

# Os impactos do mundo digital no ambiente

Torres de resfriamento  
de data center do  
Google no Oregon (EUA)  
exalam vapor-d'água



O aumento da demanda de energia e água e as elevadas emissões de carbono da computação fazem surgir uma nova área de pesquisa para lidar com o problema

YURI VASCONCELOS

**P**arte essencial da vida moderna, a computação está em todos os lugares. É difícil imaginar o cotidiano sem os recursos do mundo digital, como internet, redes sociais, *streaming* de vídeo, programas de inteligência artificial e os mais variados aplicativos. Governos, organizações e empresas de diversos setores dependem cada vez mais das tecnologias da informação e comunicação (TIC). O crescente aumento da demanda computacional, contudo, gera impactos no meio ambiente. Estima-se que entre 5% e 9% da energia elétrica consumida no mundo se destine à infraestrutura de TI e comunicações em geral e ao seu uso. A Agência Internacional de Energia (IEA) alerta para uma tendência de forte aumento nessa demanda. O gasto energético de data centers, instalações com robusto poder de armazenamento e processamento de dados, e dos setores de inteligência artificial (IA) e criptomoedas, segundo a entidade, poderá dobrar no mundo em 2026 em relação a 2022, quando foi de 460 terawatts-hora (TWh) – naquele mesmo ano, o Brasil consumiu 508 TWh de energia elétrica.

“O uso de energia é inerente à computação”, constata a cientista da computação Sarajane Marques Peres, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) e pesquisadora do Centro de Inteligência Artificial C4AI, financiado por FAPESP e IBM. Individualmente, ela destaca, um computador não representa uma grande demanda de energia, mas milhares de máquinas juntas ou muitos computadores com processadores poderosos trabalhando 24 horas por dia, sete dias por semana, representam um gasto elevado.

“Todas as nossas atividades digitais, como navegar na internet, acessar redes sociais, parti-

cipar de videoconferências e enviar fotos para os amigos, têm, em última instância, efeitos sobre o ambiente”, aponta a cientista da computação Thais Batista, presidente da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e professora do Departamento de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

A energia destinada aos data centers é usada não apenas para a operação dos servidores, mas para manter em funcionamento seu sistema de refrigeração. “Por trabalharem sem parar em processamento numérico, os computadores aquecem, emitem calor e precisam ser resfriados e mantidos em uma temperatura razoavelmente baixa”, ressalta o cientista da computação Marcelo Finger, do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da USP. “A depender da matriz que produz essa energia, haverá mais ou menos efeitos nocivos no ambiente”, afirma Peres, referindo-se à emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) quando são queimados combustíveis fósseis para a obtenção da energia elétrica utilizada.

O Banco Mundial e a União Internacional de Telecomunicações, uma agência da Organização das Nações Unidas (ONU), estimam que o setor da computação responda por pelo menos 1,7% de todas as emissões globais de gases do efeito estufa. “Outros estudos alertam para um número ainda maior, em torno de 4%”, diz o cientista da computação Emilio de Camargo Franceschini, do Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Google, Microsoft, Apple, Amazon e outras grandes multinacionais de tecnologia, as chamadas *big techs*, comprometeram-se a zerar suas emissões de carbono até 2030 – segundo especialistas ouvidos pela reportagem, não há indícios de que esse objetivo possa ser atingido. Em 2023, último ano com dados disponíveis, as emissões



dessas companhias cresceram principalmente por causa dos sistemas de inteligência artificial, que demandam grande poder de processamento – e, portanto, elevada carga energética – para serem treinados e funcionar.

**O** aumento do consumo de energia e da emissão de carbono não é a única razão para preocupação. O uso intensivo de água por data centers para manter em operação seus sistemas de refrigeração, bem como a emissão de calor no ambiente, também acendem um sinal de alerta. “O consumo hídrico é uma preocupação mais recente, visto que a maioria dos grandes data centers usa refrigeração líquida para seus equipamentos de grande porte”, ressalta o bacharel em computação científica Álvaro Luiz Fazenda, do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), *campus* de São José dos Campos. Uma das soluções é usar fontes de água não potável para os processos de resfriamento.

