

TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS MAIS LIMPAS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA FRENTE AO MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO NA FRONTEIRA DA UNIÃO EUROPEIA

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca por um desenvolvimento sustentável, visto os impactos ambientais decorrentes das emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundos dos processos industriais, traz luz à necessidade de inovação nos processos produtivos para a transição para uma economia de baixo carbono frente às exigências regulatórias impostas pela implementação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM/UE). O CBAM afetará setores importantes da economia mundial por serem intensivos em energia e emissão de GEE, dentre eles, a indústria siderúrgica (APEXBRASIL, 2023), foco da presente pesquisa.

A indústria siderúrgica é um dos principais setores da economia, visto que fornece componentes importantes para a infraestrutura dos demais setores, ao contribuir com turbinas para geração de energia eólica ou suportes para painéis solares, por exemplo (FERNANDES et al., 2024). Apesar de sua relevância econômica, o setor industrial é intensivo em consumo de energia e em emissão de gases de efeito estufa, sendo responsável por 2% do total de emissões no país em 2020 (FERNANDES et al., 2024), devido à utilização de combustíveis fósseis como principal fonte de energia, tornando-se um dos setores com maior desafio para o alcance da descarbonização (IEA, 2022).

Nesse contexto, as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) e os Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) desempenham papel fundamental para a geração de conhecimentos e a produção de novas tecnologias (LEITE; MENDONÇA; OLIVEIRA, 2023), o que pode auxiliar no desenvolvimento de tecnologias mais limpas e na transferência tecnológica, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE no setor industrial.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar o papel do Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT), vinculados às Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) enquanto indutor de desenvolvimento de tecnologias mais limpas no setor siderúrgico, considerando as possibilidades de transferência tecnológica para adequação do setor às exigências do CBAM.

Para alcançar o objetivo proposto, realizou-se uma pesquisa exploratória, com a abordagem qualitativa. Foram realizadas revisões bibliográficas sobre o tema em plataformas de busca especializadas. A pesquisa justifica-se pelo impacto ambiental e econômico que o Mecanismo exercerá sobre as empresas brasileiras exportadoras de produtos siderúrgicos para a União Europeia. Ademais, justifica-se pela sua relevância teórica e prática, com a geração de conhecimento estruturado sobre as tecnologias utilizadas na indústria siderúrgica, o que permitirá aos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) e às empresas brasileiras anteciparem tendências, estabelecerem parcerias estratégicas e incorporarem inovações sustentáveis para atender às regulamentações do CBAM.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As tecnologias mais limpas apresentam papel fundamental, tendo em vista que atuam de forma preventiva, reduzindo as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), dentre outros benefícios, como a redução da produção de resíduos sólidos ainda no processo inicial de produção do aço e ferro. De acordo com a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos sólidos são materiais, substâncias ou objetos descartados em seu estado sólido, oriundos da atividade humana (BRASIL, 2010)

Para Cumming, Henriques e Sadorsky (2016), as tecnologias limpas são processos que objetivam menor geração de resíduos na produção, incluindo a geração de biomassas e processos de reciclagem, em tempo que Silva Júnior e Andrade (2011) afirmam que as tecnologias propostas a tratar os resíduos gerados, ou seja, tratar as consequências e não agir de forma preventiva aos impactos ambientais, tenderão a ser classificados como tecnologias *end-of-pipe*.

As tecnologias mais limpas colocam as nações na rota de transição para uma economia de baixo carbono. Além disso, pode reduzir os custos da descarbonização, considerando que há uma tendência de criação de políticas restritivas de carbono, como já vem acontecendo com a União Europeia (UE). Em 2023, a UE criou o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM), o qual passará a vigorar em janeiro de 2026, além de criar 50 medidas para descarbonizar a economia dos países do bloco e fortalecer o mercado de carbono - Emissions Trading System (ETS) (COMISSÃO EUROPEIA, 2019; HERÉDIA; GALGANI, 2022).

