

**A ATUAÇÃO DO NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA TRANSFERÊNCIA DE
TECNOLOGIAS MAIS LIMPAS FRENTE AO MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO
NA FRONTEIRA DA UNIÃO EUROPEIA**

**THE ROLE OF THE TECHNOLOGICAL INNOVATION CENTER IN THE TRANSFER OF
CLEANER TECHNOLOGIES IN THE FACE OF THE CARBON ADJUSTMENT
MECHANISM AT THE EUROPEAN UNION BORDER**

**EL PAPEL DEL CENTRO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍAS MÁS LIMPIAS ANTE EL MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO
EN LA FRONTERA DE LA UNIÓN EUROPEA**

 10.56238/MultiCientifica-062

Thais Farias de Oliveira Bonfim

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia
para Inovação

Instituição: Instituto Federal da Bahia (IFBA)

E-mail: thais.bonfim@ifba.edu.br

André Luis Rocha de Souza

Doutor em Engenharia Industrial

Instituição: Instituto Federal da Bahia (IFBA)

E-mail: andresouza@ifba.edu.br

José Célio Silveira Andrade

Doutor em Administração

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: jcelio.andrade@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve 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 frente às exigências do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM). A pesquisa possui abordagem qualitativa, com análises bibliográficas e documentais sobre emissões de carbono no setor industrial, tecnologias convencionais utilizadas na siderurgia e tecnologias mais limpas aplicáveis ao setor siderúrgico. Os resultados apontaram novas rotas de tecnologias mais limpas para descarbonização e a importância dos NITs no intermédio entre produção científica e setor produtivo para o desenvolvimento de tecnologias, nas ICTs, que possam contribuir na resolução de problemas econômicos e ambientais que ajudem no alcance das metas globais de descarbonização e o atendimento às exigências impostas pelo CBAM. Por fim, pode-se concluir que há risco de as empresas brasileiras, exportadoras de produtos siderúrgicos, perderem competitividade no mercado europeu, caso estratégias não sejam adotadas para



superar os desafios impostos pelas políticas de restrição de carbono sobre os produtos que não atenderem aos critérios do CBAM.

Palavras-chave: CBAM. Descarbonização. NIT.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the role of Technological Innovation Centers (NITs), linked to Scientific, Technological and Innovation Institutions (ICTs), as drivers of cleaner technology development in the steel sector, considering the possibilities of technology transfer to adapt the sector to the requirements of the European Union Border Carbon Adjustment Mechanism (CBAM). The research has a qualitative approach, with bibliographic and documentary analyses on carbon emissions in the industrial sector, conventional technologies used in steelmaking, and cleaner technologies applicable to the steel sector. The results pointed to new routes for cleaner technologies for decarbonization and the importance of NITs in mediating between scientific production and the productive sector for the development of technologies in ICTs that can contribute to solving economic and environmental problems that help achieve global decarbonization goals and meet the requirements imposed by the CBAM. In conclusion, it can be said that there is a risk that Brazilian companies exporting steel products will lose competitiveness in the European market if strategies are not adopted to overcome the challenges imposed by carbon restriction policies on products that do not meet CBAM criteria.

Keywords: CBAM. Decarbonization. NIT.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo analizar el papel de los Centros de Innovación Tecnológica (CNI), vinculados a las Instituciones Científicas, Tecnológicas y de Innovación (ICT), como impulsores del desarrollo de tecnologías más limpias en el sector siderúrgico, considerando las posibilidades de transferencia de tecnología para adaptar el sector a los requisitos del Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera (CBAM) de la Unión Europea. La investigación tiene un enfoque cualitativo, con análisis bibliográficos y documentales sobre las emisiones de carbono en el sector industrial, las tecnologías convencionales utilizadas en la siderurgia y las tecnologías más limpias aplicables al sector siderúrgico. Los resultados apuntaron nuevas rutas para tecnologías más limpias para la descarbonización y la importancia de los CNI en la mediación entre la producción científica y el sector productivo para el desarrollo de tecnologías en TIC que puedan contribuir a la solución de problemas económicos y ambientales que ayuden a alcanzar las metas globales de descarbonización y a cumplir con los requisitos impuestos por el CBAM. En conclusión, se puede afirmar que existe el riesgo de que las empresas brasileñas exportadoras de productos siderúrgicos pierdan competitividad en el mercado europeo si no se adoptan estrategias para superar los desafíos que imponen las políticas de restricción de carbono a los productos que no cumplen con los criterios del CBAM.

