

Análise: A transformação digital e a conquista dos polos no século XXI

Leonardo Quijarro Santibáñez, Contra-Almirante (R), Marinha do Chile, Senior Fellow, MSI²

Instituto de Inteligência Estratégica de Miami (MSI²) • 29 de outubro de 2026

PORTUGUÊS

Resumo

A expansão da inteligência artificial generativa aumentou significativamente as demandas de eletricidade e refrigeração dos centros de dados, enquanto o aquecimento atmosférico e oceânico reduz a eficiência da refrigeração em latitudes temperadas e quentes. Este artigo examina se esse fenômeno duplo está redirecionando a infraestrutura digital para latitudes mais elevadas e quais são as consequências para a competição entre as grandes potências no Ártico e, sob uma lógica muito diferente, na Antártida. Argumenta-se que o clima é um fator de localização relevante, porém secundário em comparação com energia, latência e segurança jurídica, e que a infraestrutura digital (centros de dados, cabos submarinos e estações terrestres de satélite) tornou-se um novo vetor de rivalidade polar, ao lado dos recursos e das rotas marítimas.

“Quem liderar em Inteligência Artificial governará o mundo.”

Vladimir Putin, Presidente da Federação Russa, 1º de setembro de 2017

Introdução

Desde 2022, o surgimento dos grandes modelos de linguagem colocou a inteligência artificial (IA) no centro da agenda tecnológica, econômica e de segurança. No entanto, por trás de cada consulta a esses modelos existe uma infraestrutura física que consome eletricidade, água e espaço. Essa dimensão material conecta a IA a duas dinâmicas globais: a mudança climática, que altera as condições térmicas em que os centros de dados operam, e a geopolítica polar, que se intensifica à medida que o gelo recua, as regiões polares se tornam mais acessíveis e o interesse por elas cresce (Dodds & Nuttall, 2016).

Nesse contexto, cabe perguntar: em que medida a demanda por energia e refrigeração necessária às operações de IA, combinada ao aquecimento global, incentiva a transferência da infraestrutura digital para latitudes mais frias, e como isso se relaciona com a competição das grandes potências pelos espaços e rotas polares?

É necessária uma ressalva inicial. A premissa de que o aquecimento dos oceanos “forçou” as empresas a migrar para o norte vai além das evidências disponíveis. As decisões de localização são impulsionadas principalmente pelos custos de eletricidade, pela disponibilidade de energia renovável, pelos incentivos fiscais e pela conectividade (Lei & Masanet, 2022; International Energy Agency [IEA], 2025). Portanto, este artigo trata o clima como uma variável a ser analisada, e não como uma premissa.

Assim, esta análise propõe uma combinação de três abordagens. A primeira é a geopolítica crítica dos espaços comuns, que concebe o Ártico e a Antártida como áreas de governança especial e de disputas pelo acesso (Dodds & Nuttall, 2016). A segunda diz respeito à estratégia marítima clássica e contemporânea, que enfatiza o controle de rotas, gargalos e pontos de acesso como fundamento do poder naval e comercial (Mahan, 1890/1987; Till, 2018). Por fim, a terceira é o nexo entre clima, energia e computação, que examina as pegadas energética, hídrica e de carbono da IA (Strubell et al., 2019; Luccioni et al., 2023; Li et al., 2023).

Demanda de energia da IA

Os primeiros estudos que alertaram para o custo ambiental do treinamento de modelos estimaram que o treinamento de determinados modelos de processamento de linguagem natural, incluindo a busca de arquiteturas, poderia emitir uma quantidade de CO_2 equivalente à emissão de um automóvel médio ao longo de várias vidas úteis (Strubell et al., 2019). Estudos posteriores qualificaram esses números, mostrando que a eficiência do hardware, a arquitetura do modelo e a matriz elétrica do local de treinamento poderiam reduzir as emissões em várias ordens de grandeza (Patterson et al., 2021), além de estimarem que a pegada de carbono depende criticamente da rede elétrica que fornece energia (Luccioni et al., 2023).

Estudos preliminares calcularam que, entre 2010 e 2018, a capacidade computacional dos centros de dados em todo o mundo aumentou mais de cinco vezes, enquanto o consumo de eletricidade cresceu apenas cerca de 6% (Masanet et al., 2020). No entanto, estudos mais recentes alertam que a incorporação generalizada da IA generativa a serviços cotidianos, como mecanismos de busca, poderia aumentar significativamente a demanda de eletricidade do setor (De Vries, 2023). O relatório do Lawrence Berkeley National Laboratory estima que os centros de dados dos Estados Unidos consumiram aproximadamente 4,4% da eletricidade do país em 2023 e projeta uma faixa de 6,7% a 12% até 2028 (Shehabi et al., 2024). Globalmente, a IEA (2025) projeta que o consumo de eletricidade dos centros de dados mais que dobrará até 2030, tendo a IA como principal motor desse crescimento.

