RELEVÂNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS NA AMÉRICA LATINA

Potencial de mitigação das mudanças climáticas por meio dos critérios de rotulagem ecológica e compras públicas sustentáveis

Realização: Oeko-Institute

Estudo técnico | Março de 2025

On behalf of:
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety of the Federal Republic of Germany
IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
UN environment programme
Öko-Institut e.V. Institut für angewandte Ökologie Institute for Applied Ecology
EcoAdvance ROTULAGEM E COMPRAS PÚBLICAS SUSTENTÁVEIS

Como empresa federal, a GIZ apoia o governo alemão na conquista dos seus objetivos no campo da cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável.

Publicado por:
Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por meio do Projeto EcoAdvance

Escritórios registrados:
Bonn e *Eschborn*, Alemanha; Brasília, Brasil; Bogotá, Colômbia; Cidade do México, México; Quito, Equador; San José, Costa Rica

Autoras:
Lucia Gascón Castillero,
Viviana López Hernández,
Oeko-Institute

Com o apoio de:
Felix Behrens,
Sergio Loranca,
Oeko-Institute

Projeto gráfico:
Vinicius Chozo Inoue

Contato:
Viviana López Hernández
Pesquisador Associado
Divisão de Produtos e Fluxos de Materiais
Oeko-Institute
Caixa postal 17 71
79017 Freiburg. Alemanha / *Germany*
Telefone: +49 76145295-297
E-mail: v.lopez@oeko.de
Site: www.oeko.de

Álvaro Luna
Diretor do projeto *EcoAdvance*
Deutsche Gesellshaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Agência GIZ Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501 Ed. Brasilia Trade Center
70711-902, Brasília - DF
técnico em elétrica: alvaro.luna@giz.de
E-mail: giz-brasilien@giz.de
Site: www.giz.de/brasil

RELEVÂNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS NA AMÉRICA LATINA.

Potencial de mitigação das mudanças climáticas por meio dos critérios de rotulagem ecológica e compras públicas sustentáveis

Com o apoio do projeto ***EcoAdvance*: *Rotulagem ambiental e Compras Públicas Sustentáveis***, implementado conjuntamente pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pelo *Oeko-Institute* (Instituto de Ecologia Aplicada). Financiado pelo Ministério Federal Alemão do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear e Defesa do Consumidor (BMUV) por meio da Iniciativa Internacional do Clima (IKI).

O projeto *EcoAdvance* é uma iniciativa regional que inclui o Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador e México, que integra entidades locais e internacionais para promover sinergias entre a rotulagem ambiental (*Ecolabeling*) e os contratos públicos, estimulando práticas de produção e consumo mais sustentáveis e contribuindo para a conservação do meio ambiente, proteção da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS 6

1 INTRODUÇÃO 7

2 OS IMPACTOS DA DIGITALIZAÇÃO 11

2.1 Centros de dados: A espinha dorsal da infraestrutura digital moderna 13

2.2 Desenvolvimentos globais no cenário de centros de dados 16

2.2.1 Mercados emergentes: O caso da Malásia e os fatores estratégicos 16

2.2.2 Aumento da demanda por armazenamento em nuvem e por serviços digitais no setor público 17

2.2.3 Desenvolvimentos recentes na transição ecológica do setor de centros de dados 19

3 IMPACTO AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS 23

3.1 Consumo de matérias-primas 23

3.2 Consumo cumulativo de energia 25

3.3 Consumo de água 26

3.4 Emissões de gases de efeito estufa 27

3.5 Resíduos eletrônicos 29

3.6 Distribuição do impacto ambiental entre os subsistemas e as fases do ciclo de vida de um centro de dados 30

3.7 Abordagens técnicas para lidar com o impacto ambiental dos centros de dados 32

4 A AMÉRICA LATINA NO CENÁRIO GLOBAL DE CENTROS DE DADOS 37

4.1 Contratação pública de centros de dados na América Latina 42

5 MELHORAMENTO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS....45

5.1 Políticas de eficiência energética 45

5.2 Esquemas de rotulagem ambiental e de certificação..... 49

5.3 Contratação pública sustentável..... 51

5.4 Outras medidas..... 53

5.4.1 Contratos de desempenho energético..... 53

5.4.2 Regulamento de taxonomia da UE..... 53

5.4.3 Requisitos de design ecológico para servidores e produtos de armazenamento de dados 54

6 CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA CENTROS DE DADOS EFICIENTES EM TERMOS DE RECURSOS 57

6.1 Gestão da energia..... 59

6.2 Eficiência de resfriamento 61

6.3 Consumo de água..... 61

6.4 Energia renovável 62

6.5 índice de utilização dos servidores..... 63

6.6 Outros critérios..... 64

6.6.1 Refrigerantes..... 65

6.6.2 Emissões de carbono..... 65

6.6.3 Gerenciamento do fim da vida útil 66

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 69

8 REFERÊNCIAS.....73

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Potencial de esgotamento de recursos abióticos *(Abiotic resource Depletion Potential)*
CED	Demanda cumulativa de energia *(Cumulative Energy Demand)*.
CER	Índice de eficiência de resfriamento (*Cooling Effectiveness Ratio*)
CI	Circuito integrado
CPS	Compras públicas sustentáveis / Contratação pública sustentável
CPU	Unidade Central de Processamento *(Central Processing Unit)*
CRM	Matéria-prima crítica *(Critical Raw Material)*
DEE	Diretiva europeia de eficiência energética
EE	Rotulagem ambiental / Rotulagem ecológica
EN 50600	Padrão europeu para infraestruturas de centros de dados
EPC	Contrato de desempenho energético *(Energy Performance Contracting)*
ERF	Fator de reutilização de energia *(Energy Reuse Factor)*
GEE	Gases de efeito estufa
GW	*Gigawatts*
GWh	*Gigawatt*-hora
GWP	Potencial de aquecimento global *(Global Warming Potential)*
HDD	Unidade de Disco rígido *(Hard Disk Drive)*

HVAC	Aquecimento, ventilação e ar-condicionado *(Heating, Ventilation and Air Conditioning)*
IA	Inteligência artificial
ITEUsv	Uso de equipamentos de informática para servidores
Kpi	Indicador chave de desempenho *(Key Performance Indicator)*
kWh	*Kilowatt*-hora
Mt	Milhões de toneladas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCB	Placa de circuito impresso *(Printed Circuit Board)*
PDU	Unidade de distribuição de energia *(Power Distribution Unit)*
PUE	Eficiência no uso de energia *(Power Usage Effectiveness)*
PYME	Pequenas e médias empresas
RAEE	Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
REF	Fator de energia renovável *(Renewable Energy Factor)*
SAI	Fonte de alimentação ininterrupta
SSD	Unidade de estado sólido *(Solid State Drive)*
TIC	Tecnologias de informação e de comunicação
TI	Tecnologias da Informação
Twh	*Terawatt*-hora
UE	União Europeia
WUE	Eficiência no uso da água *(Water Usage Effectiveness)*

1 INTRODUÇÃO

O projeto *EcoAdvance* contribui para a mitigação das mudanças climáticas, a proteção da biodiversidade e a conservação dos recursos ao promover o consumo e a produção sustentáveis em cinco países latino-americanos (Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador e México) por meio do uso de rótulos ambientais (EE) e de compras públicas sustentáveis (CPS). Fortalecendo as capacidades nos países-alvo, os atores relevantes podem integrar critérios ambiciosos às rotulagens ambientais e aos processos de CPS, visando produtos e serviços com alta relevância ambiental e de aquisições públicas.

O projeto aborda principalmente instituições de rotulagem ambiental e de compras públicas nos países-alvo. Também tem como alvo pequenas e médias empresas e associações comerciais, pois elas influenciam o fornecimento de produtos com rótulo ambiental e a demanda por CPS. O projeto colabora com redes que promovem a participação e o intercâmbio globais, como a *One Planet Network*.

O primeiro eixo do projeto *EcoAdvance* é desenvolver ou reforçar critérios ambiciosos para rotulagem ambientais do Tipo 1 em grupos de produtos relevantes para as CPS.

Os centros de dados foram identificados como um dos grupos de produtos com alta relevância para as aquisições públicas e com um dos maiores potenciais de mitigação das mudanças climáticas. Por um lado, eles fazem parte da infraestrutura crítica para a economia digital; por outro lado, os centros de dados consomem grandes quantidades de energia e recursos, muitas vezes contribuindo para um impacto ambiental significativo. No entanto, os critérios de CPS e de rotulagem ambiental podem desempenhar um papel fundamental na promoção da eficiência energética, da otimização dos recursos e da redução das emissões de carbono no setor. O fortalecimento de critérios específicos de CPS e de rotulagem ambiental para os centros de dados ajudará a garantir que essas instalações atendam a padrões mais elevados de sustentabilidade e, em última análise, incentivará as operadoras a adotar tecnologias mais sustentáveis e a aumentar sua eficiência energética.

Enquanto a demanda global por infraestrutura e serviços de centros de dados continue a crescer nos Estados Unidos, na Europa e na região da Ásia-Pacífico, os mercados emergentes em outras regiões, incluindo América Latina, estão ganhando força (*Cushman & Wakefield* 2024).

Os países da América Latina têm o potencial de desempenhar um papel fundamental na expansão da infraestrutura de centros de dados. Dessa forma, elas estão bem posicionadas para lidar proativamente com os impactos ambientais associados ao crescimento dos serviços digitais.

O objetivo deste estudo é fornecer aos países *EcoAdvance* informações técnicas racionalizada para contribuir com a priorização dos centros de dados como um tópico relevante com alto potencial de mitigação no contexto nacional de aquisições públicas. Este documento também fornece orientação para a compreensão dos principais impactos ambientais que poderiam ser abordados pela inclusão de critérios ambientais no contexto da contratação pública sustentável e as rotulagens ambientais.

No capítulo seguinte, são explorados os impactos da digitalização, bem como os desenvolvimentos mais recentes. No Capítulo 3, são explorados os impactos ambientais do setor dos centros de dados e discutidas brevemente as abordagens técnicas para reduzir a pegada ambiental do setor. O Capítulo 4 tem como foco a América Latina e seu papel no mercado global de centros de dados. O Capítulo 5 explora vários instrumentos para melhorar o desempenho energético do setor, concentrando-se em políticas de eficiência energética, rotulagem ambiental e outros esquemas de certificação e as CPS. Por fim, o Capítulo 6 apresenta critérios específicos de sustentabilidade que podem ser usados para os centros de dados no contexto das contratações públicas sustentáveis ou rotulagem ambiental. ■

© Oeko-Institute

2 OS IMPACTOS DA DIGITALIZAÇÃO

O mundo vive atualmente em uma era de digitalização galopante em quase todas as facetas da produção, o consumo e a comunicação. Um exemplo é o serviço de Internet via satélite *Starlink*, capaz de conectar até mesmo os lugares mais remotos do planeta. Essa transformação está ocorrendo em um ritmo sem precedentes, mudando a forma como obtemos informações, nos comunicamos uns com os outros e consumimos diferentes produtos e serviços; na verdade, está mudando todo o nosso modo de vida. A digitalização pode ser entendida como a transição do analógico para o digital. Ele é anunciado com uma série de benefícios potenciais para a economia, a sociedade e o meio ambiente, conhecidos como habilitação digital (*Kasian* 2023).

Muitos fatores estão impulsionando o processo de digitalização como uma macrotendência global. A demanda por serviços digitais é facilitada pelo aumento do número de usuários com acesso à Internet. De acordo com a União Internacional de Telecomunicações (2023), 67% da população mundial já estava *on-line* em 2023, o que equivale a aproximadamente 5,4 bilhões de usuários digitais.

Este número representa um aumento de 4,7% em relação ao ano anterior. Além disso, a adoção generalizada de práticas cotidianas, como trabalho e ensino remoto, e comércio eletrônico, acelerada ainda mais pela COVID-19, transformou e continua a transformar a maioria das estruturas sociais como as conhecemos.

Além disso, a integração de novas tecnologias e a automação dos processos de produção e distribuição estão avançando rapidamente para atender às demandas das cadeias de suprimentos globais e das infraestruturas públicas digitais. O desenvolvimento e o uso de novas tecnologias baseadas em dados, como a robótica e a inteligência artificial (IA), estão cada vez mais integrados para facilitar a eficiência no trabalho diário e a otimização de vários setores econômicos. No setor de energia, eles reduzem drasticamente a quantidade de perfurações fracassadas em busca de petróleo, reduzindo assim os custos de produção de combustíveis fósseis. No setor ambiental, essas ferramentas estão melhorando o monitoramento das mudanças climáticas e otimizando o uso de energia e os processos de produção, o que representa uma contribuição importante para acelerar a ação climática.

Nesse contexto, a digitalização representa uma oportunidade de criar prosperidade global, melhorar a qualidade de vida e impulsionar a ação climática. Esses efeitos são chamados de efeitos indiretos ou de segunda ordem. No entanto, os custos sociais e ambientais diretos dos serviços e tecnologias digitais são frequentemente desconhecidos ou ignorados (UNDP 2023). A infraestrutura digital requer grandes quantidades de energia e recursos e, ao mesmo tempo, gera enormes quantidades de resíduos. Grupos vulneráveis, como mulheres, jovens, agricultores rurais, comunidades indígenas e pessoas com deficiência, geralmente são os mais afetados pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental, ao mesmo tempo em que são os que menos se beneficiam dos avanços digitais (UNDP 2023).

A crescente demanda global por serviços digitais implica um aumento no consumo de energia, que geralmente se concentra em regiões específicas que fornecem a infraestrutura relevante. De acordo com a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD 2023), as redes e os dispositivos de tecnologia da informação e da comunicação (TIC) representam entre 6% e 12% do consumo global de energia, o que dificulta cada vez mais o cumprimento das metas climáticas e apresenta desafios em nível local devido à considerável pressão sobre as redes de eletricidade locais (IEA 2024a). O aumento das atividades *on-line*, especialmente a mineração de criptomoedas, mas também uso de *streaming* de vídeo, de redes sociais e download de arquivos, requer mais energia e, por sua vez, gera mais emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as tecnologias e os serviços digitais emergentes, como jogos em nuvem, realidade virtual, bem como redes 5G e a "Internet das Coisas" (IoT), aumentarão ainda mais a demanda por serviços de dados (Kamiya e Bertoldi 2024; UNCTAD 2023).

Se essa tendência continuar, espera-se que a produção e a operação de TIC constituam 21% do consumo global de eletricidade em 2030, representando um aumento absoluto a 8.000 *Terawatt*-hora (TWh) comparados aos 2.000 TWh em 2010 (Andrae e Edler 2015).

Além disso, a extração de metais e minerais de terras raras, essenciais para a infraestrutura digital, não só tem a enorme pegada ambiental inerente às atividades de mineração (Alfieri e Spiliotopoulos 2023; Parlamento Europeu 2022), mas também apresenta grandes riscos sociais.

Isso se aplica especialmente a países em que o processo está ligado a abusos de direitos humanos ou violência (Parlamento Europeu 2022; UNEP 2021; Nalule 2020; Mancini e Sala 2018).

Outro aspecto a ser levado em conta é que todos os equipamentos e infraestruturas usados para serviços digitais têm uma vida útil limitada e se tornam resíduos quando atingem o fim de sua vida útil. Isso se deve à degradação dos materiais, mas também a influências estruturais, como o progresso técnico. Nesse sentido, os impactos do lixo eletrônico são um resultado direto da digitalização. Em 2022, um recorde de 62 milhões de toneladas (Mt) de lixo eletrônico foi produzido em todo o mundo. Esse número aumentou 82% desde 2010 e estima-se que aumentará em mais 32% até 2030 (*Ruediger Kuehr et al.* 2024). Atualmente, menos de um quarto do lixo eletrônico produzido é coletado e reciclado adequadamente, e a maior parte desse lixo acaba em aterros sanitários nos países em desenvolvimento, expondo as pessoas do setor de reciclagem a substâncias perigosas e a riscos à saúde, sem mencionar a contaminação do solo e das águas subterrâneas (UNEP 2021).

2.1 Centros de dados: A espinha dorsal da infraestrutura digital moderna

Os centros de dados desempenham um papel fundamental na transformação digital, fornecendo o espaço físico e virtual necessário para armazenar, processar e gerenciar grandes quantidades de dados. À medida que a digitalização se acelera em todos os setores, os centros de dados são cada vez mais cruciais para dar suporte à computação em nuvem, à análise de *big data*, à IA e à crescente demanda por serviços digitais.

De acordo com a norma europeia para infraestruturas de centros de dados (EN 50600-1), um centro de dados é “uma estrutura ou grupo de estruturas num único local dedicado ao alojamento centralizado, interligação e operação de tecnologia de informação e equipamento de telecomunicações em rede que fornece serviços de armazenamento, processamento e transporte de dados. *Um centro de dados inclui todas as instalações e infraestruturas para distribuição de energia e controle ambiental, juntamente com os níveis necessários de resiliência e segurança para fornecer a disponibilidade de serviço necessária*”.

Os centros de dados contam com equipamentos informáticos e de infraestrutura projetados para garantir a disponibilidade, a confiabilidade e a escalabilidade contínuos de empresas e de organizações. Na operação de um centro de dados, é possível distinguir os seguintes equipamentos informáticos (Huu Thanh 2020)

➔ **Servidores:** Eles lidam com a maioria das tarefas de computação; têm o poder de processamento e a memória para executar aplicativos. Os mais comuns são os servidores montados em *rack*.

➔ **Equipamento de armazenamento:** Onde os dados são armazenados; pode consistir em diferentes tipos de suporte, como unidades de disco rígido e unidades de estado sólido.

➔ **Equipamento de rede:** Ele fornece conectividade entre servidores, entre centros de dados e o mundo externo e os usuários finais; consiste em roteadores, *switches*, *firewalls* e equilibradores de carga.

A instalação de energia de um centro de dados refere-se a toda a infraestrutura e aos sistemas responsáveis pelo fornecimento, gerenciamento e otimização de suas necessidades de energia. Os principais componentes incluem:

➔ **Infraestrutura elétrica:** Fornece energia; inclui a energia da rede pública (a fonte primária de eletricidade normalmente vem da rede local), os transformadores e as unidades de distribuição de energia (PDUs, que distribuem a energia elétrica para os vários *racks* e equipamentos).