Palabras clave: CBAM. Descarbonización. NIT.



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 intensivos em energia e emissão de GEE, dentre eles, a indústria siderúrgica (APEXBRASIL, 2023), foco da presente pesquisa.

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de aço do mundo, sendo a cadeia produtiva da siderurgia essencial para outros setores, como construção civil, automotivo, naval, máquinas e equipamentos. Por ser um grande exportador para a Europa, o Brasil poderá enfrentar pressão direta para descarbonizar sua produção siderúrgica, sob risco de perder competitividade ou pagar tarifas elevadas, o que exige inovação tecnológica, adequações regulatórias e estratégias de sustentabilidade para contornar este cenário (CNA, 2023).

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 (GEE), 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).

A tecnologia convencional predominante na indústria siderúrgica consiste no uso de combustíveis fósseis como principal fonte de energia na redução do minério de ferro em aço, em alto-forno-converter (BF-BOF - Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace), um processo intensivo tanto em energia como em emissões de CO₂ (IEA, 2020). A etapa de redução do ferro é responsável por cerca de 80% das emissões de GEE no processo de produção do aço bruto, isso porque o agente redutor e a fonte de calor utilizada é o carvão mineral (FERNANDES et al., 2024), um combustível não renovável.

Nesse contexto, as Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICT), por intermédio dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs), desempenham papel fundamental para a geração de conhecimentos, produção de novas tecnologias e a sua efetiva transferência ao setor produtivo (LEITE; MENDONÇA; OLIVEIRA, 2023), o que pode auxiliar as indústrias do setor a reduzirem as suas emissões de GEE.

Os NITs, formados por uma ou mais ICTs, tem como objetivo gerenciar a política de inovação institucional, além de aproximar o setor acadêmico e produtivo (QUEIROZ et al., 2022). Tais contribuições foram possíveis a partir da criação da Lei de Inovação, Lei Federal nº 10.973/2004, que



institui medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no âmbito produtivo (BRASIL, 2004), posteriormente atualizada pela Lei Federal nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016, conhecida como o novo Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação, que aperfeiçoa as medidas de incentivo à inovação e pesquisa no âmbito produtivo, visando a capacitação e autonomia tecnológica, e o desenvolvimento produtivo do país (MCTIC, 2016).

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. Além disso, para o atendimento às exigências estabelecidas pelo mecanismo, com a necessidade de redução das emissões de CO₂, é necessário a implementação de tecnologias mais limpas, que, segundo Silva Júnior e Andrade (2011), exigem investimento maior em pesquisa, desenvolvimento e inovação, ratificando a relevância teórica desta pesquisa.

A pesquisa também se justifica 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.

Em pesquisas realizadas sobre o tema não foram identificados produtos, até o fechamento da presente investigação, que apresentam o papel dos NITs para a adaptação industrial do setor siderúrgico brasileiro frente às exigências do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM), com ênfase no desenvolvimento de tecnologias mais limpas e na transferência tecnológica, mediando a produção científica e o setor produtivo

2 REFERENCIAL TEÓRICO

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 classificadas 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).

Em relação ao CBAM, o mecanismo pode afetar setores importantes da economia brasileira como o aço e ferro (foco da presente pesquisa), além dos setores de fertilizantes, cimento, alumínio, hidrogênio e eletricidade (COMISSÃO EUROPEIA, 2019; HERÉDIA; GALGANI, 2022).

O CBAM 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 leis ambientais mais brandas.

