

RELATÓRIO 2024

O USO DOS SMRs NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DAS TERMELÉTRICAS A CARVÃO DO BRASIL

ABDAN Associação Brasileira
para Desenvolvimento
de Atividades Nucleares

Sumário

1.	O Mundo em transformação	02
1.1	Emissão de gases do efeito estufa	04
1.2	Transição energética limpa	07
1.3	O que são SMRs?	12
1.4	Um panorama sobre a geração mundial de eletricidade com carvão mineral	13
2.	O programa carvão para nuclear - coal to nuclear (C2N)	17
2.1	Panorama geral	17
2.2	Contexto americano e criação do coal to nuclear (C2N)	19
2.3	Programa Phoenix e a expansão nuclear no leste europeu	22
2.4	Programa nuclear da Polônia e seu contexto	23
3.	Análises econômicas e sociais da conversão do carvão para nuclear (C2N)	25
3.1	Impactos sobre empregos	26
3.2	Impactos sobre a renda	28
3.3	Impactos sobre a receita	29
3.4	Impactos sociais mais relevantes gerados	30

Sumário

4.	Contexto Brasil	33
5.	Levantamento das plantas de geração elétrica a carvão do Brasil	35
6.	Análise por UTE	37
6.1	UTE Figueira, PR.	38
6.2	UTE Complexo Jorge Lacerda, SC.	43
6.3	UTE Alunorte, PA.	50
6.4	UTE Alumar, MA.	56
6.5	UTE Porto do Itaqui, MA.	62
6.6	UTES Porto do Pecém I e II, CE.	68
6.7	UTE Candiota III, RS.	74
6.8	UTE Pampa Sul, RS.	80
7.	Conclusão	85
8.	Anexo 01	92
9.	Referências	95

1. O MUNDO EM TRANSFORMAÇÃO

O meio altera o homem, e o homem, com suas atividades, altera o mundo. Esse parece ser o ciclo natural da existência humana, mas, ultimamente, a queda de braço entre tais ideias tem acelerado o desbalanceamento da existência das sociedades, exigindo da humanidade uma evolução na consciência e na capacidade de reflexão. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) revela um cenário preocupante: as mudanças climáticas, causadas principalmente por atividades antropogênicas, já afetam o mundo, e impactos ainda mais severos nos aguardam em breve, caso não reduzamos pela metade as emissões de gases de efeito estufa nesta década.

As mudanças climáticas já estão causando perturbações generalizadas em todo o planeta, com o aquecimento atual de 1,1°C. Secas devastadoras, calor extremo e inundações recorde já ameaçam a segurança alimentar e os meios de subsistência de milhões de pessoas. Desde 2008, inundações e tempestades catastróficas têm forçado mais de 20 milhões de pessoas por ano a deixarem suas casas. No Brasil, os impactos climáticos têm gerado tristes recorde históricos, como a seca de 2023 na Amazônia e a tragédia das inundações deste ano no Rio Grande do Sul.

Mesmo que, em um cenário irreal, o mundo parasse completamente suas emissões de carbono, os gases de efeito estufa já presentes na atmosfera seriam suficientes para causar impactos significativos no clima do planeta até 2040. O (IPCC, 2023) estima que, apenas na próxima década, as mudanças climáticas colocarão entre 32 milhões e 132 milhões de pessoas na pobreza extrema. O aquecimento global colocará em risco a segurança alimentar e aumentará a incidência de doenças cardíacas, problemas de saúde mental e mortes relacionadas ao calor.

Em um cenário de altas emissões, os riscos elevados de inundações e secas trarão mudanças significativas, especialmente em países mais pobres e para as pessoas mais vulneráveis, aprofundando ainda mais os abismos sociais ao redor do mundo. Espécies e ecossistemas enfrentarão transformações drásticas, como as áreas de mangue se tornando incapazes de conter o aumento do nível do mar, o declínio de espécies dependentes do gelo marinho e a redução de florestas.

O relatório mostra que cada décimo de grau de aquecimento aumenta as ameaças às pessoas, espécies e ecossistemas. Mesmo o limite de 1,5°C em relação a níveis pré-industriais, uma meta global do Acordo de Paris, não é seguro para todos. Por exemplo, com 1,5°C de aquecimento, muitas geleiras ao redor do mundo desaparecerão ou perderão a maior parte de sua massa; adicionalmente, 350 milhões de pessoas enfrentarão escassez de água até 2030 e até 14% das espécies terrestres estarão em risco de extinção.

A ciência não deixa margem para dúvidas: as mudanças climáticas colocam em perigo o planeta e a humanidade. Os próximos anos ainda oferecem uma janela estreita para garantir um futuro sustentável e habitável para todos. Mudar o rumo exige esforços imediatos, ambiciosos e coordenados para reduzir emissões e aumentar o financiamento para a descarbonização das matrizes energéticas e das atividades econômicas, em busca de soluções limpas, seguras e eficientes.

Na última Conferência das Partes (COP28) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), realizada em Dubai, Emirados Árabes Unidos, um grupo de 20 países assinou uma declaração com a meta de triplicar, até 2050, a capacidade mundial de geração nuclear. A proposta inclui a extensão da vida útil das usinas existentes e a construção de novos reatores, incluindo os Pequenos Reatores Modulares (SMRs).

Diante do atual cenário mundial, a energia nuclear retoma seu protagonismo por ser considerada uma fonte firme e confiável. Que embora não seja renovável, é limpa, com índices de emissão de dióxido de carbono (CO₂) extremamente baixos. Atualmente, essa fonte energética é responsável por 11% da oferta global de energia elétrica e, segundo a ONU, será indispensável no combate ao aquecimento global e no cumprimento das metas globais de redução de emissões estabelecidas para 2050. Nesse contexto, França e Reino Unido estão relançando seus programas nucleares, enquanto Alemanha e Japão suspenderam a desmontagem de seus parques nucleares. China e Rússia mantêm seus investimentos, assim como os EUA. Como resultado, há mais usinas nucleares em construção e planejamento hoje do que nos últimos 50 anos.

Junto com a retomada da importância da energia nuclear, destaca-se uma importante inovação tecnológica: os SMRs. Esses reatores, com potências mais baixas (máximo de 300 MW), possuem instalações significativamente menores que as plantas convencionais, apresentam baixo risco de acidentes e oferecem garantias de retorno de capital mais rápido, tornando-se, assim, mais atrativos para o capital privado como solução na descarbonização das atividades econômicas.

Em termos de localização, os SMRs são bastante competitivos, já que podem ser instalados próximos aos centros consumidores. Os projetos de SMRs em desenvolvimento ao redor do mundo incorporam tecnologias que permitem sua operação tanto na base quanto na complementação das sazonalidades das fontes intermitentes, atendendo, assim, ao load follow de sistemas elétricos como o do Brasil.

Refletindo a proposta brasileira, a COP28 lançou o Mapa do Caminho para a Missão 1.5, com o objetivo de reforçar a cooperação internacional e aumentar a ambição dos países em

seus próximos compromissos, que serão apresentados em 2025, quando o Brasil sediará a COP30, em Belém do Pará. Sob a liderança das presidências dos Emirados Árabes Unidos (COP28), Azerbaijão (COP29) e Brasil (COP30), a Missão 1.5 será implementada de Dubai a Belém, visando alcançar a meta de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C, em alinhamento com o desenvolvimento sustentável e os esforços de erradicação da pobreza. Segundo o Ministério das Relações Exteriores (MRE, 2024), os resultados positivos da COP28 reforçam o compromisso global com o multilateralismo, a cooperação internacional e a justiça climática, em um momento crucial para o combate às mudanças climáticas.

1.1 Emissão de gases do efeito estufa

Atualmente, existe um consenso entre os países de que o aquecimento global é resultado direto dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Os principais gases de efeito estufa presentes na atmosfera são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os gases fluorados. Desde 1970, a geração de energia e as atividades industriais contribuíram com cerca de 70% do total de emissões de GEE, conforme destacado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP, 2023). Globalmente, o CO_2 é responsável por 79% das emissões totais de GEE, seguido pelo metano, com 12%, e outros gases com 9% (Figura 1).

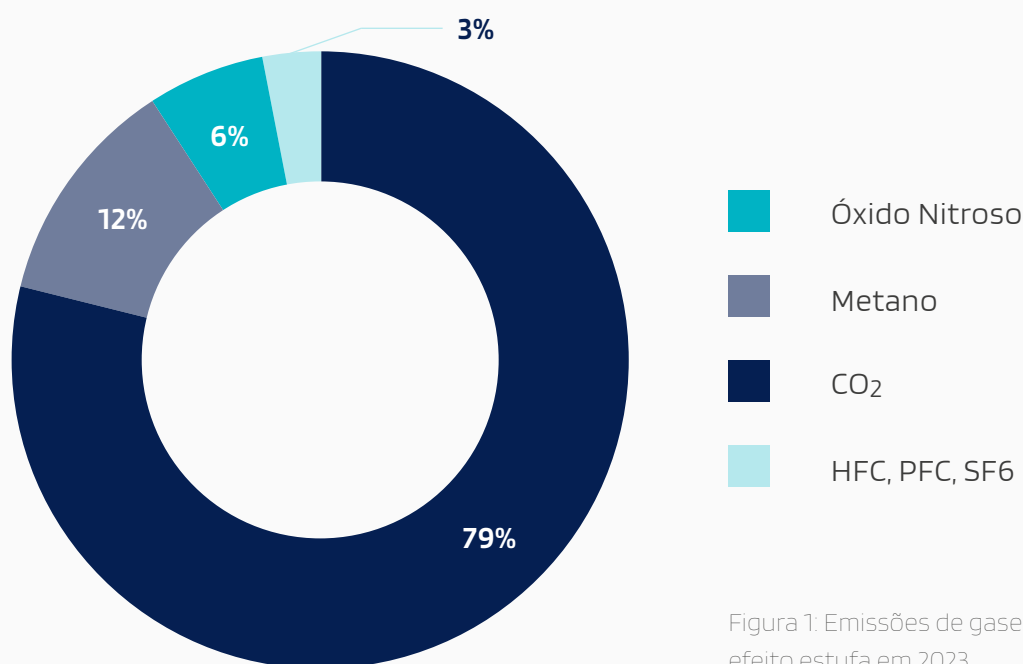


Figura 1: Emissões de gases do efeito estufa em 2023.

Em 2023, as emissões totais de CO₂ relacionadas à energia aumentaram 1,1%, contrariando a necessidade de uma rápida redução para atingir as metas climáticas globais estabelecidas no Acordo de Paris. As emissões de CO₂ atingiram um novo recorde de 37,4 Gt em 2023 (Figura 2).

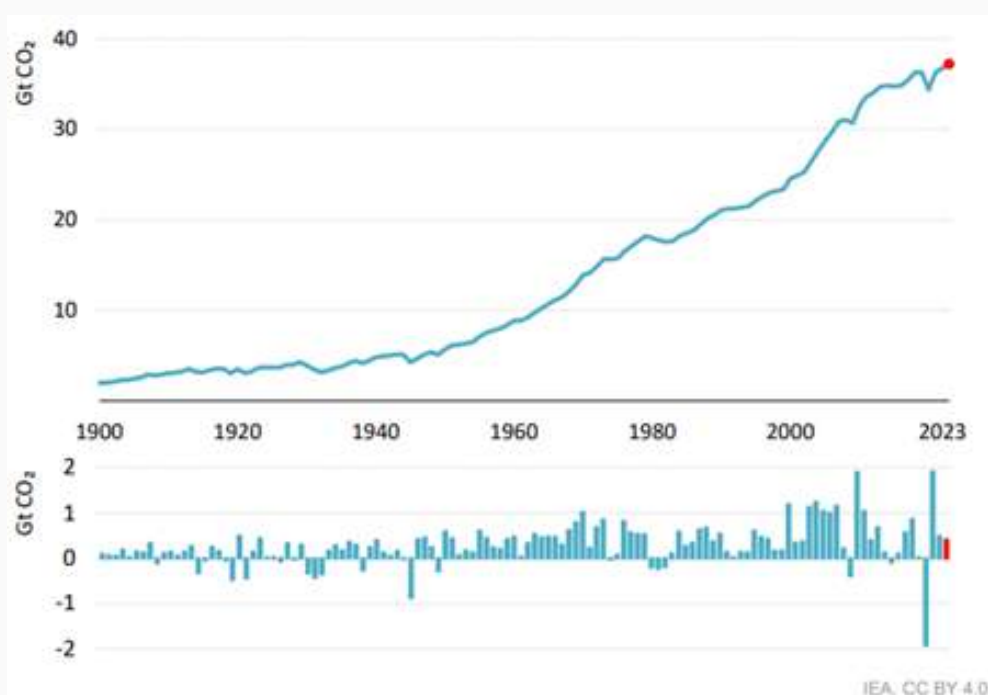


Figura 2: Emissões globais de CO₂, em 2023.

Conforme apresentado na Figura 3, o setor de transportes foi o principal responsável pelas emissões globais de gases de efeito estufa em 2022, com uma participação de 15%. A produção de eletricidade, apesar de ser considerada limpa no ponto de consumo, contribuiu significativamente para as emissões globais, representando 29% do total. Essa alta contribuição se deve principalmente à predominância de combustíveis fósseis (carvão e gás natural) na geração de energia elétrica, que correspondem a 62% da matriz energética global. As atividades industriais, por sua vez, somaram 29% das emissões. A transição para uma matriz energética mais limpa, com menor dependência de combustíveis fósseis, especialmente na geração de eletricidade, é fundamental para combater as mudanças climáticas.

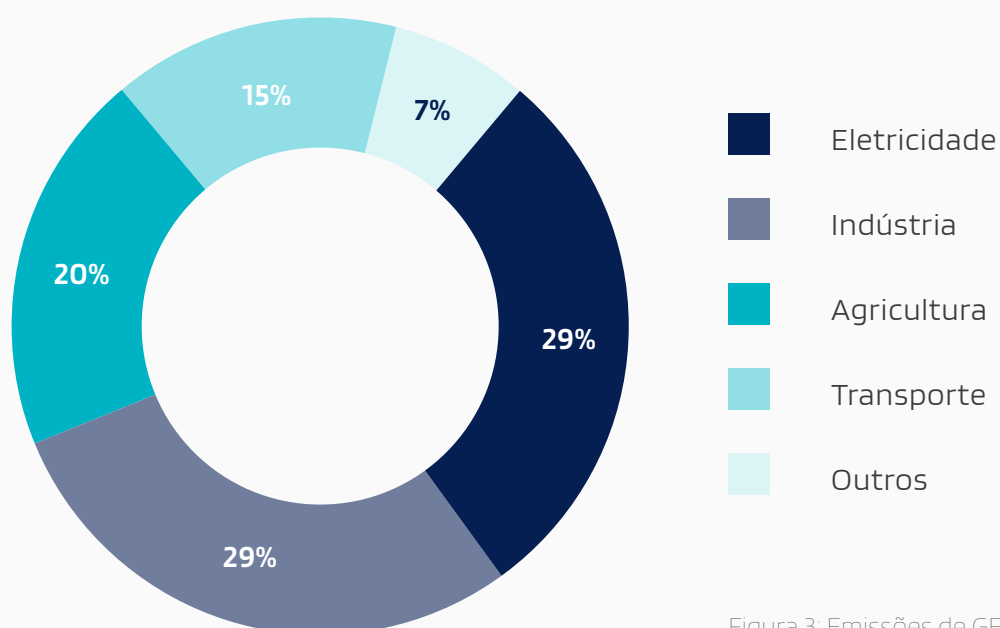


Figura 3: Emissões de GEE por setores, em 2022.

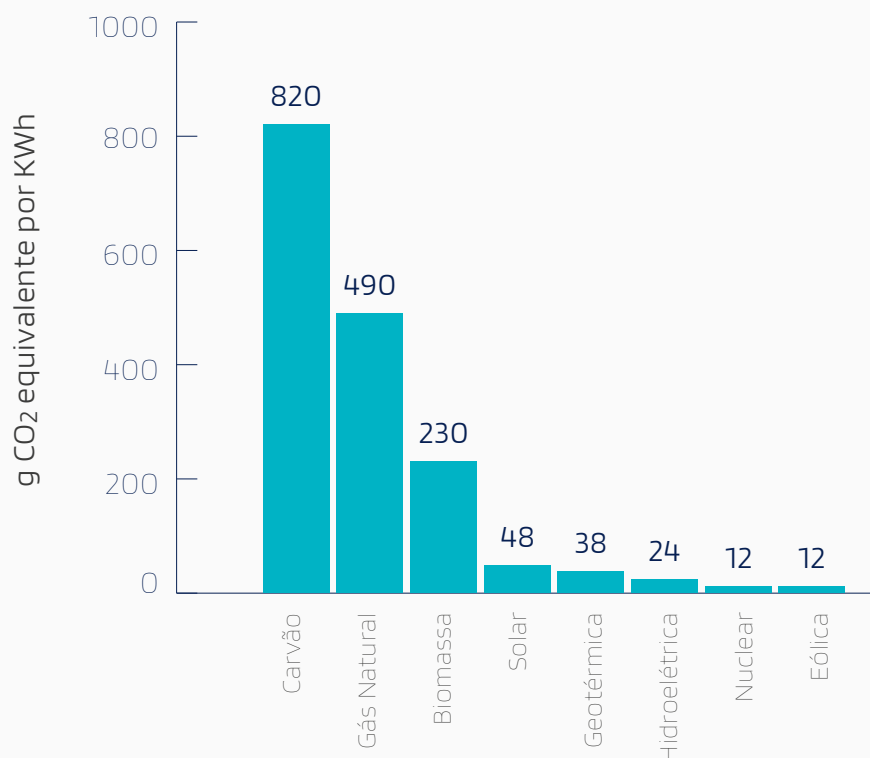
De acordo com o Relatório de Mudanças Climáticas e Energia Nuclear da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2020), espera-se que a população global cresça 25% até 2050, enquanto a previsão de crescimento do PIB global seja bem mais elevada, podendo até mesmo triplicar no mesmo período. Esse crescimento econômico, diretamente ligado ao aumento do consumo per capita de eletricidade, impulsionará a demanda mundial de energia em quase 100%. No entanto, esse aumento de demanda não ocorre de forma justa. Não devemos nos esquecer que em 2020, cerca de 860 milhões de pessoas em todo mundo simplesmente não tinham acesso a eletricidade. Percebemos assim que a necessidade de uma mitigação mais efetiva coincide tanto com o crescimento contínuo da população mundial e das atividades econômicas, quanto com os esforços para garantir o acesso à energia de forma mais igualitária.

A forma como estes desenvolvimentos sociais e econômicos se desenrolam, juntamente com os fatores tecnológicos e políticos, determinará as futuras procuras por energia e eletricidade, além de influenciarem a realização de metas ambiciosas para mitigação.

1.2 Transição energética limpa

A transição energética não se resume apenas à substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis. Para alcançarmos um futuro com baixas emissões de carbono e garantir sucesso nas metas traçadas, é fundamental considerar todas as opções com potencial para atender ao desenvolvimento mundial com poucas emissões de gases do Efeito Estufa, ou até mesmo com emissões zero. Dessa forma, não faz muito sentido a teoria da concorrência entre fontes, uma vez que ao se complementarem, podem ser integradas em um sistema energético mais diversificado, resiliente e com segurança energética.