A exploração muitas vezes insustentável de elementos terras-raras e outros minerais, como silício, cobre e lítio, usados para a produção de discos rígidos, chips e baterias, e o descarte de computadores, celulares e outros aparelhos eletrônicos que rapidamente se tornam obsoletos, também elevam a pressão da computação sobre os ecossistemas. “As tecnologias da informação e comunicação estão entre os maiores consu-

midores de energia e recursos naturais, além de liderarem a geração de lixo eletrônico contendo substâncias perigosas”, sintetiza Franceschini.

Buscando enfrentar o problema, uma nova área de estudos, conhecida como computação verde ou sustentável, tem ganhado força no Brasil e no mundo. “Ela se refere ao conjunto de práticas, técnicas e procedimentos aplicados à fabricação, ao uso e ao descarte de sistemas computacionais com a finalidade de minimizar seu impacto ambiental”, explica o pesquisador da UFABC.

A fim de alcançar esse objetivo, várias práticas têm sido propostas, como elevar a eficiência energética de hardwares e softwares, permitindo que realizem as mesmas operações consumindo menos energia. Projetar sistemas mais duradouros, reparáveis e recicláveis, que reduzam a geração de lixo eletrônico, é outra abordagem, assim como priorizar o emprego de materiais sustentáveis na produção e operação de dispositivos computacionais e o uso de energias renováveis em data centers (*ver reportagem na página 20*).

#### O PESO DA IA

Um crescente corpo de pesquisas aponta que a explosão das ferramentas de inteligência artificial – sejam elas generativas, como os grandes modelos de linguagem (LLM), do tipo do ChatGPT, ou preditivas – e da infraestrutura associada a elas é uma das principais causas do aumento da pegada ambiental do setor. Cada comando que se insere em um chatbot de IA exige a realização de milhares de cálculos para que o modelo decida



Vista aérea de centro de dados da Tesla em Shanghai, na China, inaugurado em 2021

## Muitos danos ao planeta

Conheça os principais impactos causados pela computação no meio ambiente

#### GASTO INTENSIVO DE ENERGIA

Estima-se que a computação seja responsável por entre 5% e 9% da energia elétrica gasta no mundo. Em 2022, a demanda do setor equivaleu a 90% da eletricidade consumida no Brasil

#### EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Projeções apontam que a energia elétrica empregada para suportar a infraestrutura digital no planeta responda por 1,7% a 3,9% das emissões de carbono na atmosfera

#### CONSUMO ELEVADO DE ÁGUA

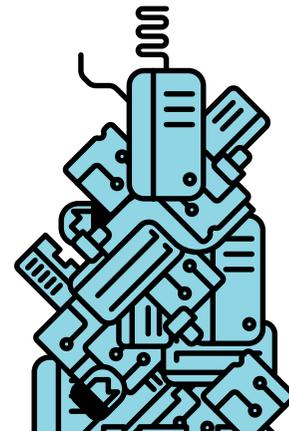
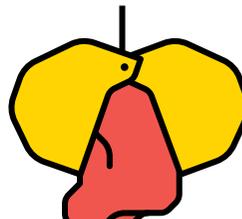
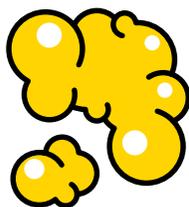
Centros de dados usam refrigeração líquida para manter seus servidores operando continuamente. Em alguns países, há competição por água entre a população e essas instalações

#### MINERAÇÃO DE TERRAS-RARAS

Esses elementos são essenciais para a fabricação de discos rígidos, chips, baterias e outros componentes eletrônicos. Sua exploração, nem sempre sustentável, é nociva ao globo

#### GERAÇÃO DE LIXO ELETRÔNICO

O descarte inadequado de computadores, celulares e baterias, que rapidamente envelhecem e se tornam obsoletos, gera o risco de contaminação de solos, lençóis freáticos, fauna e flora



FONTES: REVISTA NATURE/AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA/BANCO MUNDIAL/UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES



1

Funcionário examina lixo eletrônico em uma unidade recicladora em Massachusetts, nos Estados Unidos



2



3

Mina de lítio no Vale do Jequitinhonha (MG): exploração de insumos minerais para fabricação de computadores e baterias impacta o ambiente

quais são as palavras mais adequadas a serem apresentadas na resposta. Isso exige das máquinas intenso poder de processamento.

Estudo publicado por pesquisadores holandeses na *Joule* em outubro de 2023 mostrou que uma pergunta simples endereçada ao ChatGPT consome 3 watts-hora (Wh), quase 10 vezes mais energia do que uma busca similar feita no Google. O valor pode parecer pequeno, mas ganha proporção quando se sabe que o chatbot tem mais de 400 milhões de usuários ativos por semana que fazem mais de 1 bilhão de consultas por dia.