Destarte, a implementação do mecanismo visa equiparar os produtos importados pela União Europeia aos produtos fabricados no país, no que se refere ao atendimento às regulamentações ambientais e às metas globais de descarbonização (EUROPEAN COMMISSION, 2021).

O CBAM faz parte do Pacto Ecológico Europeu (Green Deal), criado em 2019, o qual estabelece metas para descarbonização, reduzindo as emissões de GEE em 55% até 2030 e neutralizando seus efeitos até 2050 (CNI, 2024). Essa iniciativa visa, também, evitar o vazamento de carbono e equalizar às regras seguidas por produtores da União Europeia (UE), taxando a tonelada de carbono incorporada ao produto exportado (CNI, 2024).

Ademais, registra-se que setores importantes serão afetados pela implementação do CBAM, como a indústria de cimento, fertilizantes, hidrogênio, eletricidade, alumínio, ferro e aço, ao serem obrigados a rastrear e fornecer informações sobre o CO₂ embutido nos produtos a serem exportados, tornando economicamente mais atraente os produtos menos intensivos em carbono (APEXBRASIL, 2023).

Frente às consequências advindas das emissões de GEE, seja em função dos riscos físicos, financeiros, econômicos e sociais, como também criar no cenário nacional um ambiente econômico



que promova a estratégia de induzir a transição para uma economia de baixo carbono, o Brasil, em 11 de dezembro de 2024, sancionou a Lei 15.042, que Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), cujo objetivo é o cumprimento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a efetivação dos acordos assinados sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2024a).

A PNMC, criada pela Lei N 12.187, de 29 de dezembro de 2009, estabelece diretrizes que promovem o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões dos gases de efeito estufa. Como parte dessa Política, o Brasil instituiu, por meio do Decreto 11.550/2023, o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), responsável pela elaboração do Plano Clima, iniciado em 2023, cujo objetivo é o enfrentamento às mudanças climáticas, partindo de dois pilares, sendo o primeiro a mitigação das emissões de GEE e o segundo, a adaptação da população e das estruturas às alterações do clima (BRASIL, 2024b).

O Plano Clima atuará estrategicamente por meio de Planos de Mitigação e Planos de Adaptação de forma setorial, com intuito de alcançar setores importantes da economia, gerando impacto na transição energética, no desenvolvimento industrial sustentável, no enfrentamento à crise climática e na migração para uma economia de baixo carbono (BRASIL, 2024b).

Ademais, o Plano Clima também dispõe de Estratégias Transversais para as mudanças climáticas, visando alcançar população vulnerável, impactos econômicos e ambientais, financiamentos, monitoramento e gestão, capacitação, desenvolvimento e inovação. O Plano Clima conta com a colaboração da sociedade, empresas, governo e academia, além de mais de 20 ministérios, amparando, também, a elaboração da nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), com metas de descarbonização conforme o Acordo de Paris. (BRASIL, 2024b).

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).

Para Unterstell e La Rovere (2021), a conformação de uma mudança nesse cenário requer políticas focalizadas em estratégias de neutralização das emissões de GEE, nas próximas três décadas e, para tanto, duas frentes precisam ser estruturadas: (i) Mudança nos processos da produção industrial e na geração de energia; e (ii) políticas públicas inovadoras, comprometidas para a transição para uma economia menos intensiva em GEE.

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 a adaptação tecnológica dos setores produtivos afetados pela implementação do Mecanismo.

Paranhos, Cataldo e Andrade (2017) endossam que a atuação do NIT é fundamental para a aproximação das universidades do setor produtivo, visto que essa interação já faz parte das discussões governamentais ao regulamentar a sua criação, visando apoiar o desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação. Nesse sentido, o NIT torna-se um importante aliado aos resultados provenientes de pesquisas desenvolvidas dentro da academia, ao promover o diálogo com a sociedade, empresas e as instituições de fomento (QUEIROZ et al., 2022).