A refrigeração acrescenta uma segunda dimensão: a água. A pegada hídrica da IA, incluindo a refrigeração direta e a água consumida na geração de eletricidade, é considerada uma restrição emergente, especialmente em regiões com escassez hídrica (Li et al., 2023). Essa necessidade crescente oferece uma explicação inicial para a atratividade de áreas geográficas com temperaturas mais baixas e recursos hídricos e energéticos abundantes.

Aquecimento, refrigeração e localização dos centros de dados

Os oceanos e a atmosfera continuam aquecendo. O Met Office do Reino Unido e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) projetam que 2026 será o quarto ano consecutivo a ultrapassar o limite de 1,4 °C (com uma média estimada de aproximadamente 1,46 °C). Da mesma forma, o mês de agosto recém-encerrado foi o mais quente já registrado (empatando com julho de 2023), atingindo uma temperatura média global da superfície de 16,96 °C (aproximadamente +1,65 °C acima da era pré-industrial) (UN News, 2026). Além disso, os oceanos mantiveram temperaturas superficiais historicamente elevadas, com ondas de calor marinhas afetando mais de 80% das superfícies oceânicas durante o primeiro semestre do ano (Vilela, 2026). Nessa linha, relatórios do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da OMM alertam que o planeta caminha para ultrapassar temporariamente, nos próximos anos, o limite crítico de 1,5 °C estabelecido pelo Acordo de Paris, impulsionado também pela transição para um novo evento de El Niño (UN News et al., 2026).

Para os centros de dados, isso implica maior demanda por refrigeração mecânica e menor disponibilidade de refrigeração gratuita em regiões temperadas e quentes (Masanet et al., 2020).

Entretanto, as evidências não sustentam a afirmação de que o clima seja o principal fator que determina a localização futura da infraestrutura digital. A IEA (2025) destaca a disponibilidade de energia, a capacidade da rede e os prazos de conexão como fatores limitantes na implantação de centros de dados. No norte da Europa, a predominância de energia hidrelétrica e eólica a preços competitivos, juntamente com incentivos fiscais, costuma ser tão decisiva quanto a temperatura ambiente.

Um Ártico em abertura

O Ártico é uma das regiões em que as mudanças em relação aos registros climáticos históricos apresentaram as maiores variações. Estudos mostram que, desde 1979, essa região aqueceu quase quatro vezes mais rápido do que a média global. O recuo do gelo marinho está alterando os cálculos estratégicos e comerciais da região (Rantanen et al., 2022).

Consequentemente, estudos projetam que, em meados deste século, as rotas transárticas serão navegáveis por embarcações reforçadas para o gelo durante o verão e por embarcações sem reforço para o gelo em cenários de altas emissões (Smith and Stephenson, 2013).

Esses acontecimentos abrem o debate sobre três rotas. A Rota do Mar do Norte, que acompanha a costa russa e está sujeita ao regime regulatório de Moscou. A Passagem do Noroeste, que atravessa o Arquipélago Ártico Canadense e é objeto de controvérsia jurídica: o Canadá a considera águas interiores, enquanto os Estados Unidos e outros atores a consideram um estreito utilizado para a navegação internacional (Byers, 2013). A Rota Transpolar, ainda teórica, atravessaria o Oceano Ártico central e ficaria fora das jurisdições costeiras, conferindo-lhe particular valor geopolítico (Melia et al., 2016).

A infraestrutura digital se sobrepõe a essa geografia, uma vez que cabos submarinos de fibra óptica e estações terrestres de comunicação por satélite em altas latitudes, como as de Svalbard ou da Groenlândia, já estão presentes.

Essa nova realidade geográfica, resultante de períodos mais longos sem gelo ou de uma menor espessura do gelo, que permite a abertura de novas rotas navegáveis para embarcações anteriormente impedidas de acessar essas áreas, leva a examinar como as grandes potências e as nações costeiras estão se posicionando diante dessas mudanças.

A Rússia considera o Ártico uma região central para sua economia e segurança, vinculando o desenvolvimento da Rota do Mar do Norte à exploração de hidrocarbonetos e ao fortalecimento de sua presença militar e de sua frota de quebra-gelos (Dodds & Nuttall, 2016; Government of the Russian Federation, 2020).

