



Metalurgia da Transformação do Ferro e do Aço: Panorama de patenteamento no Brasil com foco na sustentabilidade

**Maio
2025**



Metalurgia da transformação do ferro e do aço
com foco na sustentabilidade

Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI

Presidente: Julio César Castelo Branco Reis Moreira

Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados – DIRPA

Diretora: Alexandre Dantas Rodrigues

Coordenação Geral de Estudos, Projetos e Disseminação da Informação Tecnológica - CEPIT

Coordenador: Alexandre Gomes Ciancio

Divisão de Estudos e Projetos- DIESP

Chefe: Irene Von Der Weid

Coordenação-Geral de Desenvolvimento da Propriedade Industrial, Negócios e Inovação - CGDI

Coordenadora: Maria Eugênia Gallotti

Coordenação de Articulação e Fomento a PI e Inovação - COART

Coordenador: Carla Fernandes de Freitas

Escritório de Difusão Regional Sudeste - EDIR SE I

Chefe: José Renato Carvalho Gomes

Seção de Difusão Regional Sudeste - SEDIR SE I

Chefe: Domenica Loss Mattedi

Intituto Federal do Espírito Santo - Ifes

**Diretoria de
extensão
tecnológica:** Gabriel Adolfo Gomes Potin



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Autores

Cristiane Fernandes Gorgulho	DIESP/CEPIT/DIRPA
Silvia Souza de Oliveira	DIESP/CEPIT/DIRPA
Natalia Cristina Candian Lobato	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA
Panmela Pereira Merlo	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA
Mariana Coutinho Brum	DIPAT XVII/CGPAT IV/DIRPA

Colaboração

Julio dos Santos Moreira de Souza	DIESP/CEPIT/DIRPA
Domenica Loss Mattedi	SEDIR SE I/ CGDI/INPI
Erasmus C. Brazil de Miranda	SEDIR SE I/ CGDI/INPI
Valmir A. Schneider Junior	SEDIR SE I/ CGDI/INPI
Ariana Oliveira Gusmão	Ifes/Agifes
Athilio Eller Fieni	Ifes/Agifes
André Gustavo de Sousa Galdino	Ifes
Estéfano Aparecido Vieira	Ifes
Maria Paula de Carvalho Dalmaestro	Ifes/Agifes



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca de Propriedade Intelectual e Inovação Economista
Claudio Treiguer
Bibliotecário Evanildo Vieira dos Santos - CRB7-4861

T255 Metalurgia da Transformação do Ferro e do Aço: Panorama de patenteamento no Brasil com foco na sustentabilidade / Cristiane Fernandes Gorgulho [*Et.al.*]; Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil) – INPI, Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografia de Circuitos Integrados - DIRPA, Coordenação Geral de Estudos, Projetos e Disseminação da Informação Tecnológica - CEPIT e Divisão de Estudos e Projetos - DIESP, 2025.

81 p.; figs.; quadros.
Radar Tecnológico – 2025.

1. Informação tecnológica – Patente. 2. Patente – Metalurgia. 3. Patente – Aço. 4. Patente – Ferro. 5. Patente – Siderurgia. 6. Patente – Fundição. 7. Patente – Soldagem. 8. Tecnologia metalúrgica – Sustentabilidade. I. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil). II. Oliveira, Silvia Souza de. III. Lobato, Natalia Cristina Candian. IV. Merlo, Panmela Pereira. V. Brum, Mariana Coutinho.

CDU: 347.771:669

Permitida a reprodução, desde que citada a fonte. Todos os direitos reservados aos autores e editores da publicação

Como citar: INPI (2025). Metalurgia da Transformação do Ferro e do Aço: Panorama de patenteamento no Brasil com foco na sustentabilidade. (Radar Tecnológico). [Autores: Gorgulho, C.F.; Oliveira, S.S.; Lobato, N.C.C.; Merlo, P.P.; Brum, M.C.]. Rio de Janeiro. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)/DIRPA/CEPIT/DIESP. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/radares-tecnicos>



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Resumo Executivo

Este Radar Tecnológico foi realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica entre o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), visando disseminar a cultura da Propriedade Industrial (PI) e o uso qualificado do sistema de PI no estado do Espírito Santo.