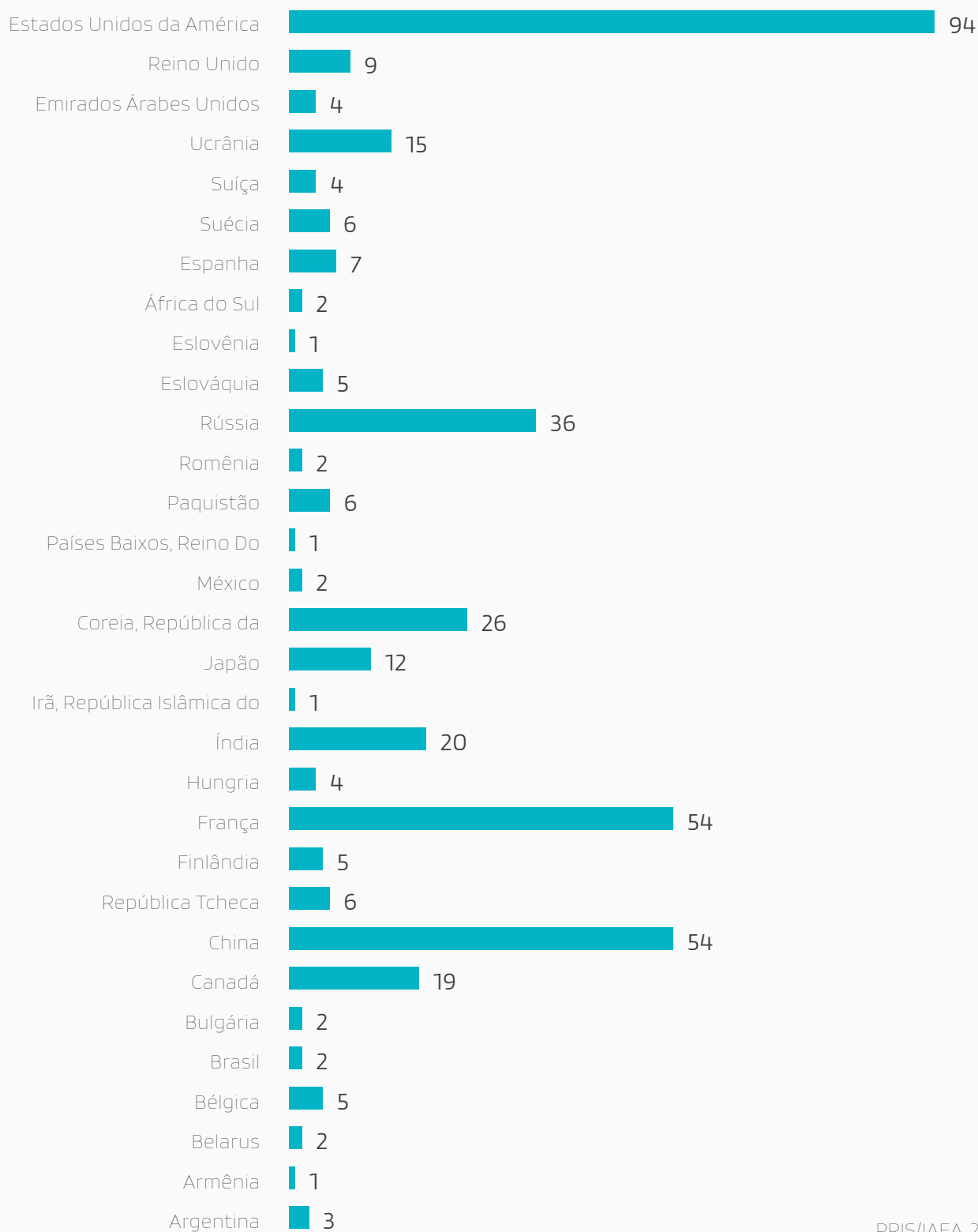
Nesse sentido, a energia nuclear tem muito a contribuir para alcançarmos as metas estabelecidas em Paris. As centrais nucleares não produzem emissões de gases com efeito de estufa quando em operação; apenas emissões muito baixas relacionadas a atividades da usina são produzidas, como o uso de viaturas e em algumas poucas vezes o uso de geradores. Mesmo depois de contabilizar todo o ciclo de vida, desde a extração de combustível nuclear até a gestão de resíduos de combustível irradiado, a energia nuclear provou ser uma fonte de eletricidade com baixo teor de carbono. Durante a operação e manutenção, as usinas nucleares produzem diferentes níveis de resíduos sólidos e líquidos e são tratados e inventariados com segurança. Embora as centrais elétricas convencionais alimentadas a combustíveis fósseis causem emissões quase exclusivamente a partir do local da central, a maioria das emissões de gases do efeito estufa no ciclo está relacionada com o ciclo do combustível nuclear, sendo gerados nas fases de processamento a montante (exploração e processamento do minério de urânio, fábrica de combustível etc.) e a jusante do fluxo da planta (reprocessamento de combustível, armazenamento de combustível irradiado etc.). Ao longo do seu ciclo de vida, a quantidade de emissões equivalentes de CO₂ por unidade de eletricidade produzida pelas centrais nucleares é comparável à da energia eólica, e apenas um terço das emissões provenientes da energia solar. As emissões de gases com efeito estufa correspondem a 10-15 g de CO₂ por quilowatt-hora de eletricidade produzida, em comparação com as emissões de uma central alimentada a combustíveis fósseis de 600-900 g, 15-25 g de turbinas eólicas e hidroelétricas, e cerca de 90 g de usinas de energia solar, conforme apresentado na figura 4.

Figura 4: Emissões de CO₂ por fonte.

A energia nuclear desempenha um papel crucial na transição energética global, oferecendo energia confiável, de baixo carbono e escalável, sendo assim, fundamental na matriz energética mundial. Atualmente, a energia nuclear atingiu 373.735 MWe de capacidade instalada líquida total, representando cerca de 11% da eletricidade mundial e cerca de 33% da eletricidade global com baixas emissões de carbono. Com 414 reatores nucleares em operação distribuídos por 31 países e 62 reatores em construção em 15 países, Figura 5.

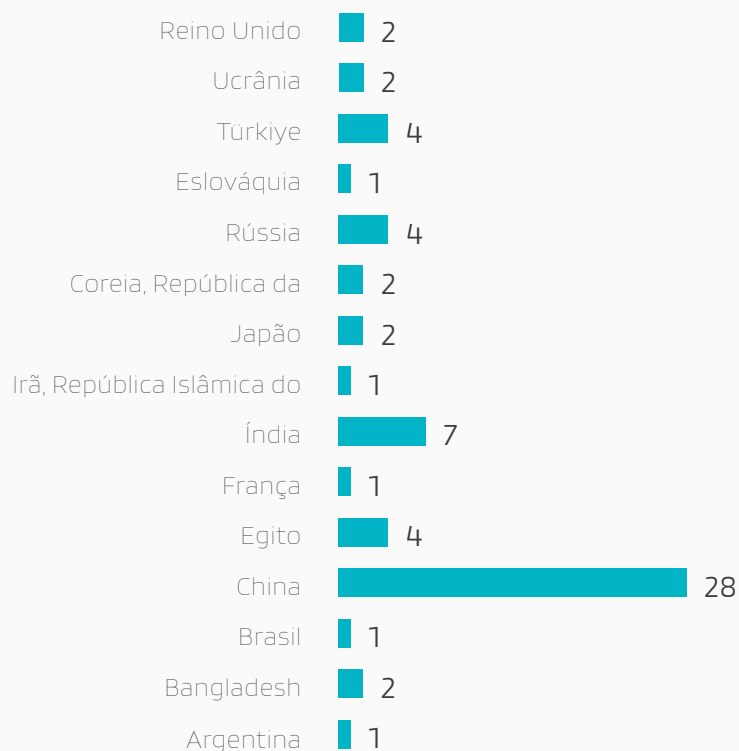
A Ásia se destaca como a região com maior crescimento da capacidade nuclear nos últimos anos, com mais de 79% da capacidade adicional conectada à rede desde 2013. A China, em particular, tem liderado essa expansão, com 56 reatores em operação e outros 28 em construção, Figura 6.

Figura 5: Reatores nucleares em operação em todo o mundo, em 2024.



PRIS/IAEA, 2024.

Figura 6: Reatores nucleares em construção em todo o mundo, em 2024.



PRIS/IAEA, 2024.

A energia nuclear está reduzindo as emissões de CO₂ em cerca de duas gigatoneladas por ano (2 GtCO₂/ano). Esse fato comprova que, para uma transição energética eficiente, nenhuma fonte limpa deve ser desconsiderada. Na França, as centrais nucleares representaram 70,6% da produção total de eletricidade, a maior participação nuclear entre os países industrializados. Cerca de 90% da eletricidade na França provém de fontes de baixo carbono (combinando nuclear e renováveis). Nos Estados Unidos, a energia nuclear contribuiu com 20% da geração de eletricidade nas últimas duas décadas e continua sendo a maior fonte de geração de energia elétrica não emissora de gases de efeito estufa. Da capacidade mundial instalada atual (1.117.475 MWe), 60% ainda é proveniente de combustíveis fósseis.

Apesar do aumento na capacidade instalada das fontes eólica e solar, a energia nuclear continua sendo a segunda maior fonte de energia limpa em uso no mundo, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica. As centrais nucleares oferecem uma fonte contínua e estável de eletricidade, enquanto as fontes solar e eólica precisam de soluções de backup para compensar a intermitência da produção, como à noite ou em períodos sem vento. O Painel

Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) recomendou dobrar a geração de energia nuclear até 2050 para atingir as metas do Acordo de Paris. Nos últimos 50 anos, a energia nuclear evitou a emissão de aproximadamente 60 Gt de CO₂, — o equivalente a quase dois anos de emissões globais de CO₂ relacionadas à energia —, demonstrando seu papel crucial no combate às mudanças climáticas.

As fontes de energia renováveis não são capazes de satisfazer a procura contínua de energia devido à natureza intermitente de suas fontes (o sol e o vento por exemplo) e devido à ausência de enormes capacidades de armazenamento de energia. Isto significa que as redes elétricas necessitam frequentemente de fontes de energia suplementares. A energia nuclear pode gerar energia com baixo teor de carbono 24 horas por dia, 7 dias por semana, além de poder responder às flutuações dos sistemas elétricos e proporcionar estabilidade às redes, especialmente às redes com uma elevada percentagem de fontes renováveis variáveis, conforme sinalizado nos diversos projetos de SMR. A energia nuclear pode fornecer suporte de capacidade de backup para geração variável de energia solar e eólica sem a necessidade de combustível fóssil. Ao contrário das redes elétricas convencionais, as redes inteligentes permitem que diversas fontes de energia diferentes sejam conectadas de forma dinâmica. As redes inteligentes usam tecnologias de Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) para automatizar processos. A energia nuclear combinada com redes elétricas inteligentes pode ajudar a facilitar a transição para fontes de energia renováveis e a garantir um abastecimento de energia fiável, estável e sustentável. A Figura 7 ilustra esquematicamente um exemplo de demanda de energia típica ao longo de um ciclo de 24 horas.

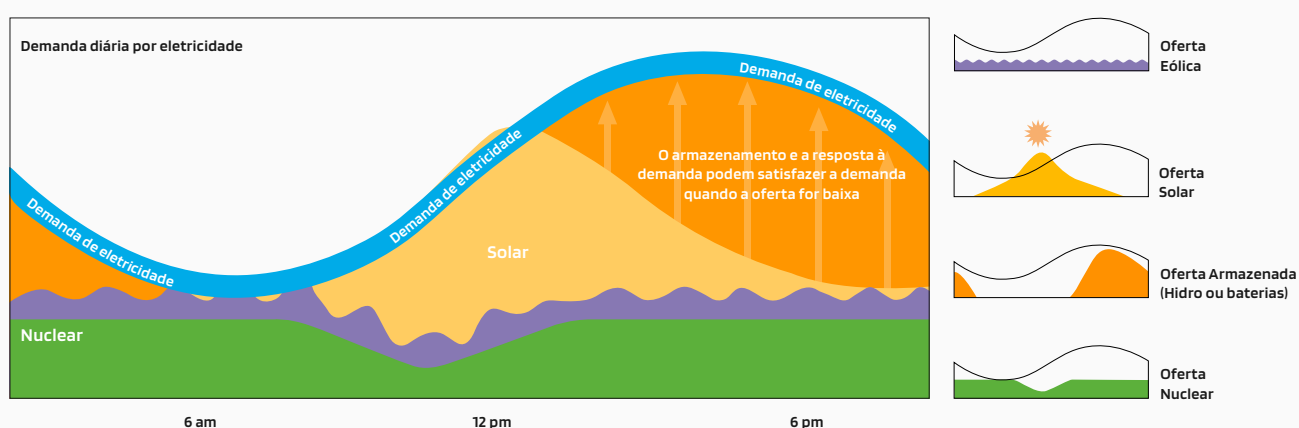


Figura 7: Exemplo de demanda diária de energia.

Os reatores nucleares atuais, juntamente com as tecnologias nucleares avançadas, como os pequenos reatores modulares (SMRs), têm a capacidade de atender tanto à demanda por energia de base quanto de operar com flexibilidade para integrar fontes renováveis e responder às variações na demanda. Os SMRs representam uma abordagem inovadora para acelerar a construção e o comissionamento de grandes projetos nucleares. Com o conceito de fabricação modular de componentes, é possível reduzir significativamente o tempo de construção no local, além de reduzir os custos de capital.

Vários tipos de SMR estão atualmente em desenvolvimento e oferecem melhor economia, flexibilidade operacional, maior segurança, uma gama mais ampla de tamanhos de instalações e a capacidade de satisfazer as necessidades de sistemas elétricos com grande participação de fontes renováveis. Alguns desses reatores são projetados para operar até 700–950°C (reatores resfriados a gás de altas temperaturas) em comparação com os reatores a água leve (LWR), que operam a 280–325°C. Podendo fornecer calor aos mais variados processos industriais de alta temperatura como a siderurgia e metalurgia. Os SMRs também podem gerar hidrogênio por meio de processos mais eficientes em termos energéticos, como eletrólise a vapor de alta temperatura ou ciclos termoquímicos.

Com seu menor porte e maior facilidade de instalação, os SMRs são ideais para uma ampla gama de aplicações não elétricas, que exigem uma produção de energia inferior a 300 MWe, oferecendo uma solução eficaz para atender às demandas de energia industrial e promover a transição para sistemas energéticos mais limpos e sustentáveis.

1.3 O QUE SÃO SMRs?

Os pequenos reatores modulares (SMRs) são reatores nucleares avançados com capacidade de até 300 MW(e) por unidade, o que equivale a cerca de um terço da capacidade dos reatores nucleares tradicionais e cujos componentes e os sistemas podem ser produzidos e transportados como módulos para os locais da instalação conforme o surgimento de demanda. A maioria dos projetos de SMR adota recursos de segurança avançados e podem ser implantados como uma planta de módulo único ou multimódulo. Os SMRs estão em desenvolvimento para todas as principais linhas de tecnologia de reatores: reatores resfriados a água, reatores refrigerados a gás de alta temperatura, reatores de espectro de nêutrons rápidos resfriados com metal líquido, reatores de sal fundido e microreatores. As principais forças motrizes para desenvolvimento dos SMRs são satisfazer a necessidade de geração de energia flexível para uma ampla gama de usuários e aplicações, melhorando o desempenho de segurança (safety) e oferecendo melhor acessibilidade econômica.

Os níveis e dimensões máximas de potência são limitados pela fabricação e capacidade de transporte, que é uma característica fundamental dos SMRs para permitir a produção em série, já a modularização é o processo pelo qual os SMRs são projetados e montados a partir de blocos de construção ou módulos. O fato de poderem ser construídos em um local e depois transportados para outro, possibilita atividades de construção simultâneas, melhorando a produtividade e diminuindo consideravelmente o tempo de construção da planta. Essa técnica também visa a padronização de componentes, redução dos custos de produção devido a produção modular em série e instalação mais simplificada no local dos módulos pré-montados.

Em alguns projetos de SMR, como aqueles para reatores de água leve (LWR), um módulo pode consistir em um sistema completo de fornecimento de vapor nuclear, incluindo todos os componentes primários e sistemas de instrumentação associados. Outros podem usar componentes tradicionais, porém integrados e projetados para serem facilmente montado em campo, assim como o módulo de sistema de instrumentação e controle que pode ser testado e parcialmente comissionado na fábrica e não como nos dias atuais, onde os testes e comissionamentos só podem ser realizados no local da planta.

Módulos construídos em fábrica (em oposição à construção em campo) são projetados para que todos os componentes mecânicos, elétricos, instrumentação e sistemas de controles estejam incluídos nesse “bloco único”. Além disso, eles podem ser montados em um ambiente de fábrica mais controlado, com mão de obra totalmente treinada, utilizando os mesmos materiais, códigos e padrões para cada módulo subsequente. Dessa forma, prevê-se que a modularidade reduza não somente o custo de capital, mas também os custos trabalhistas, uma vez que a força de trabalho não precisa ser realocada cada vez que um módulo de reator precisa ser produzido. A economia de custos também deverá estar associada a prazos de projeto mais curtos, relacionados a técnicas de fabricação em série e ao uso muito mais eficiente de materiais.

1.4 Um panorama sobre a geração mundial de eletricidade com carvão mineral

Entre 2000 e 2019, a capacidade global de geração de eletricidade a partir do carvão mineral experimentou um crescimento significativo, quase dobrando de 1.066 GW para 2.045 GW. Esse aumento foi impulsionado principalmente pelo rápido desenvolvimento econômico de países emergentes, como China e Índia, que buscavam atender à crescente demanda por eletricidade. Durante esse período, mais de 200 GW de capacidade estavam em construção e 300 GW

estavam planejados. No entanto, essa trajetória de crescimento começou a desacelerar drasticamente, com um aumento líquido de apenas 20 GW em 2018, o menor registrado em décadas (Carbon Tracker, 2024).

A expectativa de eletricidade barata para alimentar o crescimento econômico foi um dos principais fatores que impulsionaram a expansão do carvão. Contudo, a realidade atual mostra que o novo carvão se tornou mais caro do que as energias renováveis em todos os principais mercados globais, conforme análises recentes do (Carbon Tracker, 2024).

Atualmente, o carvão representa quase 40% da eletricidade mundial, alcançando sua maior participação em décadas, com 80 países utilizando essa fonte em comparação com 66 países em 2000, segundo o World Bank Group (WBG, 2024). No entanto, em 2023, 16 países interromperam o uso do carvão para a geração de eletricidade, evidenciando uma tendência de redução dessa matriz.

Essa queda na utilização de carvão está fortemente ligada à crescente preocupação com o aquecimento global, resultando em uma onda de reformas em regiões como a União Europeia e os Estados Unidos, que levaram ao fechamento de 268 GW de capacidade gerada a partir do carvão. Além disso, 213 GW adicionais estão previstos para serem desativados. Destes, 19 países já se comprometeram a eliminar completamente o uso do carvão, incluindo Reino Unido e Alemanha (Carbon Brief, 2021).