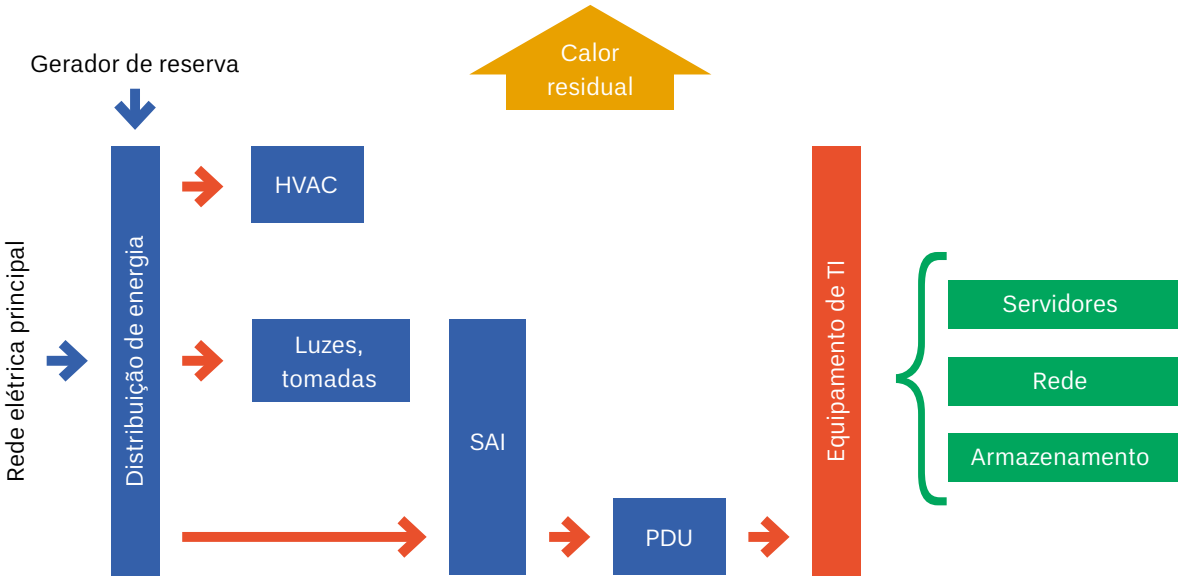
➔ **Fonte de alimentação ininterrupta (SAI):** Garante um fornecimento de energia confiável; fornece energia de reserva por meio de baterias para dar suporte às operações até que os geradores entrem em operação ou a energia seja restaurada.

➔ **Geradores de reserva:** Fornecer energia de longo prazo durante interrupções prolongadas

➔ **Sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC):** Ele mantém as condições ambientais ideais, especialmente o controle de temperatura e umidade, para proteger os equipamentos informáticos que são sensíveis aos danos causados pelo calor e garantir, assim, a operação contínua. O resfriamento ou refrigeração desempenha um papel importante no consumo de energia dos centros de dados, pois os servidores geram uma grande quantidade de calor.

Outras instalações em um centro de dados incluem proteção contra incêndio e sistemas de segurança.

Figura 2-1: Componentes críticos de um centro de dados



Fonte: Adaptação própria com base em Huu Thanh 2020

De acordo com o mais recente Relatório de Consumo de Energia de Dados dos Estados Unidos (2024), os centros de dados podem ser classificados como pequenos, com um tamanho médio de módulo de menos de 15 metros quadrados; médios, com 250 a 650 metros quadrados; e grandes, com cerca de 1.000 metros quadrados para tipos de espaço de colocação[1] e 2.800 metros quadrados para instalações de hiperescala[2].

Embora 40% dos servidores estejam localizados em pequenos centros de dados, como armários na sala lateral de um escritório, as instalações mais comuns são cada vez mais armazéns em hiperescala, com centenas de milhares de metros quadrados e gerenciados pelos três grandes provedores de nuvem (*Amazon Web Services, Google Cloud Platform*, *Microsoft Azure*) (Mytton 2021).

1 Os provedores de colocação são empresas que oferecem espaço em seus centros de dados para que as empresas aluguem. Esses provedores oferecem a infraestrutura física necessária para que as empresas hospedem seus servidores, equipamentos de rede e outros hardwares informáticos, enquanto as empresas mantêm o controle sobre seus equipamentos e dados.

2 Os centros de dados construídos por empresas que implementam serviços e plataformas de Internet em grande escala.

2.2 Desenvolvimentos globais no cenário de centros de dados

O *World Energy Outlook* 2024 relata mais de 11.000 de centro de dados registrados no mundo todo (IEA 2024b), dos quais 9.215 estão mapeados em 164 países no diretório global do *Data Center Map*[3]. Os Estados Unidos superam o resto do mundo, com 5.381 centro de dados até março de 2024 (*Cloudscene* 2024), seguidos pela Alemanha (521) e pelo Reino Unido (514). Ele também revela uma transição dos centros de dados internos, que dominavam o setor no início da década de 2010, para instalações de hiperescala e colocação. Estima-se que essas instalações hospedavam 74% dos servidores em 2023 e a projeção é de que representem 85% em 2028 (*Shehabi et al*. 2024).

A análise de *Srivathsan et al.* (2024) das tendências atuais sugere que a demanda global por capacidade de dados centrais poderia triplicar até 2030, aumentando a uma taxa anual de 19 a 22%. A IA é o principal impulsionador desse crescimento, o que significa que "cerca de 70% da demanda total por capacidade de centro de dados corresponderá a centros de dados equipados para hospedar cargas de trabalho avançadas de IA até 2030" (*Srivathsan et al.* 2024).

De acordo com uma comparação global do mercado de centros de dados (2024), enquanto novos mercados continuam a surgir nas regiões estabelecidas (Estados Unidos, Europa e região da Ásia-Pacífico), as operadoras de centro de dados também fizeram anúncios significativos de expansão no Oriente Médio, na África Subsaariana e na América Latina. O relatório prevê que esses mercados secundários ganharão importância à medida que determinados mercados primários enfrentarem restrições, pois o consumo de energia e a sustentabilidade estarão sob um exame mais minucioso. No geral, o fornecimento ativo para centros de dados, definido como a energia de TI determinada como disponível independentemente do uso, cresceu 20 *gigawatts* (GW) globalmente de 2018 a 2023 (*DC Byte* 2024b).

2.2.1 Mercados emergentes: O caso da Malásia e os fatores estratégicos

A Malásia é um excelente exemplo de um mercado emergente que manteve seu dinamismo nos últimos anos. O país tornou-se um importante participante do setor de centros de dados, impulsionado pelo setor privado, ou seja, pelo influxo de grandes empresas de tecnologia que estão instalando centros de dados no local.

3 https://www.datacentermap.com/

Por exemplo, em 2025, a *Microsoft* anunciou planos de investir aproximadamente US$ 2 bilhões em computação em nuvem e inteligência artificial na Malásia nos próximos três a quatro anos (*Arizton Advisory & Intelligence* 2025). Espera-se que o mercado de centro de dados do país atinja US$ 13,57 bilhões até 2030, crescendo a uma taxa de crescimento anual composta de 22,35% entre 2024 e 2030 (*Arizton Advisory & Intelligence* 2025). A cidade malaia de Johor Bahru foi nomeada como o mercado de crescimento mais rápido no Sudeste Asiático no atual Índice Global de Centros de Dados (*DC Byte* 2024b).

Várias características favoráveis influenciam o desenvolvimento de mercados emergentes, como a Malásia. Em primeiro lugar, os centros de dados precisam de espaço, energia e água para resfriamento, o que torna os locais onde a energia e o terreno estão disponíveis e são baratos mais vantajosos do que os locais com recursos limitados (*Cushman & Wakefield* 2024). Um segundo fator são as políticas favoráveis (por exemplo, reduções de impostos) para os centros de dados; em 2023, a Malásia lançou seu *Green Lane Pathway* “para impulsionar as ambições digitais e de poder de manufatura” (MIDA 2023).

Embora esses desenvolvimentos destaquem a importância estratégica da Malásia no setor dos centros de dados, a crescente demanda por água e eletricidade está gerando preocupações sobre o possível impacto na disponibilidade de recursos locais (*Butts* 2024).

Por fim, embora não seja o caso da Malásia, o ambiente regulatório também desempenha um papel importante na definição do local dos centros de dados, principalmente as políticas governamentais sobre localização de dados. Alguns países, como a Rússia e a China, têm leis abrangentes de localização de dados que exigem que alguns ou todos os dados de um indivíduo sejam armazenados dentro de suas fronteiras. Muitas empresas não nacionais citaram essas leis como um motivo para armazenar dados nesses países (*Daigle* 2021).

2.2.2 Aumento da demanda por armazenamento em nuvem e por serviços digitais no setor público

Em plena transformação digital, não apenas as empresas privadas, mas também os governos estão buscando adaptar seus sistemas operacionais e estratégias de gerenciamento para as mais recentes tecnologias de nuvem.

Os órgãos governamentais dependem dos centros de dados para armazenar e gerenciar com segurança dados confidenciais da população, incluindo informações de identificação pessoal, registros fiscais e dados de saúde (*Weng et al.* 2016). Essas instalações também fornecem a infraestrutura para plataformas digitais em que os cidadãos podem acessar serviços públicos, como declaração de impostos, renovação de licenças ou solicitação de benefícios, ao mesmo tempo em que dão suporte aos sistemas policiais e de resposta a emergências, garantindo que os dados de segurança pública sejam armazenados com segurança e acessíveis em tempo real.

Eles também desempenham um papel na continuidade das operações do governo em caso de desastres, garantindo que os serviços permaneçam disponíveis mesmo no caso de um desastre natural ou ataque cibernético. Os centros de dados do setor público também apoiam instituições de pesquisa, plataformas educacionais e o gerenciamento de projetos públicos de grande escala, tornando-os indispensáveis no cenário moderno de governança digital (CNCB-NG- NG-DC *Members and Partners* 2022).

Até 2025, espera-se que mais de 85% das organizações do mundo - tanto privadas quanto governamentais - adotem o princípio de “a nuvem em primeiro lugar” (*Kushchov* 2023), com o objetivo de estimular a inovação, aumentar a flexibilidade e melhorar os serviços para os cidadãos. O uso de armazenamento e processamento de dados centralizados em nuvem poderia garantir o acesso rápido a informações essenciais e facilitar uma eficaz tomada de decisões, tornando as tecnologias não baseadas na nuvem não apenas menos populares, mas também obsoletas.

Nesse contexto, tanto os governos quanto as instituições privadas precisam de centros de dados para dar suporte às suas funções de armazenamento em nuvem. Uma tendência atual é a terceirização da TI para centros de dados profissionais, o que economiza uma quantidade significativa de custos de investimento e pode evitar violações de segurança. Nos Países Baixos, por exemplo, muitas empresas, hospitais e universidades optaram por migrar seus próprios equipamentos de armazenamento e uso de informações digitais locais para um centro de dados profissional na região (*Dutch Data Center Association* 2019).

Na Irlanda, o governo nacional está realizando uma grande modernização e racionalização de sua infraestrutura digital, tendo anunciado planos para desenvolver um centro de dados compartilhado, que será alimentado por energia renovável, potencialmente a partir de uma fazenda solar no local. Essa instalação será gerenciada pelo Departamento de Agricultura, Alimentos e Marinha em nome do Estado e de vários órgãos governamentais. O projeto é considerado um marco na eficiência energética, pois usa tecnologia de resfriamento livre de última geração para atingir pelo menos o dobro da eficiência dos centros de dados de serviços públicos existentes, e deve ser concluído até o final de 2025 (gov.ie 2021).

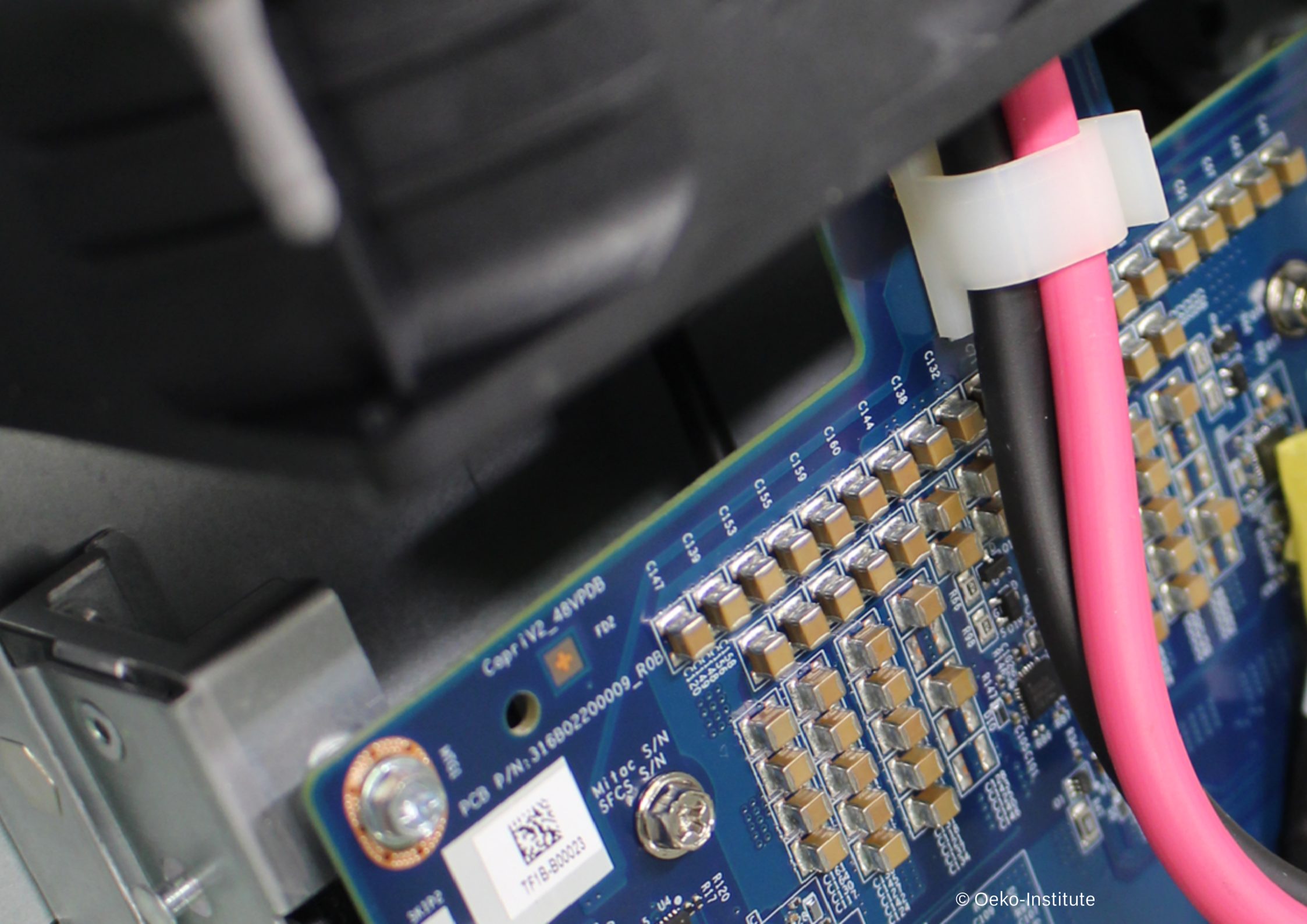
Embora as abordagens de alocação e distribuição de centros de dados possam variar, há um consenso claro de que tanto os governos quanto os agentes privados estão dispostos a participar da transição digital e a aproveitar as tecnologias de nuvem para manter suas operações na vanguarda.

2.2.3 Desenvolvimentos recentes na transição ecológica do setor de centros de dados

Apesar do cenário em expansão dos centros de dados, a pressão sobre os recursos imposta pelo setor (consulte o Capítulo 3) não pode ser ignorada em desenvolvimentos futuros, e vários países começaram a implementar medidas para mitigar seu impacto ambiental. Por exemplo, Singapura é pioneira nesse sentido, com a introdução de um roteiro abrangente de centros de dados verdes para orientar o setor em direção a práticas mais sustentáveis (IMDA 2024). Além disso, o governo chinês vem implementando políticas para promover o mesmo desde 2012. Esses esforços foram seguidos por regulamentações como as Regras Técnicas para a Avaliação de Edifícios de Centros de Dados Verdes, as Diretrizes de Avaliação de Centros de Dados Verdes (2018) ou o Padrão de Avaliação de Centros de Dados Verdes (2019) (*Guozhu Li et al*. 2023). Nos últimos anos, foram adicionadas ainda mais políticas (*Lev et al.* 2024). Na Alemanha, a Lei de Eficiência Energética tenta atingir o mesmo objetivo regulamentando os principais aspectos dos centros de dados, como o aumento de energias renováveis, o uso de calor residual e a implementação de sistemas de gestão energética ou ambiental (*Bundesministerium der Justiz* 2023).

A introdução da abordagem alemã foi precedida pela Diretiva de Eficiência Energética (DEE) da União Europeia (UE), que tinha como objetivo reduzir o consumo de energia da UE em 11,7% até 2030 (*Directorate-General for Energy* 2024).

A DEE obriga as operadoras de centros de dados a fornecer informações importantes sobre sua eficiência, sustentabilidade e desempenho. Outros regulamentos que contribuem para a transição ecológica dos centros de dados em nível europeu são o Código de Comportamento da UE para Centros de Dados e as diretrizes de compras públicas ecológicas para centros de dados (consulte o Capítulo 5). Outros exemplos de países com esquemas relacionados são o Reino Unido, o Japão e a França (*Lev et al.* 2024) ■



© Oeko-Institute

3 IMPACTO AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS

Conforme mencionado no capítulo anterior, a proliferação de serviços digitais e soluções em nuvem levou a um aumento substancial do número e na escala dos centros de dados em todo o mundo. Consequentemente, o impacto ambiental das operações dos centros de dados também cresceu significativamente. Este capítulo explora os impactos ambientais dos centros de dados, examinando o consumo de matérias-primas (3.1), energia (3.2) e água (3.3), emissões de gases de efeito estufa (GEE) (3.4), bem como a geração de lixo eletrônico no fim da vida útil (3.5).

3.1 Consumo de matérias-primas

Nesse contexto, o consumo de matéria-prima refere-se ao uso de minerais e matérias-primas fósseis envolvidos na produção e na operação de um centro de dados. Sua categoria de impacto correspondente nas avaliações de ciclo de vida é chamada de potencial de esgotamento de recursos abióticos (ADP).

No caso dos centros de dados, o maior impacto ambiental associado à extração de matéria-prima vem da TI. Isso se deve às taxas de atualização mais altas em comparação com a infraestrutura mecânica e à dispendiosa fabricação de semicondutores para chips e armazenamento de dados. A fabricação de semicondutores não exige grandes quantidades de materiais em comparação com outros componentes, mas alguns dos materiais necessários são raros e precisam estar em sua forma pura.

Servidores e equipamentos de armazenamento de dados exigem uma variedade de materiais, como metais, plásticos e componentes eletrônicos, como placas de circuito impresso (PCBs) e circuitos integrados (CIs). É nesses componentes eletrônicos que se encontra uma quantidade significativa de matérias-primas críticas (CRMs), ou seja, materiais economicamente importantes, mas de alto risco associado às suas cadeias de suprimentos. A Tabela 3-1 mostra um resumo das CRMs encontradas nos servidores de dados.

Tabela 3-1: Matérias-primas essenciais em servidores de dados

Componente	CRM
Baterias de íons de lítio	Cobalto
	Lítio
Unidade de disco rígido (HDD)	Disprósio
	Neodímio
	Praseodímio
	Térbio
Unidade de estado sólido (SSD)	Silício
	(CRM encontrada em PCB. Veja abaixo)
PCB	Magnésio
	Neodímio
	Paládio
	Platina
	Antimônio
	Silício
	Gálio
	Germânio
	Tântalo
	Cobalto
Conectores	Antimônio
	Berílio
	Cromo
	Cobalto
	Paládio
	Silício

Fontes: *WeLOOP* 2020, Fulvio e Talens Peiró 2015

O conteúdo da CRM varia de acordo com o produto e o componente específico. No entanto, *Gydesen* e *Hermann* (2024) concluíram que as quatro CRMs presentes nas concentrações mais altas em servidores e produtos de armazenamento de dados são neodímio (HDD), silício metálico (PCB/HDD), cobalto (baterias) e cromo (conectores).