Outro trabalho, de cientistas das universidades da Califórnia em Riverside e do Texas em Arlington, avaliou a pegada hídrica das ferramentas de IA. Eles estimaram que o treinamento do ChatGPT-3 em um centro de dados da Microsoft nos Estados Unidos pode consumir até 700 mil litros

de água limpa. Na fase de operação, o chatbot consome uma garrafa de 500 mililitros de água para cerca de 10 a 50 respostas de tamanho médio, dependendo de quando e onde os cálculos estão sendo realizados.

**E**sse mesmo estudo, depositado na plataforma arXiv em abril de 2023, estima que a demanda global de água pelos servidores que rodam os programas de IA no mundo equivalerá, em 2027, a algo entre 4,2 bilhões e 6,6 bilhões de metros cúbicos, o equivalente à metade do consumo do Reino Unido em 2023. “Isso é preocupante, pois a escassez de água doce se tornou um dos desafios mais urgentes”, escreveram os autores. “Para responder aos desafios globais da água, a IA pode e deve assumir responsabilidade social e liderar pelo exemplo, abordando sua pegada hídrica.”

Reduzir o gasto energético dos sistemas de inteligência artificial foi o que tentaram fazer os pesquisadores da startup chinesa DeepSeek. O chatbot DeepSeek-V3, lançado no fim de janeiro, causou surpresa ao apresentar desempenho comparável ao dos modelos da OpenAI e do Google, mas com custo substancialmente menor.

“O DeepSeek é um exemplo de que é possível desenvolver IA de boa qualidade usando menos recursos computacionais e energia”, ressalta o cientista da computação Daniel de Angelis Cordeiro, da EACH-USP. “Investir em pesquisa de algoritmos mais eficientes e em melhorias na gestão dos recursos computacionais usados nas etapas de treinamento e inferência pode contribuir para a criação de uma IA mais sustentável.”

De acordo com o artigo científico divulgado em janeiro pelos desenvolvedores do DeepSeek, a redução do consumo de recursos se deu em



Servidores enfileirados em data center dedicado ao setor de criptomoedas, em Nadvoitsy, na Rússia

## A pressão das criptomoedas

Gasto energético do mercado de moedas digitais equivale ao de um país europeu médio

A mineração de criptomoedas, principalmente de bitcoin, a mais antiga e bem-sucedida moeda digital, é altamente dependente de energia e contribui de forma significativa para as emissões de gases de efeito estufa. O gasto energético desse segmento subiu cerca de 34 vezes entre 2015 e 2023, atingindo 121 terawatts-hora (TWh), proporcional ao consumo de um país médio da Europa, como a Polônia. A demanda deve aumentar 40% até 2026, prevê a Agência Internacional de Energia (IEA).

“Executar uma única transação de bitcoin corresponde aproximadamente às emissões de gases de efeito estufa de um veículo de porte médio elétrico ou a gasolina numa viagem de 1.600 a 2.600 km”, afirmam os autores do artigo “Carbon footprint of global bitcoin mining: Emissions beyond borders”, publicado em janeiro no periódico *Sustainability Science*.

O elevado consumo de energia se dá por causa da competição entre mineradores, agentes do segmento de criptomoedas. Para validar um bloco

de transações desse mercado, eles tentam resolver um problema matemático o mais rápido possível – processo chamado *proof-of-work* (PoW). O minerador que resolver primeiro a equação recebe bitcoins como pagamento. Realizados por milhares de computadores ao redor do mundo, esses cálculos garantem a confiabilidade das operações de compra e venda das moedas digitais – mas consomem muita energia.

“O problema é o método de consenso usado pelo bitcoin, o PoW. Apesar de ser distribuído [executado por vários computadores em locais diferentes] e confiável, gasta energia demais. Os mineradores sempre tentarão usar a energia mais barata possível, mas ela nem sempre é limpa e renovável”, declara o cientista da computação Arlindo Flavio da Conceição, do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), *campus* de São José dos Campos.