Objetivo: *Apresentar um panorama recente de depósitos de patentes no Brasil que descrevem tecnologias aplicadas à metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, fundição e soldagem, em especial tecnologias consideradas sustentáveis.*

Foram recuperados **4.888** documentos de patente, depositados no Brasil a partir do ano 2000, que tratam tecnologias relacionadas a metalurgia da transformação do ferro e do aço. Com a 2ª maior reserva de minério de ferro do mundo, o Brasil aparece em 2º lugar em relação à origem das tecnologias que buscam proteção no território nacional (cerca de 20% dos pedidos de patente). No entanto, a *Usiminas - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A.* é a única instituição brasileira que aparece entre os principais depositantes no país, na 18ª posição.

Além dos residentes, depositantes do Japão e dos Estados Unidos e estão entre os que mais tem interesse no mercado brasileiro, com 22,75% e 13,75% dos pedidos de patente, respectivamente. Os depositantes japoneses dos grupos *Nippon Steel Corporation* e *JFE Steel Corporation* são aqueles com maior número de depósitos no país, e juntos possuem cerca de 1/5 dos pedidos de patente no período estudado. Embora a China se destaque como principal país produtor de minério de ferro no mundo, apenas 1,5% dos pedidos depositados no Brasil são de origem chinesa.

Os pedidos de patente foram agrupados de acordo com as etapas dos processos metalúrgicos: (i) *Input* e preparação de matérias-primas; ii) Produção do ferro e do aço; (iii) Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento; (iv) Coprodutos e resíduos; (v) Fundição; e (vi) Soldagem.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Sustentabilidade: A metalurgia tem um impacto significativo no meio ambiente, com emissões de gases de efeito estufa, produção de resíduos tóxicos e contaminação de solo e água. No entanto, nos últimos anos, tem crescido a preocupação com a sustentabilidade no setor, com o desenvolvimento e adoção de práticas e tecnologias sustentáveis para minimizar esses impactos.

No conjunto de documentos analisados foi observado que 48% se referiam a tecnologias que apresentavam um viés de sustentabilidade. Dentre estes pedidos de tecnologias sustentáveis, cerca de 18,6% foram realizados por depositantes residentes. A região Sudeste é a que concentra a maior quantidade de depositantes brasileiros (81%), principalmente Minas Gerais, seguido por São Paulo e Rio de Janeiro. A maior parte dos depositantes residentes PJ são entidades empresariais (49,9%), sendo a empresa *Vale S.A.* a principal depositante destes pedidos. Entre as universidades destaca-se a *UFMG*. O trâmite prioritário de patentes verdes foi utilizado em 41 pedidos da amostra, principalmente por residentes como a *Vale S.A.*, que priorizou a análise de 28% dos seus pedidos de patente neste campo tecnológico.

Em relação a categorização das invenções, no conjunto geral os pedidos de patente se concentram nas etapas relacionadas a “produção do ferro e do aço”. Por outro lado, no conjunto de tecnologias com viés de sustentabilidade, a categoria com maior volume de pedidos é a de “coprodutos e resíduos”. Em ambos os conjuntos a categoria com menos pedidos de patente depositados no Brasil é “Soldagem”.

Entre os pedidos depositados no INPI com tecnologias sustentáveis, 55% são patentes *não válidas ou extintas*, 29% são *patentes vigentes* e 16% estão ainda *pendentes de decisão*. No campo da metalurgia da transformação, entre os residentes predominam os inventores e depositantes do gênero masculino. Somente 16,7% dos inventores e 7% dos depositantes, quando pessoa física, são mulheres.