O CBAM pode afetar setores importantes da economia brasileira como o aço e ferro, além dos setores de fertilizantes, cimento, alumínio, hidrogênio e eletricidade (COMISSÃO EUROPEIA, 2019; HERÉDIA; GALGANI, 2022). Essa é uma das estratégias estabelecidas pela União Europeia para o enfrentamento às mudanças climáticas, reduzindo as emissões de GEE e evitando a “fuga de carbono”, prática que transfere a produção intensiva em GEE de países com leis ambientais mais rígidas para países com lei ambientais mais brandas. Nesse sentido, tendo como parâmetro as emissões registradas em 2005, o Brasil comprometeu-se a reduzir em 37%, até 2025, as emissões de gases de efeito estufa, e em 47% até 2030, ratificando o Acordo de Paris - acordo assinado em 2015, cujo objetivo é o enfrentamento às alterações climáticas, mantendo a temperatura média global abaixo de 2°C (ARTAXO, 2020).

No setor siderúrgico, frente às exigências sobre a pegada de carbono incorporada nos produtos exportados à União Europeia, torna-se urgente a implementação de tecnologias mais limpas (EUROPEAN COMMISSION, 2021), o que pode abrir oportunidades para inovação tecnológica e transferência de tecnologias desenvolvidas nas Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) para as indústrias, por intermédio dos Núcleos de Inovações Tecnológicas (NITs) (FERREIRA; SOUZA, 2019), disseminando conhecimentos científicos e tecnológicos desenvolvidos na academia contribuindo para que adaptação tecnológica dos setores produtivos afetados pela implementação do Mecanismo.

Para Silva et al. (2015), a transferência de tecnologia resume-se à promoção de tecnologias desenvolvidas a setores que não possuem as mesmas características tecnológicas. Nesse contexto, o papel dos NIT intermediando a parceria entre indústria e as ICTs pode representar avanços tecnológicos significativos permitindo a antecipação de tendências, o estabelecimento de parcerias estratégicas, e a incorporação de inovações sustentáveis passíveis ao atendimento às regulamentações do CBAM.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

O presente artigo caracteriza-se por abordagem qualitativa e exploratória, vez que faz análise bibliográfica e documental sobre o tema. Para contextualização e elaboração do referencial teórico, foram analisados relatórios institucionais, legislações e publicações científicas sobre tecnologias mais limpas para a indústria siderúrgica brasileira frente ao Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM/UE).

3.2 Procedimentos metodológicos

Para alcançar o objetivo da pesquisa, foram percorridas três etapas, a saber: etapa 1 - pesquisa bibliográfica e documental; etapa 2 - análise e discussão dos resultados; e etapa 3 - considerações finais.

Em relação a etapa 1, foram realizadas revisões bibliográficas buscando analisar, através de dossiês e relatórios organizacionais, as emissões de gases de efeito estufa na indústria siderúrgica, as iniciativas governamentais para o enfrentamento à crise climática, e quais estudos vêm sendo desenvolvidos para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas voltados à descarbonização da indústria de ferro e aço, e a atuação dos NITs..

Para realização da revisão bibliográfica, foram utilizadas plataformas de busca especializadas como SCOPUS, Periódicos Capes e Google Acadêmico, com palavras-chaves relevantes para o tema, como “mudanças climáticas”, “descarbonização na indústria”, “CBAM”, “tecnologias mais limpas”, “o papel do NIT”, em língua portuguesa e inglesa, no período de janeiro a julho de 2025.

Ainda na etapa 1, foi possível construir o referencial teórico e metodológico da pesquisa. Na etapa 2, realizou-se a análise e discussão dos dados. Após levantamento bibliográfico e documental, as informações e dados obtidos foram analisados e discutidos de forma a serem incorporados à pesquisa. Na etapa 3, realizou-se as considerações finais e definiu-se as limitações da pesquisa.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A transição para uma economia de baixo carbono passa pela migração das tecnologias ambientalmente seguras, as chamadas *end-of-pipe*, para a adoção de tecnologias mais limpas, visando a neutralidade das emissões sem comprometer negativamente a eficiência na produção. Nesse processo de transição, emerge a necessidade de inovação tecnológica, bem como a transferência de tecnologia, que pode estar relacionada tanto a ativos tangíveis quanto intangíveis, principalmente em países ainda em desenvolvimento ou indústrias que não investem em P&D ou enfrentam entraves para adequação aos regulamentos ambientais impostos, em especial, o CBAM.