A plataforma Ethereum, outra moeda digital, concluiu há alguns anos a migração do *proof-of-work*

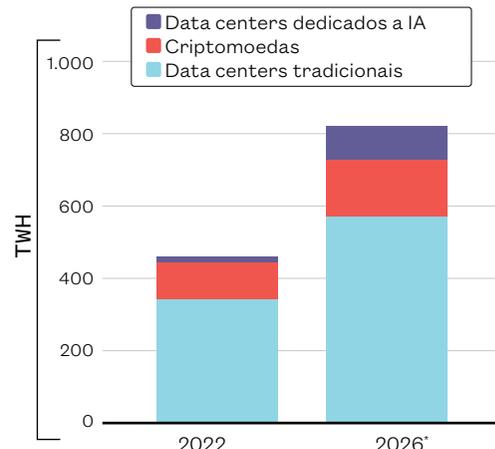
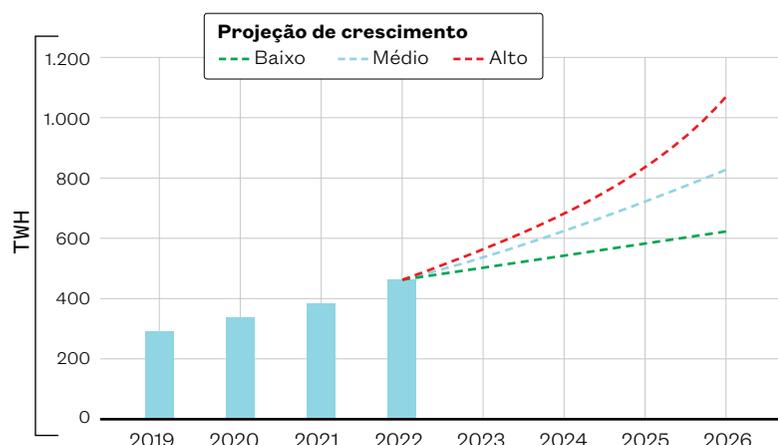
para outro mecanismo de consenso, o *proof-of-stake* (PoS), reduzindo o consumo de energia em 99%.

“O problema é que, para modificar o algoritmo central de uma criptomoeda, é preciso que a comunidade concorde – e isso não ocorre com quem opera com bitcoin, pois teme-se que ocorra alguma falha nesse processo de migração, derrubando a cotação da moeda”, diz Conceição, coautor do livro *Blockchain: Conceitos básicos* (publicação independente, 2020).

Os participantes de PoS, chamados de validadores, são escolhidos aleatoriamente para verificar e adicionar blocos ao *blockchain* (espécie de livro de registro digital), sem que seja preciso uma competição entre eles, como ocorre no PoW. “Com um uso mínimo de energia, PoS tem uma pegada de carbono muito menor, alinhando-se melhor com os objetivos de sustentabilidade”, conclui o estudo da *Sustainability Science*, escrito por pesquisadores do Catar, Estados Unidos e Canadá.

# Consumo de eletricidade em alta

Demanda de data centers, IA e criptomoedas não para de crescer, segundo Agência Internacional de Energia



**FONTES** ELECTRICITY 2024, DA IEA, CITANDO *JOULE* (2023), DE VRIES, "THE GROWING ENERGY FOOTPRINT OF AI" / CCRI INDICES (CARBON-RATINGS.COM) / THE GUARDIAN, "USE OF AI TO REDUCE DATA CENTRE ENERGY USE" / MOTORS IN DATA CENTRES / THE ROYAL SOCIETY, THE FUTURE OF COMPUTING BEYOND MOORE'S LAW / IRELAND CENTRAL STATISTICS OFFICE, DATA CENTRES ELECTRICITY CONSUMPTION 2022 / DANISH ENERGY AGENCY, DENMARK'S ENERGY AND CLIMATE OUTLOOK 2018. \* PROJEÇÃO

razão da melhoria nos algoritmos de balanceamento de carga empregados na etapa do treinamento do modelo, o que permitiu usar melhor os recursos computacionais sem degradação de desempenho. Também foram usados algoritmos de precisão mista, que otimizam processamento e comunicações na etapa de treinamento. Algoritmos de balanceamento de carga distribuem certa tarefa computacional entre diferentes servidores, enquanto os de precisão mista aceleram o processamento e reduzem o uso de memória, mantendo a precisão dos cálculos.