Os Estados Unidos, por sua vez, são um Estado ártico por meio do Alasca e mantêm presença na Groenlândia por meio da Base Espacial Pituffik. Sua estratégia de 2022 enfatiza segurança, adaptação às mudanças climáticas, desenvolvimento econômico sustentável e cooperação internacional (The White House, 2022). Essas prioridades foram reforçadas pela recente assinatura do Acordo Trilateral de Segurança do Ártico, em setembro, entre Estados Unidos, Dinamarca e Groenlândia.

A China se define como um “Estado próximo do Ártico” e propõe uma “Rota da Seda Polar” integrada à sua iniciativa global de conectividade (State Council Information Office of the People’s Republic of China, 2018). Isso pode ser entendido como parte de uma estratégia que reflete sua ambição de se tornar uma grande potência polar, apoiada pela ciência, pelo investimento e pela diplomacia (Brady, 2017).

Por fim, os Estados nórdicos, o Canadá e a OTAN completam o quadro analítico do Ártico. A adesão da Finlândia e da Suécia à Aliança Atlântica em 2023 e 2024, respectivamente, reformulou o equilíbrio de segurança. Em termos de governança, o Extremo Norte é regido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) (United Nations, 1982) e por mecanismos como o Conselho do Ártico (Natenadze, 2024).

A Declaração de Ilulissat de 2008 reafirmou o compromisso dos cinco Estados costeiros de resolver disputas de acordo com o direito internacional (Arctic Ocean Conference, 2008). No entanto, a cooperação foi pressionada pela rivalidade geopolítica recente, aumentando a importância da proteção de infraestruturas críticas, como cabos e centros de dados.

Antártida: uma lógica diferente

A Antártida não segue as mesmas dinâmicas do Ártico. O Tratado da Antártida (1959) congela as reivindicações territoriais, reserva o continente para fins pacíficos e promove a cooperação científica, enquanto o Protocolo de Madri (1991) proíbe atividades de mineração e estabelece um regime de proteção ambiental (Secretariat of the Antarctic Treaty, 1959, 1991). Ainda assim, as decisões tomadas nas próximas décadas determinarão o futuro do continente em meio às pressões climáticas e ao crescente interesse por seus recursos (Rintoul et al., 2018).

Nesse contexto, um centro de dados na Antártida parece juridicamente e logisticamente inviável, apesar de seu clima extremamente frio. Assim, o interesse estratégico estaria em outro lugar: presença científica, logística e projeção a partir de localidades de acesso. Cidades como Punta Arenas, Ushuaia, Hobart, Christchurch e Cidade do Cabo servem como plataformas de acesso, enquanto as passagens austrais (Estreito de Magalhães, Canal de Beagle e Passagem de Drake)

adquirem relevância estratégica como rotas de conectividade interoceânica e de acesso ao continente (Till, 2018).

De uma perspectiva sul-americana, o Chile ocupa uma posição particular como país de acesso à Antártida, com uma presença crescente de infraestrutura digital em seu território continental. Isso sugere que a relação entre a IA e os polos no Hemisfério Sul ocorre menos por meio da instalação de centros de dados sobre o gelo e mais pelo posicionamento logístico, científico e de conectividade nas latitudes austrais.

Conclusões

A demanda de energia gerada pela infraestrutura associada aos centros de dados que viabilizam a IA é real e crescente, e os ganhos de eficiência que contiveram o consumo durante a década anterior já não são suficientes para compensar o aumento da carga de trabalho.

O aquecimento global e as restrições hídricas aumentam a atratividade de climas frios, mas o principal fator de localização continua sendo o acesso a energia abundante, limpa e barata, juntamente com segurança jurídica e conectividade.

A abertura do Ártico está criando uma convergência de rotas, recursos e conectividade na qual as grandes potências competem por presença, regras e controle da infraestrutura.

Como resultado do Tratado da Antártida e do Protocolo de Madri, a Antártida alcançou uma contenção relativa do avanço em direção à exploração de seus territórios. Portanto, pelo menos no curto prazo, o estabelecimento de infraestrutura de dados parece improvável, embora o mesmo não possa ser dito da infraestrutura de conectividade digital, como cabos submarinos. Consequentemente, a projeção estratégica em direção à Antártida e às passagens austrais também deve ser considerada em termos de infraestrutura digital e energética.

Uma agenda futura exige analisar a localização de novos investimentos, avaliar a segurança dos cabos submarinos polares e estudar o papel das portas de entrada austrais na projeção antártica.

Autor

O Contra-Almirante (R) Leonardo Quijarro Santibáñez é estrategista naval e especialista em logística de defesa, com mais de 38 anos de serviço na Marinha do Chile. Engenheiro em Eletrônica Naval e Especialista em Estado-Maior, ocupou cargos de alta liderança, incluindo Subchefe do Estado-Maior-Geral da Marinha, Diretor de Engenharia e Sistemas Navais, Diretor-Geral de Logística Naval e Presidente do Conselho de Administração dos Estaleiros e Oficinas da Marinha (ASMAR).