Ademais, Queiroz et al. (2022) destaca ainda que, para obter êxito no alcance das atribuições destinadas aos NITs no gerenciamento da propriedade intelectual, na produção e transferência das tecnologias desenvolvidas nas ICTs, são necessários o planejamento estratégico e a promoção de cultura disruptiva que estimule a interação com o setor industrial.

Leite, Carvalho e Oliveira (2023) afirmam que os NITs devem desempenhar o papel de catalisar e difundir inovações, além de integrar métodos que processem o conhecimento em função das necessidades tecnológicas da sociedade, contribuindo para o desenvolvimento local, regional e nacional.

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.

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.

Além de artigos referentes ao tema proposto, foram analisados manuais, relatórios e regulamentos governamentais que abordam o processo de descarbonização, as políticas de controle de emissões de gases de efeito estufa e a implementação do CBAM no Brasil.

Ainda na etapa 1 foi possível construir o referencial teórico e metodológico da pesquisa.

Já em relação à 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.

Já em relação à etapa 3, realizou-se as considerações finais e definiu-se as limitações da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando as metas globais de neutralidade dos GEE, a precificação do carbono imposta pela implementação do CBAM, embora desafiadora pelo curto prazo para adequação, suscita o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias mais limpas nos setores industriais, visto que a não descarbonização onerará o preço dos produtos a serem exportados, gerando desvantagem competitiva, comparativa e relativa para as empresas brasileiras.

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.

A inovação, de acordo com a Lei 10.973/2004, consiste na introdução de novidade ou aperfeiçoamento de produtos no ambiente produtivo, que resultem em melhorias e efetivo ganho em qualidade ou desempenho (BRASIL, 2004).

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.

A matriz energética brasileira e as novas rotas tecnológicas desenvolvidas para descarbonização no setor industrial possibilitam potencialidade competitiva para adaptação e permanência no mercado de exportações, considerando que o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de produtos siderúrgicos do mundo (CNA, 2023).

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.

A eletrificação de processos, o uso de hidrogênio verde em substituição ao combustível fóssil e a melhor utilização dos recursos naturais representam estratégias importantes para a transição para uma economia de baixo carbono na indústria siderúrgica. No processo de produção do aço bruto, a redução do minério de ferro em altos-fornos é o processo identificado como maior intensivo em emissões de GEE no setor de aço e ferro (FERNANDES et al., 2024).

Portanto, a tecnologia de utilização de forno elétrico a arco (EAF - Eletric Arc Furnace), com energia renovável, em substituição aos altos-fornos convencionais com utilização de carvão coque, reduz significativamente as emissões de CO₂ (IEA, 2022). Outra inovação é, em substituição aos combustíveis fósseis, a utilização do hidrogênio verde como agente redutor no processo de redução direta do ferro (DRI - Direct Reduced Iron), produzido a partir de fontes de energia renováveis, pode ser uma estratégia relevante para a descarbonização do setor industrial (IEA, 2025).

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. A captura e armazenamento de carbono (CCS) e a reciclagem de sucatas metálicas são exemplos de tecnologias end-of-pipe, por agir no efeito e não na causa. 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).

Nesse contexto, a CCS, considerada uma tecnologia end-of-pipe, consiste na captura, no transporte e no armazenamento do carbono emitido no processo de produção em locais geologicamente seguros, impedindo que os GEE atinjam a atmosfera (CÂMARA; ANDRADE; ROCHA, 2011), sendo uma estratégia de mitigação dos impactos ambientais decorrentes da emissão de CO₂.

O carbono emitido pode ser comprimido e transportado por meio de oleoduto, navio, trem ou caminhão, caso não seja utilizado no local, sendo uma alternativa aos setores que possuem dificuldades para reduzir suas emissões (IEA, 2022). Sua aplicação é usada na indústria de fertilizantes, além da produção de combustíveis sintéticos à base de dióxido de carbono, produtos químicos e agregados de construção (IEA, 2022).

Na produção do aço bruto com redução do minério de ferro, a CCS pode ser aplicada na rota de altos-fornos, visto que é um processo intensivo em emissões. Outra rota de tecnologias limpas ou end-of-pipe consiste na reciclagem da sucata metálica, considerando que o aço é um material 100% reciclável e que pode ser reutilizado diversas vezes, mantendo a qualidade e podendo ser transformado em variados produtos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2023).