"A plataforma, de código aberto, é baseada em um grande modelo de linguagem e foi treinada a partir de dados que usam, de forma geral, a estrutura típica e as técnicas de otimização já adotadas por outros modelos, como o ChatGPT", aponta o engenheiro eletricista Fabio Gagliardi Cozman, diretor do C4AI e professor da Escola Politécnica da USP. "Não se trata de uma total revolução na área, mas sim de um trabalho bem-feito de análise dos passos necessários para a construção desses modelos, com a remoção de algumas etapas, ênfase no uso de dados de qualidade e em particular de dados obtidos de outros modelos", afirma, destacando que houve um grande esforço para reduzir as necessidades de memória e transmissão de informações durante o processo de treinamento. "Tudo isso somado levou a uma redução significativa nos recursos utilizados pela equipe."

## CÁLCULOS APROXIMADOS

Uma das estratégias propostas para reduzir o impacto ambiental dos sistemas de IA e da computação como um todo é a adoção de um modelo conhecido como computação aproximada. Con-

siste em usar técnicas algorítmicas ou hardwares dedicados (usados para uma única função) a fim de obter uma solução menos precisa, porém aceitável, para uma tarefa computacional qualquer. Ao reduzir a carga computacional para resolver certo problema, fornecendo um resultado aproximado, diminui-se o gasto de energia.

"Várias técnicas algorítmicas podem ser aplicadas, incluindo a precisão numérica reduzida, que permite trabalhar com valores e operações aritméticas com um menor número de casas decimais para representar números reais", informa Fazenda, da Unifesp. Em vez de representar um número com precisão de 20 casas decimais, consideram-se apenas as 10 primeiras. "Isso pode causar arredondamentos indesejados e diferenças nos resultados, comprometendo a acurácia. No entanto, se forem insignificantes, é possível obter ganhos em desempenho e economia de energia, já que as operações com precisão reduzida demandam menos capacidade computacional", diz.

Um dos trabalhos do pesquisador buscou compreender como a redução na precisão de dados afetaria a qualidade da simulação computacional e, conseqüentemente, de modelos de previsão de tempo e clima. "Os algoritmos usados nessas simulações são altamente demandantes de recursos de computação e, portanto, de energia. Requerem também representações precisas dos dados simulados, resultando no uso de precisões numéricas extensas, com variáveis de 64 bits", explica o pesquisador. "Buscamos avaliar o potencial ganho em tempo e energia, dada a

menor exigência de processamento, quando a precisão numérica é reduzida de 64 para 16 bits.”

O estudo, detalhado nos anais da XI Escola Regional de Alto Desempenho de São Paulo (Erad-SP), evento realizado em 2020, partiu de uma revisão sistemática sobre o tema. Nele, procurou-se identificar em que trechos de um modelo numérico de previsão de tempo e clima tais adaptações poderiam ser positivas e quais não permitem o uso da técnica. Resultados preliminares revelam um viés positivo para seu uso, conforme resumo publicado nos anais do International Colloquium on Energy-Efficient and Sustainable Distributed Systems, ocorrido na UFRN em 2024.

**A** computação aproximada também pode ser aplicada a aceleradores de hardwares usados para decodificação de vídeos – aceleradores são circuitos ou processadores especializados otimizados para executar tarefas específicas com maior eficiência e menor gasto energético. Nesse caso, o resultado seria a apresentação de uma imagem do vídeo com alguns pixels incorretos, mas sem afetar a percepção geral do usuário. Esse processamento consumiria menos energia do que se fosse usado um decodificador preciso.

“O desafio da computação aproximada está em incorporar essas técnicas em processadores e em diferentes aplicações, separando claramente o que pode ser aproximado do que deve ser preciso”, avalia o cientista da computação Lucas Wanner, do Instituto de Computação da Universidade Es-

tadual de Campinas (IC-Unicamp), cuja pesquisa se concentra na eficiência energética de hardware e software, com ênfase em computação de alto desempenho, e em computação aproximativa.

Outra abordagem da computação verde é a produção de equipamentos energeticamente mais eficientes. “Vários grupos brasileiros e estrangeiros trabalham no desenvolvimento de novos tipos de hardware que apresentem o mesmo desempenho computacional, mas consumindo menos energia”, afirma o cientista da computação Fabio Kon, do IME-USP.