A demanda por CRM impulsionou um aumento nas operações de mineração em larga escala em todo o mundo. De acordo com o relatório do grupo de trabalho do Centro Comum de Pesquisa sobre a eficiência dos materiais nas TICs (JRC 2023), os principais impactos ambientais

das atividades de mineração incluem a produção de grandes quantidades de resíduos de extração e escombros, riscos de colapso das instalações de mineração, drenagem ácida de minas, deposição e toxicidade de metais e perda de biodiversidade e habitat. Outro estudo do Parlamento Europeu (2022) especifica outros impactos ambientais das atividades de mineração nas fontes de água: Mudanças na hidrologia, impactos nas águas subterrâneas e superficiais, mudanças na qualidade da água (por exemplo, turbidez), descargas controladas de águas residuais e seus impactos cumulativos, e agravamento da escassez de água em áreas áridas.

Ao mesmo tempo, os impactos sociais da mineração, que tem sido amplamente pesquisados e documentados, abrangem uma série de questões, como a competição por terras e recursos, impactos negativos nos meios de subsistência existentes (por exemplo, trabalho infantil, trabalho análogo à escravidão ou trabalho forçado, aumento das desigualdades de gênero e problemas relacionados à saúde), riscos econômicos (por exemplo, dependência local), efeitos negativos da migração para a área e aumento da violência devido a disputas e conflitos (Parlamento Europeu 2022; Nalule 2020; Mancini e Sala 2018; Ali 2014)

3.2 Consumo cumulativo de energia

Embora os centros de dados não sejam dispensáveis em um mundo cada vez mais digitalizado, eles também são consumidores vorazes de energia. Os servidores funcionam continuamente durante todo o ano, consumindo até várias centenas de *terawatts*-hora (TWh). De acordo com a Agência Internacional de Energia (2023), o consumo global estimado de eletricidade dos centros de dados em 2022 está entre 240 e 340 TWh, equivalente a 1 a 1,3% da demanda final de eletricidade do mundo. Em um relatório posterior da mesma agência, esse número aumentou para 460 TWh consumidos pelos centros de dados em 2022 (IEA 2024c), e espera-se que dobre a cada quatro anos. Se essa tendência continuar, o consumo total de eletricidade dos centros de dados poderá chegar a mais de 1.000 TWh até 2026, o equivalente ao consumo de eletricidade do Japão (IEA 2024c).

Em termos de consumo médio de energia dos centros de dados, eles consomem de 10 a 50 vezes mais energia por área útil do que um típico edifício comercial de escritórios, e os maiores centros de dados de grande escala do mundo têm demandas de energia de 100 *megawatts* (MW) ou mais, o que equivale à demanda de eletricidade de 80.000 residências norte-americanas (Moore 2023) ou de 350.000 a 400.000 carros elétricos (IEA 2024a).

Em um único centro de dados, o consumo de energia pode variar significativamente, dependendo de fatores como o tipo de equipamento usado, a eficiência dos sistemas de resfriamento e as condições climáticas locais. Os equipamentos informáticos e os sistemas de resfriamento são dois dos principais consumidores de eletricidade nos centros de dados, responsáveis por aproximadamente 44% e 40% do uso total de eletricidade, respectivamente (*Xiaolei Yuan et al.* 2020). Outra fonte estima que 40 a 70% são para a eletricidade necessária para operar equipamentos informáticos e 20% a 25% para resfriamento (Lafitte 2025). A diferença pode ser explicada pelo tipo de espaço do centro de dados, pois os centros de dados maiores tendem a gastar menos de seu consumo de energia em infraestrutura mecânica.

A hiper-redundância é outro fator que contribui para um consumo significativo de energia. Para reduzir o risco de perdas econômicas causadas por falhas no sistema, vários sistemas de *backup* operam simultaneamente com os ativos. Isso garante que, no caso de uma falha de um servidor, um sistema de *backup* de segurança assuma imediatamente o controle, mantendo a continuidade das operações.

A demanda de energia da hiper-redundância pode ser tão grande que, em alguns casos, apenas 6 a 12% da energia total é usada para alimentar os sistemas ativos. É comum nos centros de dados em nuvem que os dados sejam duplicados em um "centro de dados espelho" em uma região diferente da rede elétrica em caso de interrupção. Além disso, outros processos que consomem muita energia, como aprendizado de máquina e mineração de criptomoedas, agravam ainda mais o consumo total de energia (González Monserrate 2022).

3.3 Consumo de água

Alguns centros de dados consomem água diretamente no local para resfriamento e indiretamente por meio das necessidades de água da geração de eletricidade não renovável. Embora seja dada mais atenção ao resfriamento, o maior contribuinte para a pegada hídrica de um centro de dados é a geração de eletricidade (Mytton 2021).

Dependendo do seu sistema de resfriamento, a instalação pode exigir acesso a uma fonte abundante e segura de água limpa (alguns tipos de sistemas de resfriamento exigem dois litros por kWh) (Lafitte 2025);

até 57% é obtido da água potável (Mytton 2021). Em comparação com o resfriamento a ar, esse método é mais eficiente em termos de energia em condições climáticas quentes e secas (González Monserrate 2022), mas apresenta outros problemas, especialmente em regiões onde a água é escassa ou onde os centros de dados competem com outros usuários pelo acesso aos recursos locais. Um exemplo é o centro de dados de Utah, que consome 6,4 milhões de litros de água por dia, causando uma escassez de abastecimento de água para os residentes próximos (Gonzalez Monserrate 2022). *Md Abu Bakar Siddik et al.* (2021) estimam que "um quinto do fornecimento direto de água para servidores de centros de dados vem de bacias hidrográficas com estresse hídrico moderado ou alto, enquanto quase metade dos servidores é total ou parcialmente abastecida por centrais elétricas localizadas em regiões com estresse hídrico".

Por exemplo, no Chile, um país que vem sofrendo com uma seca severa há mais de uma década, a Google reformulará seu projeto de centro de dados de US$ 200 milhões em Santiago após preocupações sobre seu impacto ambiental, especialmente no abastecimento de água da cidade (*Reuters Media 17 Sep* 2024).

Protestos locais sobre o possível impacto do projeto nos aquíferos locais levou um tribunal ambiental local a revogar parcialmente a licença da Google para 2020. Em resposta, o gigante da tecnologia anunciou que retiraria seu pedido de licença atual e reiniciaria o processo de aprovação com um novo projeto que incluiria tecnologia de resfriamento a ar, o que reduziria o consumo de água.

À medida que a computação em nuvem e a expansão dos centros de dados em hiperescala aumentam, o volume de dados processados dispara, ampliando ainda mais o consumo de água. Por exemplo, em seu último relatório ambiental (2024), a Google informou que seus centros de dados consumiram 23.000 milhões de litros de água em 2023, 17% a mais do que no ano anterior.

3.4 Emissões de gases de efeito estufa

As emissões de GEE ocorrem durante todo o ciclo de vida de um centro de dados, tanto direta quanto indiretamente, e a quantidade total liberada na atmosfera por meio de determinadas atividades é chamada de pegada de carbono. Seu impacto é medido pelo potencial de aquecimento global (GWP), que indica o quanto eles contribuem para a mudança climática em comparação com dióxido de carbono.

As emissões diretas são todas as emissões de GEE geradas pelos equipamentos e operações do centro de dados. Isso inclui sistemas de resfriamento e geradores de reserva. Por outro lado, as emissões indiretas abrangem fontes de energia, construção e infraestrutura, bem como emissões da cadeia de suprimentos, que geralmente são menos visíveis, mas de importância ainda maior do que as emissões diretas (*Lin et al.* 2023).

As emissões diretas, também conhecidas como emissões de Escopo 1, são emitidas no local e estão sob o controle total dos operadores. No caso dos centros de dados, essas emissões são provenientes da geração de energia no local, do combustível para aquecimento e resfriamento e dos refrigerantes químicos (de *Graaf* 2025; Novak 2023). O método de resfriamento predominante nos centros de dados é o ar-condicionado nas salas de computadores, o que requer o uso de refrigerantes, sendo os mais comuns o R-134a e o R-410A (Alves 2025). Esses refrigerantes são usados em centros de dados mais antigos e têm um GWP significativamente mais alto do que os refrigerantes alternativos mais novos, como o R-290 (de *Graaf* 2025). Para fins de comparação, o GWP do R-410A é de 2.088 contra o GWP de apenas 3,3 do R-290 (US EPA 2024).

Menos tangíveis do que as emissões diretas dos centros de dados são suas emissões indiretas, que podem ser divididas em emissões de Escopo 2 e Escopo 3. Enquanto as emissões do Escopo 2 são consequências indiretas das ações dos operadores, as emissões do Escopo 3 surgem a montante ou a jusante na cadeia de suprimentos (*Lin et al.* 2023). A principal influência sobre as emissões de Escopo 2 nos centros de dados é a combinação de energia utilizada, ou seja, a combinação de diferentes fontes de energia usadas para atender à demanda de energia de uma região ou país. Inclui uma variedade de tipos de energia, como combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural), energia nuclear e fontes de energia renováveis (solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica, biomassa).

As emissões indiretas que se enquadram no Escopo 3 incluem a aquisição de bens e serviços (por exemplo, equipamentos de informática, serviços de nuvem), transporte e distribuição, descarte de resíduos e deslocamento de funcionários (*Lin et al.* 2023). A infraestrutura e as instalações de equipamentos de informática, em especial, estão ligadas a emissões significativas de GEE devido ao seu carbono incorporado: a compra, a construção e o transporte de um único servidor em torre emite cerca de 1.200 kg de CO_2e.

Esse número aumenta para servidores em *rack* e *blade* (*Hexatronic Data Center* 2024).

Lin et al. (2023) modelaram a pegada de carbono total de um centro de dados hipotético e concluíram que a contribuição das emissões diretas para a quantidade total de emissões de carbono é insignificante (0,2%-0,5%). Os autores também estimam que entre 31% e 61% da pegada de carbono total dos centros de dados são emissões do Escopo 2, enquanto o Escopo 3 é responsável pelos 38% a 69% restantes. No entanto, a porcentagem exata de emissões nos centros de dados por tipo pode variar dependendo das fontes de energia usadas para a geração de eletricidade *in situ*, dos sistemas de *backup* e dos refrigerantes usados nos sistemas de resfriamento. Por exemplo, o mesmo estudo mostrou diferenças significativas entre os países, dada a grande variação nos fatores de emissão de uma rede elétrica para outra. Enquanto nos Estados Unidos as emissões do Escopo 2 de um centro de dados representaram 60% da pegada de carbono cumulativa após 15 anos de operação, na França elas representaram apenas 23% (*Lin et al.* 2023).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2023), os centros de dados e as redes de transmissão de dados são responsáveis por aproximadamente 1% das emissões globais de GEE relacionadas à energia (ou 0,6% do total de emissões de GEE), que em 2020 foram responsáveis por um total de 330 Mt de CO_2eq.

3.5 Resíduos eletrônicos

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (RAEE) podem ser definidos como qualquer produto descartado com um plugue ou bateria que represente um risco à saúde e ao meio ambiente por conter substâncias tóxicas, como o mercúrio. De acordo com o *Global E-Waste Monitor* 2024, 62 milhões de toneladas de lixo eletrônico foram geradas em 2022, o suficiente para encher 1,55 milhão de caminhões de 40 toneladas; espera-se que esse número chegue a 82 milhões de toneladas em 2030, um aumento de 33% (*Ruediger Kuehr et al.* 2024).

Os centros de dados são um dos principais fornecedores de RAEE devido à sua atividade contínua e às altas taxas de substituição de equipamentos (*Gydesen* e *Hermann* 2024). Um estudo recente (*Veau et al.* 2023) sobre a geração de RAEE em centros de dados na Alemanha estima que, após 3,5 anos, aproximadamente 50% da quantidade comercializada é convertida em lixo eletrônico.

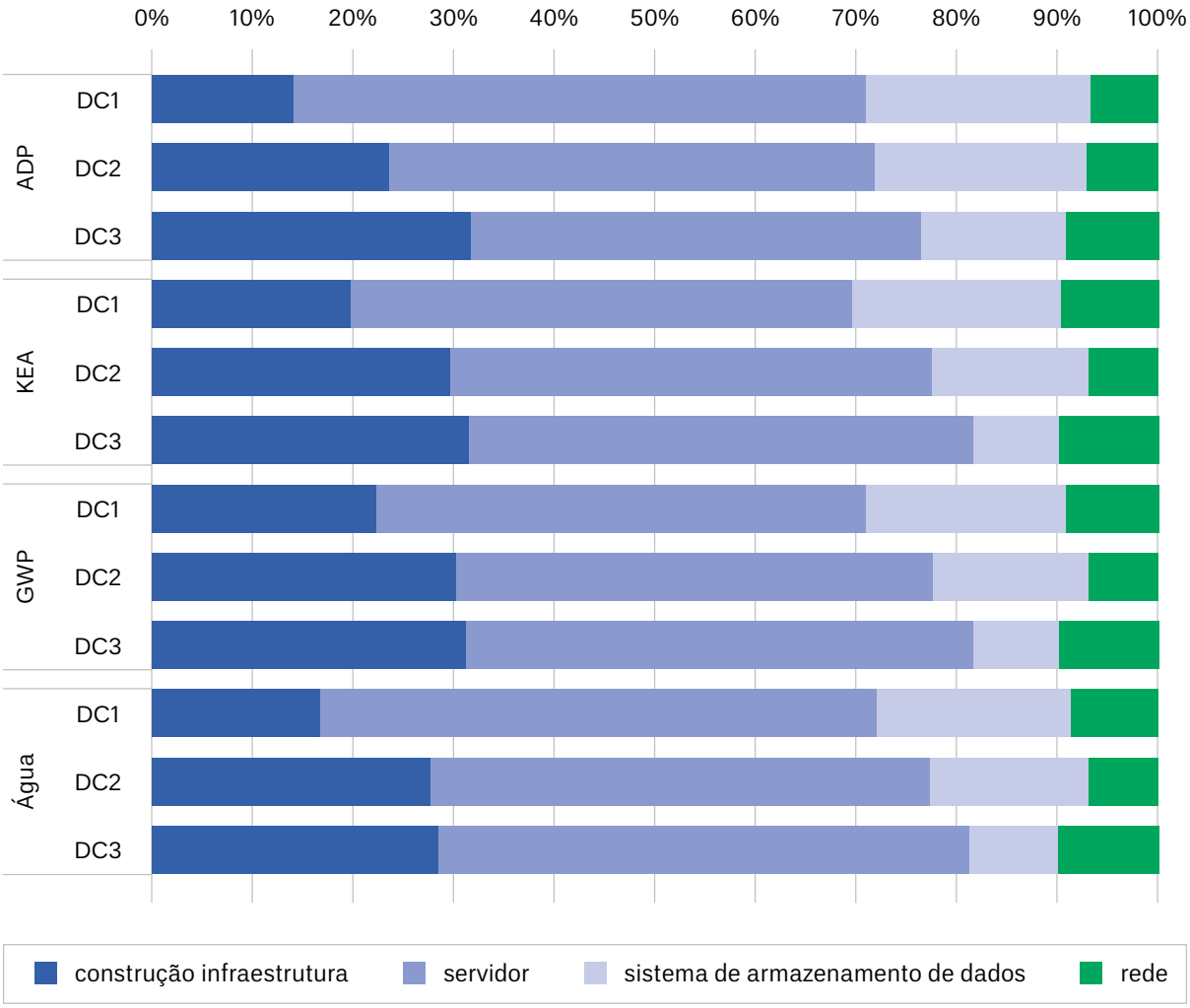
Os RAEE dos centros de dados consistem em uma variedade complexa e abundante de equipamentos tecnológicos, a maioria dos quais não pode ser reciclada; na verdade, menos de um quarto do lixo eletrônico gerado a cada ano é reciclado (*Ruediger Kuehr et al*. 2024; González Monserrate 2022). Como muitos componentes são feitos de elementos tóxicos, como bifenilos policlorados, os dispositivos descartados também não podem ser reutilizados (González Monserrate 2022). Portanto, uma quantidade significativa de RAEE acaba em aterros sanitários ou no setor informal de resíduos, especialmente em países com infraestrutura precária de gestão de resíduos, como Gana.

Além disso, o *Global E-Waste Monitor* 2024 prevê "um declínio na taxa de coleta e reciclagem documentada de 22,3% em 2022 para 20% em 2030, devido à crescente lacuna nos esforços de reciclagem em relação ao crescimento impressionante da geração de lixo eletrônico em todo o mundo". Atualmente, apenas 1% da demanda por elementos de terras raras é atendida pela reciclagem de RAEE (*Ruediger Kuehr et al.* 2024).

3.6 Distribuição do impacto ambiental entre os subsistemas e as fases do ciclo de vida de um centro de dados

Os impactos mencionados acima são distribuídos não apenas entre os diferentes subsistemas (infraestrutura de construção, servidores, armazenamento e dispositivos de rede) de um centro de dados, mas também ao longo das fases de seu ciclo de vida. *Schödwell et al.* (2017) analisaram essa distribuição em relação às categorias de impacto correspondentes (potencial de esgotamento de recursos abióticos (ADP); demanda cumulativa de energia (CED); potencial de aquecimento global (GWP) e consumo de água) em três centros de dados (DC1, DC2 e DC3) e descobriram que **servidores** dominam o consumo de recursos de todos os centros de dados, enquanto **dispositivos de rede** têm o menor consumo de recursos (Figura 3-1).