Os resultados sugerem que, mesmo o Brasil sendo um país com matriz energética majoritariamente renovável, o que deveria representar vantagem competitiva frente aos demais países com predominância em matriz energética não renovável, a indústria siderúrgica ainda depende de combustíveis fósseis como fonte de energia para produção de aço e ferro.

Esse cenário, frente a precificação da tonelada de carbono emitida por produto, pode representar desafios para competitividade e conformidade para adequação às regulamentações impostas pelo CBAM. Por outro lado, abre oportunidades para inovação

e desenvolvimento de tecnologias mais limpas para descarbonização na indústria, como, por exemplo, a utilização de hidrogênio verde como uma fonte renovável de energia e a substituição do carvão mineral por biomassa para redução do minério de ferro em aço bruto.

Nesse sentido, não obstante a predominância de tecnologias convencionais, com utilização de combustíveis fósseis, a pressão econômica e ambiental gerada pela implementação do CBAM com a precificação da tonelada de carbono incorporada aos produtos impulsiona o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e a aplicação de novas rotas tecnológicas para a transição para uma economia de baixo carbono.

Ademais, há as tecnologias limpas, chamadas end-of-pipe que, para Silva Júnior e Andrade (2011), buscam tratar os GEE emitidos após o processo de produção, com o intuito de reduzir os impactos ambientais. Apesar disso, são estratégias relevantes mitigar os impactos ambientais gerados pelas emissões de GEE na indústria siderúrgica, enquanto que as tecnologias mais limpas sugerem mudanças nos processos industriais a fim de atingir tanto benefícios econômicos como ambientais (UNEP, 2016).

Para o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2025), o desenvolvimento de tecnologias no país é crucial para o distanciamento da dependência tecnológica. Por outro lado, a análise feita por Cumming, Henriques e Sadorsky (2016) elucida um possível entrave que pode justificar a pouca adesão às tecnologias limpas, embora crescente, mas ainda insuficientes para um desenvolvimento sustentável, quando retrata que as empresas já consolidadas no mercado e focadas em combustíveis fósseis dificilmente teriam interesse em investir em novas tecnologias desenvolvidas por empresas iniciantes, considerando que o investimento nessas tecnologias exigem conhecimento e experiência para minimizar os riscos econômicos.

Segundo Leite, Mendonça e Oliveira (2023), o NIT como mediador entre o setor produtivo e acadêmico é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias que solucionem problemas atuais da sociedade, além de realizar a transferência de tecnologias desenvolvidas na instituição, o registro de patentes e demais modalidades da propriedade intelectual. Logo, a atuação do NIT no desenvolvimento de novas tecnologias e na transferência tecnológica para descarbonização de setores intensivos em emissões pode tornar-se fundamental para a transição para uma economia de baixo carbono e redução dos impactos ambientais sofridos pela sociedade, considerando que, para Silva et al. (2015), as instituições científicas e governamentais devem desenvolver estratégias de transferência tecnológica associadas às demandas das indústrias.

Tais estratégias podem promover o desenvolvimento sustentável, auxiliando na adaptação tecnológica e regulatória dos setores afetados pelo CBAM, possibilitando a competitividade das empresas brasileiras no mercado de exportações para a União Europeia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa objetivou analisar o papel do Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT), vinculados às Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) enquanto indutor de desenvolvimento de tecnologias mais limpas no setor siderúrgico. Para tanto, realizou-se uma pesquisa exploratória, com abordagem bibliográfica e documental, bem como natureza qualitativa.

A pesquisa apontou para o fato de que a implementação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia pode impor desafios aos setores intensivos em emissões de GEE, caso não consigam se adaptar tecnologicamente para o monitoramento e redução do carbono incorporado aos produtos exportados para a União Europeia. Nesse sentido, o CBAM também pode abrir oportunidades para inovação tecnológica e transferência de tecnologias mais limpas que podem ser aplicadas na indústria para a descarbonização dos setores sob pena de perderem competitividade no mercado europeu.

Para a presente pesquisa, foram realizadas revisões bibliográficas e documentais sobre os impactos do CBAM, as rotas tecnológicas utilizadas na produção de aço e ferro, a implementação de tecnologias mais limpas e a descarbonização na indústria. A literatura apresenta tecnologias mais limpas como rotas alternativas para descarbonização na redução do minério de ferro para produção do aço bruto, com a utilização do hidrogênio verde como fonte de energia e a substituição do combustível fóssil por biomassa.

