e88d>. Acesso em: 10 set. 2025.

GLOBAL Data Center Trends 2025. *CBRE*, Dallas, 24 jun. 2025. Disponível em: <https://www.cbre.com/insights/reports/global-data-center-trends-2025>. Acesso em: 10 set. 2025.

GOETHE, P. Investimentos chineses no NE chegam a 58 projetos e R\$ 13bi, diz CEBC. *Movimento Económico*, 5 set. 2025. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/geral/redacao/2025/09/05/investimentos-chineses-no-ne-chegam-a-58-projetos-e-r-13-bi-diz-cebc/>. Acesso em: 29 set. 2025.

HIGGINS, A. What is Water Usage Effectiveness (WUE) in data centers?. *Interconnections – The Equinix Blog*, 13 nov. 2024. Disponível em: <https://blog.equinix.com/blog/2024/11/13/what-is-water-usage-effectiveness-wue-in-data-centers/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>. Acesso em: 10 set. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy and AI*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>. Acesso em: 10 set. 2025.

JLARC – JOINT LEGISLATIVE AUDIT AND REVIEW COMMISSION. *Data Centers in Virginia 2024: Report to the Governor and the General Assembly of Virginia*. Richmond: JLARC, 2024. Report 598. Disponível em: <https://www.coopercenter.org/research/jlarc-report-data-centers-virginia>. Acesso em: 29 set. 2025.

KALADHARAN, M.; KIDAMBI, A. Scaling up India's data centre industry sustainably. *India Business Law Journal*, 25 abr. 2025. Disponível em: <https://law.asia/green-data-centres/>. Acesso em: 8 set. 2025.

MÁXIMO, W. Haddad anuncia que pretende acelerar desoneração de data centers. *Agência Brasil*, Brasília, DF, 5 mai. 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-05/haddad-anuncia-que-pretende-acelerar-desoneracao-de-data-centers>. Acesso em: 10 set. 2025.

MOODY'S LOCAL BRASIL. *Setor de data centers no Brasil: fundamentos, perspectivas e tendências*. São Paulo: Moody's Local Brasil, 2025. Disponível em: https://moodyslocal.com.br/wp-content/uploads/2025/04/3.1_MLBR_Research_DataCenters_01042025_v3-Final.pdf. Acesso em: 29 set. 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. *Brazil Data Center Market - Growth, Trends, and Forecasts (2024-2029)*. Hyderabad: Mordor Intelligence, 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/brazil-data-center-market>. Acesso em: 10 set. 2025.

MP cria o Redata, que estimula *data centers* e impulsiona economia digital no Brasil. *Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços*, Brasília, DF, 17 set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/setembro/mp-cria-o-redata-que-estimula-datacenters-e-impulsiona-economia-digital-no-brasil>. Acesso em: 29 set. 2025.

PATEL, P. et al. Characterizing power management opportunities for LLMs in the cloud. In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHITECTURAL SUPPORT FOR PROGRAMMING LANGUAGES AND OPERATING SYSTEMS, 29., San Diego, v. 3, 27 abr.-1º mai. 2024. *Anais [...]*. New York: Association for Computing Machinery, 2024.

RESEARCH AND MARKETS. *Brazil Existing & Upcoming Data Center Portfolio 2025*. Dublin: Research and Markets, 2025. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/r/1eo96e>. Acesso em: 10 set. 2025.

RIO anuncia o projeto Rio AI City: o maior hub de data centers da América Latina e um dos dez maiores do mundo. *Prefeitura do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 15 abr. 2025. Disponível em: <https://prefeitura.rio/noticias/rio-anuncia-o-projeto-rio-ai-city-o-maior-hub-de-data-centers-da-america-latina-e-um-dos-dez-maiores-do-mundo/>. Acesso em: 10 set. 2025.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei 10.431, de 21 de junho de 2024. Institui regime diferenciado de tributação para empresas prestadoras de serviços de data center no Estado do Rio de Janeiro. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*: Rio de Janeiro, 24 jun. 2024. Disponível em: <https://legislacao.fazenda.rj.gov.br/lei-no-10-431-de-21-de-junho-de-2024>. Acesso em: 8 set. 2025.

UE – UNIÃO EUROPEIA. Diretiva (EU) 2023/1791 [...]. *Jornal Oficial da União Europeia*, 20 set. 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>. Acesso em: 10 set. 2025.

UPTIME INSTITUTE. *Global Data Center Survey 2024*. Seattle: Uptime Institute Intelligence, 2024. Disponível em: <https://datacenter.uptimeinstitute.com/rs/711-RIA-145/images/2024.GlobalDataCenterSurvey.Report.pdf>. Acesso em: 08 set. 2025.

YE, Y. Explainer: How China is managing the rising energy demand from data centres. *CarbonBrief*, 16 abr. 2025. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-china-is-managing-the-rising-energy-demand-from-data-centres/>. Acesso em: 10 set. 2025.

ZPE CEARÁ. Benefícios gerais. *ZPE Ceará*, São Gonçalo do Amarante, [2025]. Disponível em: <https://zpeceara.com.br/beneficios/>. Acesso em: 29 set. 2025.