Para limitar o aquecimento global a 1,5°C, a Agência Internacional de Energia (AIE) afirma que a utilização global do carvão deve cair cerca de 80% nesta década, também observa que o investimento global em carvão já atingiu seu pico, entrando em uma fase de desaceleração acelerada. Embora a China ainda represente uma parte significativa das usinas de carvão em construção, não há necessidade econômica para novas centrais (Carbon Brief, 2020).

O número de novas centrais em construção caiu drasticamente, apresentando uma queda de 66% entre 2015 e 2019 (Global Energy Monitor, 2024). As desativações de usinas a carvão também atingiram níveis historicamente sem precedentes, com 34 GW de encerramentos em 2019, o que demonstra uma mudança de tendência no cenário global de geração de eletricidade.

A Tabela 1 mostra as 10 principais nações em capacidade instalada de carvão, que juntas representam 86% da capacidade mundial em operação:

País	Capacidade instalada (MW)	Operação Mundial
China	1 004 948	41,20%
EUA	246 187	13,20%
Índia	228 964	6,60%
Rússia	46 862	6,30%
Japão	46 682	6,20%
Alemanha	44 470	4,60%
África do Sul	41 435	2,40%
Coréia do Sul	37 600	2,20%
Indonésia	32 373	2,10%
Polônia	30 870	1,50%

Tabela 1: Nações em capacidade instalada de carvão.

As novas regulamentações sobre poluição atmosférica estão aumentando os custos das centrais a carvão em diversas jurisdições, desde a UE até a Índia (Carbon Brief, 2017). As empresas operadoras estão sendo obrigadas a investir cada vez mais em equipamentos de controle de poluição para se adequar aos novos padrões de emissão. Além disso, em várias regiões, a eletricidade gerada por energias renováveis já é mais barata do que a produzida a partir do carvão existente.

Uma análise do Carbon Tracker revela que mais de 60% das centrais a carvão do mundo estão gerando eletricidade a um custo maior do que o necessário para construir novas usinas eólicas ou solares, e essa proporção deve aumentar para 100% até 2030 nos principais mercados.

As indicações atuais não significam necessariamente o fim do carvão como fonte para as matrizes elétricas até 2050. Condições econômicas desfavoráveis, como pagamentos de mercados de capacidade, ainda podem manter as centrais a carvão em operação em muitos países. Portanto, a transição energética para alternativas mais sustentáveis exige uma abordagem equilibrada entre inovação tecnológica, políticas públicas e a viabilidade econômica de novas fontes de energia.

Nos últimos 10 anos, a transição global para longe do carvão se acelerou significativamente. O número de países com projetos de usinas a carvão em desenvolvimento caiu de 75 em 2014

para 40 em 2024. Atualmente, 98% dessa capacidade está concentrada em apenas 15 países, sendo a China e a Índia responsáveis por 86% do total. No primeiro semestre de 2024, novas propostas de usinas a carvão (60 GW) superaram os cancelamentos (33,7 GW), refletindo uma retomada impulsionada principalmente pela China e Índia. Embora a capacidade global em desenvolvimento tenha diminuído 62% na última década, a eliminação do carvão depende cada vez mais de um pequeno grupo de países (Carbon Brief, 2024).

Apesar de um declínio global no uso do carvão, muitos países ainda não têm metas de transição energética consistentes com o Acordo de Paris ou com a “agenda de aceleração” da ONU, que prevê o encerramento de novas propostas de carvão e eliminação total até 2040. Na COP28 de 2023, foi feita uma chamada para a redução gradual da energia a carvão, mas os 15 países líderes no desenvolvimento de novas usinas ainda não estabeleceram metas claras para esse fim.

Alguns países, como Indonésia, Vietnã e África do Sul, firmaram acordos de “parceria de transição energética justa” (JETP), que permitem crescimento limitado de energia a carvão. A China, embora tenha prometido parar de construir novas usinas de carvão no exterior, ainda apoia projetos em países como Indonésia, Zimbábue e Mongólia. Enquanto isso, a Rússia sustenta novas propostas no Cazaquistão e Quirguistão.

Na China, o desenvolvimento de novas usinas a carvão está desacelerando devido à expansão da energia limpa, que agora ultrapassa a capacidade instalada de carvão no país. No entanto, as atividades de construção permanecem elevadas, e as aposentadorias de usinas são baixas. Mesmo com sinais de mudança, ainda há um impulso significativo no desenvolvimento do carvão, desafiando os compromissos climáticos globais. A frota de carvão da Índia é a terceira maior do mundo depois dos EUA, totalizando 229 GW (Carbon Brief, 2024).

Historicamente, o carvão foi visto como uma solução barata e abundante para impulsionar o crescimento econômico. Entretanto, essa realidade está mudando. Atualmente, o custo do carvão se tornou superior ao das energias renováveis. Essa mudança representa um ponto de inflexão importante na matriz energética global. As fontes renováveis não apenas oferecem uma alternativa sustentável, mas também estão se tornando mais competitivas em termos de custo.

O carvão mineral possui uma participação modesta na matriz energética brasileira e mundial. No Brasil, representa apenas 1,75% da matriz elétrica, sendo superado por outras fontes não renováveis, como gás natural (9%) e petróleo (4%). Essa proporção revela um contexto em que as energias renováveis têm um papel crescente e predominante na geração de eletricidade no país. Em termos globais, o carvão ainda mantém uma relevância maior, contribuindo com 25,1% da oferta mundial de energia (Kartado, 2024).

2. O PROGRAMA CARVÃO PARA NUCLEAR - COAL TO NUCLEAR (C2N)

2.1 PANORAMA GERAL

Com base nas análises apresentadas e diante do iminente fechamento de diversas usinas termelétricas a carvão mineral, a ideia de converter essas instalações em usinas nucleares, aproveitando a infraestrutura existente (conforme ilustrado na Figura 8), está ganhando força em todo o mundo. Essa estratégia se torna ainda mais viável com o surgimento dos Pequenos Reatores Modulares (SMR), que possuem capacidades energéticas compatíveis com as das plantas a carvão.

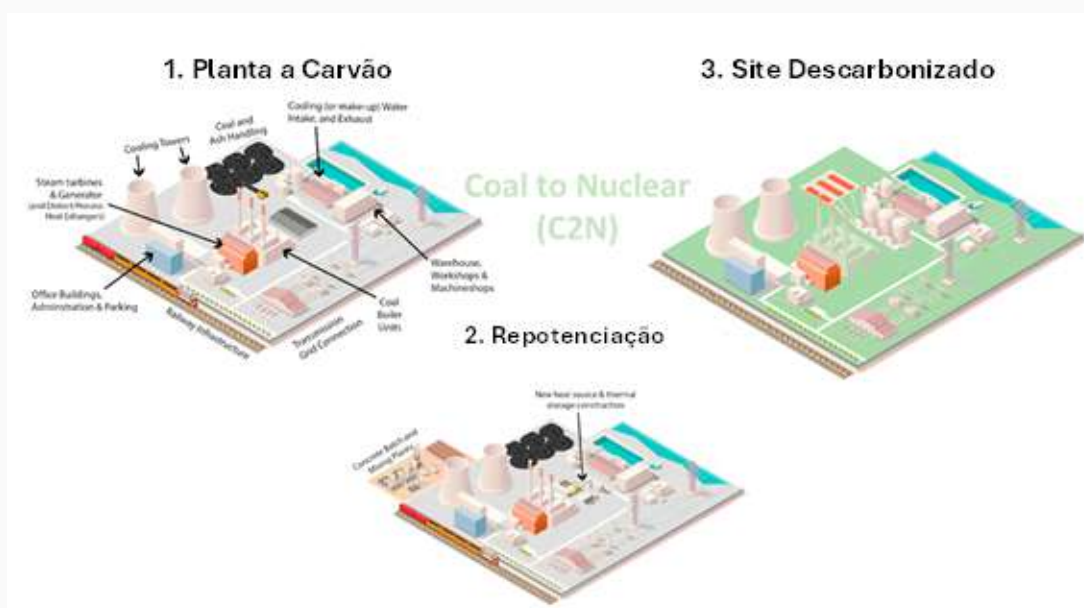


Figura 8: Panorama esquemático da transformação Coal to Nuclear – C2N.

Nos Estados Unidos, de 237 sites analisados, 157 mostraram viabilidade para a transição do modelo Carvão para Nuclear (C2N), com potencial para reduzir entre 15% e 35% do CAPEX das novas usinas nucleares, dependendo do nível de reaproveitamento da infraestrutura térmica existente. Esse aproveitamento não só diminui os custos, mas também acelera a descarbonização do setor energético, demonstrando uma aplicação prática da transição energética.

O contexto brasileiro, como veremos adiante, não é diferente do mundial, embora a capacidade instalada de usinas a carvão no Brasil seja pequena, o potencial da transição C2N é enorme e um dos objetivos principais deste estudo é através de seu pioneirismo evidenciar esse fato. Embora possua uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, o Brasil ainda possui grandes desafios energéticos principalmente no que diz respeito a nossa matriz energética, aos nossos sistemas elétricos isolados e também as remanescentes fontes fósseis tanto a carvão quanto a óleo combustíveis que ainda utilizamos, principalmente nos anos cada vez mais recorrentes de crise hídrica.

O sucesso de iniciativas internacionais reforça a viabilidade do modelo C2N em diferentes contextos. Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia identificou pelo menos 125 locais com potencial de transição, acumulando quase 200 GWe — mais de 15% da capacidade total de geração elétrica do país (Hansen et al., 2022). Na Polônia, um país altamente dependente de combustíveis fósseis, o C2N também demonstra um forte potencial, com análises destacando a viabilidade econômica da modernização de centrais a carvão para reatores nucleares modulares de geração III+ e IV (Qvist et al., 2021; Bartela et al., 2021). Esses projetos contam com um suporte tecnológico robusto dos Estados Unidos, que têm desempenhado um papel crucial na aceleração da transição energética polonesa.

A China, outro exemplo significativo, possui um impressionante potencial de descarbonização com 906 GWe, caso suas 2.264 usinas de carvão fossem convertidas em instalações nucleares (Jiang et al., 2022; Xu et al., 2022). Esse potencial demonstra que a transição C2N não é apenas uma oportunidade para países com grandes frotas de usinas a carvão, mas uma estratégia globalmente aplicável que pode redefinir o futuro energético de nações em busca de sustentabilidade.

Embora o maior potencial para a transição Carvão para Nuclear (C2N) esteja na China — país que atualmente opera metade da frota global de usinas a carvão — a primeira conversão real de uma usina a carvão para uma instalação nuclear ocorrerá em Kemmerer, Wyoming, nos Estados Unidos. Essa iniciativa pioneira ilustra como a substituição de queimadores a carvão por reatores nucleares pode aproveitar ao máximo a infraestrutura existente, como torres de resfriamento, linhas de transmissão, turbogeradores, além da força de trabalho especializada, composta por engenheiros e técnicos já familiarizados com a operação de usinas térmicas.

A ideia de substituir queimadores a carvão por reatores nucleares e utilizar o máximo da infraestrutura existente, bem como a força de trabalho existente será mais bem defendida no desenvolver deste relatório. A abordagem para transformar unidades elétricas alimentadas a carvão em nucleares deveria ser promovida de uma forma semelhante à que a captura e armazenamento de carbono (CAC) foi e ainda é promovida para as centrais

de combustíveis fósseis hoje em dia. Acredito que, do ponto de vista ambiental, as centrais elétricas alimentadas a carvão, tanto as novas quanto as antigas, deveriam se preparar não somente para a captura e armazenagem de carbono, mas deveriam ir além e demonstrarem regularmente que também estão preparadas para a transição limpa nuclear. A abordagem de preparação nuclear, independente do tempo de funcionamento da usina, promoveria uma transição mais rápida para a produção de energia limpa, oferecendo segurança energética ao grid nacional.

A elaboração deste relatório apoia que a maior parte possível da infraestrutura, dos investimentos e dos recursos da central existente sejam utilizados para a futura produção de energia limpa. Ao compilar os dados sobre as plantas termelétricas a carvão mineral do Brasil, este estudo fornece um mapa que resume as oportunidades econômicas para os proprietários dos locais e comunidades vizinhas, bem como para os investidores que desejam promover a transição para energias limpas. Estes dados podem ser utilizados para comparar melhor os riscos e benefícios econômicos e ambientais percebidos do C2N em comparação com outras tecnologias.

2.2 Contexto americano e a criação do coal to nuclear (C2N)

Nos Estados Unidos, a evolução das condições econômicas, regulamentares e a necessidade de reduzir as emissões de carbono alteraram a viabilidade e a conveniência de operar termelétricas alimentadas a carvão. Nesse contexto, mais de 90 GW de unidades a carvão mais antigas, menores e menos eficientes foram desativadas desde 2000, devido a mudanças econômicas e ambientais (Financial Times, 2015). As metas globais para controle das mudanças climáticas impuseram uma pressão política intensa sobre a frota de carvão americana, além de provocar transformações financeiras significativas, incluindo uma crescente dificuldade no financiamento de novos projetos relacionados ao carvão (World Bank Group, 2014). As pressões para desativar a frota de carvão remanescente continuam a aumentar à medida que os geradores de energia em todo o mundo fazem a transição para fontes de energia de baixo ou zero carbono.

As concessionárias de serviços públicos nos Estados Unidos anunciaram a desativação de mais de 70 GW de usinas a carvão nos próximos 15 anos. Esta nova rodada de desativações de usinas apresenta diversos desafios. A capacidade média nominal das usinas a carvão que serão desativadas nos EUA nesse período é de aproximadamente 420 MW por unidade, em comparação com uma média de 152 MW das unidades desativadas nos últimos 15 anos. Globalmente, incluindo os Estados Unidos, as desativações de carvão previstas para

os próximos 15 anos somam quase 290 GW. De fato, o Fórum Econômico Mundial observou que as desativações internacionais de usinas a carvão, de preferência convertidas para energias mais limpas, devem ser aceleradas para atender às metas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) até 2050 (EPRI, 2024).

A desativação massiva de usinas a carvão deixou muitas comunidades carboníferas em situação de incerteza econômica. Em resposta, em 2021, o Congresso Americano e a Agência de Proteção Ambiental (EPA) encorajaram as centrais termelétricas a carvão fechadas ou em processo de encerramento, assim como as indústrias de sua cadeia de suprimentos, a adotarem tecnologias de energia limpa. Foi então formado o Grupo de Trabalho Interagências, composto por 12 agências federais, que, em seu primeiro relatório sobre as Comunidades de Carvão, Centrais Elétricas e Revitalização Econômica, identificou a necessidade de promover investimentos geradores de emprego nas comunidades, além de fornecer financiamento para infraestrutura local, desenvolvimento econômico e capacitação de pessoal.

Em 2022, um estudo do Departamento de Energia dos EUA (DOE) revelou que centenas de usinas a carvão em todo o país poderiam ser convertidas em usinas nucleares. Essa conversão aumentaria drasticamente o fornecimento de eletricidade confiável e limpa à rede, trazendo enormes ganhos para o esforço nacional de alcançar emissões líquidas zero até 2050. Além disso, a transição proporcionaria benefícios tangíveis para as comunidades energéticas carboníferas, com a criação de novos empregos, o surgimento de novas atividades econômicas e melhorias ambientais. Com isso, foi criado o programa Coal to Nuclear, que desencadeou mudanças nesse sentido em todo o mundo (Hansen et al., 2022).

Esses benefícios são especialmente importantes para comunidades que foram desproporcionalmente afetadas pela poluição causada por combustíveis fósseis. À medida que essas comunidades consideram a transição do carvão para a energia nuclear, é essencial que tenham acesso a informações que as auxiliem no processo de tomada de decisões. O DOE iniciou uma campanha informativa sobre o programa e elaborou um relatório técnico intitulado "Guia das Partes Interessadas (Stakeholder Guidebook, 2024) para Conversões Carvão-Nuclear", que oferece informações baseadas em análises sobre tópicos relevantes para as transições de carvão para nuclear. Esse guia informativo serve como um complemento para apoiar as comunidades interessadas em energia, facilitando conversas sobre os dados apresentados. Ele proporciona uma visão de alto nível sobre os impactos econômicos, a transição da força de trabalho e as considerações políticas e de financiamento associadas às conversões do carvão para a energia nuclear.

Embora o programa C2N americano tenha influenciado e apoiado outros programas de transição do carvão para a energia nuclear, como o da Polônia, é nos EUA que estão sendo realizadas as ações mais concretas. A TerraPower LLC., empresa fundada por Bill Gates, planeja construir um reator avançado refrigerado a sódio com o apoio do Departamento de Energia dos EUA (US-DOE), que financiará metade dos custos do projeto, estimado em 4 bilhões de dólares. Bill Gates não está sozinho nessa aposta na C2N. A Holtec, também dos Estados Unidos, desenvolveu recentemente um sistema de compressor de múltiplos estágios que, segundo a empresa, permite que seu reator de água pressurizada, o SMR-160, substitua a maioria das usinas de combustíveis fósseis sem necessidade de energia externa adicional. Caso o sistema se prove eficaz, poderá ser um divisor de águas, pois possibilita que reatores refrigerados a água, que são amplamente conhecidos e operados, gerem o vapor superaquecido necessário para substituir caldeiras a carvão.



Figura 9: Infográfico com as principais conclusões do Relatório C2N de 2022 lançado pelo DOE.

2.3 Programa Phoenix e a expansão nuclear no leste europeu

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 27), realizada em Sharm el-Sheikh, Egito, o Governo Americano anunciou o Projeto Phoenix. Esse projeto integra o Programa de Infraestrutura Fundamental para o Uso Responsável da Tecnologia de Pequenos Reatores Modulares (FIRST) do Departamento de Estado dos EUA, em cooperação com o Programa Público-Privado de Pequenos Reatores Modulares (SMR PPP) do Departamento de Comércio dos EUA. O objetivo é promover a cooperação transatlântica para a implantação de SMRs na Europa e na Eurásia. De acordo com a Casa Branca, o Projeto Phoenix busca acelerar a transição global para a energia limpa, fornecendo assistência técnica para apoiar a conversão de usinas a carvão em plantas nucleares seguras e livres de carbono, utilizando SMRs.

Em 2023, durante um evento na Romênia, o Enviado Presidencial Especial dos EUA anunciou que a República Tcheca, a Eslováquia, a Polônia e a Romênia foram escolhidas para integrar o Projeto Phoenix. Esse projeto receberá financiamento dos EUA e oferecerá apoio para a realização de estudos de viabilidade voltados para a transição do carvão para SMRs. Dessa forma, o Projeto Phoenix estabelece uma base para a expansão do Programa C2N americano na região do Leste Europeu (NUCNET, 2023).

Durante visita a Bucareste, o Secretário Kerry lançou o programa Nuclear Expediting the Energy Transition (NEXT), que funcionará como um Balcão Único (One Stop Shop) para apoiar projetos de SMRs. Este Balcão Único oferecerá um conjunto abrangente de ferramentas e serviços de preparação de projetos, visando facilitar as decisões sobre a implantação de SMRs. Entre os serviços disponíveis, destacam-se consultorias técnicas, financeiras e regulatórias, visitas de especialistas a instalações nucleares, laboratórios nacionais e universidades dos EUA, além da disponibilização competitiva de um simulador de SMR para o desenvolvimento de força de trabalho em um centro regional de treinamento. O programa também promoverá parcerias entre universidades para o desenvolvimento de currículos (U.S. Department of State, 2023).