Possui mestrado em Ciências Navais e Marítimas e diplomas de pós-graduação em Engenharia Industrial e Gestão Empresarial, Assuntos Antárticos e Liderança Executiva Sênior. Atualmente atua como Professor Residente na Escola de Guerra Naval do Chile, lecionando logística, economia de defesa, desenvolvimento de forças e planejamento operacional, e como Pesquisador Associado do Centro de Estudos Navais e Marítimos. É coautor de Emerging Technologies and Their Impact on Naval Warfare (2023).

As opiniões expressas neste artigo são de responsabilidade do autor e não refletem necessariamente as opiniões do Miami Strategic Intelligence Institute (MSI²).

Bibliografia

Arctic Ocean Conference. (2008). The Ilulissat Declaration. Ilulissat, Greenland, May 27–29, 2008.

Brady, A.-M. (2017). China as a polar great power. Cambridge University Press.

Byers, M. (2013). International law and the Arctic. Cambridge University Press.

de Vries, A. (2023). The growing energy footprint of artificial intelligence. Joule, 7(10), 2191–2194. https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.09.004

Dodds, K., & Nuttall, M. (2016). The scramble for the poles: The geopolitics of the Arctic and Antarctic. Polity Press.

Government of the Russian Federation. (2020). Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035 [Presidential Decree No. 164].

International Energy Agency. (2025). Energy and AI. https://www.iea.org/reports/energy-and-ai

Lei, N., & Masanet, E. (2022). Climate- and technology-specific PUE and WUE estimations for U.S. data centers using a hybrid statistical and thermodynamics-based approach. Resources, Conservation and Recycling, 182, Article 106323. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106323

Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2023). Making AI less “thirsty”: Uncovering and addressing the secret water footprint of AI models (arXiv:2304.03271). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03271

Luccioni, A. S., Viguier, S., & Ligozat, A.-L. (2023). Estimating the carbon footprint of BLOOM, a 176B parameter language model. Journal of Machine Learning Research, 24(253), 1–15.

Mahan, A. T. (1987). The influence of sea power upon history, 1660–1783. Dover. (Original work published in 1890)

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. Science, 367(6481), 984–986. https://doi.org/10.1126/science.aba3758

Melia, N., Haines, K., & Hawkins, E. (2016). Sea ice decline and 21st-century trans-Arctic shipping routes. Geophysical Research Letters, 43(18), 9720–9728. https://doi.org/10.1002/2016GL069315

United Nations. (1982). United Nations Convention on the Law of the Sea. https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_s.pdf

Natenadze, V. (2024). High North. Caucasus Journal of Social Sciences, 17(1), 221–236. https://doi.org/10.62343/cjss.2024.249

UN News. (2026, September 11). Earth experiences its hottest August since records began. https://news.un.org/es/story/2026/09/1541896

UN News. (2026, May 28). The planet is heading toward a period of unprecedented extreme heat. https://news.un.org/es/story/2026/05/1541496

Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M., & Dean, J. (2021). Carbon emissions and large neural network training (arXiv:2104.10350). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.10350

Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. Communications Earth & Environment, 3, Article 168. https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3

Rintoul, S. R., Chown, S. L., DeConto, R. M., England, M. H., Fricker, H. A., Masson-Delmotte, V., Naish, T. R., Siegert, M., & Xavier, J. C. (2018). Choosing the future of Antarctica. Nature, 558(7709), 233–241. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0173-4

Secretariat of the Antarctic Treaty. (1959). The Antarctic Treaty. https://www.ats.aq

Secretariat of the Antarctic Treaty. (1991). Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty. https://www.ats.aq

Shehabi, A., Smith, S. J., Hubbard, A., Newkirk, A., Lei, N., Siddik, M. A. B., Holecek, B., Koomey, J., Masanet, E., & Sartor, D. (2024). 2024 United States data center energy usage report (LBNL-2001637). Lawrence Berkeley National Laboratory. https://doi.org/10.71468/P1WC7Q

Smith, L. C., & Stephenson, S. R. (2013). New Trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury? Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(13), E1191–E1195. https://doi.org/10.1073/pnas.1214212110

State Council Information Office of the People’s Republic of China. (2018). China’s Arctic policy. https://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2018/01/26/content_281476026660336.htm

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 3645–3650). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

The White House. (2022). National strategy for the Arctic region.

Till, G. (2018). Seapower: A guide for the twenty-first century (4th ed.). Routledge.

Vilela, A. (2026). The world approaches a new climate threshold: 1.4°C of global warming in 2026. https://latam-green.com/nuevo-umbral-climatico-calentamiento-global-2026/