Figura 3-1: Distribuição relativa do consumo de recursos e dos impactos ambientais* dos centros de dados por subsistema

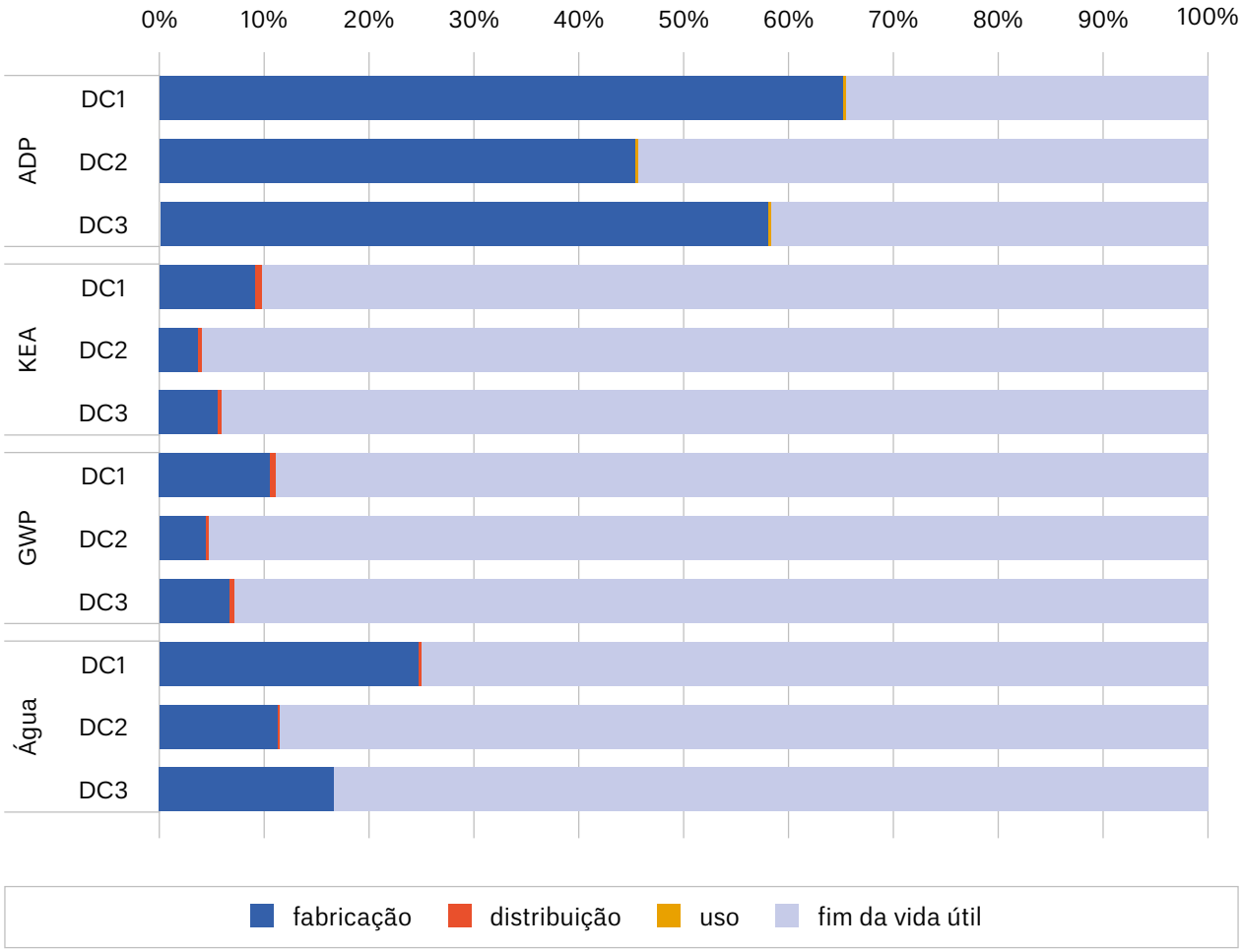


* ADP = Potencial de esgotamento de recursos abióticos; CED = Demanda cumulativa de energia; GWP = Potencial de aquecimento global; Água = Consumo de água.

Fonte: *Schödwell et al.* 2017

Em relação às etapas do ciclo de vida, o estudo supracitado concluiu que, enquanto a **etapa de fabricação** é predominante na categoria de consumo de matéria-prima (ADP), a **etapa de utilização** tem os maiores impactos no consumo de energia (CED) e nas emissões de gases de efeito estufa (GWP) com uma participação de mais de 90% (*Schödwell et al.* 2017). O consumo de recursos dos estágios de distribuição e fim da vida útil não tem influência relevante e é insignificante em comparação com o estágio de fabricação (Figura 3-2).

Figura 3-2: Distribuição relativa do consumo de recursos e dos impactos ambientais* dos centros de dados por estágio do ciclo de vida



* ADP = Potencial de esgotamento de recursos abióticos; CED = Demanda cumulativa de energia; GWP = Potencial de aquecimento global; Água = Consumo de água.

Fonte: *Schödwell et al.* 2017

3.7 Abordagens técnicas para lidar com o impacto ambiental dos centros de dados

Há várias estratégias para mitigar o impacto ambiental do setor de centros de dados. Sem que qualquer priorização envolva a ordem de sua menção, espera-se que as estratégias indicadas apresentem os melhores resultados quando combinadas.

Em primeiro lugar, a fabricação sustentável de produtos de TIC aborda os estágios iniciais de seu ciclo de vida. Aqui, os principais objetivos são reduzir o consumo de energia e água,

as emissões e os resíduos durante a fabricação do produto; além de melhorar a durabilidade e a resistência à temperatura do produto, ou seja, servidores que podem suportar altas temperaturas de operação (Fatima e Ehsan 2023).

Os recursos de energia renovável (hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica ou uma combinação de ambas) para alimentar os centros de dados também reduzem a intensidade de carbono e a pegada hídrica de sua operação. As cargas de trabalho dos centros de dados podem "migrar entre os centros de dados para se alinharem com a parte da rede em que o fornecimento de eletricidade renovável excede a demanda instantânea" (*Md Abu Bakar Siddik et al.* 2021), uma medida que pode ser complementada por baterias suficientes que podem assumir a carga dos servidores na ausência de recursos de energia renovável (Fatima e Ehsan 2023). *Acun et al.* (2022). *Acun et al.* (2022) proporcionam uma estrutura para permitir a operação dos centros de dados com energia renovável 24 horas por dia, sete dias por semana. Quanto à energia nuclear, embora reduza a pegada de carbono, a radiação dos raios radioativos representa um risco para a saúde humana (*Bhattacharya e Qin* 2020).

Em segundo lugar, a introdução de melhorias tecnológicas poderia proporcionar maior eficiência de recursos; por exemplo, tecnologias de resfriamento líquido direto, *racks* ou salas (Mytton 2021). A análise de *Zhu et al.* (2023) observou que "o consumo de energia dos centros de dados pode ser reduzido em 20-40% e 15-27% por meio da otimização dos equipamentos de informática e de melhorias na tecnologia de resfriamento, respectivamente". Outra abordagem tecnológica é a recuperação de calor residual, uma das formas mais promissoras e validadas de reutilização de energia em centros de dados (*Yuan et al.* 2023; *Güğül et al.* 2023; *Wahlroos et al.* 2018). Embora ainda existam grandes desafios para essa tecnologia nos centros de dados, como a baixa temperatura do calor residual devido à temperatura operacional limitada dos equipamentos de informática, há muita documentação sobre a implementação bem-sucedida e as práticas recomendadas globais (por exemplo, a compilação da rede alemã *Bytes2Heat4*).

Uma abordagem que vem ganhando força recentemente é a localização de centros de dados em climas mais frios.

4 https://bytes2heat.de/bestpractices

Isso permitiria o “resfriamento livre”, que sugere o uso de baixas temperaturas que ocorrem naturalmente para reduzir o consumo de energia e água dos sistemas de resfriamento, bem como o consumo indireto de água da produção de eletricidade (*González Monserrate* 2022; *Md Abu Bakar Siddik et al. 2021*). Embora a prioridade deva ser dada ao resfriamento livre, quando a água de resfriamento for necessária, a maioria das captações deveria ser de água reciclada e não potável.

Com relação ao lixo eletrônico, é importante estabelecer políticas para a reutilização, reforma e reciclagem adequadas de equipamentos de informática obsoletos ou danificados. Uma abordagem é o “passaporte de materiais”, projetado para manter o registro do histórico das unidades e tornar sua reutilização mais viável (González Monserrate 2022). Além disso, a introdução do sistema de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) para equipamentos dos centros de dados forçaria os fabricantes de servidores, de sistemas de armazenamento e de equipamentos de rede a estabelecer sistemas de coleta para seus produtos, o que promoveria ainda mais a economia circular (*Veau et al.* 2023).

Por fim, a definição, medição e divulgação de métricas ambientais é outra etapa crucial que precisa ser adotada por vários motivos, como tomada de decisões informada, *benchmarking*, gerenciamento de riscos e maior transparência. Mytton (2021) generaliza que todo o setor dos centros de dados sofre com a falta de transparência, pois os principais fornecedores, Google e *Microsoft*, informam sobre sua gestão ambiental, mas mantêm em segredo sua gestão de recursos. A *Amazon Web Services* nem mesmo informa sobre o consumo de energia de seu centro de dados. ■

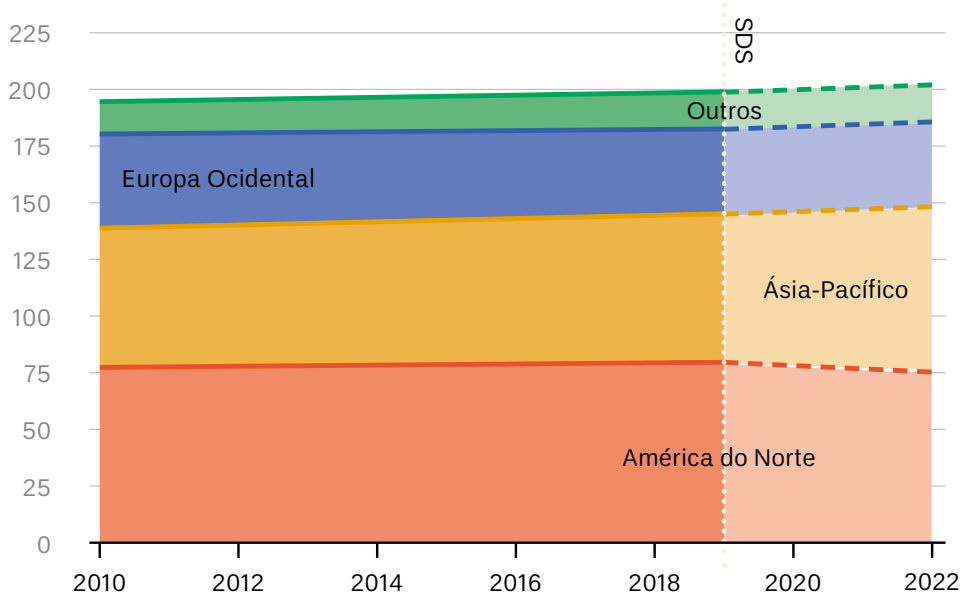
© Oeko-Institute

4 A AMÉRICA LATINA NO CENÁRIO GLOBAL DE CENTROS DE DADOS

O mercado de desenvolvimento de infraestrutura de centro de dados na América Latina foi avaliado em US$ 1,36 bilhão em 2023 e deverá atingir US$ 2,32 bilhões e uma capacidade de 311 MW em 2029, tornando a região um mercado de crescimento significativo (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024a). A região já tem uma participação significativa das grandes empresas, como *Google, Amazon Web Services, Microsoft, Oracle* e *IBM Cloud*; no entanto, empresas locais também estão expandindo seus centros de dados na região (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024a).

Embora se espere que o consumo de energia dos centros de dados na América Latina continue a aumentar, ele permanece relativamente baixo em comparação com outras regiões, conforme ilustrado na Figura 4-1, onde a América Latina aparece apenas na categoria “Outros”, com uma demanda de energia inferior a 5 TWh por ano durante todo o período entre 2010 e 2022.

Figura 4-1: Demanda global de energia dos centros de dados por região (2010-2022)



Fonte: IEA 2020

Determinar o número exato, a potência ou o consumo de energia dos centros de dados na América Latina é um desafio devido à natureza dinâmica do setor e à falta de dados abrangentes. O diretório do *Data Center Map* lista 458 centros de dados registrados na América Latina e no Caribe:

350 na América do Sul, 62 na América Central e nos países do Caribe. Para o México, a *Cloudscene* (2024) informa um total de 170 centros de dados, dos quais apenas 55 aparecem no *Data Center Map*.

A Tabela 4-1 apresenta os países da região com o maior número de centros de dados em operação, mostrando que o Brasil e o México lideram o mercado, seguidos pelo Chile e pela Colômbia. Deve-se observar que esses números podem variar dependendo das diferentes definições do que constitui um centro de dados; as pequenas instalações de TI (<100 kW) geralmente não são contabilizadas nas estatísticas.

Tabela 4-1: Países da América Latina com o maior número de centros de dados

País	Número de centros de dados
Brasil	181
México	170
Chile	61
Colômbia	38
Argentina	31

Fonte: *The World Ranking* 2025, *Cloudscene* 2024, *Data Center Map* 2025

Embora as estatísticas de consumo de energia ou potência descrevessem melhor o mercado, uma vez que os centros de dados variam muito em tamanho, não foram encontradas informações disponíveis publicamente para os países da América Latina. No entanto, um estudo de mercado indica que o Brasil domina o mercado de centros de dados da região, com quase 45% da capacidade total de energia. Quase 70% da capacidade existente está concentrada no Brasil e no México (*Market and Research* 2025). Outra fonte indica que a capacidade total do Chile é equivalente a 50% da capacidade do México (*DC Byte* 2024a).

Brasil

No mercado latino-americano de centros de dados, o Brasil é o líder regional, registrando um crescimento de 628% no período de 2013 a 2023 e respondendo por 40% dos investimentos na região (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024a; DCD 2024). Entre os desenvolvimentos mais recentes no país, o Brasil está liderando as implantações da tecnologia 5G, o que impulsionará a implantação de vários centros de dados em todo o país (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024b)

México

O México tem o segundo maior mercado da América Latina em termos de metros quadrados e potencial energético em centros de dados (DCD 2023b). No país, Querétaro responde por 65% da capacidade instalada e se tornou o epicentro regional do investimento em centros de dados, com foco em instalações de hiperescala. De acordo com uma análise do mercado mexicano de centros de dados feita pela *Data Center Dynamics* (2023b), espera-se que a infraestrutura de centros de dados no México cresça muito. Isso aumentará a capacidade instalada de 81 MW para mais de 500 MW em colocação e adicionará mais de 1 GW em hiperescala.

Vinte e dois projetos de investimento foram anunciados recentemente, doze deles já em construção. A maioria desses projetos está concentrada em Querétaro e está associada a gigantes como a *Microsoft* e a *Amazon*.

Chile

O mercado de centros de dados de Santiago se beneficia de sua conexão com vários cabos submarinos através de Valparaíso, incluindo o projeto de cabo Humboldt de US$ 400 milhões, uma parceria público-privada com a Google, que ligará o Chile a Sydney em 2026 (Qiu 2024). Esse mercado diversificado, que inclui fornecedores de serviços ao varejo, hiperescala e nuvem pública, cria um forte ecossistema no país, apesar de seu pequeno tamanho e população. Com uma taxa de vacância recorde de 1,1%, a demanda por hiperescaladores e provedores de nuvem pública está aumentando, especialmente porque novas conexões, como a da Austrália, devem aumentar a demanda do mercado (CBRE 2024). Além disso, a Microsoft está desenvolvendo uma nova região de centro de dados no Chile (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024b).

Colômbia

Na Colômbia, as receitas do setor de centros de dados chegaram a aproximadamente US$ 37,6 milhões em 2022, com um crescimento anual de 13% (*ProColombia* 2025). No país, o mercado de centros de dados de Bogotá cresceu significativamente no ano passado, aproximando-se do tamanho do mercado de Querétaro (CBRE 2024). Os hiperescaladores expandiram sua presença regional, enquanto os recém-chegados entraram no mercado adquirindo edifícios com infraestrutura básica nas principais zonas de livre comércio, que oferecem vantagens fiscais e localizações privilegiadas próximas às principais rodovias e corredores industriais. O mercado também conta com a energia verde; o país multiplicará em 50 vezes sua capacidade instalada de geração de energia a partir de fontes alternativas, passando de 50 MW em 2018 para 2.500 MW em 2022, com a expectativa de constituir 25% da matriz energética da Colômbia até 2050 (*ProColombia* 2025).

Os desafios técnicos atuais incluem a distância entre algumas zonas de livre comércio e o centro da cidade, a conectividade de fibra limitada, as limitações de transmissão (ou seja, as limitações da infraestrutura que transporta a eletricidade das usinas de energia para os usuários finais ou redes de distribuição) e a necessidade de estabelecer uma infraestrutura de energia robusta para projetos de hiperescala, o que poderia atrasar o prazo de construção dos centros de dados (CBRE 2024).

Outros países

Os países menores da região também fizeram alguns progressos significativos em termos de infraestrutura de centros de dados. O Equador opera seis centros de dados (quatro em Quito, um em Manta e um em Guayaquil), de acordo com uma avaliação do Banco Mundial (2023b). Enquanto isso, de acordo com o *Data Center Map*, a Costa Rica tem dez centros de dados em operação. Entre eles, os três centros de dados da Codisa[5] se destacam por seu grande número de certificações internacionais, incluindo PCI DSS (Certificação de Segurança de Dados), LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental), DCOS (Padrão Operacional de Centro de Dados), ISO 5001 (Sistema de gestão energética certificado), entre outras.

5 https://www.codisa.com/soluciones

De modo geral, o setor de centros de dados na América Latina passou por um crescimento e uma transformação significativos nos últimos anos. O aumento da demanda por serviços digitais levou a um aumento nos investimentos em centros de dados em toda a região, resultando em um influxo de vários projetos anunciados ou já em desenvolvimento (DCD 2023a). Além disso, as leis de localização de dados no Brasil, México e Colômbia também estão contribuindo para esse crescimento (*Arizton Advisory & Intelligence* 2024a). Os principais participantes globais, como Google, *Amazon* e *Microsoft*, expandiram sua presença na região, enquanto as empresas regionais fortaleceram sua infraestrutura para atender às demandas locais. Com investimentos contínuos, inovação e um ecossistema digital em crescimento, a região está pronta para se tornar um importante centro de armazenamento e processamento de dados no mercado global.

A crescente relevância do setor na região da América Latina também se reflete na criação de várias associações de centros de dados, que reúnem empresas e outras partes interessadas envolvidas no setor de centros de dados, além de oferecer uma plataforma para *networking* e colaboração. A Associação Mexicana de Centros de Dados (MEXDC)[6] e a Associação Brasileira de Centros de Dados (ABDC)[7] têm como foco promover as melhores práticas na operação, no projeto e no gerenciamento de centros de dados e de sua infraestrutura, apoiando a pesquisa e a inovação, defendendo seus membros em questões regulatórias e fomentando alianças estratégicas para a troca de conhecimento. Eles também visam criar ou apoiar parcerias educacionais para lidar com a crescente demanda por treinamento especializado no setor.

Em conclusão, é importante observar que os impactos ambientais desse setor mencionados acima (consulte o Capítulo 3), especialmente em termos de consumo de energia e água, são exacerbados no contexto latino-americano devido aos desafios de infraestrutura e recursos existentes na região. Muitos centros de dados da região dependem de eletricidade de fontes não renováveis, o que representa um ônus adicional para algumas redes de energia que já estão sobrecarregadas.

6 https://asmexdc.com/

7 https://datacenter.org.br/

Além disso, o uso generalizado de sistemas de resfriamento com uso intensivo de água agrava a crise hídrica em áreas onde prevalecem as secas e a escassez de água. Como essas instalações estão se expandindo rapidamente para atender à crescente demanda, é preciso dar atenção urgente a essas questões.

4.1 Contratação pública de centros de dados na América Latina

Conforme mencionado acima (consulte 2.2.2), os serviços governamentais digitais estão vinculados à contratação pública de centros de dados, à medida que os países modernizam suas infraestruturas para dar suporte à crescente demanda por digitalização. Vários países latino-americanos estão implementando plataformas digitais para tornar seus serviços mais acessíveis e eficientes para os cidadãos, uma transição que não apenas melhora a prestação de serviços, mas também promove maior transparência, reduzindo a burocracia e permitindo respostas mais rápidas às necessidades públicas.