Tanto o Projeto Phoenix quanto o programa NEXT não apenas ampliam a metodologia para a transição do carvão para a energia nuclear, mas também fortalecem os programas nucleares dos países participantes. Em novembro de 2021, a NuScale anunciou sua intenção de construir, em parceria com a Nuclearelectrica, os primeiros reatores na Romênia até 2028. Além desse acordo comercial, um programa de cooperação técnica e financeira entre os governos visa transformar a Romênia em um polo europeu de capacitação e formação de especialistas nucleares, em colaboração com a Universidade Politécnica de Bucareste. Como parte desse esforço, está sendo instalado na universidade o primeiro simulador de sala de controle de um SMRs.

Conforme previamente destacado, a Polônia figura entre os países que receberão suporte financeiro dos Estados Unidos para o avanço de tecnologias nucleares emergentes. O conflito em curso entre a Ucrânia e a Rússia, aliado à crise energética que afeta a Europa, catalisou um aumento no interesse e na adoção de energia nuclear em toda a região, com ênfase particular no Leste Europeu. Além das consequências resultantes dos acordos multilaterais com os EUA, o programa nuclear da Polônia é reforçado pelo pacote "Fit for 55" da União Europeia. Este Pacto Ecológico estabelece a meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990, e atingir a neutralidade climática até 2050. Para o setor energético e a economia polonesa, este pacote representa uma oportunidade significativa para a modernização da infraestrutura, inovação tecnológica e avanço sustentável, além de possibilitar novos fluxos de investimento.

2.4 Programa nuclear da Polônia e seu contexto

No âmbito da política climática europeia, a Polônia estabeleceu metas ambiciosas para reduzir significativamente a proporção de carvão em sua matriz elétrica. A energia nuclear desempenha um papel crucial nesse processo, pois é fundamental para diminuir a dependência externa do país em relação à eletricidade e reduzir as emissões de CO₂. Atualmente, aproximadamente 79% da eletricidade da Polônia é gerada a partir de usinas térmicas a carvão.

O programa nuclear polonês contempla a construção de seis unidades nucleares até 2043, com uma capacidade total projetada entre 6.000 e 9.000 MWe. A previsão é que as primeiras unidades, com capacidade entre 1.000 e 1.600 MWe, entrem em operação em 2033, seguidas pela adição de uma nova unidade a cada dois anos (U.S. International Trade Administration, 2024).

Em outubro de 2022, o governo polonês anunciou que a empresa norte-americana Westinghouse foi selecionada para construir a primeira usina nuclear do país. Em parceria com a construtora Bechtel, também dos Estados Unidos, a Westinghouse desenvolverá três reatores da linha AP1000, que são projetados para atender aos mais altos padrões de segurança e eficiência. O financiamento do projeto será predominantemente assegurado pelo Estado polonês.

Para a execução deste empreendimento, foi criada a empresa estatal Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ), que deterá 51% da participação acionária no projeto.

Também em outubro de 2022, a empresa de energia paraestatal polonesa ZE Pak anunciou a assinatura de uma carta de intenções com a concessionária estatal PGE e a empresa sul-coreana Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) para a construção de várias unidades de Usinas Nucleares (NPP) do modelo APR-1400. O financiamento do projeto será predominantemente assegurado pelo setor privado, com a KHNP comprometendo-se a cobrir 49% dos custos totais.

No entanto, o projeto pode enfrentar contestações da Comissão Europeia, que está atenta às implicações regulatórias e de concorrência. Ademais, a Westinghouse já havia iniciado uma ação judicial contra a KHNP em um tribunal dos Estados Unidos, alegando que a proposta da empresa sul-coreana infringia seus direitos de propriedade intelectual (WNN, 2023).

Dentro do contexto da expansão do programa Coal to Nuclear (C2N) e das tratativas de cooperação estabelecidas através do Projeto Phoenix, em fevereiro de 2022, a NuScale Power firmou um contrato com o conglomerado polaco de mineração KGHM para a construção de um pequeno reator modular (SMR) na Polônia, com previsão de conclusão até 2029 (POWER, 2023). Este projeto contempla uma planta com 12 módulos, totalizando uma capacidade de 924 MWe, e estima-se que o custo nivelado da eletricidade seja de aproximadamente \$64/MWh.

Em abril de 2022, a Doosan Enerbility foi contratada para iniciar a fabricação dos componentes do Módulo de Energia. Atualmente, diversas empresas industriais polonesas estão em busca de parceiros internacionais para desenvolver projetos que visam substituir as centrais térmicas a carvão por pequenos reatores modulares. A empresa Respect Energy, por exemplo, assinou um acordo com a EDF francesa no início de 2023 para colaborar no desenvolvimento de projetos nucleares na Polônia, baseados na tecnologia Nuward, que ainda está em fase de projeto. Um projeto básico está previsto para ser apresentado até 2025, e a construção de uma usina de demonstração do Nuward SMR está programada para 2030 (WNN, 2023).

3. Análises econômicas e sociais da conversão do carvão para nuclear (C2N)

Centrais elétricas em geral proporcionam importantes benefícios econômicos às comunidades que as abrigam. Os empregos gerados, os salários e vencimentos pagos pelas centrais elétricas estão sempre acima da média da região e resultam em padrões de vida mais elevados e uma melhora significativa na qualidade de vida local.

Esses valores acima da média geram uma cadeia de impactos econômicos positivos. Esses trabalhadores com seus salários impulsionam a economia local através dos gastos de suas famílias. Esse aumento dos gastos beneficia as empresas locais e algumas empresas locais também se podem beneficiar como fornecedores de bens e serviços em apoio às operações da fábrica.

A conversão de centrais a carvão para nucleares (C2N) representa uma oportunidade única para revitalizar economicamente as comunidades que historicamente dependem da geração de energia fóssil. Além de contribuir para a descarbonização da matriz energética, essa transição traz benefícios econômicos e sociais substanciais, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e resiliente.

Centrais nucleares geram empregos com maiores níveis de qualificação e mais bem remunerados, que superam significativamente a média das centrais termelétricas a carvão. Esse tipo de geração de emprego é fundamental para elevar o padrão de vida local, reduzindo desigualdades socioeconômicas. A presença de uma usina nuclear em uma comunidade não apenas garante empregos diretos, mas também estimula uma rede de fornecedores locais, gerando um efeito cascata na economia.

Além do impacto direto na criação de empregos, a conversão para energia nuclear também beneficia as finanças públicas locais através do aumento de receitas fiscais, que podem ser reinvestidas em infraestrutura, educação e serviços públicos. Este tipo de investimento é crucial para transformar antigas regiões carboníferas em polos de inovação e tecnologia de energia limpa.

De acordo com estudos do Departamento de Energia dos EUA, a substituição de uma usina a carvão por uma usina nuclear com capacidade equivalente pode gerar centenas de novos empregos e injetar milhões de dólares na economia local. Isso demonstra que a transição

para a energia nuclear não é apenas uma resposta à crise climática, mas também uma estratégia eficaz de revitalização econômica e social, especialmente para comunidades que enfrentam o declínio de indústrias tradicionais.

Além da geração de empregos, aumento de renda e estímulo às atividades econômicas, um impacto significativo da transição de usinas a carvão para nucleares com SMRs é o crescimento das receitas fiscais dos municípios do entorno. As centrais nucleares, especialmente as com SMRs, geram receitas fiscais substancialmente maiores em comparação com as usinas a carvão, fortalecendo a capacidade financeira das administrações locais e promovendo maior investimento em serviços públicos, infraestrutura e qualidade de vida.

Para avaliar os impactos econômicos da transição de carvão para nuclear nas comunidades afetadas, os indicadores econômicos serão apresentados com base em quatro faixas populacionais e três categorias de capacidade instalada das usinas. Essa segmentação permitirá demonstrar os efeitos em termos de geração de empregos, aumento de renda e crescimento das receitas fiscais, ajustados às diferentes escalas populacionais e de potência das instalações nucleares.

Os impactos apresentados nas tabelas representam os “impactos totais”, que incluem a combinação das operações das usinas, a atividade da cadeia de suprimentos e os efeitos adicionais gerados pelos gastos domésticos dos funcionários. A análise considera a substituição de uma usina a carvão por uma central nuclear de capacidade equivalente, proporcionando uma visão integrada dos benefícios econômicos e fiscais da conversão.

3.1 Impactos sobre empregos

A transição de usinas a carvão para nucleares tem um impacto significativo na criação de empregos, com as usinas nucleares empregando mais pessoas e gerando um número maior de empregos de longo prazo nas comunidades afetadas, Tabela 2.

Um estudo do Departamento de Energia dos EUA (DOE) avaliou os empregos de longo prazo criados ou sustentados pelas operações das usinas nucleares, incluindo não apenas os empregos diretos na planta, mas também os que suportam a cadeia de suprimentos e aqueles na comunidade que são mantidos pelos gastos adicionais dos funcionários da usina. Importante destacar que a análise excluiu os empregos temporários gerados durante as fases

de construção ou descomissionamento da usina de carvão, concentrando-se nos empregos de longo prazo que proporcionam estabilidade econômica às comunidades, promovendo maior desenvolvimento local.

Faixa Populacional		< 20.000	20.000 - 39.999	40.000 - 89.999	90.000 - 200.000
100 MW	Planta a Carvão	56	64	68	69
	Planta a Nuclear	121	139	144	150
	Total adicionado	65	75	76	81
300 MW	Planta a Carvão	108	128	134	143
	Planta a Nuclear	207	253	266	283
	Total adicionado	99	125	132	140
600 MW	Planta a Carvão	201	240	266	270
	Planta a Nuclear	378	467	492	526
	Total adicionado	177	227	226	256

Tabela 2: Indicadores de emprego da C2N por faixa populacional.

Essa diferença se deve principalmente à complexidade tecnológica das usinas nucleares, que exigem uma mão de obra mais qualificada e especializada. Além dos empregos diretos na usina, a energia nuclear impulsiona o desenvolvimento de toda uma cadeia de suprimentos, gerando empregos em diversos setores da economia. É importante ressaltar que os empregos gerados por centrais nucleares são, em geral, mais estáveis e bem remunerados.

3.2 Impactos sobre a renda

O impacto sobre a renda local demonstra que a implantação de uma usina nuclear tem efeitos positivos significativos sobre a renda das populações locais, com o impacto sendo diretamente proporcional ao número de habitantes da região. Esse efeito ocorre porque usinas nucleares, além de oferecerem salários mais altos, criam um ecossistema de empregos indiretos e de suporte, gerando um aumento na renda familiar e na economia local.

A Tabela 3 ilustra esses impactos econômicos, destacando como a transição do carvão para o nuclear pode aumentar substancialmente os rendimentos nas comunidades afetadas, reforçando o papel estratégico da conversão C2N como catalisador de desenvolvimento econômico regional.

Faixa Populacional		< 20.000	20.000 - 39.999	40.000 - 89.999	90.000 - 200.000
100 MW	Planta a Carvão	6	6,5	6,9	6,8
	Planta a Nuclear	14,6	15,5	16,2	16,4
	Total adicionado (\$ UDS)	8,6	9,0	9,3	9,6
300 MW	Planta a Carvão	10,9	12,0	12,8	13,0
	Planta a Nuclear	22,4	24,9	26,8	27,3
	Total adicionado (\$ UDS)	11,5	12,9	14	14,3
600 MW	Planta a Carvão	20	22,2	24,6	24,2
	Planta a Nuclear	39,7	44,7	48,4	49,5
	Total adicionado (\$ UDS)	19,7	22,5	23,8	25,3

Tabela 3: Indicadores de renda da C2N por faixa populacional (valores em milhões de dólar americano 2023).

Os dados mostram que, ao converter uma usina a carvão em uma usina nuclear, há um aumento significativo na renda gerada para a comunidade local, variando conforme o tamanho da população e a capacidade instalada da usina. A transição não só eleva a renda total da comunidade como também amplia as oportunidades econômicas locais, contribuindo para o fortalecimento econômico da região.

3.3 Impactos sobre a receita

A conversão de uma usina a carvão para uma usina nuclear (C2N) resulta em um impacto positivo substancial sobre a receita das comunidades envolvidas no processo de transformação, Tabela 4. Esses impactos incluem receitas provenientes da produção de eletricidade, atividades da cadeia de suprimentos e gastos dos funcionários, refletindo o efeito multiplicador na economia local. Os valores apresentados a seguir estão em milhões de dólares americanos.

Faixa Populacional		< 20.000	20.000 - 39.999	40.000 - 89.999	90.000 - 200.000
100 MW	Planta a Carvão	29,3	30,7	33,2	32,7
	Planta a Nuclear	57,4	61	64,4	64,7
	Total adicionado	28,1	30,3	31,2	32,0
300 MW	Planta a Carvão	86,3	90,2	95,0	96,0
	Planta a Nuclear	167,5	177,2	187,1	187,6
	Total adicionado	81,2	87	92,1	91,6
600 MW	Planta a Carvão	172,3	180,0	194,6	191,5
	Planta a Nuclear	333,1	353,1	372,9	373,7
	Total adicionado	160,8	173,1	178,3	182,2

Tabela 4: Indicadores de receita da C2N por faixa populacional (valores em milhões de dólar americano 2023).

Os dados demonstram que a conversão de centrais a carvão para nucleares resulta em um aumento significativo na receita total das comunidades, com ganhos adicionais variando de acordo com o tamanho da população e a capacidade instalada da usina. Essa transformação proporciona benefícios econômicos substanciais, gerando arrecadações consideravelmente maiores, o que pode contribuir para o desenvolvimento econômico e investimentos locais.

3.4 Impactos sociais mais relevantes gerados

Os impactos sociais mais significativos da transição do carvão para a energia nuclear vão além da simples geração de empregos diretos e indiretos. Eles incluem o aproveitamento da força de trabalho existente das usinas de carvão, a criação de novos postos de trabalho e o aprimoramento dos níveis educacionais e técnicos exigidos.

A força de trabalho em uma usina de carvão existente é altamente qualificada e constitui o principal ativo da transição C2N. A análise dos dados do estudo de impactos econômicos realizado pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) indica uma sobreposição considerável entre os tipos de empregos nas usinas de carvão e nucleares. Para que a transição seja bem-sucedida, no entanto, alguns cargos similares exigirão qualificações adicionais e treinamentos específicos (DOE, 2023).

Para entender essa sobreposição laboral, é essencial examinar as diferenças nos níveis educacionais exigidos pelas indústrias de geração de energia a carvão e nuclear. De acordo com dados do U.S. Bureau of Labor Statistics (2023), as usinas nucleares demandam mais trabalhadores em quase todas as categorias educacionais, com exceção dos empregos que exigem apenas ensino médio ou básico. Apesar disso, a quantidade de trabalhadores com essas formações é comparável entre usinas nucleares e de carvão com a mesma potência instalada, permitindo o aproveitamento da maioria dos funcionários dessa faixa educacional.

A Figura 10 ilustra a distribuição total de empregos por nível de instrução em usinas nucleares e de carvão nos Estados Unidos, considerando uma capacidade instalada de 600 MW.

A análise da Figura 10 revela diferenças substanciais nos requisitos de qualificação educacional entre as usinas de carvão e nucleares, com implicações importantes para a transição de uma matriz energética C2N.

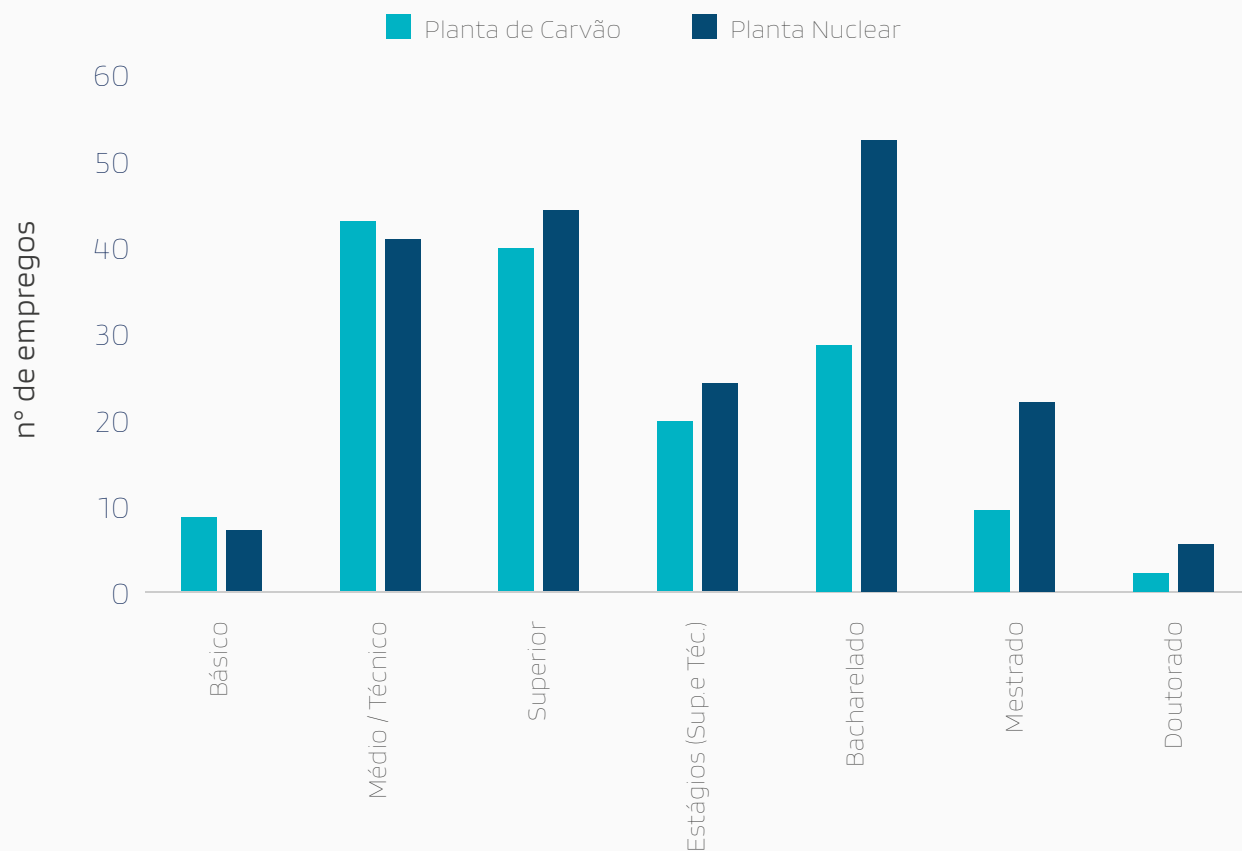


Figura 10: Total de empregos por tipo de usina e por faixas educacionais.

As usinas de carvão empregam uma quantidade ligeiramente maior de trabalhadores com níveis de formação básica e médio/técnico em comparação com as nucleares. No entanto, essa diferença é pequena, indicando que a maioria desses trabalhadores pode ser reaproveitada na transição para usinas nucleares com treinamentos adicionais relativamente simples.