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.

Nesse sentido, os NITs podem atuar como ator central na articulação e integração entre as ICTs e o setor siderúrgico, desempenhando uma função que ultrapassa a mera gestão da inovação e proteção da propriedade intelectual dessas instituições, ou seja, um papel estratégico e proativo. Diante das pressões regulatórias do CBAM, o NIT precisa atuar como protagonista no mapeamento de lacunas tecnológicas da indústria, em âmbito local, regional e nacional, conectando-as aos inventos, pesquisas científicas e tecnológicas, bem como, às competências disponíveis nas ICTs.

Nessa perspectiva, vislumbra-se que os NITs possam construir roadmaps de inovação em tecnologias limpas, funcionando como um ator-orientador do setor produtivo sobre quais tecnologias podem apoiar a descarbonização, qual o nível de prontidão tecnológica (NPT) ou do inglês Technology Readiness Level (TRL) dessas tecnologias, canalizando iniciativas e apontando, também quais exigem codesenvolvimento e como podem ser transferidas (NASCIMENTO, 2021; HORA, 2021; SANTOS, 2024).

Uma dimensão a ser considerada na atuação dos NITs no contexto do CBAM é o papel estratégico enquanto ator na curadoria tecnológica especializada, tanto na perspectiva de prospecção quanto na perspectiva de conformidade das dimensões técnicas dos inventos, como também quanto a sua aderência às regras e premissas restritivas de carbono impostas pelo CBAM.

Assim, o papel do NIT ganha contorno, também, de ator na conversão e tradução dos resultados científicos e tecnológicos em linguagem regulatória e econômica, avaliando o potencial de redução de emissões, ganhos de eficiência energética ou substituição de insumos e seu alinhamento às exigências globais no contexto da economia de baixo carbono no Brasil e no mundo. Ao desempenhar essa função de tradutor institucional nas ICTs, os NITs reduzem assimetrias de informação entre a academia e as siderúrgicas, criando condições para que tecnologias limpas saiam dos laboratórios e ingressem nos processos industriais.

As pesquisas de Guimarães (2013), Ferreira (2019), Nascimento (2021) e Hora (2021), bem como, Santos (2024), apontaram que os NITs encontram dificuldades que vão desde a profissionalização da gestão, com grande rotatividade de pessoal, como também, dificuldades em operacionalizar estratégias de negociação, valuation e aspecto mercadológico que são importantes na transferência de tecnologia. Nesse sentido, destaca-se um papel fundamental dos NITs enquanto mediador de risco tecnológico, fundamental no setor siderúrgico, onde decisões de investimento são de capital intensivo.

Para tanto, faz-se necessário a profissionalização dos NITs que os habilitem a utilizarem ferramentas estratégicas e avançadas de finanças e negociação, por meio de métodos de valoração tecnológica, a exemplo de metodologias como opções reais, fluxos de caixa descontados, análises



multicritério de impacto ambiental e modelos de TRL integrados ao risco regulatório do CBAM, oferecendo instrumentos objetivos para que as siderúrgicas decidam quais tecnologias devem licenciar, adquirir, testar ou codificar em projetos-piloto.

Essa mediação reduz o risco de adoção de tecnologias imaturas e aumenta a previsibilidade dos retornos ambientais e econômicos, elemento essencial no novo cenário de tarifas de carbono, além de canalizar de forma mais eficiente recursos no desenvolvimento e produção de novas tecnologias no Brasil.

Outra dimensão de atuação estratégica dos NITs é a governança de parcerias e contratos de transferência de tecnologias, através de modelos disruptivos que possam romper as barreiras burocráticas existentes atualmente nas ICTs públicas. Com o desenvolvimento de modelos adequados ao contexto ambiental, elementos como construção de cláusulas de desempenho ambiental, mecanismos de compartilhamento de risco, como licenças condicionadas a métricas de carbono, dentre outras, precisam ser incorporadas em face do contexto regulatório.