O uso de processadores de baixo consumo foi tema de um dos trabalhos do grupo de Franceschini, da UFABC. “Avaliamos o comportamento de uma aplicação específica da indústria de exploração de óleo e gás em quatro arquiteturas de hardwares diferentes”, explica. Os resultados, publicados no *Journal of Parallel and Distributed Computing*, em fevereiro de 2015, mostraram uma aparente contradição: muitas vezes a melhor abordagem é aceitar uma execução ligeiramente mais lenta do programa, desde que dentro das restrições estabelecidas, para reduzir o consumo de energia. Em outros casos, pode ser necessário aumentar o consumo energético para garantir um tempo de execução adequado. “Dependendo da aplicação, do hardware disponível e das limitações envolvidas, não é possível minimizar simultaneamente ambos os fatores, gasto energético e tempo de execução”, conta.

Em outra investigação centrada em explorar novas arquiteturas ou modelos de hardware, o grupo de Wanner aplicou uma técnica simples e eficaz para economia de energia, a *duty cycling*,

## O drama da inteligência artificial

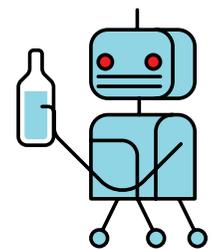
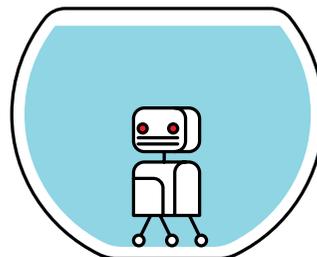
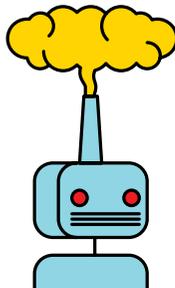
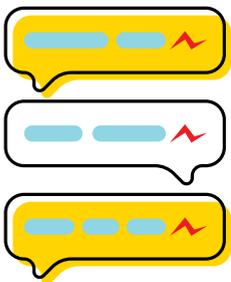
Programas de IA generativa demandam elevada carga energética e altos volumes de água

Uma pergunta simples ao ChatGPT consome **2,9 watts-hora (Wh)**, cerca de 10 vezes mais do que uma consulta similar feita ao Google (0,3 Wh)

Treinar um único programa de IA generativa libera **300 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera**, cinco vezes o que emite um veículo padrão ao longo de sua vida útil

Cerca de **700 mil litros de água** foram consumidos para treinamento do ChatGPT-3 nos data centers da Microsoft

O chatbot da OpenAI consome **500 mililitros de água** para cerca de 10 a 50 respostas de tamanho médio





Sistema de refrigeração de centro de dados do Google: canos azuis fornecem água fria e vermelhos retornam o líquido aquecido para ser resfriado

mas cuja implementação prática é desafiadora. *Duty cycling* significa desligar partes do circuito de um computador quando elas não estão sendo usadas. “Isso envolve pequenas modificações no hardware para permitir que as partes escolhidas sejam seletivamente desativadas, reduzindo a frequência de operação, ou completamente desligadas, cortando a fonte de energia”, esclarece o pesquisador da Unicamp. Hoje, todos os sistemas de computação incorporam uma variação dessa técnica. Em notebooks, a tela desliga após alguns minutos sem atividade; já teclados e mouses ficam inativos quando em desuso e “acordam” ao serem demandados.

“No caso de circuitos dedicados, como indicado no nosso trabalho, o desafio está em acordar o sistema na hora certa sem perder a qualidade de resultados para a aplicação. Outra dificuldade é que o *duty cycling* precisa operar de forma autônoma, já que não há um usuário indicando quando o sistema deve estar ativo e quando pode ‘dormir’, como ocorre com o uso trivial dos nossos computadores.” O trabalho foi publicado na *IEEE Embedded Systems Letters*, em junho de 2024.

#### RECOMENDAÇÕES NÃO VINCULANTES

A preocupação com os impactos da computação no planeta mobilizam não apenas a academia e a própria indústria, mas organizações internacio-

nais e governos. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), mais de 190 nações já adotam recomendações não vinculantes – que não obrigam o cumprimento – sobre o uso ético de inteligência artificial que abrangem também questões relativas ao meio ambiente. Estados Unidos e União Europeia já têm legislações para enfrentar o problema.

Em uma nota técnica, o Pnuma recomendou que é preciso estabelecer procedimentos padronizados para mensurar o impacto ambiental da IA, dado que há uma escassez de dados confiáveis sobre o problema. Orienta também que os governos exijam que as empresas do setor divulguem as consequências ambientais de seus produtos e serviços baseados em inteligência artificial.