Existe uma demanda muito maior por profissionais com formação superior e bacharelado em usinas nucleares, com um salto significativo no número de empregos para essas categorias. Esse aumento reflete a necessidade de conhecimentos técnicos mais avançados em áreas como engenharia nuclear, segurança radiológica e operação de reatores.

A diferença substancial entre as duas tecnologias sugere que, para que a transição seja bem-sucedida, será necessário investir fortemente na qualificação desses trabalhadores para atender à nova demanda do setor nuclear.

As usinas nucleares mostram uma demanda crescente por estagiários e profissionais com pós-graduação, o que sugere um foco maior em inovação, pesquisa e desenvolvimento contínuo. Este perfil é alinhado com a necessidade de atualização constante das práticas operacionais e de segurança na indústria nuclear.

A presença maior de trabalhadores com pós-graduação destaca a ênfase em conhecimentos especializados e em liderança técnica, fundamentais para a operação segura e eficiente das usinas nucleares.

Para minimizar as perdas da força de trabalho existente, alguns trabalhadores do carvão precisarão de qualificações adicionais dependendo do cargo que ocupam, conforme já mencionado. Em alguns casos, isso pode significar simplesmente fazer alguns cursos extras; em outros, o profissional deverá buscar um bacharelado ou uma pós-graduação.

É importante que para tais qualificações e formações deve haver um trabalho conjunto que envolva o governo, os órgãos de fiscalização e licenciamento, o proprietário do investimento, as universidades e os centros de formação técnicas.

A similaridade na quantidade de empregos de nível médio e técnico sugere que há um potencial elevado de retenção de trabalhadores, o que pode reduzir o impacto social negativo da transição. Esses trabalhadores podem ser rapidamente requalificados para funções nucleares, o que representa um uso eficiente do capital humano existente.

Programas de treinamento focados na requalificação e no desenvolvimento contínuo podem ajudar a integrar mais rapidamente os trabalhadores atuais nas operações nucleares, promovendo a sustentabilidade social e econômica da comunidade local.

A exigência por níveis educacionais mais altos nas usinas nucleares não apenas cria empregos mais qualificados, mas também pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores e suas famílias, uma vez que empregos mais especializados tendem a oferecer salários mais elevados e benefícios adicionais.

A transição também pode estimular o desenvolvimento de infraestrutura educacional nas regiões afetadas, como a criação de cursos técnicos e de bacharelado em engenharias em instituições locais, atraindo novos investimentos e diversificando a economia regional.

4. Contexto Brasil

A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), entre os quais destacam-se o ODS 7, que visa assegurar o acesso universal a energia acessível, confiável, sustentável e renovável, e o ODS 13, que propõe a adoção de medidas urgentes para combater a mudança climática e seus efeitos (United Nations, 2015). No âmbito do Direito Internacional do Meio Ambiente, foram celebrados diversos tratados com o objetivo de mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Um exemplo relevante é o Acordo de Paris, do qual o Brasil é signatário (BRASIL, 2017), instrumento incorporado ao Direito Nacional por meio do Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017.

Por meio deste decreto, o Brasil assumiu compromissos climáticos ambiciosos: reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e em 50% até 2030, ambos em relação aos níveis de 2005. Além disso, o país se comprometeu a atingir a neutralidade de carbono até 2050 (Ministério do Meio Ambiente, 2024). Esses compromissos refletem a adesão do Brasil aos esforços globais de combate às mudanças climáticas, alinhando-se aos objetivos da Agenda 2030 e aos princípios do Acordo de Paris, que enfatizam a redução das emissões como uma prioridade fundamental para a sustentabilidade global.

No cenário nacional, os debates sobre a transição energética justa ganharam destaque após a Engie Energia Brasil comunicar ao Ministério de Minas e Energia (MME), em novembro de 2020, o início do descomissionamento do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL), a maior usina termelétrica a carvão mineral da América Latina. Em resposta, o MME instituiu o Grupo de Trabalho de Santa Catarina (GT-SC) para avaliar as atividades de geração termelétrica e mineração de carvão mineral no estado.

Diante deste contexto, dois marcos legais foram criados para promover a transição energética justa no Brasil. Na esfera estadual, o Estado de Santa Catarina sancionou a Lei nº 18.330, de 5 de janeiro de 2022, que estabelece a Política Estadual de Transição Energética Justa. Essa política visa fomentar o desenvolvimento sustentável das cadeias produtivas catarinenses e impulsionar a transição energética no estado (Brasil, 2022).

No âmbito federal, em janeiro de 2022, foi sancionada a Lei nº 14.299, que institui, em seu artigo 4º, o Programa de Transição Energética Justa (TEJ). O programa busca preparar a região carbonífera de Santa Catarina para o encerramento previsto, até 2040, das atividades de geração termelétrica a carvão mineral nacional. Em dezembro de 2022, o Conselho do Programa de Transição Energética Justa elaborou o Plano de Transição Justa, que define objetivos gerais e específicos, identifica as partes envolvidas e estabelece diretrizes para os planos de ação a serem adotados (Brasil, 2022).

De acordo com o Relatório do Grupo de Trabalho GT-SC, instituído pela Portaria nº 452/2020 (Ministério de Minas e Energia, 2020), o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, em operação desde a década de 1960, emprega direta e indiretamente cerca de 28 mil trabalhadores. Aproximadamente 110 mil pessoas no sul de Santa Catarina estão vinculadas, de forma direta ou indireta, a toda a cadeia produtiva desse complexo, que movimenta diretamente cerca de R\$ 1 bilhão por ano. Esses dados ilustram o enorme impacto socioeconômico que a interrupção das atividades de geração de energia termelétrica a carvão mineral de uma planta de 740 MW pode causar em um estado da União. Ao extrapolar esses números para o parque nacional de geração de energia elétrica a carvão mineral, fica evidente o desafio de desativar esse setor e o potencial de vulnerabilidade socioeconômica a que outras regiões brasileiras poderão ser submetidas.

Para que a transição energética seja considerada justa, é imprescindível levar em conta os aspectos sociais, ambientais, econômicos e políticos que afetam as pessoas, adotando uma abordagem sistêmica e inclusiva que harmonize as necessidades dos diferentes atores envolvidos. Nesse contexto, a substituição de plantas de carvão mineral por tecnologias de Reatores Modulares Pequenos (SMRs) se apresenta como uma das soluções mais justas e coerentes para a transição energética dessas comunidades impactadas.

Essa abordagem não apenas preserva os empregos existentes, tanto diretos quanto indiretos, mas também cria oportunidades de trabalho com salários significativamente mais altos, reaproveitando a mão de obra e a cadeia de suprimentos do setor de carvão. Além disso, promove o aumento da renda e da arrecadação fiscal das regiões envolvidas, conforme demonstrado pelos dados já apresentados neste relatório. Assim, a adoção dos SMRs pode ser um caminho viável para assegurar uma transição energética equilibrada, minimizando os impactos sociais e econômicos negativos e impulsionando o desenvolvimento sustentável das comunidades afetadas.

Com o objetivo de estudar e analisar o potencial das plantas de geração elétrica a carvão mineral para a instalação de plantas nucleares baseadas na tecnologia de SMRs, foi realizado um levantamento detalhado de todas as plantas de geração de energia do Brasil. Esse mapeamento individual será apresentado nas próximas etapas deste relatório. A partir dos dados realistas sobre os recursos existentes, pretende-se ranquear as unidades geradoras e avaliar o verdadeiro potencial brasileiro para a implementação de um programa de Transição de Carvão para Nuclear (C2N).

O estudo visa identificar quais plantas possuem a infraestrutura e localização mais adequadas para a instalação de SMRs, considerando aspectos como acesso a recursos hídricos, proximidade com centros de consumo e capacidade de integração ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

5. Levantamento das plantas de geração elétrica a carvão do Brasil

Este levantamento tem como objetivo apresentar um panorama das termelétricas a carvão em operação no Brasil em 2024. A coleta de dados foi realizada a partir de diversas fontes, garantindo a precisão e abrangência das informações.

Metodologia

As informações sobre as termelétricas a carvão que operaram em 2024 foram obtidas junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), através de seu Boletim Diário da Operação (ONS, 2024). Além disso, detalhes sobre localização geográfica, potência instalada e outras considerações foram acessados em relatórios da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), incluindo dados dos sistemas SIGEL (2024), SIGA (2024) e RALIE (2024). Informações complementares foram coletadas na Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), especificamente no relatório do Balanço Energético Nacional (BEN, 2024).

Resultados

Com base nas referências analisadas referentes ao primeiro semestre de 2024, foram identificadas 11 plantas a carvão localizadas em diferentes regiões do Brasil, totalizando 3,1 GW de potência instalada. A Tabela 5 apresenta um resumo das plantas, incluindo suas respectivas potências e localizações.

O levantamento das plantas de geração elétrica a carvão do Brasil revela a importância dessa fonte de energia na matriz elétrica nacional. Embora a geração a carvão enfrente desafios relacionados à sustentabilidade e às emissões de carbono, sua contribuição para a segurança energética e a capacidade de atendimento à demanda é inegável. Tal importância ganha mais relevância nos anos de crises hídricas.

Nome do Empreendimento	UF	Início Op.	Potência Instalada (MW)	Município	Proprietário
Alumar	MA	2009	75	São Luís	Consórcio de Alumínio do Maranhão.
Alunorte	PA	2007	104	Barcarena	Alumina do Norte do Brasil S/A.
Candiota III	RS	2011	350	Candiota	ÂMBAR URUGUAIANA Energia S.A.
Figueira	PR	1963	20	Figueira	Copel Geração e Transmissão S.A.
Jorge Lacerda I e II	SC	1965	190	Capivari de Baixo	Diamante Geração de Energia LTDA.
Jorge Lacerda III	SC	1979	220	Capivari de Baixo	Diamante Geração de Energia LTDA.
Jorge Lacerda IV	SC	1997	330	Capivari de Baixo	Diamante Geração de Energia LTDA.
Pampa Sul	RS	2019	345	Candiota	Usina Termelétrica PAMPA SUL S.A.
Porto do Itaqui (Termomaranhão)	MA	2013	360	São Luís	Itaqui Geração de Energia S/A.
Porto do Pecém I (MPX)	CE	2012	720	São Gonçalo do Amarante	Porto do Pecém Geração de Energia S.A.
Porto do Pecém II	CE	2013	365	São Gonçalo do Amarante	PECÉM II Geração de Energia S/A.
TOTAL			3079		

Tabela 5: Usinas termoelétricas a carvão no Brasil.

6. Análise por UTE

Nesta fase do estudo, buscou-se levantar os dados de cada usina, pesquisando e analisando tanto as características técnicas individuais quanto os dados sobre seu entorno e as características de cada site.

O primeiro passo foi obter as coordenadas de latitude e longitude de cada UTE por meio do Sistema de Informações Georreferenciada do Setor Elétrico (SIGEL, 2024). Essas coordenadas permitiram localizar cada usina utilizando a ferramenta Google Earth e coletar dados por meio de imagens de satélite.

Foram levantados os seguintes dados para cada UTE:

Dados Técnicos da UTE:	Dados do Entorno:	Dados sobre Infraestruturas Existentes:
1. Capacidade instalada 2. Tipo de resfriamento 3. Início de operação 4. Empresa responsável	1. Dados populacionais 2. Características das atividades econômicas do entorno 3. Proximidade de população 4. Geografia geral do entorno	1. Infraestruturas de transporte 2. Infraestruturas essenciais 3. Infraestruturas auxiliares

6.1 UTE Figueira, PR.

Localização: 23°51'07"S 050°23'25"W

Município: Figueira

Operador: Copel Geração e Transmissão S.A

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1	Figueira - PR 8.062 hab. 300m	IBGE (2022) Da localidade Centro
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Não Não	BR-272 *** ***
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Fechado Rio Laranjinha Figueira - 230kv Década de 1960-70 Não	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Auxiliar 4 Inf. Médica	Prédio peq. porte Prédio peq. porte Prédio peq. porte Galpão grande porte ***	Sede administrativa Não identificado Não identificado Desc. c/ Porte



Usina Termelétrica Figueira, Figueira – PR
Operador: Copel Geração e Transmissão S.A

Dados da usina

A Usina Termelétrica de Figueira (UTELFA) está localizada no município de Figueira, no vale do Rio do Peixe, no Paraná. A usina possui uma potência instalada de 20 MW e pertence à Companhia Paranaense de Energia (Copel), sendo composta por 3 unidades geradoras.

Análise populacional, territorial e econômica – Figueira – PR

População

Em 2022, a população era de 8.062 habitantes e densidade demográfica era de 62,13 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] – 8.144 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 225 e 63 de 399. Já na comparação com município de todo o país, ficava nas posições 3391 e 1221 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área de unidade territorial [2022]: 129,769 km²

Hierarquia urbana [2018]: Centro Local (5)

Região de Influência [2018]: Ibaiti – Centro Subregional B (3B)

Região Intermediária [2021]: Londrina

Região Imediata [2021]: Ibaiti

Mesorregião [2021]: Norte Pioneiro Paranaense

Microrregião [2021]: Ibaiti



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 21.181,49



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,677



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 44.269.066,90



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 86,41%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 34.801.642,42

A área ocupada pela UTE Figueira tem cerca de 0,17 km². A usina está localizada próxima à área populacional do município, com uma distância aproximada de 350 metros do ponto central do site até o bairro “Centro”.

IBGE (2022). Disponível em:
[IBGE | Cidades@ | Paraná | Figueira | Panorama](#)



Geografia geral do entorno da UTE

A Usina Termelétrica (UTE) Figueira está localizada na região do planalto de Ponta Grossa, a uma altitude de 620 metros acima do nível do mar. Não há minas de carvão mineral nas proximidades da usina. O carvão utilizado para abastecer a planta é extraído de jazidas da principal bacia carbonífera do Paraná, situada na região do Norte Pioneiro, no nordeste do estado, e transportado até a usina por caminhões, através da BR-272.

O principal recurso hidrológico disponível na região é o Rio Laranjinha, que nasce no município de Ventania e deságua no Rio das Cinzas, totalizando 350 km de extensão. O Laranjinha é o principal afluente da margem esquerda do Rio das Cinzas, que integra a bacia do Rio Parapanema, apresentando uma vazão média de 0,8 m³/s (Estação Hidrológica 64380000, Usina Figueira). Além disso, existe um pequeno empreendimento hidrelétrico a montante da UTE, localizado no município de Ribeirão do Pinhal. O centro populacional mais próximo é o próprio município de Figueira.

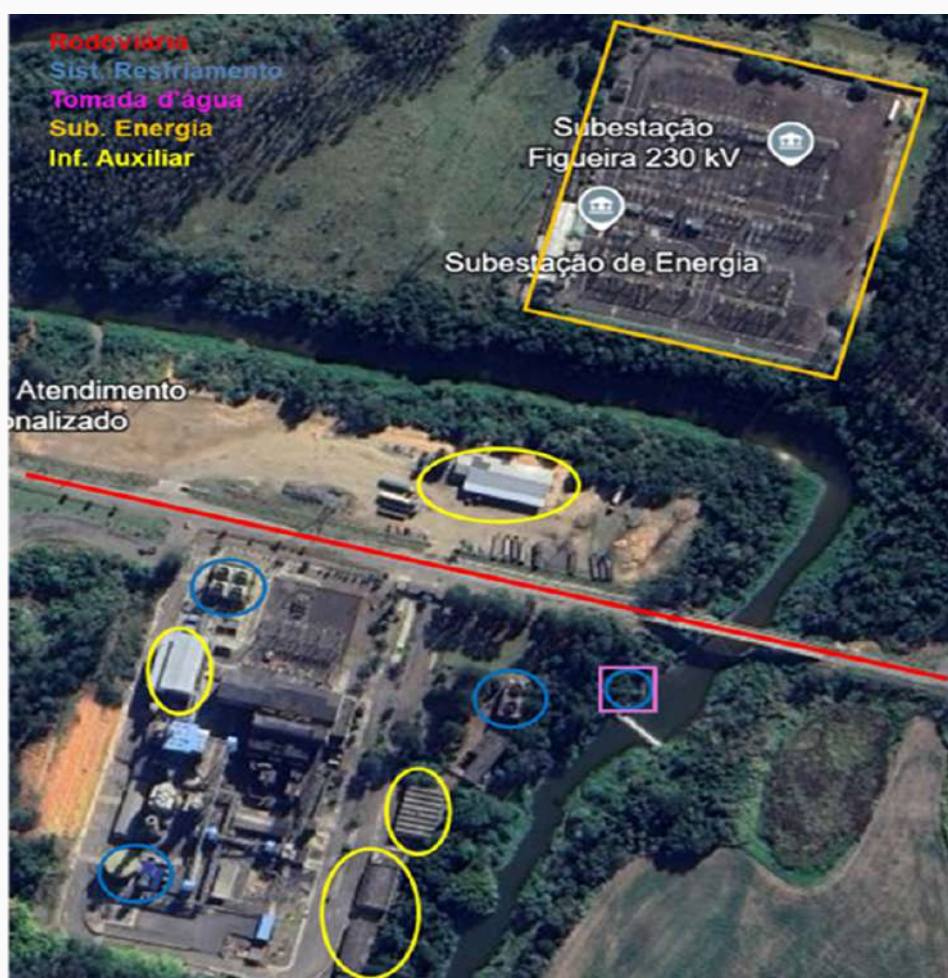


Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local é baseada na BR-272, que passa ao lado do site da Usina Termelétrica Figueira. Todas as Unidades Geradoras da usina possuem ciclos de resfriamento fechado, utilizando torres de resfriamento, o que indica uma baixa disponibilidade de água local devido à baixa vazão do Rio Laranjinha. O site conta com uma tomada d'água e uma pequena estação de tratamento e armazenamento.

A UTE Figueira está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio da Subestação de Figueira, que opera em 230 kV.

A partir de uma imagem aérea, é possível observar a presença de infraestruturas auxiliares, incluindo prédios de pequeno porte e um prédio de médio porte, abrigando edifícios como o setor administrativo, oficinas de manutenção e almoxarifados.



6.2 UTE complexo Jorge Lacerda, SC.

Localização: 28°27'31"S 048°58'01"W

Município: Capivari de Baixo

Operador: Diamante Geração de Energia LTDA.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	Capivari de Baixo - SC 23.975 hab. *** ***	IBGE (2022) Mun. Capivari Mun. Tubarão
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Sim Sim	BR-101 *F. Teresa Cristina ***
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Fechado Rios Capivari e Tubarão Jorge Lacerda A e B – 138 e 230kv Década de 1960-70 Não	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Auxiliar 4 Inf. Médica	Prédio peq. porte Prédio grande porte Prédio médio. porte Galpão grande porte Sim	Sede administrativa *** *** Desc. Almoxarifado



Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, Capivari de Baixo – SC
Operador: Diamante Geração de Energia LTDA

Dados da usina

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) está localizado no município de Capivari de Baixo, próximo à cidade de Tubarão, no Sul de Santa Catarina. Inaugurado em 1965, o complexo pertence à Diamante Geração de Energia e é atualmente considerado o maior complexo de geração de eletricidade a partir de carvão mineral da América Latina. O CTJL é constituído por sete grupos de geração, distribuídos em três usinas:

- Jorge Lacerda A: com quatro unidades geradoras, sendo duas de 50 MW e duas de 66 MW.
- Jorge Lacerda B: com duas unidades geradoras de 131 MW cada.
- Jorge Lacerda C: a unidade mais moderna, com uma capacidade de 363 MW.