A maioria dos governos da América Latina lançou iniciativas de governo eletrônico, geralmente como parte de uma estratégia nacional, que permite que os cidadãos interajam com as instituições públicas *on-line*, reduzindo o tempo de espera e a burocracia (OCDE; CAF 2024). Além disso, projetos de cidades inteligentes[8], que usam ferramentas digitais para otimizar o gerenciamento de tráfego, a coleta de lixo e o uso de energia, estão surgindo nos principais centros urbanos *(Instituto de las Américas* 2024).

Por exemplo, a Colômbia desfruta de uma infraestrutura digital internacional bem desenvolvida em proporção à sua população, nível de renda e localização estratégica. Essa infraestrutura possibilitou o crescimento de mercados vibrantes de centro de dados e nuvem, que são essenciais para a adoção generalizada de tecnologias digitais no setor público (Banco Mundial 2023a). Outros países, como o Equador, acabaram de iniciar seus esforços de digitalização. A Agenda de Transformação Digital 2022-2025 do governo equatoriano não foi um primeiro passo fundamental para permitir que o setor público desempenhasse um papel central para a transformação digital da economia,

8 Uma área urbana que usa tecnologia digital, análise de dados e conectividade de rede para melhorar a qualidade de vida de seus residentes.

como um dos principais usuários de tecnologias digitais para fornecer produtos e serviços e como um regulador de funções e atividades relacionadas à economia digital (Banco Mundial 2023b).

À medida que a região continua a evoluir em sua adoção digital, os processos de compras públicas também estão se adaptando para priorizar produtos como centros de dados, que são cada vez mais identificados como produtos-chave para intervenções de rotulagem ambiental (EE) e aquisições públicas sustentáveis (CPS) devido ao seu potencial significativo de economia de energia e aos benefícios climáticos associados, conforme discutido em seções anteriores (*Gröger y Behrens* 2023; *PrimeEnergyIT* 2012). Infelizmente, há poucos dados disponíveis sobre os gastos públicos com centros de dados ou serviços relacionados nos países da América Latina. Os dados atualmente disponíveis nos sistemas nacionais de aquisições públicas não são comparáveis nem conclusivos, pois a categorização dos serviços relacionados à digitalização pode variar de país para país. Para que seja possível comparar o valor ou o número de contratos em compras públicas, é necessária uma categorização mais específica desses produtos e serviços. Portanto, este estudo omite a menção a esses números.

5 MELHORAMENTO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E AMBIENTAL DOS CENTROS DE DADOS

Este capítulo explora o papel das políticas, rotulagem ambiental e CPS na melhoria do desempenho energético dos centros de dados. As políticas de eficiência energética desempenham um papel fundamental na abordagem do impacto ambiental dos centros de dados, estabelecendo estruturas que incentivam a adoção de tecnologias e práticas destinadas a reduzir o consumo de energia.

Desde os fundamentos das políticas de eficiência energética, a rotulagem ambiental e as CPS são baseadas em critérios ambientais claros, verificáveis e ambiciosos para produtos e serviços, com base no conceito de ciclo de vida e em uma base de evidências científicas, e visam os melhores produtos e tecnologias disponíveis no mercado. Além disso, os rótulos ambientais desempenham um papel fundamental na transformação dos mercados em direção a uma maior sustentabilidade quando integrados a uma estrutura mais ampla de política de produtos que forneça a estrutura e a orientação necessárias para mudanças sistêmicas nos padrões de produção e consumo.

Quando a rotulagem ambiental é combinada com padrões ambientais mínimos obrigatórios e com as CPS, cria-se um efeito sinérgico que impulsiona a inovação, incentiva o desenvolvimento de tecnologias mais ecológicas e promove um mercado competitivo para produtos sustentáveis (*Prakash et al.* 2021).

5.1 Políticas de eficiência energética

As políticas de eficiência energética são projetadas para promover o uso eficiente da energia e podem ser obrigatórias (por exemplo, leis, regulamentos) ou voluntárias (por exemplo, códigos de conduta, acordos, convênios). Essas políticas também podem definir padrões, diretrizes e incentivos para encorajar empresas, indústrias e indivíduos a adotar práticas e tecnologias eficientes em termos de energia.

Vários países já implementaram políticas de eficiência energética, como mostra a Tabela 5-1 (*Brocklenhurst* 2024). A maioria delas foi adotada recentemente, principalmente a partir de 2020, e algumas delas são apoiadas por sistemas nacionais ou supranacionais de rotulagem ou certificação (consulte 5.2).

Tabela 5-1: Países com políticas de eficiência energética

Categoria de política	Descrição	Países de adoção
Esquemas de licenças governamentais	O desenvolvimento de centros de dados em larga escala requer aprovação do governo central	China Singapura
Obrigações mínimas de eficiência energética	Exigências para que grandes organizações consumidoras de energia ou proprietários/locatários de grandes edifícios reduzam o consumo de energia e/ou cumpram metas específicas, incluindo centros de dados.	China França Alemanha Japão Países Baixos
Políticas de consolidação dos centros de dados e de prioridade à nuvem	Políticas para incentivar a mudança da computação pública para a nuvem	Canadá França Singapura Reino Unido
Políticas de contratação do setor público	Políticas de recrutamento obrigatórias ou voluntárias para centros de dados (consulte 5.3)	Austrália UE Alemanha Países Baixos Estados Unidos (Califórnia)
Sistemas de incentivo	Incentivos para um bom desempenho ambiental (por exemplo, benefícios econômicos diretos, como descontos no imposto sobre o carbono).	UE França Reino Unido
Acordos voluntários	No *Climate Neutral Data Center Pact*[1], os signatários se comprometem a tornar os centros de dados neutros para o clima até 2030. No código de conduta da UE para eficiência energética de centro de dados[2], espera-se que os signatários cumpram uma série de compromissos acordados.	UE

Fonte: *Brocklenhurst* 2024

1 https://www.climateneutraldatacenter.net/

2 https://e3p.jrc.ec.europa.eu/communities/data-centers-code-conduct

Além disso, as políticas de informações sobre energia podem servir como complemento ou precursor das políticas de eficiência energética, ajudando a informar e orientar futuras regulamentações, fornecendo dados essenciais para o desenvolvimento de estratégias específicas e eficazes. Até o momento, foram implementados dois tipos de políticas que obrigam os centros de dados a informar sobre o uso de energia: 1) obrigações gerais para grandes usuários de energia, incluindo centros de dados, que estão em vigor há mais de uma década, e, mais recentemente, 2) obrigações específicas para que os centros de dados coletem informações para melhorar as políticas de eficiência energética, com alguns dados publicados para incentivar as organizações a melhorar a competitividade e a sustentabilidade (*Brocklenhurst* 2024).

Com relação ao primeiro tipo, duas políticas de informações sobre energia de edifícios foram ampliadas na França e no Japão para incluir centros de dados. Em contrapartida, a UE e a Alemanha implementaram obrigações específicas voltadas para os centros de dados por meio da Lei de Eficiência Energética da Alemanha e da Diretiva de Eficiência Energética (DEE) da União Europeia.

Lei alemã de eficiência energética

A Lei de Eficiência Energética da Alemanha, publicada em 2023, introduz requisitos mínimos de eficiência energética, bem como requisitos de calor residual, e introduz medidas obrigatórias de relatório para operadores de centro de dados e TI. Os centros de dados comissionados antes de julho de 2026 devem atingir uma eficácia energética (ou seja, um indicador-chave da eficiência energética da infraestrutura de um centro de dados, consulte 6.1) igual ou inferior a 1,5 até 2027. Em 2030, esse requisito será mais ambicioso (1,3). Os centros de dados que entrarem no mercado depois de julho de 2026 terão que usar pelo menos 10% de sua energia residual para reutilização e apresentar uma eficiência energética de 1,2 ou menos. Esse regulamento inclui exceções para centros de dados durante seus primeiros anos de operação. Além disso, as operadoras de centros de dados devem apresentar relatórios anuais que incluam dados sobre sua parcela de energia renovável e reutilizada, calor residual, quantidade de dados armazenados e processados, eficiência de refrigeração e de eficiência no consumo de água e energia.

Com relação ao uso de fontes de energia renováveis, a lei estipula que os operadores de centros de dados devem cobrir seu consumo médio anual de eletricidade com 50% de fontes renováveis a partir de 2024. Essa porcentagem aumentará para 100% em 2027. Além disso, elas terão que estabelecer sistemas de gerenciamento ambiental e de energia até 2025. A lei afeta os centros de dados com mais de 300 kW de potência de computação não redundante (*Bundesministerium der Justiz* 2023). Aplica os requisitos definidos pela EED.

A Diretiva de Eficiência Energética (DEE) da União Europeia

Os centros de dados foram responsáveis por 2,7% da demanda de eletricidade da UE em 2018. Como resultado, foi considerado necessário implementar medidas para lidar com a pegada ambiental dos centros de dados. A Diretiva de Eficiência Energética (DEE) da UE tem como objetivo obrigar os Estados-Membros a exigir que os centros de dados em suas jurisdições relatem e divulguem informações específicas à Comissão Europeia. Essas informações incluem área, potência instalada, tráfego anual de dados de entrada e saída e o volume de dados armazenados e processados. Além disso, para avaliar sua sustentabilidade, os centros de dados também devem divulgar informações sobre eficiência energética, uso de energia renovável, recuperação de calor residual, eficiência de resfriamento, consumo de água doce e emissões de carbono.

Ao aumentar a transparência sobre o desempenho dos centros de dados, a UE pretende promover melhorias na eficiência energética e na sustentabilidade do setor. Além disso, a DEE incentiva auditorias de energia e a adoção de medidas para reduzir o consumo total de energia. Os centros de dados com uma demanda de potência de computação instalada inferior a 1 MW estão isentos dos requisitos da DEE (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia 13/9/2023).

5.2 Esquemas de rotulagem ambiental e de certificação

Atualmente, existem dois rótulos ambientais Tipo I para centros de dados: **O Anjo Azul (DE-UZ 228) e o Rótulo Ambiental Austríaco** (mais informações no Capítulo 6). Outros tipos de sistemas de certificação que incluem centros de dados concentram seus critérios na eficiência energética e no desempenho superior de sustentabilidade. Os exemplos incluem:

➔ **O Sistema Nacional de Classificação do Ambiente Construído da Austrália (*National Australian Built Environment Rating System*, NABERS)**, um sistema de classificação baseado em estrelas sobre a eficiência energética operacional e o impacto ambiental dos edifícios na Austrália, inclui uma categoria de centro de dados. A NABERS relata uma economia média de custos de energia de mais de US$ 2 milhões por ano ao passar de três para cinco estrelas; ela também oferece uma certificação de *Climate Active Carbon Neutral* para aqueles com uma classificação de quatro estrelas ou mais que usam compensações de carbono.

➔ **A Marca Verde BCA-IDA de Singapura** para centros de dados está em desenvolvimento em conjunto pela Autoridade de Construção e Edificação (*Building and Construction Authority*) (BCA) e pela Autoridade de Desenvolvimento de Mídia *Infocomm* (*Infocomm Media Development Authority*) (IMDA), é também um sistema de classificação (*Gold, GoldPLUS, Platinum*) que compara o desempenho dos centros de dados em relação a limites definidos. Além da eficiência energética, a Marca Verde também leva em conta o projeto e a construção.

➔ **O sistema de classificação de centro de dados Energy Star** dos EUA pontua os candidatos com base no valor médio de uma amostra coletada periodicamente, e aqueles com pontuação igual ou superior a 75 recebem a certificação (*Brocklenhurst* 2024). Como esse rótulo se concentra exclusivamente na eficiência energética, ele é classificado como um rótulo do Tipo 3. Atualmente, há 290 centros de dados certificados pela Energy Star (Energy Star 2025).

O rótulo ambiental alemão Anjo Azul para centros de dados (DE-UZ 228)

A certificação Anjo Azul define requisitos para que os centros de dados sejam eficientes em termos de energia e economizem recursos, além de estabelecer critérios para monitorar o fornecimento de energia, o resfriamento e o desempenho da informática, a fim de identificar áreas para otimização e promover operações mais eficientes. Para obter o Anjo Azul, os operadores de centro de dados devem atender a padrões mínimos, verificados por um auditor independente aprovado pela Agência Ambiental Alemã.

A certificação é concedida a centros de dados que usam o equipamento técnico em seus edifícios de forma eficiente em termos de energia e conservação de recursos, desenvolvem e implementam uma estratégia de longo prazo para melhorar a eficiência energética e de recursos, permitem que os clientes tomem medidas de economia de energia e fornecem padrões mínimos garantidos e relatórios transparentes (*Blue Angel* 2023).

A seguir, exemplos de centros de dados que foram certificados com o Anjo Azul (DE-UZ 228):

➔ O centro de dados PBIT *Systeme* de Brandemburgo foi construído de acordo com critérios ambientais e projetado de acordo com a norma europeia EN 50600 com classe de disponibilidade 3. Além de fatores de segurança importantes no monitoramento, acesso e proteção contra incêndio, é utilizado um sistema de resfriamento climaticamente neutro para a tecnologia de servidores e um sistema de geração de energia solar para garantir que as operações sejam sustentáveis e conservem recursos (*Blue Angel* 2025).

➔ O Green IT Cube é um centro de dados inovador e com eficiência energética localizado no Centro *Helmholtz* de Pesquisa de Íons Pesados (GSI) em *Würzburg*. Atualmente em sua primeira fase, o centro de dados tem refrigeração a água nos *racks de servidores*, que é altamente eficiente, usando menos de 7% da energia elétrica do equipamento de informática. A instalação tem capacidade para 128 *racks* por andar e acomodará 786 quando for totalmente expandida. Seu projeto de armazém em arranha-céus permite a passagem de cabos curtos, e o calor residual gerado é reutilizado para aquecer os prédios de escritórios e refeitórios próximos, aumentando sua sustentabilidade (*Blue Angel* 2025).

5.3 Contratação pública sustentável

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), por meio de sua iniciativa *United 4 Efficiency* (U4E)[9], desenvolveu recentemente as Diretrizes de Aquisição Sustentável para Centros de Dados e Servidores informáticos, que fornecem recomendações sobre vários critérios-chave de desempenho e condições operacionais relevantes para sua seleção. Essas diretrizes se baseiam nas melhores práticas internacionais e em padrões globais estabelecidos (por exemplo, Código de Conduta da UE, Energy Star, ISO/IEC 30134, entre outros). Elas foram desenvolvidas por meio de uma abordagem colaborativa com prestadores de serviços e os principais participantes do setor e visam facilitar a preparação de documentos de licitação emitidos por instituições públicas para servidores e produtos de armazenamento de dados (Lafitte 2025).

Além disso, várias políticas de aquisições públicas para centros de dados foram implementadas, algumas obrigatórias, como na Austrália, e outras voluntárias, como as da União Europeia.

Abaixo estão alguns exemplos ilustrativos de critérios e diretrizes de CPS para centros de dados em nível regional, nacional e subnacional.

Diretrizes sobre aquisições públicas ecológicas na União Europeia

Os critérios de aquisições públicas ecológicas da União Europeia (2020) para centros de dados, salas de servidores e serviços em nuvem são voluntários, embora a DEE obrigue as autoridades a se esforçarem para adquirir apenas produtos e serviços que atendam, no mínimo, às especificações técnicas ”básicas” estabelecidas nesses critérios. As especificações técnicas relacionadas à energia incluem a eficiência do estado ativo do servidor, a faixa de operação de TIC para resfriamento do ar (temperatura e umidade) e a exigência de que as instalações de controle ambiental estejam em conformidade com os padrões e as recomendações da norma EN 50600-2-3[10]. Cada modelo de servidor no centro de dados deve atender ou exceder os limites mínimos de eficiência no estado ativo de acordo com a norma EN 303470[11].

9 https://united4efficiency.org/

10 Norma europeia: Tecnologia da informação - Instalações e infraestruturas de centros de dados - Parte 2-3: Monitoramento ambiental

11 Norma europeia: Engenharia Ambiental (EE) - Metodologia de medição de eficiência energética e métricas para servidores

Programa de Eficiência de Recursos III na Alemanha

O Programa de Eficiência de Recursos III da Alemanha, concluído em 2023, era uma política de contratação voluntária que se aplicava a todas as aquisições de TI do governo federal. O objetivo do programa era que os centros de dados do governo alemão atendessem aos critérios do Anjo Azul para centros de dados. Esse objetivo foi incluído na medida 111 do Programa Alemão de Eficiência de Recursos III (2020-2023).

Regulamento administrativo geral para a contratação de produtos e serviços favoráveis ao clima (AVV *Klima*) na Alemanha

A AVV *Klima* é uma regulamentação administrativa geral implementada pelo governo federal alemão para promover práticas de aquisição favoráveis ao clima em órgãos federais. Em vigor a partir de 2022, ela substitui a diretriz anterior que se concentra em aquisições eficientes do ponto de vista de uma perspectiva energética (AVV *EnEff*) e estende seu escopo para abranger medidas mais amplas de proteção climática (UBA 2021).

Embora o AVV *Klima* não mencione explicitamente os centros de dados, seus princípios e requisitos gerais são aplicáveis a todas as atividades de aquisição, incluindo aquelas relacionadas a centros de dados. Cabe destacar que o parágrafo 4, que exige que as descrições do contrato façam referência a rótulos de qualidade existentes, como o rótulo ecológico Anjo Azul (consulte 5.2).

Política de eficiência do uso de recursos em New South Wales (Austrália)

A Política de Operações Governamentais Net Zero de Nova Gales do Sul (*New South Wales Net Zero Government Operations Policy*) é uma política obrigatória que regulamenta as atividades governamentais comuns que têm emissões significativas de GEE; isso inclui centros de dados de propriedade ou alugados por agências governamentais (*NSW Government* 2025). Essa política usa a classificação NABERS para centros de dados como uma métrica (consulte 5.2), definindo um nível que exige uma classificação de infraestrutura e equipamento de informática de NABERS de pelo menos 4,5 estrelas.

Plano de Ação para Edifícios Verdes da Califórnia (Estados Unidos)

O Plano de Construção Verde da Califórnia (*California Green Building Action Plan*) (2014) inclui regras de aquisição e padrões mínimos de eficiência energética para centros de dados estatais e alugados (*Brocklenhurst* 2024). Esses requisitos específicos dos centros de dados são adicionais aos padrões de construção mais amplos, que incluem a obrigatoriedade de que os novos edifícios estatais e as grandes reformas sejam construídos como instalações de energia líquida zero a partir de 2025.

5.4 Outras medidas

5.4.1 Contratos de desempenho energético

Além dos instrumentos descritos neste capítulo, há outras medidas financeiras que também podem ser usadas para promover a eficiência energética em centros de dados sem implicar explicitamente em critérios de sustentabilidade. O mais relevante é o Contrato de Desempenho Energético (EPC), um tipo inovador de financiamento que permite que as melhorias de energia sejam financiadas por meio da economia gerada pela redução dos custos de energia (JRC 2025).

Em um contrato EPC, uma entidade externa ou empresa de serviços de energia executa um projeto para melhorar a eficiência energética ou implementar soluções de energia renovável e, em seguida, usa as economias ou receitas resultantes para pagar os custos do projeto, inclusive o investimento inicial. Essencialmente, essa entidade externa só é paga se o projeto atingir a economia de energia esperada (CCI 2025).