Ademais, isso pode conferir aos NITs não apenas o papel de atuar na transferência de tecnologia, como também na construção de ambientes institucionais seguros para que a indústria brasileira possa se adequar à rota de transição energética requerida pelo contexto do CBAM.

Por fim, é preciso que as ICTs, por intermédio dos NITs, atuem de forma mais indutora no ecossistema de inovação brasileiro, através de atuação na articulação de atores como indústrias, a exemplo das siderúrgicas, centros e institutos de pesquisa, governo, órgãos ambientais, agências reguladoras e investidores, promovendo iniciativas como chamadas tecnológicas, ambiente de inovação aberto, dentre outras iniciativas, com o objetivo de viabilizar a construção de uma rota de soluções alinhadas ao CBAM.

Em síntese, a seguir, por meio do Quadro 1, apresenta-se os possíveis papéis dos NITs no contexto das indústrias siderúrgicas brasileiras em face do CBAM



Quadro 1: Papel, Ações e Estratégias do NIT para Tecnologias Mais Limpas na Siderurgia frente ao CBAM

Papel do NIT	Ações Principais	Estratégias Associadas
Diagnóstico e Mapeamento Tecnológico	Identificar lacunas tecnológicas do setor siderúrgico; mapear TRLs das tecnologias limpas disponíveis nas ICTs; analisar gargalos de emissões, energia e insumos do setor.	Elaborar technology roadmaps de descarbonização; criar banco de tecnologias alinhado ao CBAM; estruturar portfólio estratégico de inventos com potencial de aplicação industrial.
Curadoria Técnico-Regulatória	Avaliar aderência das tecnologias às métricas de carbono e aos critérios do CBAM; traduzir resultados científicos em linguagem regulatória e econômica; elaborar pareceres de impacto ambiental-tecnológico.	Desenvolver matriz de conformidade CBAM–tecnologias; criar catálogo validado de soluções verdes; instituir pareceres técnicos de elegibilidade para transferência tecnológica voltada à descarbonização.
Mediação de Riscos Tecnológicos e Econômicos	Aplicar valuation tecnológico; realizar análise técnica e ambiental (due diligence); construir cenários de impacto econômico do CBAM para a indústria.	Criar modelos integrados TRL + Valoração + Risco Carbono; produzir relatórios de due diligence para siderúrgicas; apoiar decisões sobre licenciamento, codesenvolvimento e pilotos industriais.
Governança Jurídica e Contratual da Transferência Tecnológica	Estruturar contratos de TT com cláusulas de desempenho ambiental; definir royalties vinculados à redução de emissões; criar licenças condicionadas a métricas de carbono; negociar acordos de codesenvolvimento.	Implementar contratos de propriedade intelectual verde; adotar modelos contratuais com compartilhamento de risco regulatório; estruturar mecanismos de proteção e incentivo ao desempenho ambiental.
Orquestração de Ecossistemas de Inovação Verde	Articular ICTs, siderúrgicas, startups, centros de P&D e governo; promover chamadas públicas, desafios tecnológicos e projetos-piloto; incentivar consórcios e plataformas colaborativas.	Criar plataforma de inovação setorial voltado a tecnologia mais limpa; coordenar ambientes de inovação aberta e rotas de P&D; fomentar spin-offs climáticas e ambientes experimentais para acelerar a maturação tecnológica.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa (2025).

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 CONCLUSÃO

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.