A potência instalada total do complexo é de 740 MW.

Análise populacional, territorial e econômica – Capivari de Baixo- SC

População

Em 2022, a população era de 23.975 habitantes e a densidade demográfica era de 450,47 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] – 24.799 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado ficava nas posições 63 e 15 de 295. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava nas posições 1445 e 191 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 53,222 km²

Hierarquia urbana[2018]: Capital Regional C (2C) – Município integrante do Arranjo Populacional de Tubarão – Laguna/SC

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Criciúma/SC – Capital Regional B (2B)

Região Intermediária [2021]: Criciúma

Região Imediata [2021]: Tubarão

Mesorregião [2021]: Sul Catarinense

Microrregião [2021]: Tubarão



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 52.929,03



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,767



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 134.141.054,57



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 73,21%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 122.705.493,70

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) está próximo ao município de Tubarão, que, segundo o Censo de 2022, possui uma população de 110.088 habitantes.

A área ocupada pelo CTJL é de aproximadamente 3,6 km². Devido ao tamanho do site, as distâncias até as cidades foram referenciadas a partir das Unidades Geradoras A, B e C:

- UTE A: a 300 metros de Capivari e 900 metros de Tubarão;
- UTE B: a 400 metros de Capivari e 600 metros de Tubarão;
- UTE C: a 750 metros de Capivari e 700 metros de Tubarão.

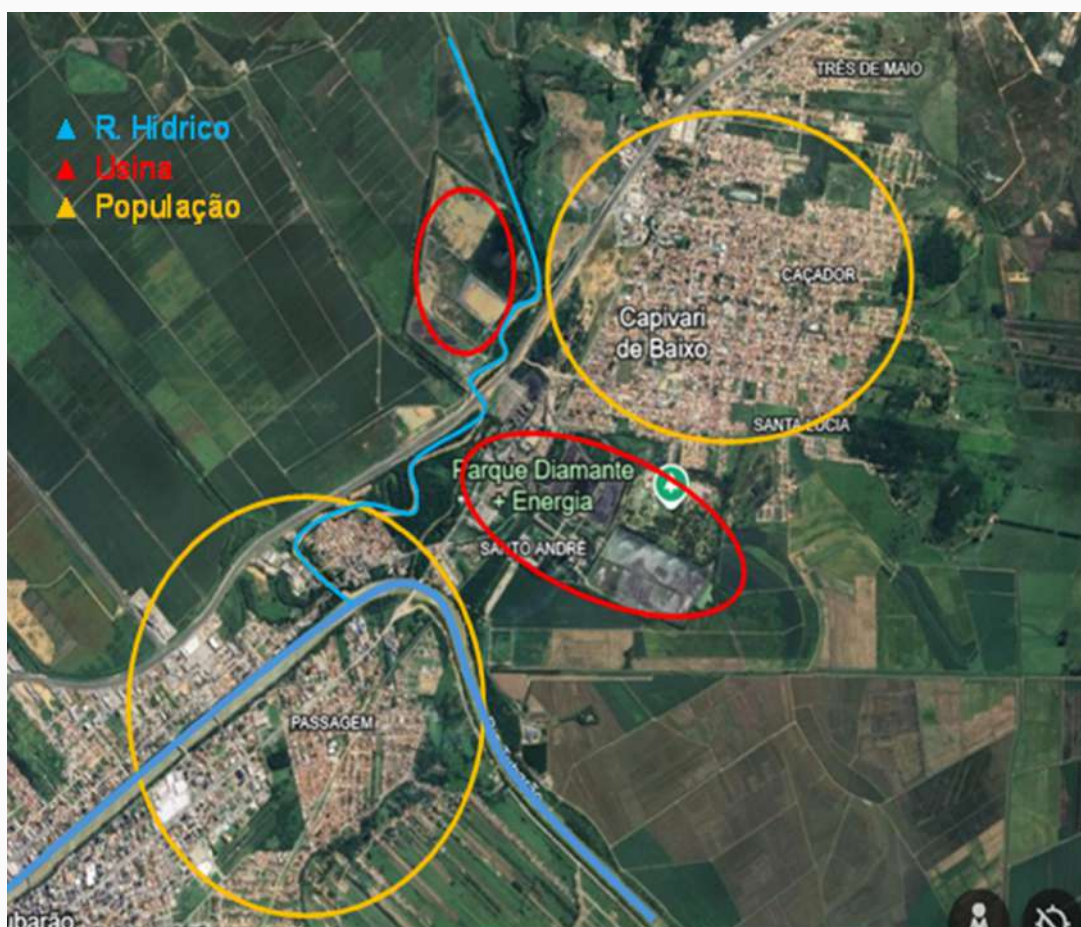
O município de Capivari de Baixo é uma localidade brasileira situada no sul do estado de Santa Catarina. Faz parte da região da AMUREL (Associação de Municípios da Região de Laguna), que é composta por 17 municípios, tendo Tubarão como seu centro.



Geografia geral do entorno a UTE

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) está localizado em uma região de planície litorânea, limitada a oeste pelo planalto catarinense. Não existem minas de carvão mineral em seu entorno; o complexo é abastecido com carvão extraído das jazidas da bacia carbonífera de Criciúma, transportado até a usina pela ferrovia Teresa Cristina. Os principais recursos hidrológicos da região são os rios Tubarão e Capivari:

Rio Tubarão: nasce na encosta da Serra Geral, no município de Lauro Müller, mais precisamente na Serra do Rio do Rastro, na localidade de Rocinha. O rio percorre 120 km desde suas nascentes até desembocar na Lagoa de Santo Antônio, com uma vazão média de 110 m³/s. Seus principais afluentes são os rios Braço do Norte e Capivari. O Rio Tubarão abastece o complexo por meio de um canal artificial de 1 km de extensão.



Rio Capivari: nasce na Serra do Mar, percorrendo 125 km até desaguar no Rio Tubarão. O rio apresenta uma vazão média de 19 m³/s.

O uso do solo ao redor da instalação do CTJL é misto, incluindo áreas residenciais, comerciais, industriais e agrícolas nos municípios de Capivari de Baixo e Tubarão. As imediações do complexo apresentam a seguinte configuração:

- Norte: áreas residenciais e comerciais de Capivari de Baixo.
- Sul: áreas agrícolas, principalmente plantações de arroz, e o Rio Tubarão.
- Leste: áreas agrícolas, com destaque para plantações de arroz.
- Oeste: Rio Capivari e propriedades rurais.
- Sudoeste: encontro dos rios Capivari e Tubarão, com predominância de atividades comerciais, residenciais e pequenas indústrias na cidade de Tubarão.

Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) é bastante diversificada. O site é atravessado pela BR-101 e pela ferrovia Teresa Cristina, que conecta as regiões carboníferas de Criciúma ao CTJL e ao Porto de Imbituba, localizado a 40 km do complexo.



No Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL), as Unidades Geradoras Jorge Lacerda A (UTA) e Jorge Lacerda B (UTB) utilizam ciclos de resfriamento aberto, captando água do Rio Tubarão para o sistema de circulação. As tomadas d'água para captação e descarga do sistema de circulação estão localizadas ao longo de um canal de captação com 1 km de extensão. Já a Unidade Geradora Jorge Lacerda C (UTC) opera com ciclo fechado de resfriamento e, por utilizar água desmineralizada, capta água para seu sistema de tratamento a partir do Rio Capivari.

O Complexo está conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio de duas subestações de energia:

- Subestação Jorge Lacerda A: 138 kV
- Subestação Jorge Lacerda B: 230 kV

As infraestruturas auxiliares do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) estão detalhadas de maneira mais abrangente no ANEXO A – PESQUISA DE CAMPO.



6.3 UTE Alunorte, PA.

Localização: 01°32'29"S 048°58'01"W

Município: Barcarena

Operador: Alumina do Norte do Brasil S/A.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	Barcarena - PA 126.650 hab. 3 km 3 km	IBGE (2022) Mun. Murucupi Bairro Vila Itupanema
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Não Não Sim	*** *** Terminal Alunorte
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo fechado Rio Amazonas *** 1979 ***	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Auxiliar 4 Inf. Médica	*** *** *** *** ***	*** *** *** ***



Usina Termelétrica Alunorte, Barcarena – PA
Operador: Alumina do Norte do Brasil S/A

Dados da usina

A Usina Termelétrica Alunorte está localizada no município de Barcarena, na foz do Rio Amazonas, no estado do Pará. A usina possui uma potência instalada de 104 MW e pertence à Alumina do Norte do Brasil S/A. O empreendimento é totalmente dedicado à geração de eletricidade para a produção de alumina, a partir da transformação da bauxita.

Análise populacional, territorial e econômica – Barcarena – PA

População

Em 2022, a população era de 126.650 habitantes e a densidade demográfica era de 96,65 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] – 137.331 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 9 e 11 de 144. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava nas posições 239 e 811 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 1.310,338 km²

Hierarquia urbana [2018]: Centro Subregional B (3B)

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Belém/PA - Metrópole (1C)

Região Intermediária [2021]: Belém

Região Imediata [2021]: Belém

Mesorregião [2021]: Metropolitana de Belém

Microrregião [2021]: Belém



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 71.473,92



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,662



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 852.467.794,24



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 56,80%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 790.336.364,50

A Usina Termelétrica Alunorte está situada em um site de mineração de bauxita, aproximadamente 30 km de Belém do Pará. A usina encontra-se em uma área afastada dos centros populacionais, sendo as localidades mais próximas o município de Murucupi e o bairro Vila Itupanema, ambos a cerca de 3 km de distância.

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)



Geografia geral do entorno a UTE

A Usina Termelétrica Alunorte está localizada na planície Amazônica, na foz do Rio Amazonas. A usina faz parte de uma área de mineração de bauxita e é abastecida com carvão importado, trazido por navios através do terminal de cargas da própria Alunorte.

O principal recurso hidrológico disponível é o Rio Amazonas, que serve tanto para o abastecimento de água quanto como via fluvial, sendo uma infraestrutura essencial para o transporte na região.

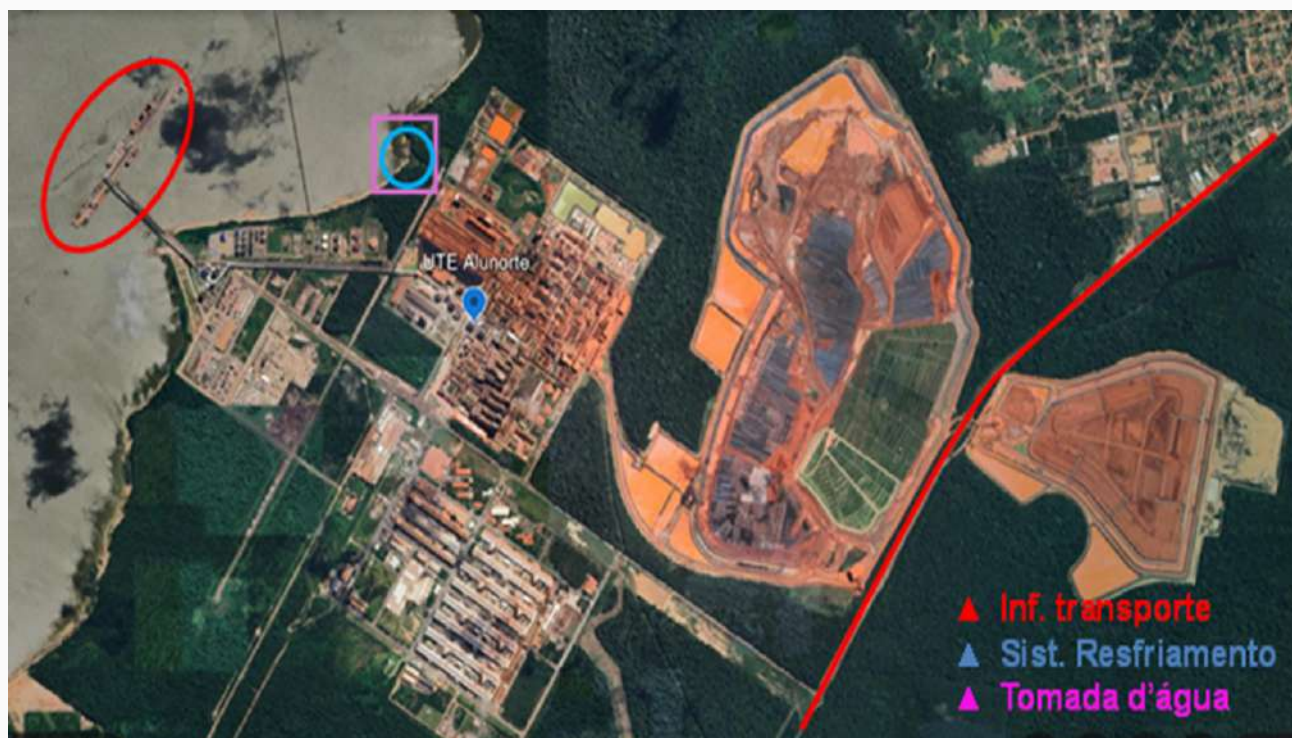


Infraestruturas existentes

A principal infraestrutura de transporte da Usina Termelétrica Alunorte é o terminal portuário da própria Alunorte, que facilita a chegada de carvão importado. O site também conta com acesso à rodovia estadual PA-481.

Todas as unidades geradoras da usina possuem ciclos de resfriamento fechados, utilizando torres de resfriamento para o processo. A UTE Alunorte não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Devido à localização em uma área de mineração, não foi possível analisar as infraestruturas auxiliares por meio de imagens aéreas.



6.4 UTE Alumar, MA.

Localização: 02°42'24"S 044°21'04"W

Município: São Luís

Operador: Consórcio de Alumínio do Maranhão Consórcio Alumar.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1	São Luís - MA 1.037.775 hab. 2,5 km	IBGE (2022) Coqueiro
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Sim Sim	BR-135 Carajás Porto Alumar e Itaqui
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo aberto Rio Mearim *** 2007 Não	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Auxiliar 4 Inf. Médica	*** *** *** *** ***	*** *** *** ***



Usina Termelétrica Alumar, São Luís – MA

Operador: Consórcio de Alumínio do Maranhão Consórcio Alumar

Dados da usina

A Usina Termelétrica (UTE) Alumar fica localizada no município de São Luís, na foz do rio Mearim, no Maranhão. A usina possui uma potência instalada em 75,2 megawatts e pertence ao Consórcio de Alumínio do Maranhão Consórcio Alumar. O empreendimento é totalmente dedicado a geração de eletricidade para produção de Alumina a partir da transformação da bauxita.

Análise populacional, territorial e econômica – São Luís – MA

População

Em 2022, a população era de 1.037.775 habitantes e a densidade demográfica era de 1.779,87 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] – 1.088.057 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado ficava nas posições 1 e 1 de 217. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava na posição 15 e 72 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 583,063 KM2

Hierarquia urbana [2018]: Capital Regional A (2A) - Município integrante do Arranjo Populacional de São Luís/MA

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Fortaleza/CE - MetrÓpole (1C)

Região Intermediária [2021]: São Luís

Região Imediata [2021]: São Luís

Mesorregião [2021]: Norte Maranhense

Microrregião [2021]: Aglomeração Urbana de São Luís



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 32.739,65



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,768



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 5.515.241.951,10



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 65,38%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 4.658.304.103,00

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Maranhão | São Luís | Panorama](#)

A usina termelétrica está situada em um local de mineração de bauxita, a aproximadamente 15 km de São Luís. A UTE está localizada em uma área afastada de centros populacionais, sendo as áreas mais próximas as localidades de Coqueiro, a 2,5 km de distância, e Pedrinhas, a 5 km da usina.



Geografia geral do entorno a UTE

A UTE Alumar localiza-se na Ilha de São Luís, em uma planície situada na foz do rio Mearim, na Baía de São Marcos. A usina está integrada a uma área de mineração de bauxita e é abastecida por carvão importado, transportado por navios até o terminal de cargas da Alumar.

O rio Mearim, principal recurso hídrico da região, é utilizado tanto para o abastecimento de água quanto como via fluvial, facilitando o transporte de insumos e materiais.



Infraestruturas existentes

A principal infraestrutura de transporte local é o terminal portuário de Porto Alumar. O site também possui acesso à rodovia federal BR-135, que conecta Alumar a São Luís e ao Porto de Itaqui. Além disso, a ferrovia dos Carajás passa nas proximidades do complexo.

Todas as unidades geradoras da Alumar operam com ciclos de resfriamento abertos.

A UTE não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), mas é ligada a uma subestação de energia interna, estando próxima à subestação São Luís II, da Eletrobras.

Não foi possível analisar as infraestruturas auxiliares com precisão por meio de imagens aéreas, devido à localização em uma área de mineração.



6.5 UTE Porto do Itaqui, MA.

Localização: 02°31'29"S 044°17'46"W

Município: São Luís

Operador: Itaqui Geração De Energia S/A.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	São Luís - MA 1.037.775 hab. 2,5 km 2,5 km	IBGE (2022) Itaqui Garapa
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Sim Sim	BR-135 Carajás Porto Itaqui
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo fechado Rio Mearim S. Luís 2 2013 Sim	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Auxiliar 4 Inf. Médica	Sim Sim Sim Sim ***	*** *** *** ***



Usina Termelétrica Porto Itaqui, São Luís – MA
Operador: Itaqui Geração de Energia S/A

Dados da usina

A Usina Termelétrica (UTE) Porto Itaqui está localizada no município de São Luís, na foz do rio Mearim, Maranhão. Com uma potência instalada de 360 MW, a usina pertence à Itaqui Geração de Energia S/A, uma empresa do grupo Eneva.

A UTE Porto Itaqui foi o primeiro projeto da Eneva no estado do Maranhão. Localizada estrategicamente a apenas 5 km do Porto do Itaqui, a usina utiliza a infraestrutura portuária para receber o carvão mineral necessário à geração de energia. Sua capacidade instalada de 360 MW representa cerca de 40% do consumo energético do estado do Maranhão. A energia gerada é enviada ao subsistema Norte do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Além da UTE Porto Itaqui, a Eneva opera o Complexo Termelétrico Parnaíba (gás natural), a Usina Termelétrica Pecém II (carvão mineral) e a Usina Solar de Tauá (energia solar).

Análise populacional, territorial e econômica - São Luís - MA

População

Em 2022, a população era de 1.037.775 habitantes e a densidade demográfica era de 1.779,87 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] - 1.088.057 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado ficava nas posições 1 e 1 de 217. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava na posição 15 e 72 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 583,063 KM2

Hierarquia urbana [2018]: Capital Regional A(2A) - Município integrante do Arranjo Populacional de São Luís/MA

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Fortaleza/CE - Metrópole (1C)

Região Intermediária [2021]: São Luís

Região Imediata [2021]: São Luís

Mesorregião [2021]: Norte Maranhense

Microrregião [2021]: Aglomeração Urbana de São Luís



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 32.739,65



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,768



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 5.515.241.951,10



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 65,38%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 4.658.304.103,00

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Maranhão | São Luís | Panorama](#)

A UTE Porto Itaqui está situada a aproximadamente 6,5 km de São Luís, em uma área pouco populosa, sendo as localidades mais próximas Itaqui e Garapa, ambas a 2,5 km de distância da usina.