A transição para uma economia de baixo carbono passa pela transferência de tecnologias convencionais ou limpas para tecnologias mais limpas, o que, para Silva Júnior e Andrade (2011), exige investimento maior em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Nesse sentido, os NITs podem desenvolver papel fundamental para o desenvolvimento e a implementação de tecnologias mais limpas para adaptação às regulamentações do CBAM e o alcance às metas globais de descarbonização, mediando a produção científica e o setor produtivo.

A presente pesquisa limita-se a analisar as tecnologias mais limpas aplicáveis ao setor siderúrgico para descarbonização frente ao CBAM. Pesquisas posteriores poderão ser direcionadas a explorar transferências de tecnologias que estão sendo realizadas na siderurgia e quais os seus impactos econômicos e tecnológicos. Pesquisas posteriores poderão ser direcionadas a explorar quais transferências de tecnologias estão sendo realizadas na siderurgia e quais os seus impactos econômicos e tecnológicos para adaptação, além de analisar a participação efetiva dos NITs nesse processo.

REFERÊNCIAS

APEXBRASIL. CBAM entra em fase transitória. Brasília, DF: ApexBrasil, 2023.

Disponível em: https://portal.apexbrasil.com.br/relacoes_comerciais/cbam-entra-em-fase-transitoria/. Acesso em: 11 mai. 2025.

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>. Acesso em: 3 mai. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 148, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 29 ago. 2025.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. CNA: agendas globais e o agro brasileiro: o mecanismo de ajuste de carbono na fronteira da União Europeia. Brasília, DF: CNA, 2023. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/publicacoes/agendas-globais-e-o-agro-brasileiro>. Acesso em: 14 fev. 2025.

COMISSÃO EUROPEIA. Regulamento Delegado (UE) 2019/331 da Comissão de 19 de dezembro de 2018 sobre a determinação das regras transitórias da União relativas à atribuição harmonizada de licenças de emissão a título gratuito nos termos do artigo 10º-A da Diretiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, L 59, p. 8-69, 27 fev. 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0331>. Acesso em: 12 mai. 2025.

CUMMING, D.; HENRIQUES, I.; SADORSKY, P. 'Cleantech' venture capital around the world. *International Review of Financial Analysis*, v. 44, p. 86-97, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2016.01.015>. Acesso em 15 mai. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Proposal for a Regulation establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism. Brussels: European Union, 2021. Acesso em 16 mai. 2025.

FERNANDES, P. D. et al. Descarbonização da indústria de base. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2024. Acesso em 13 mai. 2025.

FERREIRA, A. R.; SOUZA, A. L. Análise dos procedimentos e critérios necessários à valoração de propriedade intelectual para a transferência de tecnologia no âmbito dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs). *Cadernos de Prospecção*, v. 12, n. 5, p. 1013-1013, 2019. Acesso em 20 jul. 2025.

HERÉDIA, G.; GALGANI, A. O que é o CBAM e como afetará empresas brasileiras? WayCarbon, São Paulo, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://waycarbon.com/pt/blog/o-que-e-o-cbam-e-como-afetara-empresas-brasileiras/>. Acesso em: 11 mai. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Iron and Steel Technology Roadmap. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>. Acesso em: 21 jul. 2025

LEITE, André da Costa; MENDONÇA, Claudio Márcio Campos de; OLIVEIRA, Werbeston Douglas de. Gestão da inovação: um olhar sobre os núcleos de inovação e tecnologia do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 40, e27229, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cct>. Acesso em: 18 jan. 2025.

SILVA JÚNIOR, A. C.; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias mais limpas e desenvolvimento sustentável no Brasil: contribuição do projeto MDL. *Racef. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE*, Ribeirão Preto, 4. ed., p. 1-16, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/26034>. Acesso em: 11 mai. 2025.

SILVA, Luan Carlos Santos et al. Processo de transferência de tecnologia em universidades públicas brasileiras por intermédio dos núcleos de inovação tecnológica. *Interciencia*, Caracas, v. 40, n. 10, p. 664-669, out. 2015. Acesso em 23 jul. 2025.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes. Nairobi: UNEP, 2016. Acesso em 12 jul. 2025.