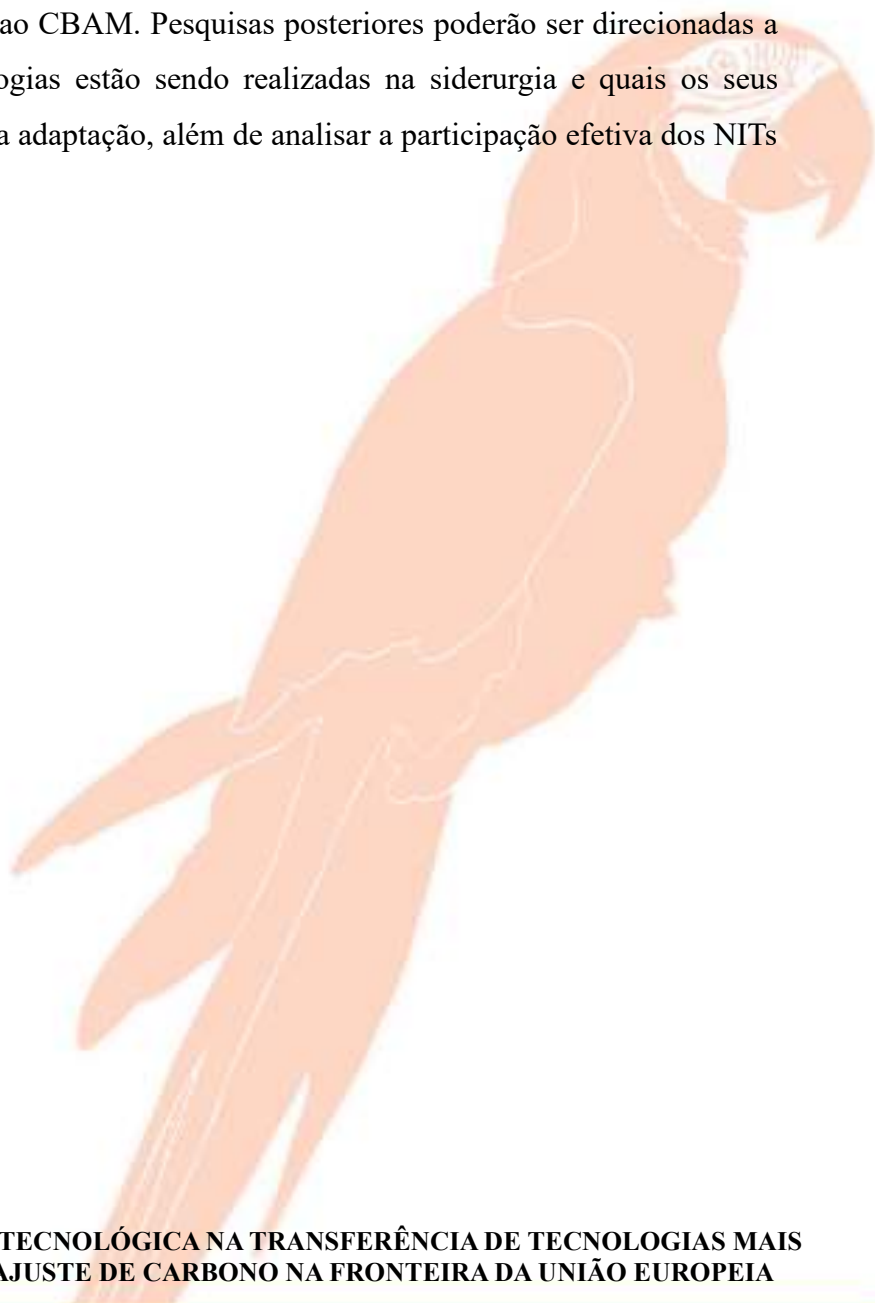
A pesquisa apontou para o fato de que a implementação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia pode impor desafios aos setores intensivos em emissões de GEE, caso não consigam se adaptar tecnologicamente para o monitoramento e redução do carbono incorporado aos produtos exportados 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. O setor siderúrgico ainda depende de combustível fóssil, mesmo o Brasil contendo uma matriz energética majoritariamente renovável. 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 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 maio 2025.