Geografia geral do entorno a UTE

A Usina Termelétrica (UTE) Porto Itaqui está situada na Ilha de São Luís, em uma região de planície na foz do rio Mearim, na Baía de São Marcos. Localizada em uma área industrial, a usina recebe seu abastecimento de carvão de outras regiões. No berço 101 do Porto do

Itaqui, há um descarregador de navios conectado a uma correia transportadora, que leva o carvão até a usina.

O principal recurso hidrológico disponível é o próprio rio Mearim, que não só serve para o abastecimento de água, mas também atua como uma via fluvial essencial para a infraestrutura de transporte.



Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local é bastante diversificada. A termoeletrica Porto Itaqui está situada próxima à BR-135 e à ferrovia Carajás. Para seu abastecimento de carvão, a usina utiliza a estrutura portuária do Porto do Itaqui.

A usina do Porto do Itaqui possui um ciclo de resfriamento fechado, utilizando torres de resfriamento. No entanto, não foi possível identificar a localização da tomada de água do site por meio de imagens de satélite, nem obter informações sobre sua capacidade de captação, tratamento e armazenamento de água.

A UTE está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio da subestação São Luís 2, que opera em 230 kV, pertencente à Eletronorte.

A partir de imagens aéreas, observa-se a presença de infraestruturas auxiliares, incluindo prédios de pequeno e médio porte e galpões, que presumivelmente abrigam a administração, oficinas de manutenção e almoxarifados.



6.6 UTEs Porto do Pecém I e II, CE.

Localização: 03°33'09"S 038°48'30"W

Município: São Gonçalo do Amarante

Operador: Porto do Pecém Geração de Energia S.A. (Pecém I)

Operador: Pecém II Geração de Energia S.A. (Pecém II)

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	S. G. Amarante - CE 54.143 hab. 1,5 km 4,5 km	IBGE (2022) Borrachudos Pecém
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Sim Sim	CE-422 N. Transnordestina Porto Pecém
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo fechado *** Pecém II 2012 e 2013 Sim	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Médica	Sim Sim Sim ***	*** *** ***



Complexo Termelétrico Porto do Pecém, São Gonçalo do Amarante – CE

Operador: Porto do Pecém Geração de Energia S.A. (Pecém I)

Operador: Pecém II Geração de Energia S.A. (Pecém II)

Dados da usina

A "Usina Termelétrica Porto do Pecém I" está instalada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), em São Gonçalo do Amarante. Com uma capacidade instalada de 720 MW, essa usina representa metade do parque gerador de energia do Ceará. Atualmente, pertence à Porto do Pecém Geração de Energia S.A., do Grupo EDP.

A "Usina Termelétrica Porto do Pecém II" também se localiza no CIPP, em São Gonçalo do Amarante. Com capacidade instalada de 365 MW, a usina desempenha um papel significativo no fornecimento de energia do estado, sendo responsável por uma parte importante do abastecimento do subsistema Nordeste do Sistema Interligado Nacional (SIN). Atualmente, pertence à Pecém II Geração de Energia S.A., da Eneva.

Ambas as usinas são abastecidas com carvão importado. O transporte do carvão é realizado por uma correia transportadora, que se estende aproximadamente 12,5 km do Porto do Pecém até as usinas.

Análise populacional, territorial e econômica – São Gonçalo do Amarante – CE

População

Em 2022, a população era de 54.143 habitantes e a densidade demográfica era de 64,25 habitantes por quilômetro quadrado, população estimada [2024] – 57.499 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 33 e 56 de 184. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava nas posições 598 e 1186 de 5570. (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 842,635 KM²

Hierarquia urbana [2018]: Centro de Zona A (4A)

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Fortaleza/CE – Metrópole (1C)

Região Intermediária [2021]: Fortaleza

Região Imediata [2021]: Fortaleza

Mesorregião [2021]: Norte Cearense

Microrregião [2021]: Baixo Curu



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 175.103,17



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,665



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 630.691.922,67



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 69,64%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 530.290.426,90

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Ceará | São Gonçalo do Amarante | Panorama](#)

A UTE está situada a cerca de 30 km de Fortaleza, em uma área pouco populosa, com as localidades mais próximas sendo Borrachudos e Pecém, a 1,5 km e 4,5 km de distância, respectivamente.



Geografia geral do entorno a UTE

As Usinas Termelétricas (UTES) Porto do Pecém I e II estão localizadas no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), em uma planície costeira estratégica. Situadas em uma área industrial, as usinas são abastecidas com carvão mineral importado, descarregado diretamente no Porto do Pecém, o que facilita a logística de suprimento energético.

Ambas as usinas estão localizadas próximas ao terminal de gás natural de Pecém. O Oceano Atlântico, situado nas proximidades, é o principal recurso hídrico disponível, sendo crucial para o resfriamento e outras necessidades operacionais das UTEs.



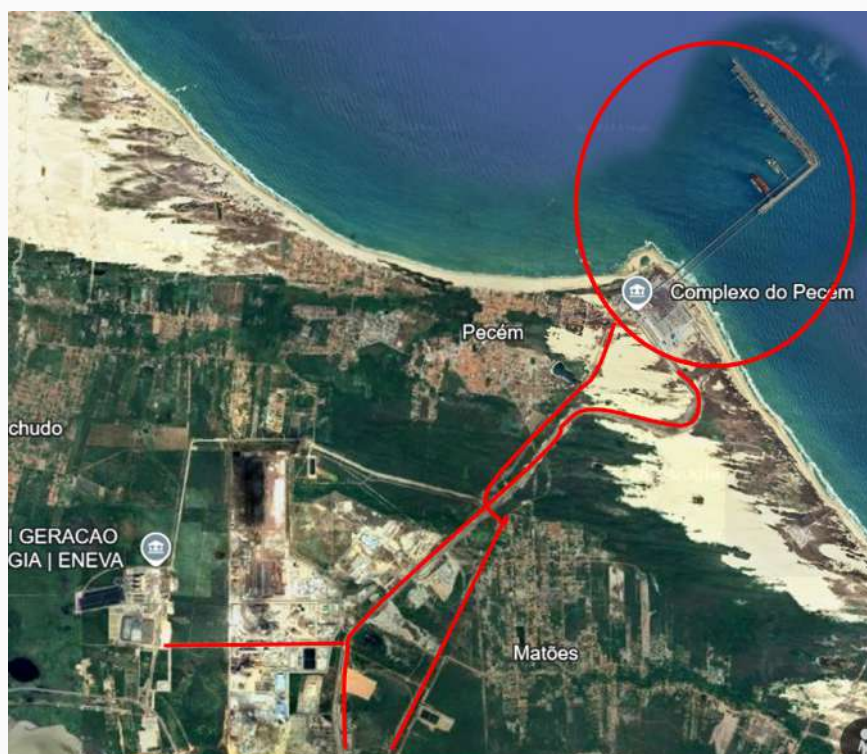
Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local é bastante diversificada. O complexo está localizado próximo à rodovia estadual CE-422 e à ferrovia Nova Transnordestina, que facilitam o escoamento e abastecimento das Usinas Termelétricas (UTEs). O carvão mineral importado utilizado pelas usinas é descarregado no Porto do Pecém, conforme já mencionado.

As usinas de Pecém I e II operam com ciclos de resfriamento fechados, utilizando torres de resfriamento. No entanto, não foi possível identificar a localização da tomada de água através de imagens de satélite, nem obter informações sobre a capacidade de captação, tratamento e armazenamento de água.

As UTEs estão conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio da subestação Pecém II.

Imagens de satélite mostram a presença de infraestruturas auxiliares, como prédios de pequeno e médio porte e galpões. Esses edifícios provavelmente abrigam as áreas administrativas, oficinas de manutenção e almoxarifados.



6.7 UTE Candiota III, RS.

Localização: 31°33'45"S 053°39'24"W

Município: Candiota

Operador: Âmbar Uruguaiana Energia S.A.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	Candiota - RS 10.710 hab. 1 km 2,5 km	IBGE (2022) Mirante do Básico Dário Lassance
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Não Não	BR-293 *** ***
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo fechado Arroio Candiota Pres. Médici 2011 Não	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Médica	Sim Sim Sim ***	*** *** ***



Usina Termelétrica Candiota III, Candiota – RS
Operador: Âmbor Uruguiana Energia S.A.

Dados da usina

A Usina Termelétrica (UTE) Candiota III está situada no município de Candiota, no Rio Grande do Sul, e possui uma capacidade instalada de 350 MW. Pertencente à Âmbor Energia, que integra o grupo J&F Investimentos.

Análise populacional, territorial e econômica - Candiota - RS

População

Em 2022, a população era de 10.710 habitantes e a densidade demográfica era de 11,47 habitantes por quilômetros quadrado, população estimada [2024] - 10.992 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 152 e 398 de 497. Já na comparação com municípios de todos o país, ficava nas posições 2868 e 4155 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 933,628 KM²

Hierarquia urbana [2018]: Centro Subregional A (3A) - Município integrante do Arranjo Populacional de Bagé/RS

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Porto Alegre/RS - Metrópole (1C)

Região Intermediária [2021]: Pelotas

Região Imediata [2021]: Bagé

Mesorregião [2021]: Sudeste Rio-grandense

Microrregião [2021]: Serras de Sudeste



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 282.683,22



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,698



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 101.010.245,10



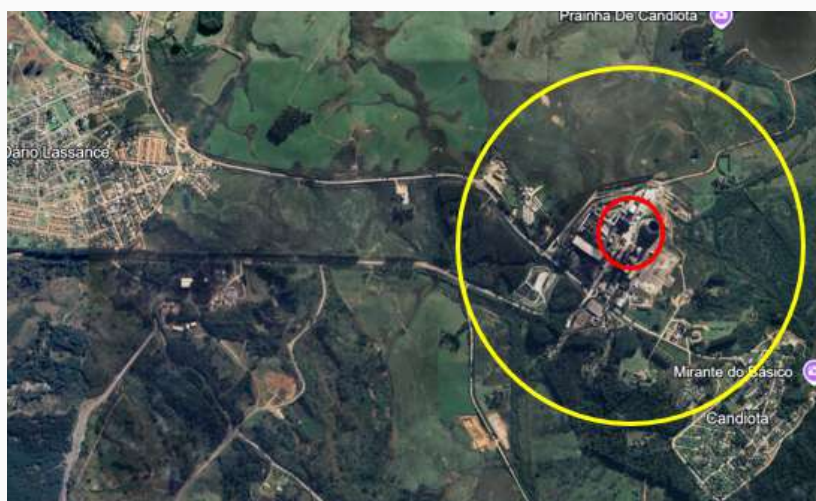
Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 66,73%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 102.839.495,90

A usina opera em uma área de baixa densidade populacional. As localidades mais próximas são Dário Lassance, a 1,2 km de distância, e Mirante do Básico, a 2,5 km.

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Rio Grande do Sul | Candiota | Panorama](#)



Geografia geral do entorno a UTE

A Usina Termelétrica (UTE) de Candiota III está situada em uma região de planalto, a uma altitude de 230 metros acima do nível do mar. Classificada como uma usina “boca de mina”, sua localização é estratégica, pois se encontra nas proximidades das áreas de mineração de carvão mineral. O abastecimento da usina é realizado com o carvão extraído da região, transportado por caminhões através da BR-293.

O principal recurso hidrológico disponível é o Arroio Candiota.



Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local da Usina Termelétrica Candiota III é facilitada pela BR-293, que passa ao lado do site. Todas as Unidades Geradoras da usina utilizam ciclos de resfriamento fechados, que se apoiam em torres de resfriamento. Essa configuração indica uma baixa disponibilidade de água local, refletida na reduzida vazão do Arroio Candiota. O site possui uma tomada de água e uma pequena estação de tratamento e armazenamento.

Apesar de a UTE contar com um ciclo de vapor relativamente novo, não é viável reaproveitá-lo devido ao baixo fator de capacidade da turbina. A usina está interligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através da subestação Presidente Médici, que opera em 230 kV.

Uma análise da imagem de satélite revela a presença de infraestruturas auxiliares, incluindo edifícios de pequeno porte e um prédio de médio porte. Presume-se que esses edifícios sejam utilizados como sede administrativa, oficinas de manutenção e almoxarifados.



6.8 UTE Pampa Sul, RS.

Localização: 31°27'03"S 053°46'45"W

Município: Candiota

Operador: Usina Termelétrica Pampa Sul S.A.

	Informações e Critérios	Valores	Descrição
População	Município População Localidade 1 Localidade 2	Candiota - RS 10.710 hab. 3 km 8,5 km	IBGE (2022) Seival Trigolândia
Transporte	Inf. Rodoviária Inf. Ferroviária Inf. Portuária	Sim Não Não	BR-293 *** ***
Essencial	C. Resfriamento Cap. Água Sub. Energia Operação Aprov. Ciclo vap.	Ciclo fechado Rio Jaguarão Candiota 2 2019 Sim	
Auxiliar	Inf. Auxiliar 1 Inf. Auxiliar 2 Inf. Auxiliar 3 Inf. Médica	Sim Sim Sim ***	*** *** ***



Usina Termelétrica Pampa Sul, Candiota – RS
Operador: Usina Termelétrica Pampa Sul S.A

Dados da usina

A Usina Termelétrica (UTE) de Pampa Sul está situada no município de Candiota, no Rio Grande do Sul, com uma potência instalada de 345 MW. É de propriedade da Usina Termelétrica Pampa Sul S.A.

Análise populacional, territorial e econômica – Candiota – RS

População

Em 2022, a população era de 10.710 habitantes e a densidade demográfica era de 11,47 habitantes por quilômetros quadrado, população estimada [2024] – 10.992 pessoas. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 152 e 398 de 497. Já na comparação com municípios de todos o país, ficava nas posições 2868 e 4155 de 5570 (IBGE, 2022).

Território

Área da unidade territorial [2022]: 933,628 KM2

Hierarquia urbana [2018]: Centro Subregional A (3A) - Município integrante do Arranjo Populacional de Bagé/RS

Região de Influência [2018]: Arranjo Populacional de Porto Alegre/RS - Metrópole (1C)

Região Intermediária [2021]: Pelotas

Região Imediata [2021]: Bagé

Mesorregião [2021]: Sudeste Rio-grandense

Microrregião [2021]: Serras de Sudeste



Economia



PIB per capita [2021]: R\$ 282.683,22



Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]: 0,698



Total de receitas brutas realizadas [2023]: R\$ 101.010.245,10



Transferências correntes (Percentual em relação às receitas correntes brutas realizadas) [2023]: 66,73%



Total de despesas brutas empenhadas [2023]: R\$ 102.839.495,90

IBGE (2022). Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Rio Grande do Sul | Candiota | Panorama](#)

A usina está localizada em uma região de baixa densidade populacional, com as localidades mais próximas sendo Seival e Trigolândia, a 3 km e 8,5 km de distância, respectivamente. Ambas as localidades têm menos de 500 habitantes.

Geografia geral do entorno a UTE

A Usina Termelétrica Pampa Sul está situada em uma região de planalto, a uma altitude de 230 metros acima do nível do mar. Classificada como uma usina "boca de mina", sua localização é estratégica, próxima às áreas de mineração de carvão mineral, que abastecem a usina com o minério extraído da região. O carvão é transportado da mina para um pátio de armazenamento por caminhões e, em seguida, segue para a usina através de uma esteira de aproximadamente 4 km.

O principal recurso hídrico disponível é o rio Jaguarão, que, quando a usina está em operação comercial, consome cerca de 0,26 m³/s de água, principalmente para o sistema de resfriamento. O rio foi represado para a construção da Barragem UTE Pampa Sul, que abrange uma área alagada de 370 hectares, totalmente dedicada ao abastecimento da usina. Essa barragem está localizada a 7 km da usina, garantindo a disponibilidade de água necessária para suas operações.

Infraestruturas existentes

A infraestrutura de transporte local que serve a Usina Termelétrica (UTE) Pampa Sul é baseada na BR-293, que passa ao lado do site. A usina utiliza um ciclo de resfriamento fechado, que emprega torres de resfriamento, garantindo eficiência na gestão da água. O abastecimento de água é realizado pela Barragem Pampa Sul, que fornece o recurso hídrico necessário para suas operações.

A UTE está interligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através da subestação Candiota 2, que opera em 525 kV, permitindo a integração e a distribuição de energia gerada pela usina.

Uma análise da imagem aérea do local revela a presença de infraestruturas auxiliares, incluindo edifícios de pequeno porte, além de um prédio de médio porte. Presume-se que essas construções abrigam a sede administrativa, oficinas de manutenção e almoxarifados.



Localização da Usina



Geografia geral do entorno a UTE



Infraestruturas Existentes

7. CONCLUSÃO

O mundo enfrenta a urgente necessidade de alcançar emissões líquidas zero de dióxido de carbono, o que exige uma transição energética limpa que garanta suprimentos de energia estáveis e acessíveis, permitindo um crescimento econômico robusto. No entanto, definir um caminho econômico e economicamente produtivo, que resulte em uma economia de energia limpa, dinâmica e resiliente, baseado em fontes limpas e menos dependente de combustíveis fósseis, ainda é um dos maiores desafios da humanidade.

É inegável que o mundo precisa da energia nuclear para cumprir seus compromissos climáticos e o Brasil está inserido nessa meta, afirma o Presidente da Agência Internacional de Energia Atômica, o Sr. Rafael Grossi, na abertura do Nuclear Summit 2024. Após 28 conferências da ONU sobre mudanças climáticas, a energia nuclear finalmente ganha o reconhecimento de sua importância. Pela primeira vez a COP anuncia a necessidade de investimentos em reatores nucleares, tendo mais de 20 nações se comprometendo em trabalhar para triplicar a capacidade instalada da energia nuclear até 2050.

Os planos do Brasil para a energia nuclear são fundamentais para ajudar descarbonização e o surgimento da tecnologia dos Small Modular Reactors (SMRs) amplia ainda mais as expectativas no desenvolvimento da fonte no país, possibilitando a participação do capital privado no setor.

Nesse contexto, a Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN) decidiu pesquisar os possíveis nichos da economia brasileira onde poderiam se aplicar o uso da tecnologia de SMRs. Inspirada pelos programas de transição energética dos parques termelétricos a carvão dos EUA e de países do Leste Europeu por pequenos reatores nucleares modulares, a Associação resolve pesquisar o potencial brasileiro para realizar a transição "Carvão para Nuclear".

Após o levantamento das Usinas Termelétricas (UTES) a carvão no Brasil e a análise individual de cada uma, concluímos que há um potencial significativo em vários sites de usinas a carvão para realizar a transição energética por meio da implementação dos SMRs. Esses reatores não apenas possuem capacidades energéticas muito semelhantes às das usinas térmicas estudadas, mas também introduzem novos recursos de segurança, tornando-os intrinsecamente seguros.

Assim como nos Estados Unidos, a maioria dos sites de usinas a carvão brasileiras está localizada próxima a centros populacionais, o que torna os SMRs ainda mais adequados para essa transição energética. De acordo com os fabricantes e desenvolvedores de SMRs, a proposta dessa nova tecnologia nuclear é ser instalada mais próximos de centros populacionais. Ademais, os fluxos regulatórios que estão sendo desenvolvidos pela Nuclear Regulatory Commission (NRC) americana preveem zonas de limites radiológicos bastante reduzidas, com limites estabelecidos dentro da cerca do site do reator.