No EPC para centros de dados, o potencial para melhorar a eficiência energética está no projeto, na implementação e no financiamento de medidas como a melhoria dos sistemas de resfriamento ou a otimização da utilização dos servidores, garantindo uma redução no consumo de energia em um determinado período.

5.4.2 Regulamento de taxonomia da UE

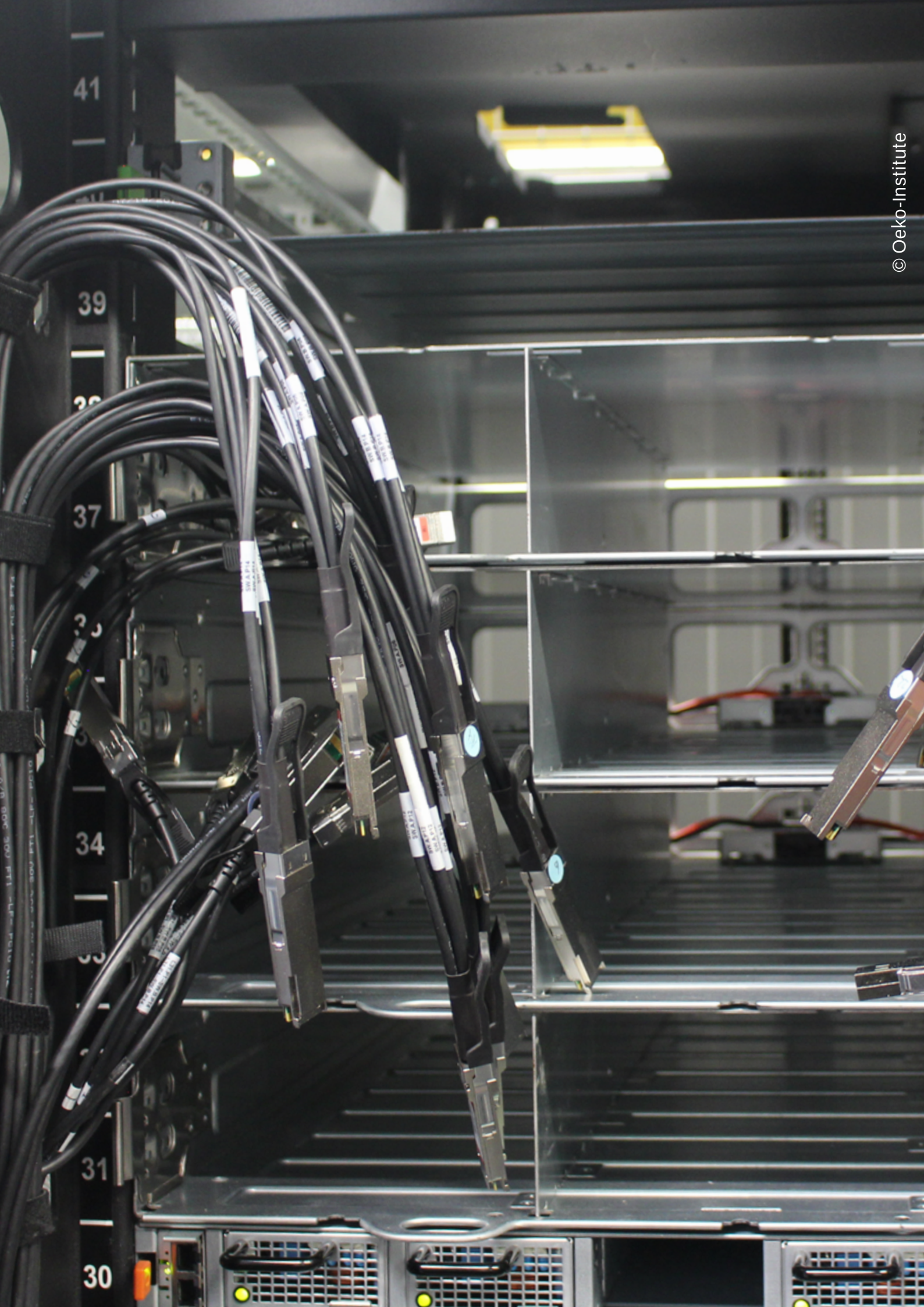
Existem outras medidas regulatórias além das políticas de eficiência energética que podem contribuir para melhorar o desempenho energético do setor de centros de dados. O Regulamento de Taxonomia da UE estabelece um sistema de classificação que define critérios para atividades econômicas que contribuem para os objetivos climáticos e ambientais da UE. Embora não imponha requisitos obrigatórios de desempenho ambiental, fornece uma estrutura comum para identificar ações sustentáveis.

A taxonomia é implementada por meio de atos delegados, que especificam critérios de seleção técnica para vários objetivos ambientais. O ato delegado sobre clima na Taxonomia da UE concentra-se na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, garantindo que as atividades não prejudiquem significativamente outros objetivos ambientais (Bertoldi 2023).

No caso dos centros de dados, o Artigo 8.1 da Lei Delegada sobre o Clima estabelece critérios para avaliar sua contribuição para a mitigação da mudança climática. Isso inclui a conformidade auditada com o Código de Conduta para eficiência energética em centros de dados (consulte 5.1) como um requisito fundamental (Bertoldi 2023).

5.4.3 Requisitos de design ecológico para servidores e produtos de armazenamento de dados

Desde 2019, os requisitos de design ecológico da UE para servidores e produtos de armazenamento de dados (UE 2019/424) visam limitar seu impacto ambiental "com um conjunto de padrões de eficiência energética, como a eficiência mínima das unidades de fornecimento de energia e a eficiência mínima do servidor em estado ativo, consumo máximo em estado ocioso e informações sobre a temperatura de operação do produto" (Comissão Europeia 2025). Espera-se que essa regulamentação resulte em uma economia de 3 TWh de eletricidade para os Estados-Membros da UE até 2030, uma economia de 4%. Essa economia representa 0,13% do consumo total de eletricidade da UE em 2020 e é maior do que o consumo da Malásia (Comissão Europeia 2025). ■



© Oeko-Institute

6 CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA CENTROS DE DADOS EFICIENTES EM TERMOS DE RECURSOS

Este capítulo examina os principais critérios de operação e otimização de centros de dados visando obter maior eficiência, reduzir custos e contribuir para os esforços de sustentabilidade. Esses critérios são derivados dos instrumentos apresentados no capítulo anterior, em particular EE e CPS, que definem as diretrizes de sustentabilidade que essas instalações devem cumprir para garantir seu desempenho ambiental.

Os critérios de sustentabilidade estão intimamente relacionados às métricas ambientais, pois fornecem os padrões e as metas específicos em relação aos quais o desempenho ambiental é medido e avaliado. Uma ampla gama de métricas pode ser usada para avaliar os principais indicadores de desempenho (KPIs) dos centros de dados (*Reddy et al.* 2017).

A Tabela 6-1 mostra um resumo dos cinco critérios de sustentabilidade que os critérios de CPS e EE para centros de dados eficientes em termos de recursos buscam abordar, os KPIs selecionados para medi-los e suas definições de acordo com a norma europeia para infraestruturas de centros de dados (EN 50600).

É importante distinguir entre a operação da tecnologia do edifício (sistemas de resfriamento, fornecimento de energia, tecnologia de segurança) e a operação da infraestrutura informática (servidores, sistemas de armazenamento, tecnologia de rede) (*Gröger* e *Behrens* 2023). Enquanto os quatro primeiros critérios se referem à eficiência da tecnologia do edifício, a taxa de utilização dos servidores se refere à eficiência da infraestrutura informática.

Tabela 6-1: Critérios de sustentabilidade e KPIs para centros de dados eficientes em termos de recursos

Critério	KPI	Definição
Gerenciamento de energia	Eficiência no uso de energia (PUE)	Relação entre o consumo de energia de todo o centro de dados e o consumo de energia do TI em um ano
	Fator de reutilização de energia (ERF)	Proporção da energia descarregada destinada a um uso posterior razoável, por exemplo, na forma de recuperação de calor residual.
Eficiência de resfriamento	índice de eficiência de resfriamento (CER)	Razão entre a energia de resfriamento produzida e a energia usada pelos aparelhos em um ano
Consumo de água	Eficiência no uso da água (WUE)	Relação entre a quantidade de água consumida e o consumo de energia do TI em um ano
Energias renováveis	Fator de energia renovável (REF)	Porcentagem de energias renováveis no consumo total de energia do centro de dados
Índice de utilização dos servidores	Uso de equipamentos de informática para servidores (ITEUsv)*.	Medida da utilização média de todos os servidores ativos em um centro de dados durante um ano.

* Conforme definido na norma ISO/IEC 30134-5

Fonte: *Gröger* e *Behrens* 2023

Outros aspectos a serem considerados (consulte 6.6) incluem refrigerantes usados para refrigeração, emissões de carbono e gerenciamento do fim da vida útil, entre outros.

Além dos critérios dos esquemas de EE existentes (*Blue Angel* 2023; *Österreichisches Umweltzeichen* 2023) e CPS (Comissão Europeia 2020), as Diretrizes de Contratação Sustentável do PNUMA para centros de dados e servidores de equipamentos de informática[12] devem ser publicadas ainda este ano.

Cada um dos critérios de sustentabilidade mais relevantes para centros de dados eficientes é descrito em mais detalhes nas seções a seguir.

12 https://united4efficiency.org/resources/sustainable-procurement-guidelines-for-data-centers-and--computer-servers/

6.1 Gestão da energia

Para avaliar e melhorar efetivamente o desempenho energético dos centros de dados, a métrica de eficiência energética mais comumente usada é a **Eficiência no uso de energia (PUE, *Power Usage Effectiveness*)**, definida como uma unidade que mede o consumo de energia de um centro de dados. A PUE é definida de acordo com a norma EN 50600-4-2 como:

$$PUE = \frac{\textit{Consumo de energia total do centro de dados (em kWh)}}{\textit{Consumo de energia anual dos equipamentos de TI (em kWh)}}$$

O PUE ideal é 1,0, ou seja, 100% de eficiência. No entanto, isso é impossível de ser alcançado. Desde aproximadamente 2020, a PUE geral permaneceu quase estática (entre 1,55 e 1,59). Essa falta de melhoria se deve principalmente a plantas herdadas mais antigas e menos eficientes. Em 2023, a média global do PUE foi de 1,58 (Davis 2024).

A Tabela 6-2 mostra os requisitos mínimos de PUE definidos pelo Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) e pela Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) para centros de dados (2023). Estão isentos desses requisitos os centros de dados recém-construídos (pois normalmente ainda não estão totalmente operacionais) e os centros de dados comissionados há menos de 15 meses.

Tabela 6-2: Requisitos mínimos de PUE no Anjo Azul e na Rotulagem Ambiental Austríaca para centros de dados

Data de comissionamento do centro de dados	PUE
01/01/2024 ou posterior	PUE ≤ 1,25
Entre 01/01/2019 e 31/12/2023	PUE ≤ 1,30
Entre 01/01/2015 e 31/12/2018	PUE ≤ 1,50
31/12/2014 ou anterior	PUE ≤ 1,60

Fonte: *Blue Angel* 2023; *Österreichisches Umweltzeichen* 2023

Além disso, a Lei de Eficiência Energética da Alemanha (2023) (consulte 5.1) exige que os centros de dados em operação atinjam uma PUE de 1,3 até 2030, enquanto os centros de dados comissionados após julho de 2026 devem ter uma PUE de 1,2 ou menos.

De acordo com o *Uptime Institute* (2024), instalações maiores tendem a ser mais eficientes. Os centros de dados de hiperescala são relativamente novos e usam equipamentos de última geração com projetos de resfriamento mais eficientes e controles otimizados.

Nesse contexto, o investimento no aprimoramento de centros de dados menores geralmente requer investimentos desproporcionalmente grandes para resultar

O Anjo Azul (DE-UZ 228) e a Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) exigem que uma parte do calor residual gerado seja usada pelo operador do centro de dados em suas próprias instalações ou por consumidores

em economias de energia comparativamente grandes.

Além do consumo de energia primária, alguns centros de dados reutilizam sua energia para várias aplicações, criando oportunidades para a utilização de energia secundária. O **fator de reutilização de energia (ERF, *Energy Reuse Factor*)** é outro indicador usado para avaliar o gerenciamento de energia em um centro de dados e é definido de acordo com a norma EN 50600-4-6 como:

$$ERF = \frac{\textit{Energia anual do centro de dados utilizada externamente (em kWh)}}{\textit{Consumo de energia anual do centro de dados (em kWh)}}$$

O valor do ERF varia de 0 (nenhuma energia é reutilizada) a 1 (toda a energia é reutilizada), embora seja fisicamente impossível reutilizar 100% da energia, pois há perdas em qualquer transferência de calor[13] (*Gröger* e *Behrens* 2023).

externos (ou seja, ERF > 0). Os centros de dados com capacidade elétrica de 100 kW ou mais devem ser equipados para transferir o calor residual para fora do local, incluindo as conexões necessárias para esse uso. Se o calor não for reutilizado, o operador deve promover ativamente o uso futuro. Além disso, a operadora deve publicar detalhes sobre os níveis de temperatura e o volume de calor que pode fornecer e permitir que os possíveis consumidores de calor assinem contratos de fornecimento mediante solicitação. O ERF também deve ser objeto de um relatório anual.

Na Alemanha, a Lei de Eficiência Energética (2023) impõe taxas de utilização de calor residual para novos centros de dados (dependendo da data de início de operação): 10% (julho de 2026), 15% (julho de 2027) e 20% (julho de 2028).

13 Todos os tipos de energia (elétrica, térmica, química e mecânica) são considerados igualmente no cálculo. No entanto, a energia adicional necessária para a preparação ou distribuição para que a energia recuperada possa ser usada externamente não é levada em conta no cálculo (EN 50600-4-6).

6.2 Eficiência de resfriamento

O coeficiente de eficiência de resfriamento (CER) é a relação entre a carga anual do sistema de resfriamento e a entrada total de energia no sistema, e é definido de acordo com a norma EN 50600-4-7 como:

$$CER = \frac{\textit{Quantidade anual de calor extraído do centro de dados (em kWh)}}{\textit{Consumo anual de energia dos sistemas de resfriamento (em kWh)}}$$

Os valores teóricos do CER podem variar de 1 a infinito. Reflete a eficiência do sistema de refrigeração e seu uso eficiente, com média de um ano inteiro. O CER também influencia o PUE. Mas não há uma causalidade clara, pois o PUE também tem outros fatores de influência.

A Tabela 6-3 mostra os requisitos mínimos de CER definidos pelo Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) e pela Rotulagem Ambiental Austríaca para centros de dados (2023). Centros de dados recém-construídos (já que muitas vezes não estão operando em sua capacidade total) e aqueles colocados em operação há menos de 15 meses estão isentos desses requisitos.

Tabela 6-3: Requisitos mínimos para o CER no Anjo Azul e a rotulagem ambiental austríaca para centros de dados

Data de comissionamento do sistema de resfriamento	CER
01/01/2024 ou posterior	CER > 9
Entre 01/01/2019 e 31/12/2023	CER > 8
Entre 01/01/2015 e 31/12/2018	CER > 7
31/12/2014 ou anterior	CER > 5

Fonte: *Ángel Azul* 2023; *Österreichisches Umweltzeichen* 2023

6.3 Consumo de água

A perda de água se deve principalmente ao resfriamento evaporativo dentro dos centros de dados em condições climáticas quentes e secas. Nesse contexto, o resfriamento evaporativo ajuda a reduzir o consumo de energia. **A Eficiência no uso da água (WUE, *Water Usage Effectiveness*)** é o KPI usado para medir o consumo de água e é classificado de acordo com a norma EN 50600-4-9 da seguinte forma:

$$WUE = \frac{\textit{Consumo de água no centro de dados (em litros)}}{\textit{Consumo total de energia dos equipamentos de TI (em kWh)}}$$

Esse indicador é dividido em três categorias: 1) consumo de água sem reutilização, 2) consumo de água com reutilização e 3) consumo de água com reutilização energética e industrial (EN 50600-4-9). Embora o Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) e a Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) (2023) não estabeleçam valores mínimos para a WUE, eles exigem relatórios anuais

O *Climate Neutral Data Center Pact* estabelece uma meta de 0,4 litro/kWh. Para o cenário de centros de dados dos EUA, o LBNL (2024) define quatro "categorias espaciais" de centros de dados (pequeno, médio e de colocação, hiperescala e especializada em IA). Para cada uma delas, juntamente com sua distribuição local e as condições meteorológicas dos EUA, o estudo calcula um valor médio de eficiência hídrica:

1. Pequenos centros de dados consomem cerca de 0,32 litro/kWh,
2. Os centros de dados médios e de colocação consomem cerca de 0,67 litro/kWh,
3. Os hiperescaladores consomem 0,32 litro/kWh (semelhante aos pequenos)
4. Os centros de dados especializados em IA consomem 0,61 litro/kWh.

Deve-se observar que a avaliação da WUE é fortemente influenciada pela localização geográfica do centro de dados, principalmente em termos de disponibilidade local de água. Consequentemente, se o aumento do uso de água de resfriamento é aceitável do ponto de vista ambiental depende da situação específica. Para resolver esse problema, a WUE poderia ser combinada com um indicador de escassez de água (*Gröger* y *Behrens* 2023).

6.4 Energia renovável

Para avaliar com precisão o impacto ambiental de um centro de dados, é importante reconhecer que algumas instalações geram sua própria energia, em vez de dependerem exclusivamente da rede elétrica. O uso de geração de energia renovável no local ajuda a reduzir a pegada de carbono do centro de dados, e a redução está diretamente relacionada à proporção de energia proveniente de fontes renováveis

O **Fator de Energia Renovável (REF, *Renewable Energy Factor*)**, de acordo com a norma EN 50600-4-3, mede a participação da energia renovável no consumo total de energia do centro de dados. Portanto, não é um indicador de eficiência energética.

$$REF = \frac{\textbf{Quantidade total de energia obtida de fontes renováveis (em kWh)}}{\textbf{Consumo total de energia do centro de dados (em kWh)}}$$

O Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) e a Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) (2023) exigem que os candidatos obtenham 100% da eletricidade consumida de energias renováveis (hidrelétrica, fotovoltaica, eólica ou biomassa).

Nesse contexto, é importante ressaltar que, embora a transição para fontes de energia renováveis seja crucial para todos os setores, é igualmente importante que, ao atender a esses requisitos, o consumo de energia verde não seja monopolizado pelos operadores de centros de dados, mas que eles também contribuam para tornar a rede mais ecológica (Lafitte 2025).

6.5 índice de utilização dos servidores

Os servidores consomem uma quantidade significativa de energia, embora não realizem cálculo nenhum. Dependendo do modo e da configuração de energia, o consumo ocioso (o estado de não consumo) é de 20% a 100% da potência máxima. Quanto mais o servidor for usado, menor será a proporção de eletricidade desperdiçada.