“Recomendações não vinculantes não serão suficientes para disciplinar o crescimento dos data centers e do uso de energia pela IA no mundo”, pondera o cientista social João Paulo Cândia Veiga, do Instituto de Relações Internacionais (IRI) da USP e pesquisador do C4AI. “As decisões envolvendo uma futura regulação serão tomadas em âmbito doméstico com, provavelmente, *guidelines* internacionais, como os da própria IEA e outros organismos.” ●

Os projetos, os artigos científicos e os relatórios consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Centros de dados sustentáveis

Pesquisadores investigam como elevar a eficiência energética e reduzir o impacto do setor, em franco crescimento no Brasil e no mundo

YURI VASCONCELOS

**A** demanda global por data centers, a espinha dorsal do mundo digital, evolui de forma acelerada, impulsionada pela explosão do uso das tecnologias de inteligência artificial. No fim de 2023, eram mais de 11,8 mil unidades do gênero no mundo. Esse mercado também cresce no Brasil, com grande concentração no estado de São Paulo. A energia consumida por centros de dados de computação em nuvem, apontam estimativas, chega a 1% da demanda global.

Um dos caminhos para elevar a eficiência energética dos data centers é dotá-los de sua própria infraestrutura de energia renovável, com a instalação de painéis solares ou turbinas eólicas, destaca o cientista da computação Daniel Cordeiro, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Com o apoio da FAPESP, seu grupo pesquisa a gestão de recursos computacionais em centros de dados para reduzir a pegada de carbono do setor.

As grandes multinacionais do setor têm cada vez mais integrado energia limpa a suas operações. Em 2023, o Google informou em seu relatório de sustentabilidade que, em média, a energia con-

sumida por seus centros de dados usava 64% de energia verde, com alguns lugares chegando a 90%, e 75% de sua pegada de carbono vinha de emissões indiretas – as que ocorrem, por exemplo, durante a fabricação de equipamentos. A Microsoft também reportou que 96% da pegada de carbono de seus centros de dados tem como origem as emissões indiretas.

Um desafio para criar data centers com fontes de energia renovável é o caráter intermitente delas. “Os painéis solares só geram eletricidade de dia, quando há Sol, enquanto as turbinas eólicas dependem de ventos em velocidade ideal. Por isso, é preciso usar dispositivos de armazenamento de energia, como baterias, que têm um custo ambiental”, ressalta o especialista em sistemas de informação Miguel Felipe Silva Vasconcelos. Atualmente em estágio de pós-doutorado no Instituto de Pesquisa em Informática de Toulouse (Irit), na França, ele investiga a sustentabilidade de sistemas computacionais distribuídos, que são compostos por múltiplos elementos, como computadores, celulares e sensores, que interagem entre si para realizar determinadas tarefas.

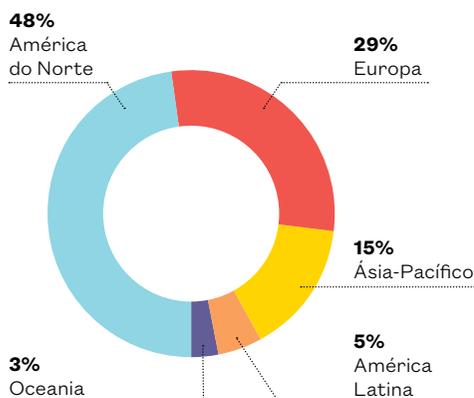
Vasconcelos começou a se dedicar ao tema durante o doutorado, coorientado por Cordeiro e Fanny Dufossé, da Uni-



Painéis solares fornecem energia renovável ao data center do Google em Saint-Ghislain, na Bélgica