A pesquisa também levou em consideração as Usinas Termelétricas (UTES) a carvão dedicadas à produção de alumina, pois, embora não estejam conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN), todas elas são usinas de geração de eletricidade com capacidades energéticas semelhantes às apresentadas pelos SMRs. Os sites de Alunorte e Alumar demonstram um alto potencial para a transição do carvão para nuclear.

A única usina desclassificada para essa transição é a UTE de Figueira, devido à sua proximidade do centro populacional do município, a apenas 350 metros, e à sua baixa capacidade instalada de 20 MW. No entanto, dependendo dos critérios regulatórios para o licenciamento de microrreatores, o site da UTE de Figueira pode ainda se mostrar promissor para uma eventual transição energética utilizando essa tecnologia de reatores.

Este relatório não apenas realiza o levantamento do potencial brasileiro para a transição do carvão para a energia nuclear, mas também oferece um ranqueamento dos sites, classificando-os do mais promissor ao de menor potencial, como demonstrado na Tabela 6. Além dos critérios técnicos, que serão detalhados posteriormente, a proximidade das usinas à infraestrutura de produção e movimentação de gás natural também foi considerada, conforme ilustrado na Figura 11. Essa análise integrada permite uma compreensão clara da viabilidade de cada site para a transição energética "Carvão para Nuclear" (C2N).

As Usinas Termelétricas (UTES) a carvão no Brasil, além de ranqueadas, foram classificadas em quatro grupos: **Azul**, **Verde**, **Laranja** e **Vermelho**, com base nas características de seus sites e de sua distância relativa a infraestruturas de gás natural.



Cartograma 2.3 - Infraestrutura de produção e movimentação de gás natural - 2022

ABDAN Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares

Estudo ABDAN - Carvão para Nuclear - 2024

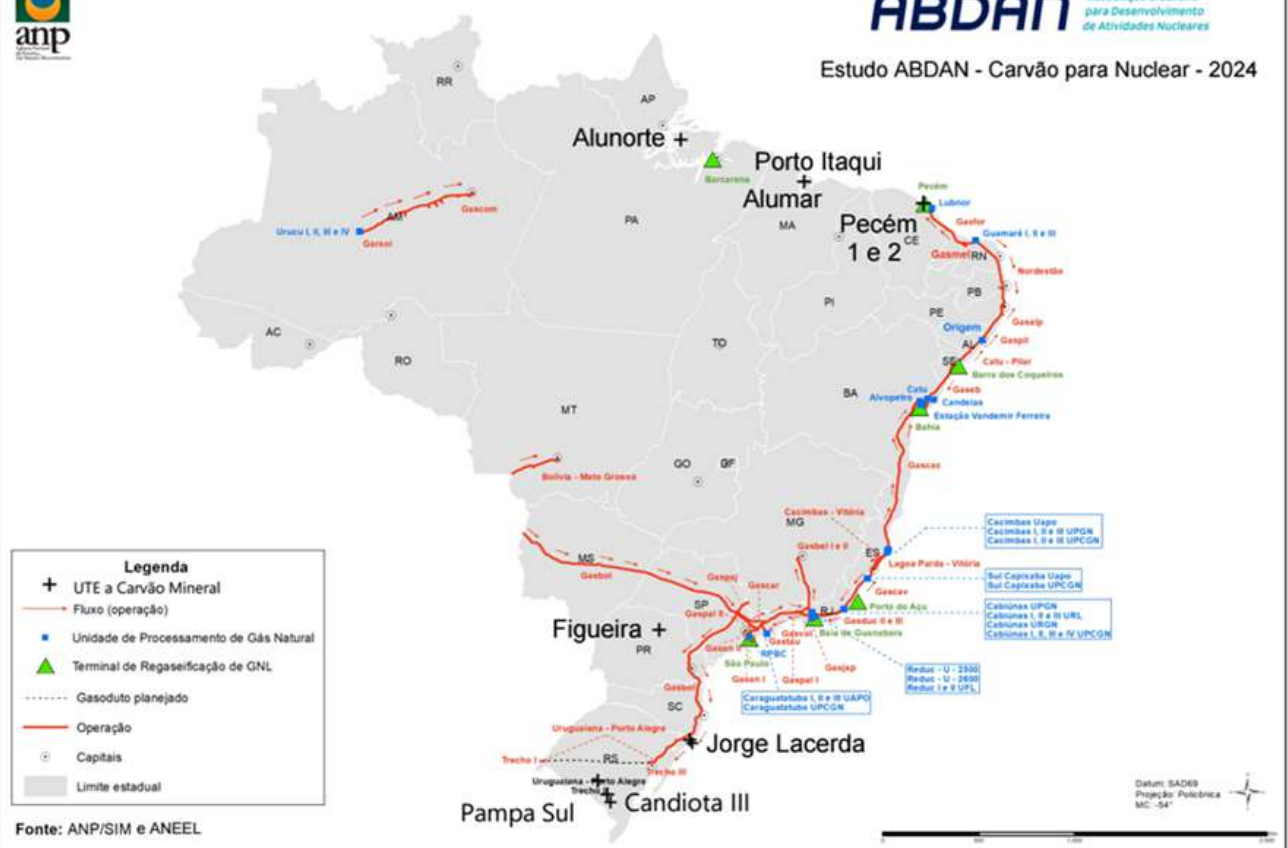


Figura 11: Mapeamento das UTEs a Carvão no Brasil e sua Proximidade com a Infraestrutura de Produção e Transporte de Gás Natural.

Posição	Nome do Empreendimento	UF
1º	Pampa Sul	RS
2º	Porto do Itaqui	MA
3º	Alunorte	PA
4º	Alumar	MA
5º	Complexo Termelétrico Jorge Lacerda	SC
6º	Candiota III	RS
7º	Porto do Pecém I	CE
8º	Porto do Pecém II	CE
9º	Figueira	PR

Tabela 6: Ranqueamento do potencial das UTEs a carvão para a transição carvão para nuclear.

Grupo Azul: Caracterizado por sites com abundância de recursos hídricos e localizados a mais de 2 km de centros populacionais. Pampa Sul e Itaqui se destacam neste grupo devido à infraestrutura existente de subestações, com Pampa Sul superando Itaqui por sua infraestrutura mais complexa de captação de água. Embora não estejam conectadas ao grid elétrico, os sites das usinas de Alunorte e Alumar possuem alto potencial para a transição do carvão para nuclear, indicando que nicho econômico da geração de eletricidade dedicada a produção de alumínio e mineração possui alto potencial para a instalação de SMRs.

Grupo Verde: Definido por sites mais próximos de centros populacionais (~1 km). O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) foi classificado acima de Candiota devido ao seu sistema de captação e tratamento de água mais avançado e melhores infraestruturas de transporte e auxiliares.

Grupo Laranja: Caracterizado por sites localizados em áreas com infraestrutura de gás natural, onde a transição do carvão para o gás é vista como mais viável, tanto economicamente quanto em termos de licenciamento. Não significando que essas UTEs não sejam tecnicamente considerados como potenciais para a transição energética com SMRs, pelo contrário, elas são afastadas de centros populacionais, possuem recursos hídricos, infraestrutura auxiliar e são atendidas por uma complexa estrutura de transporte.

Grupo Vermelho: A UTE de Figueira, que foi desclassificada para a transição por SMRs devido à proximidade com o centro populacional e sua baixa capacidade instalada. No entanto, o site mostra-se promissor para a instalação de microrreatores, dependendo dos critérios futuros de licenciamento.

Baseando-se nos estudos realizados pelo DOE (DOE, 2024) e nas tabelas apresentadas no item 3, estimamos os impactos socioeconômicos gerados pela transição energética Carvão para Nuclear, nos estados brasileiros, onde essas centrais elétricas estão instaladas e o no Brasil como um todo (tabela 7). É importante ressaltar que os valores aqui apresentados são ganhos adicionais sobre a renda, receita e empregos já existentes nas comunidades impactadas. O impacto aqui apresentado é sobre os empregos diretos. A transição do carvão para nuclear não somente aumenta o número de vagas, mas principalmente, preserva os empregos existentes, aumentando também os níveis de capacitação desses trabalhadores, bem como os valores salariais pagos.

Além dos impactos socioeconômicos estimados, tendo como base as emissões de gases de efeito estufa em termelétricas a carvão de serviço público do SIN no ano de 2020 (IEMA, 2022), estimamos também a quantidade de dióxido de carbônico que deixaria de ser emitida por estado a cada ano. Com esses dados, presumimos que cerca de 11.750 mil toneladas de CO₂ deixarão de ser emitidas por ano pelo Brasil com a transição energética Carvão para Nuclear.

Diante de todos os dados e análises realizadas, não há dúvidas quanto ao alto potencial brasileiro para promover a transição energética das usinas termelétricas nacionais a carvão através dos Pequenos Reatores Nucleares Modulares. A substituição das UTEs a carvão por SMR impacta positivamente as comunidades energéticas, transformando incertezas econômicas em ganhos socioeconômicos.

UF	Estado Brasileiro	Emprego	Renda	Receita	CO ₂ não emitido/ ano
(Renda e Receita – Milhões de US Dólares) e (Emissão – mil toneladas de CO ₂).					
PA	Pará	81	10	32	270
MA	Maranhão	280	31	145	1.161
CE	Ceará	396	42	300	2.478
SC	Santa Catarina	361	38	215	4.201
RG	Rio Grande do Sul	200	23	162	3.638
BRASIL		1.318	144	854	1.1748

Tabela 7: Impactos socioeconômicos e compensação de CO₂ por estado e no Brasil com C2N.

No entanto, para tornar a transição Carvão para Nuclear do Brasil possível, a ABDAN conclui este relatório destacando a necessidade e importância de serem realizadas as seguintes ações propostas:

1. Necessidade de definição sobre a Autoridade de Segurança Nuclear e nomeação de seu presidente;
2. Uma Proposta de Lei (PL) para regulamentação da escolha de sítios nucleares, tanto para os grandes reatores, quanto para SMRs;
3. Criação de uma lei específica que trate sobre a flexibilização do monopólio do Estado;

4. Criação de um programa brasileiro para substituição de termelétricas a carvão por SMRs, buscando estabelecer linhas de fomento;
5. Iniciar processos de adequação da INB e da Nuclep para capacitar a cadeia de suprimento do Brasil para as tecnologias de SMR;
6. Estabelecer parcerias com países como EUA, Rússia, China e França e com as principais agências reguladoras para desenvolvimento da tecnologia de SMRs e regulação adequada e específica para SMRs; e
7. Estabelecer com o MME critérios para uso da tecnologia de SMR no SIN e para SMRs e microrreatores nos sistemas isolados.

Recomendações para futuras análises a serem realizadas:

- Ampliar a Análise Brasileira: Incluir uma análise mais detalhada das políticas energéticas brasileiras e das possíveis barreiras regulatórias que podem afetar a implementação dos SMRs.
- Estudos de Caso Adicionais: Expandir os estudos de caso das usinas brasileiras, detalhando não apenas os dados técnicos, mas também as implicações sociais e ambientais específicas de cada conversão. Isso ajudará a fornecer uma visão mais realista da aplicabilidade do C2N no Brasil.
- Análise de Custo-Benefício: A discussão sobre os benefícios econômicos e sociais da conversão de carvão para SMRs poderia ser fortalecida com uma análise de custo-benefício mais detalhada, considerando variáveis como custos de construção, tempo de retorno sobre o investimento, e impactos no sistema elétrico brasileiro.
- Plano de Ação Detalhado: A criação de um roadmap detalhado para a transição de usinas de carvão para SMRs, incluindo marcos regulatórios, financeiros e tecnológicos, seria um acréscimo valioso, fornecendo uma visão clara de como esse processo pode ser implementado no Brasil nos próximos anos.

Autor: LEONARDO PAREDES PIRES

Colaboração: LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES E CELSO CUNHA

RIO DE JANEIRO – OUT 24

Anexo 1

Localidades próximas aos municípios onde estão as UTEs

UTE Alunorte, Barcarena - PA



SIDRA/IBGE (2020). Disponível em: [Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA](#)

UTE Alumar, São Luís - MA

UTE Porto do Itaqui, São Luís - MA



SIDRA/IBGE (2020). Disponível em: [Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA](#)

UTE Candiota III, Candiota - RS
UTE Pampa Sul, Candiota - RS



SIDRA/IBGE (2020). Disponível em: [Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA](#)

UTE Figueira, Figueira - PR



SIDRA/IBGE (2020). Disponível em: [Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA](#)

UTE Complexo Jorge Lacerda, Capivari de Baixo, SC



UTE Porto do Pecém, São Gonçalo do Amarante - CE



Referências

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

MRE – Ministério das Relações Exteriores (2024). Disponível em: https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/resultados-da-cop28-1.

UNEP – United Nations Environment Programme (2023). Disponível em: <https://www.unep.org/annualreport/pt-br/2023?%2F=>.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2020). Climate Change and Nuclear Power. Disponível em: <https://www.iaea.org/publications/14725/climate-change-and-nuclear-power-2020>.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2024). Power Reactor Information System (PRIS) – In Operation & Suspended Operation. Disponível em: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2023). What are Small Modular Reactors (SMRs). Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>.

Carbon Tracker (2024). Disponível em: <https://countryprofiles.carbontracker.org/ChinaCoal>.

Carbon Brief (2021). Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/countdown-to-2025-tracking-the-uk-coal-phase-out/>.

Carbon Brief (2020). Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-coal-use-must-plummet-this-decade-to-keep-global-warming-below-1-5c/>.

Carbon Brief (2027). Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/iea-world-coal-demand-will-rise-despite-slashing-growth-india/>.

Carbon Brief (2024). Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-just-15-countries-account-for-98-of-new-coal-power-development/>.

Kartado (2024). Gráfico | Matriz energética brasileira e mundial | Dados 2024. Disponível em: <https://kartado.com.br/grafico-matriz-energetica-brasileira-mundial/>.

Future Coal (2024). Spotlight Series: Coal & Renewables. Disponível em: <https://www.futurecoal.org/futurecoal-spotlight-series-coal-renewables/>.

IEA – International Energy Agency (2024). Coal 2022 – Analysis and forecast to 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/coal-2022>.

Financial Times (2024). Developing economies need power from coal. Disponível em: <https://www.ft.com/content/1835443f-0757-36f3-ba64-305ceff60ac4>.

WBG – World Bank Group (2024). Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS>.

Global Energy Monitor (2024). Disponível em: <https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/>.

Hansen J., Jenson W., Wrobel A., Stauff N., Biegel K., Kim T., et al. (2022). Investigating benefits and challenges of converting retiring coal plants into nuclear plants. Idaho National Laboratory INL/RPT-22-67964. Disponível em: <https://fuelcycleoptions.inl.gov/SiteAssets/SitePages/Home/C2N2022Report.pdf>

Financial Times (2015). Developing economies need power from coal. Disponível em: <https://www.ft.com/content/1835443f-0757-36f3-ba64-305ceff60ac4>.

Carbon Tracker (2020). How to waste over half a trillion dollars: The economic implications of deflationary renewable energy for coal power investments. Disponível em: <https://carbontracker.org/reports/how-to-waste-over-half-a-trillion-dollars/>.

EPRI (2024). Coal Repowering – Repowering Coal-Fired Power Plants for Advanced Nuclear Generation. Disponível em: https://gain.inl.gov/content/uploads/4/2023/02/EPRI_RepoweringCoal-FiredPowerPlantsForAdvancedNuclearGeneration.pdf#:~:text=The%20average%20name-plate%20capacity%20for%20U.S.%20coal%20plants,for%20units%20retired%20in%20the%20past%2015%20years.

World Bank Group (2014). Electricity production from coal sources (% of total). Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS>.

DOE – U.S. Department of Energy (2024). Stakeholder Guidebook – for Coal-to-Nuclear Conversions. Disponível em: https://fuelcycleoptions.inl.gov/SiteAssets/SitePages/Home/C2N_Guidebook_2024.pdf.

DOE – U.S. Department of Energy (2024). Coal to Nuclear Transition – An Information Guide: <https://www.energy.gov/ne/articles/coal-nuclear-transitions-information-guide>

NUCNET – The Independent Nuclear News Agency (2023). Coal-To-Nuclear / US Begins 'Project Phoenix' Cooperation With Eastern European Countries. Disponível em: <https://www.nucnet.org/news/us-begins-project-phoenix-cooperation-with-eastern-european-countries-11-1-2023>.

U.S. Department of State (2023). Special Presidential Envoy for Climate Kerry Announces Project Phoenix Participants and the Nuclear Expediting the Energy Transition (NEXT) Program. Disponível em: <https://www.state.gov/special-presidential-envoy-for-climate-kerry-announces-project-phoenix-participants-and-the-nuclear-expediting-the-energy-transition-next-program/>.

U.S. International Trade Administration (2024). Poland – Country Commercial Guide. Disponível em: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-energy-sector>.

WNN – World Nuclear Association (2023). US court dismisses Westinghouse case against Korea. Disponível em: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-court-dismisses-Westinghouse-case-against-Korea>.

POWER (2023). Poland Secures NuScale SMR as Urgency for Nuclear Energy Ramps Up Across Central, Eastern Europe. Disponível em: <https://www.powermag.com/poland-secures-nuscale-smr-as-urgency-for-nuclear-energy-ramps-up-across-central-eastern-europe/>.

WNN – World Nuclear Association (2023). A Respect Energy da Polônia considera implantar o projeto SMR francês. Disponível em: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Poland-s-Respect-Energy-considers-deploying-French>.

U.S. Bureau of Labor Statistics (2023). Occupational Employment and Wage Statistics. Disponível em: https://www.bls.gov/oes/current/oes_stru.htm.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2024). Boletim Diário da Operação. Disponível em: <https://sdro.ons.org.br/SDRO/DIARIO/index.htm>.

SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciada do Setor Elétrico da ANEEL (2024). Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>.

SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL (2024). Disponível em: <https://app.powerbi.com>

RALIE – Relatório de Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica da ANEEL (2024). Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie#!>.

BEN – Balanço Energético Nacional (2024). Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/livro-ben/#anexo>.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos (2024). Index of /Nuclear. Disponível em: <https://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/>.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos. Index of /Termelétricas. Disponível em: <https://licenciamento.ibama.gov.br/Termeletricas/>.

Análise Macro (2020). Consumo de Energia e Crescimento do PIB. Disponível em: [Consumo de Energia e Crescimento do PIB - Análise Macro \(analisemacro.com.br\)](https://www.analisemacro.com.br/Consumo-de-Energia-e-Crescimento-do-PIB-Analise-Macro).

Ministério de Minas e Energia – MME (2022). Disponível em: [SIE \(mme.gov.br\)](https://sistema.mme.gov.br/SIE).

Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA. INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EMUSINASTERMELÉTRICAS: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020). São Paulo, Junho, 2022

ABDAN

*Associação Brasileira
para Desenvolvimento
de Atividades Nucleares*

RELATÓRIO 2024

**O USO DOS SMRs NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
DAS TERMELÉTRICAS A CARVÃO DO BRASIL**