O uso de equipamentos de informática para servidores (ITEUsv) refere-se ao uso de equipamentos de servidor em um centro de dados em operação. Esse é um indicador operacional com o entendimento de que a eficiência energética dos servidores é geralmente ótima em níveis de utilização mais altos (SDIA 2025). Também pode ser entendido como a utilização média das Unidades Centrais de Processamento (CPUs, os principais componentes dos servidores) de todos (ou de um grupo de) os servidores em um determinado momento. Essa métrica é calculada de acordo com a norma ISO/IEC 30134-5 da seguinte forma:

$$ITEU_{SV} = \frac{1}{T}\sum_{t}^{t+T} ITEU_{SV}(t)$$

$$ITEU_{SV} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} CUS_{i(t)}$$

Onde:

- ITEUsv(t) = fator de utilização médio de todos os servidores em um centro de dados no momento t[14]
- N = Número de servidores de um centro de dados em uso no momento t
- $CUS_i(t)$ = fator de utilização da CPU para o servidor i no momento t (em %)
- T é um ano.

14 Os centros de dados devem monitorar seus ITEUsv(t) durante todo o ano, coletando todos os dados relevantes em intervalos que variam de um minuto a uma hora e, em seguida, calcular a média anual para determinar o ITEUsv. Durante o período de medição, o maior valor registrado de ITEU- sv(t) e o tempo correspondente devem ser documentados. Esse valor máximo, conhecido como ITEUsv(t), é importante para definir os valores-alvo do ITEUsv (SDIA 2025).

Em casos de baixa utilização do centro de dados, um valor mais alto de ITEUsv pode ser obtido principalmente pela redução do número de servidores ativos (N). Isso pode ser feito consolidando as cargas de trabalho em determinados servidores e desligando outros ou colocando-os em modo de suspensão para economizar energia (*Blue Angel* 2023).

O Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) e a Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) (2023) exigem que os servidores usados no centro de dados tenham um ITEUsv de pelo menos 20% em um período de doze meses. Os centros de dados que estão em operação há menos de 15 meses estão isentos desses requisitos e podem medir as ITEUsv a partir da data de comissionamento. Os servidores não cobertos pela ISO/IEC 30134-5 também estão isentos. No caso desses servidores, por exemplo, servidores especializados em IA, a parte predominante da carga elétrica não é gerada pelas CPUs, mas pelas unidades de processamento gráfico (GPUs). Atualmente, o setor não consegue padronizar as medições da utilização e do consumo de energia das GPUs.

Para simplificar a coleta de dados no caso de sistemas de equipamento de informática heterogêneos, o Anjo Azul sugere calcular o valor médio de ITEUsv a partir de medições de 90% de todos os servidores físicos. Para esse fim, o número de servidores medidos e sua proporção em relação ao número total de servidores devem ser devidamente documentados.

Embora esse KPI seja amplamente usado no setor, *Gröger* e *Behrens* (2023) argumentam que o ITEUsv inicialmente só fornece informações sobre a utilização média dos servidores em um centro de dados e não é um indicador de eficiência. No entanto, os pesquisadores do *Oeko-Institute* oferecem uma abordagem para desenvolver ainda mais o ITEUsv em um indicador de eficiência. Na proposta do *Oeko-Institute*, o $ITEU_{SV}$ é dividido pela proporção de energia usada pelos servidores em comparação com seu consumo máximo de energia possível.

6.6 Outros critérios

O impacto ambiental dos refrigerantes, as emissões de carbono e os RAEE também devem ser levados em consideração, cujos critérios serão descritos nos subcapítulos a seguir. Outros critérios podem se referir à faixa de temperatura e umidade de operação do centro de dados, restrição de substâncias perigosas, monitoramento ambiental e eficiência do material (por exemplo, reparo e atualização de componentes).

6.6.1 Refrigerantes

Os refrigerantes usados nos centros de dados são importantes porque influenciam diretamente o desempenho ambiental, a eficiência do resfriamento, a conformidade regulamentar e os custos operacionais. Muitos refrigerantes sintéticos, como os hidrofluorcarbonos (HFCs), têm um alto GWP, o que contribui para a mudança climática quando vazam para a atmosfera. A seleção de refrigerantes com menor GWP ajuda a reduzir a pegada ambiental direta de um centro de dados. O Anjo Azul (DE-UZ 228) (2023) só permite o uso de refrigerantes sem halogênio em sistemas de refrigeração, bombas de calor e desumidificadores colocados em operação após 2012, com exceção de sistemas com capacidade máxima de resfriamento inferior a 10 kW. Enquanto isso, a Rotulagem Ambiental Austríaca (UZ 80) (2023) adota uma abordagem de transição, permitindo o uso de refrigerantes selecionados até 2035[15], para todos os centros de dados colocados em operação antes de 2024.

6.6.2 Emissões de carbono

A Eficiência de Uso do Carbono (CUE, *Carbon Usage Effectiveness*) é uma métrica importante para avaliar a intensidade de carbono dos centros de dados e, portanto, sua contribuição para a mudança climática. Ela indica a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) que um centro de dados emite em relação à sua carga de computação e é calculada de acordo com a norma EN 50600-4-8 da seguinte forma:

$$CUE = \frac{\textbf{Quantidade total anual de emissões do centro de dados (em kg CO2 eq)}}{\textbf{Consumo de energia anual dos equipamentos de TI (em kWh)}}$$

Assim como a PUE, a CUE usa a energia total dos equipamentos informáticos como denominador, o que facilita o cálculo e a relação com a PUE. Uma vez determinado o valor de PUE, o mesmo valor deveria ser usado para a métrica de CUE, criando consistência e simplificando seu uso (*Belady* 2010). No entanto, diferentemente da PUE, a CUE tem dimensões físicas, enquanto a PUE não tem dimensões, sendo um quociente de energia dividido pela energia. Outra diferença importante são suas faixas de valores. A PUE tem um valor ideal de 1,0, que significa que toda a energia consumida no local é usada pelos equipamentos de informática, sem limite teórico superior. Por outro lado, o valor CUE ideal é 0,0, que significa que não há emissões de carbono associadas à operação do centro de dados (*Belady* 2010).

15 Os refrigerantes autorizados pela rotulagem ambiental austríaca (UZ 80) são R-448A, R-449A, R-450A, R-452B, R-513A, R-1233zd, R-1234ze, R-1234yf, R-454A, R-454B, R-455A e R-454C.

6.6.3 Gerenciamento do fim da vida útil

A operação de centros de dados gera uma quantidade enorme de RAEE (consulte 3.5). Isso é exacerbado pelas taxas de atualização relativamente altas dos equipamentos de informática. Para abordar esse problema, os critérios de compras públicas ecológicas da UE para centros de dados, servidores em nuvem e serviços em nuvem (2020) estabelecem especificações técnicas para o gerenciamento do fim da vida útil de servidores, armazenamento de dados e equipamentos de rede.

De acordo com esses critérios, os proponentes devem incluir em sua oferta um serviço que abranja não apenas a reutilização e a reciclagem de produtos completos, mas também o processamento seletivo de componentes e a reciclagem de componentes para recuperar matérias-primas essenciais (CRM). Além disso, o serviço deve incluir as seguintes atividades: coleta, descarte seguro de dados, teste funcional, manutenção, reparo e atualização de produtos para reutilização, recomercialização de produtos e desmontagem para reutilização, reciclagem ou descarte de componentes. Os licitantes devem informar a proporção de equipamentos preparados ou *recomercializados* para reutilização, a proporção preparada para reciclagem, bem como evidências de medidas tomadas para melhorar a reciclagem de CRM, com atenção especial ao cobalto em baterias e neodímio em discos rígidos (*European Commission* 2020). ■

© Oeko-Institute

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo explorou várias dimensões do setor de centros de dados, concentrando-se tanto nos impactos da digitalização quanto nos impactos ambientais específicos resultantes do aumento da demanda, da construção e do uso de centros de dados. O relatório observa que, embora os centros de dados sejam essenciais para a infraestrutura digital moderna, eles também estão ligados a desafios significativos em termos de consumo de energia, uso de matéria-prima, consumo de água, emissões de gases de efeito estufa e geração de lixo eletrônico.

A crescente pegada do setor de centros de dados aumentou a conscientização e a atenção para a sustentabilidade, levando ao surgimento de várias iniciativas e soluções técnicas que abordam seu impacto ambiental. Os instrumentos de política e de mercado, como políticas de eficiência energética, sistemas de certificação e rotulagem ambiental e contratações públicas sustentáveis, desempenham um papel fundamental na definição de padrões mínimos para o desempenho dessas instalações, ao mesmo tempo em que criam transparência e comparabilidade no setor.

Quando integrados às práticas operacionais, esses padrões têm o potencial de reduzir significativamente a pegada ambiental dos centros de dados e levar o setor a práticas mais sustentáveis.

Na América Latina, o mercado de centros de dados está crescendo substancialmente. No entanto, essas instalações geralmente dependem de sistemas de resfriamento com uso intensivo de água, agravando o estresse hídrico em regiões que já sofrem com a escassez, especialmente onde o mercado de centros de dados está surgindo rapidamente. Além disso, seu alto consumo de eletricidade sobrecarrega as redes nacionais, o que pode aumentar a dependência de combustíveis fósseis e aumentar os custos de eletricidade para as comunidades locais. Esse consumo excessivo de recursos exacerba as desigualdades sociais e contribui para a degradação ambiental. Como resultado, a região enfrenta o desafio de equilibrar o progresso tecnológico, a sustentabilidade ambiental e a responsabilidade social para minimizar as consequências negativas desses desenvolvimentos.

O cenário digital da América Latina pode se beneficiar da adoção de critérios de sustentabilidade adaptados a centros de dados eficientes em termos de recursos, com foco no gerenciamento de energia, consumo de água, eficiência de refrigeração e integração de energia renovável; e a importância dos serviços digitais na contratação pública oferece uma oportunidade única de aplicar essas medidas.

Nesse contexto, os governos da região têm a responsabilidade exclusiva de exigir serviços digitais que estejam de acordo com as melhores práticas disponíveis e, assim, garantir que os gastos públicos ajudem a orientar o setor na direção certa. Ao se concentrar em centros de dados com eficiência energética, os governos podem ajudar a reduzir as emissões de carbono, promover o uso de energia renovável e melhorar o gerenciamento de recursos. Não há dúvida de que o desenvolvimento de projetos de centros de dados na região pode impulsionar a inovação, criar empregos e melhorar a infraestrutura tecnológica da região, tornando-a mais competitiva em escala global. No entanto, se critérios ambiciosos de sustentabilidade forem levados em conta desde as fases de projeto e operação, eles poderão resultar em centros de dados mais "verdes" e mais bem alinhados com as metas climáticas internacionais.

Em última análise, alcançar a sustentabilidade no setor de centros de dados requer colaboração contínua entre as partes interessadas do setor, os formuladores de políticas e o setor público. Embora este estudo não tenha avaliado os efeitos sociais e econômicos indiretos do setor de centros de dados, o foco contínuo no desenvolvimento sustentável do setor de centros de dados será fundamental para minimizar os impactos ambientais e, ao mesmo tempo, apoiar a expansão da economia digital global. ■

© Oeko-Institute

8 REFERÊNCIAS

Acun, B.; Lee, B.; Kazhamiaka, F.; Maeng, K.; Chakkaravarthy, M.; Gupta, U.; Brooks, D.; Wu, C.-J. (2022): Carbon Explorer: A Holistic Approach for Designing Carbon Aware Datacenters. Online available at http://arxiv.org/pdf/2201.10036.

Alfieri, F. y Spiliotopoulos, C. (2023): ICT Task Force study: Final Report. Publications Office of the European Union. Luxembourg. Online available at https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133092.

Ali, S. (2014): Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries. In: *Resources* 3 (1), pp. 123–134. DOI: 10.3390/resources3010123.

Alves, A. (2025): Delivering Energy Efficient and Climate Friendly Cooling through National Coo- ling (Action) Plans NCAPs. CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. Uni- ted Nations Development Programme. virtual, 13 Feb 2025. Online available at https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/files/UNDP-Data%20Centers%20and%20China%20Case.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

Andrae, A. S. G. y Edler, T. (2015): On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. In: *Challenges* 6 (1), pp. 117–157. DOI: 10.3390/challe6010117.

Arizton Advisory & Intelligence (2024a): Latin America Data Center Construction Market Size Analysis, Arizton Advisory & Intelligence. Online available at https://www.arizton.com/market-reports/latin-america-data-center-construction-market-size-and-analysis-2024, last accessed on 26 Feb 2025.

Arizton Advisory & Intelligence (2024b): Latin America Data Center Market Size & Growth Analysis Report, Arizton Advisory & Intelligence. Online available at https://www.arizton.com/market-reports/latin-america-data-center-market-analysis, last accessed on 3 Mar 2025.

Arizton Advisory & Intelligence (2025): Malaysia Data Center Market Growth, Size, Forecast Re- port 2030. Arizton Advisory & Intelligence (ed.). Online available at https://www.arizton.com/ market-reports/malaysia-data-center-market-size-analysis?utm_source=chatgpt.com, last ac- cessed on 10 Feb 2025.

Banco Mundial (2023a): Economía digital para América Latina y el Caribe - Diagnóstico de país: Colombia. Online available at https://openknowledge.worldbank.org/entities/publica- tion/88948415-77f6-41fb-a8c0-5d8d415134b5.

Banco Mundial(2023b): Economíadigitalpara América Latinayel Caribe- Diagnósticodepaís: Ecuador. Online available at https://documents1.worldbank.org/curated/en/099028101262416449/pdf/IDU1814d30001e2a814b741bbf711771cfdc3a0b.pdf.

Belady, C. (ed.) (2010): Carbon Usage Effectiveness (CUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric. the green grid. Online available at https://airatwork.com/wp-content/uploads/The-Green-Grid-White-Paper-32-CUE-Usage-Guidelines.pdf.

Bertoldi, P. (2023): Assessment Framework for Data Centres in the Context of Activity 8.1 in the Taxonomy Climate Delegated Act. European Commission. Online available at https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc_assessment_framework_final_v2.pdf.

Bhattacharya, T. y Qin, X. (2020): Modeling Energy Efficiency of Future Green Data centers. In: 2020 11th International Green and Sustainable Computing Workshops (IGSC). 2020 11th International Green and Sustainable Computing Workshops (IGSC). Pullman, WA, USA, 10/19- 10/22: IEEE, pp. 1–3.

Blue Angel (2023): Data Centers DE-UZ 228, Basic Award Criteria. Edition January 2023 Version 2. RAL gGmbH (ed.). Online available at https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/en/DE-UZ%20228-202301-en-criteria-V2.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

Brocklenhurst, F. (2024): Policy development on energy efficiency of data centres (EDNA Stu- dies). Ballarat Consulting. International Energy Agency (ed.). Online available at https://www. iea-4e.org/wp-content/uploads/2024/02/Policy-development-on-energy-efficiency-of-data-cen- tres-draft-final-report-v1.05.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

Bundesministerium der Justiz (2023): Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland1 (Energieeffizienzgesetz - EnEfG). Online available at https://www.gesetze-im-internet.de/enefg/BJNR1350B0023.html#BJNR1350B0023BJNG000400000, last accessed on 8 Oct 2024.

Butts, D. (17 Jun 2024): Malaysia is emerging as a data center powerhouse amid booming de- mand from AI. In: *CNBC*, 17 Jun 2024. Online available at https://www.cnbc.com/2024/06/17/ malaysia-emerges-as-asian-data-center-powerhouse-amid-booming-demand.html, last acces- sed on 14 Feb 2025.

CBRE (2024): Global Data Center Trends 2024, CBRE. Online available at https://www.cbre.com/insi- ghts/reports/global-data-center-trends-2024, last updated on 3 Mar 2025, last accessed on 3 Mar 2025.

Cloudscene (2024): Data centers worldwide by country 2024. in Statista, Cloudscene. Online available at https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

CNCB-NGDC Members and Partners (2022): Database Resources of the National Genomics Data Center, China National Center for Bioinformation in 2022. In: *Nucleic acids research* 50 (D1), D27-D38. DOI: 10.1093/nar/gkab951.

Cushman & Wakefield (ed.) (2024): Global Data Center Market Comparison. Online available at https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/global-data-center-market-comparison, last accessed on 11 Feb 2025.

Daigle, B. (2021): Data Centers Around the World: A Quick Look. USITC United States International Trade Commissions (ed.). Online available at https://www.usitc.gov/publications/332/executive_briefings/ebot_data_centers_around_the_world.pdf, last accessed on 8 Oct 2024.

Data Center Map (2025): Data Centers - Database, Data Center Map. Online available at https://www.datacentermap.com/datacenters/, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

Davis, J. (2024): Large data centers are mostly more efficient, analysis confirms. uptime institute (ed.). Online available at https://journal.uptimeinstitute.com/large-data-centers-are-mostly-mo- re-efficient-analysis-confirms/, last accessed on 8 Oct 2024.

DC Byte (2024a): Data Centers in Mexico, DC Byte. Online available at https://www.dcbyte.com/market-spotlights/data-centers-in-mexico-queretaro/, last updated on 12 Mar 2025, last acces- sed on 21 Mar 2025.

DC Byte (ed.) (2024b): 2024 Global Data Centre Index. Online available at https://www.dcbyte.com/global-data-centre-index/2024-global-data-centre-index/, last accessed on 11 Feb 2025.

DCD - Data Center Dynamics (2023a): Los 29 principales proyectos de data centers lanzados en 2023 en Latinoamérica, Data Center Dynamics. Online available at https://www.datacenterdynamics.com/es/features/los-29-principales-proyectos-de-data-centers-lanzados-en-2023-en-latinoamerica/, last updated on 26 Feb 2025, last accessed on 26 Feb 2025.

DCD - Data Center Dynamics (2023b): Snapshot Report Mexico Data Center Market 2023- 2027. Data Center Dynamics, 2023.

DCD - Data Center Dynamics (2024): El mercado de Data Centers en Brasil experimenta un crecimiento del 628%, Data Center Dynamics. Online available at https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/el-mercado-de-data-centers-en-brasil-experimenta-un-crecimiento-del-628/, last updated on 26 Feb 2025, last accessed on 26 Feb 2025.

de Graaf, D. (2025): Germany‘s experience with Data Centre (cooling) emissions and respective reduction measures. CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. German Environment Agency (Umweltbundesamt. virtual, 13 Feb 2025. Online available at https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/files/Germany_Experience%20in%20Data%20centre%20emissions.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

Directorate-General for Energy (2024): Commission adopts EU-wide scheme for rating sustainability of data centres. European Commission (ed.). Online available at https://energy.ec.europa.eu/news/commission-adopts-eu-wide-scheme-rating-sustainability-data-centres-2024-03-15_en, last accessed on 17 Feb 2025.

Dutch Data Center Association (20 Aug 2019): Why do we need data centers? - Dutch Data Center Association. In: *Dutch Data Center Association*, 20 Aug 2019. Online available at https://www.dutchdatacenters.nl/en/data-centers/why-do-we-need-data-centers/?utm_source=chatgpt.com, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-1 (2019-08): DIN EN 50600-1: Informationstechnik – Datenverarbeitungs- und Rechenzentren, Beuth Verlag. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-1/306267564, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-4-2 (2019-8): DIN EN 50600-4-2: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-2/308600134, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-3 (2019-08): DIN EN 50600-4-3: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-3/308289665, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-6 (2020-11): DIN EN 50600-4-6: Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren, Beuth Verlag. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-50600-4-6/327766295, last accessed on 10 Feb 2025.