## Mercado global de data centers

As 11.879 instalações existentes estão localizadas em 136 países\*



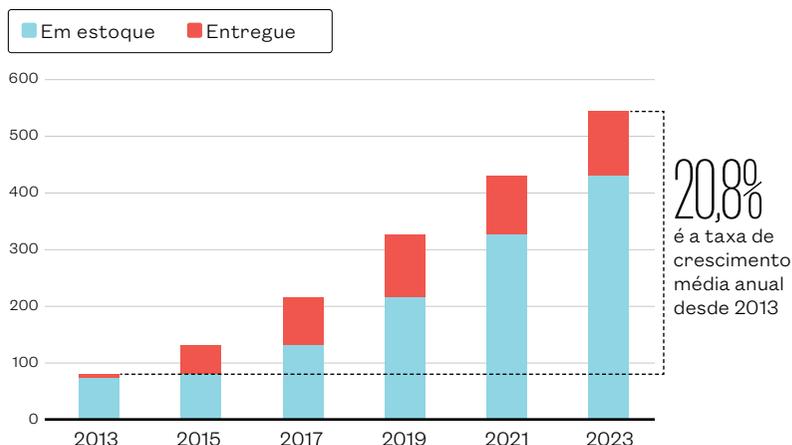
\*Dados de 2023

FONTE RELATÓRIO "O CRESCIMENTO EXPONENCIAL DOS DATA CENTERS E AS OPORTUNIDADES PARA O BRASIL", DO BANCO SANTANDER

## Evolução no Brasil

Setor teve crescimento contínuo de energia em 10 anos

EM MEGAWATTS (MW)



FONTE ESTUDO "BRAZIL DATA CENTER REPORT", DA JLL

versidade de Grenoble Alpes, na França. “Pesquisei como reduzir as emissões de carbono de um conjunto de data centers de computação em nuvem geodistribuído por meio da adoção de uma infraestrutura local de energia renovável e de estratégias de escalonamento”, relata ele, que contou com apoio da FAPESP.

Escalonar, no caso, significa definir o data center e o momento do dia em que as tarefas computacionais demandadas serão executadas, sempre visando minimizar o consumo de energia de alta emissão de carbono. Data centers de computação em nuvem são altamente requisitados porque hospedam os principais serviços digitais e aplicações que usamos diariamente.

Para realizar o estudo, apresentado no 23º International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing, ocorrido em Bangalore, na Índia, em 2023, Vasconcelos considerou nove centros de dados situados em diferentes cidades, entre elas São Paulo, Paris e Camberra, na Austrália – não por coincidência, locais que abrigam instalações da Microsoft.

A fim de dimensionar a área de painéis solares e a capacidade das baterias, o pesquisador avaliou as características do lugar onde o centro estava instalado. Considerou a irradiação solar durante o ano, a energia necessária para refrigerar os servidores e a pegada de carbono da rede elétrica local e da fabricação dos painéis solares e das baterias.

“O trabalho resultou em um modelo matemático que nos permite determinar o dimensionamento ótimo da infraestrutura de geração e armazenamento de energia renovável de um centro de dados”, conta Cordeiro. “O gestor de uma plataforma de computação em nuvem que queira avaliar a infraestrutura energética necessária para seus data centers poderá usar nosso software que implementa esse modelo e analisar diferentes cenários de investimento e os respectivos impactos ambientais.”

**D**ono de 1,5% do mercado global de data centers, com 181 unidades, o Brasil tem se mostrado um país atrativo para o setor. Esse mercado cresceu 628% entre 2013 e 2023 no país, segundo o estudo “Brazil data center report”, da consultoria imobiliária JLL (ver infográfico acima). “Investir em data centers é importante para garantir a nossa soberania digital, o que inclui o controle sobre ativos digitais, como dados, software, hardware e infraestrutura”, ressalta Cordeiro.

Vários projetos encontram-se em andamento, com destaque para três novos centros de dados da Microsoft na região de Campinas. O primeiro deles deve ficar pronto ainda este ano. A Amazon, também presente no Brasil, anunciou em setembro de 2024 investimento de R\$10

bilhões para expansão de sua infraestrutura de data centers no país até 2034.

“Países com uma matriz energética verde ou com condições favoráveis para geração de energia renovável, como é o caso do Brasil, estão atraindo os grandes operadores de plataformas de computação em nuvem, comprometidos em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> [dióxido de carbono] de suas operações utilizando fontes de energia com baixa emissão de carbono”, comenta Vasconcelos.

Especialistas ponderam, contudo, que mesmo que o país tenha uma matriz fortemente baseada em fontes renováveis, a instalação de centros de dados em território nacional afeta o ambiente – afinal, a construção de hidrelétricas não é isenta de impactos e sempre haverá um elevado consumo de água, assim como emissões de carbono, diretas ou indiretas, pelos centros de dados.

“Essa discussão sobre sustentabilidade ambiental é pertinente sempre que construímos infraestrutura de apoio a algum tipo de indústria no país”, diz Cordeiro. Para o pesquisador, se os grandes fornecedores de plataformas de computação produzirem a própria energia a partir de fontes renováveis, a operação dos data centers pode ser feita de forma mais sustentável. ●

Os projetos, os artigos científicos e os relatórios consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.