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

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 dez. 2004. Seção 1, p. 2–4. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm. Acesso em: 21 ago. 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*, Brasília, DF, ano 147, n. 148, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 ago. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 dez. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm. Acesso em: 3 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Clima. Brasília, DF: MMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CÂMARA, George; ANDRADE, José Célio; ROCHA, Paulo. Tecnologia de armazenamento geológico de dióxido de carbono: panorama mundial e situação brasileira. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, v. 6, n. 3, p. 238–253, 2011. DOI: 10.7177/sg.2011.v6.n3.a2. Acesso em: 21 jul. 2025.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. 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.cnabrazil.org.br/publicacoes/agendas-globais-e-o-agro-brasileiro>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Manual sobre a fase transitória do mecanismo de ajuste de carbono na fronteira (CBAM) da União Europeia. Brasília, DF: CNI, 2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/09/2b/092bc133-4a98-4f7d-a066-a5ef530a7410/id_2024_manual_cbam.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.

COMISSÃO EUROPEIA. Regulamento Delegado (UE) 2019/331 da Comissão, de 19 de dezembro de 2018. *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 maio 2025.



CUMMING, Douglas; HENRIQUES, Irene; SADORSKY, Perry. '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 maio 2025.

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

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

FERREIRA, Ana Rita Fonseca. Valoração de propriedade intelectual para a negociação e transferência da tecnologia: um estudo aplicado sobre metodologias para a valoração de patentes – o caso. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2019. Acesso em: 22 nov. 2025.

FERREIRA, Ana Rita; 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. 1013–1023, 2019. Acesso em: 20 jul. 2025.

GUIMARÃES, Y. B. T. Valoração de patentes em universidades públicas do Estado de São Paulo. 2013. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2013. Acesso em: 20 nov. 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 maio 2025.

HORA, Evelin Reis. Gestão da propriedade intelectual e transferência de tecnologia: estudo de caso nos NITs dos IFs da Região Nordeste do Brasil. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2021. Acesso em: 24 nov. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 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.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Hydrogen. c2024. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acesso em: 17 maio 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de sustentabilidade da indústria do aço. Rio de Janeiro: Aço Brasil, 2023. Acesso em: 12 maio 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Indicadores de sustentabilidade. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/indicadores-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 15 maio 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.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Marco legal de CT&I. Brasília, DF: MCTIC, 2016. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/marco_legal_de_cti.pdf. Acesso em: 24 nov. 2025.

NASCIMENTO, Rosana de Jesus Santana. A contabilidade pública como elemento estratégico na gestão dos ativos de propriedade intelectual nas instituições científicas e tecnológicas públicas. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2021. Acesso em: 22 nov. 2025.

PARANHOS, Julia; CATALDO, Bruna; ANDRADE, Ana Carolina. O papel dos NITs na relação universidade-empresa no Brasil: características e desafios. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DA TECNOLOGIA (ALTEC), 2017. Anais [...]. Disponível em: file:///mnt/data/ALTEC_2017_paper_453.pdf. Acesso em: 24 nov. 2025.

QUEIROZ, Daniela Palhuca do Nascimento et al. Núcleos de Inovação Tecnológica: a aproximação das universidades com o setor produtivo brasileiro. *Ensaio e Ciências*, Campo Grande, v. 26, n. 2, p. 212–216, 2022. Acesso em: 22 ago. 2025.

SANTOS, Lariane Almeida. Metodologias de avaliação de investimento como suporte à decisão ex-ante e ex-post no desenvolvimento de patentes em ICTs públicas brasileiras. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação) – Instituto Federal da Bahia, Salvador, 2024. Acesso em: 8 maio 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, v. 4, p. 1–16, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/26034>. Acesso em: 11 maio 2025.

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

UNEP. Guidelines for National Cleaner Production Centres and Programmes. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016. Acesso em: 12 jul. 2025.

UNTERSTELL, N.; LA ROVERE, E. (coord.). *Clima e desenvolvimento: visões para o Brasil 2030*. Rio de Janeiro: Centro Clima; Instituto Talanoa, 2021. Disponível em: <https://clima2030.org/wp-content/uploads/2022/08/Clima-e-Desenvolvimento-Visoes-para-o-Brasil-2030-Documento-de-Cenario-e-Politiclas-Climaticas-15-out-2021.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.