EN 50600-4-7 (2020-04): SN EN 50600-4-7: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/sn-en-50600-4-7/327879134, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-8 (2023-08): DIN EN 50600-4-8: Information technology - Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at https://www.dinmedia.de/en/standard/din-en-50600-4-8/366408103, last accessed on 10 Mar 2025.

EN 50600-4-9 (31 Jan 2023): BS EN 50600-4-9: Information technology. Data centre facilities and infrastructures, Berlin: DIN Media GmbH. Online available at https://www.dinmedia.de/de/norm/bs-en-50600-4-9/364942071, last accessed on 10 Mar 2025.

Energy Star (2025): ENERGY STAR Certified Data Centers, Energy Star. Online available at https://www.energystar.gov/buildings/certified-data-centers, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

European Commission (2020): EU green public procurement criteria for data centres, server rooms and cloud services, Commission Staff Working Document, European Commission. On- line available at https://circabc.europa.eu/ui/group/44278090-3fae-4515-bcc2-44fd57c1d0d1/ library/24bf5149-d99b-4bc9-a7fc-132b711c46ce/details.

European Commission (2025): Servers and Data Storage Products, Ecodesign requirements apply to these products, European Commission. Online available at https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/servers-and-data-storage-products_en, last updated on 20 Mar 2025, last accessed on 20 Mar 2025.

European Commission: COMMISSION REGULATION (EU) 2019/424 of 15 March 2019 laying down ecodesign requirements for servers and data storage products pursuant to Directive 2009/125/ EC of the European Parliament and of the Council and amending Commission Regulation (EU) No 617/2013, EU 2019/424. In: Official Journal of the European Union. Online available at https:// eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0424.

European Parliament (2022): Social and environmental impacts of mining activities in the EU. Online available at https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729156/IPOL_STU(2022)729156_EN.pdf.

Fatima, E. y Ehsan, S. (2023): Data Centers Sustainability: Approaches to Green Data Centers. In: 2023 International Conference on Communication Technologies (ComTech). 2023 International Conference on Communication Technologies (ComTech). Rawalpindi, Pakistan, 3/15- 3/16: IEEE, pp. 105–110.

Fulvio, A. y Talens Peiró, L. (2015): Environmental footprint and material efficiency support for product policy, Analysis of material efficiency requirements of enterprise servers. Publications Office of the European Union. Luxembourg.

Gonzalez Monserrate, S. (2022): The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage (Winter 2022). MIT Schwarzman College of Computing (ed.). Online available at https://mit-serc.pubpub.org/pub/the-cloud-is-material/release/1, last accessed on 8 Oct 2024.

Google (2024): 2024 Environmental Reprot. Online available at https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf.

gov.ie (ed.) (2021): Sustainability and climate action at the heart of key NDP-funded OPW projects. Office of Public Works. Online available at https://www.gov.ie/en/press-release/68cc8-sustainability-and-climate-action-at-the-heart-of-key-ndp-funded-opw-projects/, last accessed on 8 Oct 2024.

Gröger, J. y Behrens, F. (2023): Development of an energy efficiency label for data centres, Contribution to the discussion for more transparency in the digital economy (Version 1.2). Oeko-Institut e.V. (ed.). Berlin. Online available at https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Oeko-Institut_energy-efficiency-label-for-data-centres.pdf, last accessed on 8 Oct 2024.

Güğül, G. N.; Gökçül, F.; Eicker, U. (2023): Sustainability analysis of zero energy consumption data centers with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study. In: *Energy* 262, p. 125495. DOI: 10.1016/j.energy.2022.125495.

Guozhu Li; Zixuan Sun; Qingqin Wang; Shuai Wang; Kailiang Huang; Naini Zhao; Yanqiang Di; Xudong Zhao; Zishang Zhu (2023): China's green data center development:Policies and carbon reduction technology path. In: *Environmental Research* 231, p. 116248. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116248.

Gydesen, A. y Hermann, M. (2024): Ecodesign requirements for circularity of servers and data storage products: Nordic Council of Ministers.

Hexatronic Data Center (ed.) (2024): Sustainable Data Center Infrastructure: Reducing the Car- bon Footprint of Hardware. Online available at https://hexatronicdatacenter.com/en/knowledge/sustainable-data-center-infrastructure-reducing-the-carbon-footprint-of-hardware, last acces- sed on 21 Feb 2025.

Huu Thanh, N. (2020): Data Center in Space domain application: basic design concepts of infrastructure, supervised by Xuan-Truong, Nguyen, University of Science and Technology of Hanoi, 2020.

IEA - International Energy Agency (2020): Global data centre energy demand by region, 2010- 2022, International Energy Agency. Online available at https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-data-centre-energy-demand-by-region-2010-2022, last updated on 3 Mar 2025, last accessed on 3 Mar 2025.

IEA - International Energy Agency (2024a): What the data centre and AI boom could mean for the energy sector. International Energy Agency (ed.). Online available at https://www.iea.org/commentaries/what-the-data-centre-and-ai-boom-could-mean-for-the-energy-sector, last updated on 3 Feb 2025, last accessed on 3 Feb 2025.

IEA - International Energy Agency (2024b): World Energy Outlook 2024. Paris. Online available at https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024, last accessed on 21 Feb 2025.

IEA - International Energy Agency (ed.) (2024c): Electricity 2024, Analysis and forecast to 2026. Online available at https://iea.blob.core.windows.net/assets/18f3ed24-4b26-4c83-a3d2-8a1be51c8cc8/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf, last accessed on 8 Oct 2024.

IMDA - Infocomm Media Development Authority (2024): Driving a Green Digital Future, Singapore's Green Data Centre Roadmap. Online available at https://www.imda.gov.sg/-/media/imda/files/how-we-can-help/green-dc-roadmap/green-dc-roadmap.pdf.

Institute of the Americas (2024): Smart Cities: a Blueprint for Urban Transformation in Latin America. Online available at https://iamericas.org/smart-cities-report-a-blueprint-for-urban-transformation-in-latin-america/, last accessed on 3 Mar 2025.

ISO/IEC 30134-5 (2017-11): ISO/IEC 30134-5: Information technology — Data centres — Key performance indicators, International Organization for Standardization (ISO). Online available at https://www.iso.org/standard/66934.html, last accessed on 10 Mar 2025.

ITU (ed.) (2023): Internet use, Global offline population steadily declines to 2.6 billion people in 2023. Online available at https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2023/10/10/ff23-inter- net-use/, last accessed on 7 Oct 2024.

JRC - Joint Research Centre (2025): Energy Performance Contracting | E3P, European Energy Efficiency Platform. Joint Research Centre (ed.). Online available at https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/energy-performance-contracting, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

Kamiya, G. and Bertoldi, P. (2024): Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU. In: *1831-9424* (KJ-NA-31-841-EN-N (online)). DOI: 10.2760/706491.

Kasian, O. (2023): Digital macro trends and technologies of the XXI century-II: OKTAN PRINT. Online available at https://www.researchgate.net/publication/373864665_Digital_macro_trends_and_technologies_of_the_XXI_century-II, last accessed on 7 Oct 2024.

Kushchov, O. (2023): GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CLOUD SOLUTIONS AND TECHNOLOGIES. In:. Online available at https://www.researchgate.net/publication/377273883_GLOBAL_TRENDS_IN_THE_DEVELOPMENT_OF_CLOUD_SOLUTIONS_AND_TECHNOLOGIES, last accessed on 8 Oct 2024.

Lafitte, B. (2025): Data Center and Computer Servers for a Sustainable Digital Market Transformation, UNEP United for Efficiency (U4E). CCAC Webinar: Emissions from Cooling Systems in Data Centres. United Nations Development Programme. Hosted by: Climate & Clean Air Coali- tion (CCA). virtual, 13 Feb 2025. Online available at https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2025/02/U4E-for-AI-Summit_ENG_7Feb25-1.pdf, last accessed on 13 Feb 2025.

LBNL (2024): 2024 United States Data Center Energy Usage Report. In collaboration with Shehabi, A.; Smith, S. J.; Hubbard, A.; Newkirk, A.; Lei, N. et al. (LBNL-2001637). Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California. Online available at https://escholarship.org/uc/item/32d6m0d1.

Lev, S.; Hodges, J.; Neal, J. (2024): How Global Data Center Regs May Influence U.S. Policies. HWG (ed.). Online available at https://hwglaw.com/2024/12/02/how-global-data-center-regs- may-influence-u-s-policies/, last accessed on 17 Feb 2025.

Lin, P.; Bunger, R.; Avelar, V. (2023): Quantifying Data Center Scope 3 GHG Emissions to Prioritize Reduction Efforts, Energy Management Research Center. Schneider Electric Energy Management Research Center (ed.). Online available at https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/SE-Quantifying_Data_Center_Scope_3_GHG_Emissions_to_Prioritize_Reduction_Efforts.pdf, last accessed on 25 Feb 2025.

Mancini, L. y Sala, S. (2018): Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. In: *Resources Policy* 57, pp. 98–111. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.02.002.

Market and Research (2025): Latin America Colocation Existing & Upcoming Data Center Port- folio Report 2025. Online available at https://www.researchandmarkets.com/reports/5983100/ latin-america-existing-and-upcoming-data-center?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=sphv96&utm_campaign=2009906+-+Latin+America+Colocation+Existing+%26+Upcoming+Data+Center+Portfolio+Report+2024-2028%3a+White-floor+Space%2c+IT+Load+Capacity%2c+Retail+Colocation+Pricing%2c+and+Wholesale+Colocation+Pricing&utm_exec=chdomspi, last accessed on 21 Mar 2025.

Md Abu Bakar Siddik; Arman Shehabi; Landon Marston (2021): The environmental footprint of data centers in the United States. In: *Environ. Res. Lett.* 16 (6), p. 64017. DOI: 10.1088/1748-9326/abfba1.

MIDA - Malaysian Investment Development Authority (2023): Malaysia launches green lane pathway to propel digital, manufacturing powerhouse ambitions. Malaysian Investment Develop- ment Authority (ed.). Online available at https://www.mida.gov.my/mida-news/malaysia-laun- ches-green-lane-pathway-to-propel-digital-manufacturing-powerhouse-ambitions/, last updated on 30 Aug 2023, last accessed on 11 Feb 2025.

Mytton, D. (2021): Data centre water consumption. In: *npj Clean Water* 4 (1), pp. 1–6. DOI: 10.1038/s41545-021-00101-w.

Nalule, V. R. (2020): Social and Environmental Impacts of Mining. In: Mining and the Law in Africa: Palgrave Pivot, Cham, pp. 51–81. Online available at https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-33008-8_3.

Novak, N. (2023): Defining Scope 1, 2 and 3 Emissions. compass datacenters (ed.). Online available at https://www.compassdatacenters.com/scope-1-2-3-emissions/, last accessed on 20 Feb 2025.

NSW Government (2025): The Net Zero Government Operations Policy | NSW Climate and Energy Action, NSW Government. Online available at https://www.energy.nsw.gov.au/nsw-plans-and-progress/regulation-and-policy/sustainability-government/net-zero-government, last updated on 18 Mar 2025, last accessed on 18 Mar 2025.

OCDE - Organización de Cooperación y Desarrollo Económico; CAF - Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (2024): Revisión del Gobierno Digital en América Latina y el Caribe. Paris.

Österreichisches Umweltzeichen (2023): Rechenzentren UZ 80, Version 2.2 vom 1. Juli 2023, Österrei- chisches Umweltzeichen. Online available at https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2080/ Long/Uz80_R2a_Rechenzentren_2023.pdf, last updated on 6 Mar 2025, last accessed on 6 Mar 2025.

Prakash, S.; Schleicher, T.; Michalscheck, M. (2021): Barrier Analysis and Strategies for Ecolabels and Sustainable Public Procurement Implementation, Oeko-Institut. Online available at https://www.oeko.de/publikation/barrier-analysis-and-strategies-for-ecolabels-and-sustainable-pu- blic-procurement-implementation/?tx_form_formframework%5Baction%5D=perform&cHash=-b21ac99949c3208f0c27fc8133802880, last updated on 4 Mar 2025, last accessed on 4 Mar 2025.

PrimeEnergyIT (2012): Case Studies: Public Procurement of Energy Efficient Data Centres. Online available at https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp_platform/lib/sp_platform_resources/tools/push_resource_file.php?uid=6296a08c.

ProColombia (2025): DATA CENTERS. Online available at https://investincolombia.com.co/es/sectores/tecnologia-de-la-informacion-e-industrias-creativas/centros-de-datos#:~:text=En%20Colombia%20se%20han%20realizado%20recientemente, last updated on 15 Mar 2025, last accessed on 15 Mar 2025.

Qiu, W. (2024): Chilean Government Partners with Google to Build Humboldt Subsea Cable, Submarine Cable Networks. Online available at https://www.submarinenetworks.com/en/systems/ trans-pacific/humboldt-cable/chilean-government-partners-with-google-to-build-humboldt-sub- sea-cable, last updated on 4 Mar 2025, last accessed on 4 Mar 2025.

Reddy, V. D.; Setz, B.; Rao, G. S. V.; Gangadharan, G. R.; Aiello, M. (2017): Metrics for Sustainable Data Centers. In: *IEEE Trans. Sustain. Comput.* 2 (3), pp. 290–303. DOI: 10.1109/TSUSC.2017.2701883.

Reuters Media (17 Sep 2024): Google takes Chile data center plans back to square one on environmental concerns. In: *Reuters Media*, 17 Sep 2024. Online available at https://www.reuters.com/technology/google-takes-chile-data-center-plans-back-square-one-environmental-concerns-2024-09-17/, last accessed on 25 Feb 2025.

Rozite, V.; Bertoli, E.; Reidenbach, B. (2023): Data Centres and Data Transmission Networks. International Energy Agency (ed.). Online available at https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks, last updated on 11 Jul 2023, last accessed on 8 Oct 2024.

Ruediger Kuehr; David Hirsch; Terry Collins (2024): Global e-Waste Monitor 2024: Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling. United Nations Institute for Training and Research (ed.). Geneva / Bonn. Online available at https://unitar.org/about/news-stories/press/global-e-waste-monitor-2024-electronic-waste-rising-five-times-faster-documented-e-waste-recycling, last accessed on 8 Oct 2024.

Schödwell, B.; Zarnekow, R.; Liu, R.; Gröger, J.; Wilkens, M. (2017): Kennzahlen und Indikato- ren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Umweltbundesamt. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der, last accessed on 19 Feb 2025.

SDIA - Sustainable Digital Infrastructure Alliance (2025): Data Center Metrics - SDIA Knowledge Hub, Sustainable Digital Infrastructure Alliance. Online available at https://knowledge.sdialliance.org/archive/data-center-metrics, last updated on 7 Mar 2025, last accessed on 7 Mar 2025.

Shehabi, A.; Smith, S. J.; Hubbard, A.; Newkirk, A.; Lei, N.; Siddik, M.; Holecek, B.; Koomey, J.; Masa- net, E.; Sartor, D. (2024): 2024 United States Data Center Energy Usage Report. Energy Analysis & Environmental Impacts Division. Lawrence Berkeley National Laboratory (ed.). Berkeley, California.

Srivathsan, B.; Sorel, M.; Sachdeva, P. (29 Oct 2024): AI power: Expanding data center capacity to meet growing demand. In: *McKinsey & Company*, 29 Oct 2024. Online available at https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/ai-power-expanding-data-center-capacity-to-meet-growing-demand, last accessed on 21 Mar 2025.

Moore, T. (2023): Examining Data Center Energy Consumption and Power Sources. encon- nex (ed.). Online available at https://blog.enconnex.com/data-center-energy-consumption-and-power-sources, last accessed on 8 Oct 2024.

The World Ranking (2025): Number of Data Centers by Country January 2025. Online available at https://www.theworldranking.com/statistics/768/number-of-data-centers-by-country/?utm_source=chatgpt.com, last updated on 21 Mar 2025, last accessed on 21 Mar 2025.

UBA - Umweltbundesamt (2021): Bund beschließt Beschaffung klimafreundlicher Leistungen, Umweltbundesamt. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/themen/bund-beschliesst-beschaffung-klimafreundlicher?utm_source=chatgpt.com, last updated on 18 Mar 2025, last accessed on 18 Mar 2025.

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development (ed.) (2023): Curbing the di- gital economy's growing environmental footprint. Online available at https://unctad.org/news/ curbing-digital-economys-growing-environmental-footprint, last accessed on 7 Oct 2024.

UNDP - United Nations Development Programme (ed.) (2023): Climate, SignatureSolution 4 - Environment. Online available at https://digitalguides.undp.org/es/guide/climate#introduction, last accessed on 7 Oct 2024.

UNEP - United Nations Development Programme (ed.) (2021): The growing footprint of digitalisation, FORESIGHT Brief. Online available at https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37439/FB027.pdf.

US EPA - United States Environmental Protection Agency (2024): Technology Transitions GWP Reference Table | US EPA, United States Environmental Protection Agency. Online available at https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/technology-transitions-gwp-reference-table, last updated on 27 Dec 2024, last accessed on 18 Mar 2025.

Veau, C.; Beringer, O.; Parvin, R.; Miranda, A.; Kochukarotu, J.; Bariletto, C. S. (2023): NAVIGATING E-WASTE FROM DATA CENTERS. Online available at https://sustainability-ai.de/static/6d0446a876b6ccb79b58bbaeffcf8b62/project-report.pdf.

Wahlroos, M.; Pärssinen, M.; Rinne, S.; Syri, S.; Manner, J. (2018): Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, pp. 1749–1764. DOI: 10.1016/j.rser.2017.10.058.

WeLOOP (2020): A Situational Analysis of a Circular Economy in the Data Centre Industry. Online available at https://www.weloop.org/wp-content/uploads/2021/09/2020_04_16_cedaci_situation_analysis_circular_economy_report_vf.pdf.

Weng, S.-J.; Gotcher, D.; Wu, H.-H.; Xu, Y.-Y.; Yang, C.-W.; Lai, L.-S. (2016): Cloud Image Data Cen- ter for Healthcare Network in Taiwan. In: *Journal of Medical Systems* 40 (4), p. 89. DOI: 10.1007/ s10916-016-0430-8.

Xiaolei Yuan; Xinjie Xu; Jinxiang Liu; Yiqun Pan; Risto Kosonen; Yang Gao (2020): Improvement in airflow and temperature distribution with an in-rack UFAD system at a high-density data center. In: *Building and Environment* 168, p. 106495. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106495.

Yuan, X.; Liang, Y.; Hu, X.; Xu, Y.; Chen, Y.; Kosonen, R. (2023): Waste heat recoveries in data centers: A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 188, p. 113777. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113777.

Zhu, H.; Zhang, D.; Goh, H. H.; Wang, S.; Ahmad, T.; Mao, D.; Liu, T.; Zhao, H.; Wu, T. (2023): Future data center energy-conservation and emission-reduction technologies in the context of smart and low-carbon city construction. In: *Sustainable Cities and Society* 89, p. 104322. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104322.

On behalf of:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

of the Federal Republic of Germany

IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

UN environment programme

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

EcoAdvance
ROTULAGEM E COMPRAS PÚBLICAS SUSTENTÁVEIS