Os resultados apresentados neste Radar Tecnológico, bem como os dados bibliográficos dos pedidos de patente identificados, podem ser acessados de forma interativa por meio de consulta ao painel de dados que acompanha este relatório. [[link de acesso ao dashboard](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Sumário

1	Objetivo do estudo	11
2	Contextualização	12
2.1	Introdução	12
2.2	Definições	13
2.3	Breve histórico	15
2.3.1	Histórico da Metalurgia no Brasil	16
2.4	A produção metalúrgica mundial	17
2.4.1	A produção metalúrgica no Brasil e o parque industrial siderúrgico	19
2.4.1.1	A produção metalúrgica no Espírito Santo	21
2.4.2	A cadeia produtiva do ferro e do aço	22
2.4.2.1	Fluxo dos processos siderúrgicos	23
2.4.2.2	O processo de produção do aço no Brasil	25
2.5	A sustentabilidade no setor metalúrgico	28
2.5.1	O Aço e a Economia circular	30
2.6	Inovação e Propriedade Industrial na Metalurgia	32
3	Resultados	34
3.1	Análise dos pedidos de patente depositados no Brasil relativos às tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço	34
3.1.1	Evolução temporal do depósito de pedidos de patente no Brasil	34
3.1.2	Principais depositantes dos pedidos de patente depositados no Brasil	35
3.1.3	Origem das tecnologias descritas nos pedidos de patente depositados no Brasil	37
3.1.4	Categorização das tecnologias descritas nos pedidos de patente depositados no Brasil	40



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

3.2	Análise dos Pedidos de Patente que apresentam características relacionadas à Sustentabilidade	42
3.2.1	Evolução anual dos pedidos de patente relativos às tecnologias metalúrgicas sustentáveis	42
3.2.2	Origem das tecnologias com viés de sustentabilidade.....	43
3.2.3	Principais depositantes de pedidos com tecnologias sustentáveis.	44
3.2.4	Categorização das tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço	46
3.2.5	Situação legal dos pedidos de patente no Brasil	49
3.2.6	Análise dos pedidos de patente depositados por Residentes no Brasil com viés de sustentabilidade.....	50
3.2.6.1	Principais depositantes residentes.....	51
3.2.6.2	Geolocalização dos depositantes residentes	52
3.2.6.3	Natureza jurídica dos depositantes residentes	54
3.2.6.4	Categorização dos pedidos de patente relacionados a tecnologias sustentáveis depositados por residentes	55
3.2.6.5	Situação legal dos pedidos de patente sobre tecnologias metalúrgicas sustentáveis depositados por residentes	56
3.2.6.6	Análise de Gênero dos Depositantes residentes (PF) e Inventores de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço.....	57
3.2.7	Utilização do Trâmite Prioritário na modalidade de “Tecnologias Verdes” do INPI	59
3.2.7.1	Depositantes que utilizaram o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”.....	59
3.2.7.2	Categorização dos pedidos de patente que utilizaram o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”.....	61
4	Considerações Finais	62
4.1	Disponibilização dos dados apresentados	65
4.2	Tendências e Desafios	65



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

5	Referências	69
6	Apêndices	72
6.1	Apêndice 1 - Noções gerais sobre metalurgia	72
6.2	Apêndice 2 - Metodologia do estudo	77
	<i>Elaboração da Estratégia de busca e Levantamento dos pedidos de patente</i>	77
	<i>Análise e Tratamento dos dados dos pedidos de patente</i>	80
	<i>Categorização dos documentos de patente</i>	80
	<i>Identificação de pedidos que utilizaram o Programa de "Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes"</i>	81
	<i>Painel de dados</i>	81



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Abreviaturas

ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração
ACL - Ambiente de Contratação Livre
ACR - Ambiente de Contratação Regulada
AVB - Aço Verde Brasil
CBA - Companhia Brasileira de Alumínio
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica
CIP (ou IPC - *International Patent Classification*) - Classificação Internacional de Patentes
CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI - Confederação Nacional da Indústria
CPC (*Cooperative Patent Classification*) - Classificação Cooperativa de Patente
CSN - Companhia Siderúrgica Nacional
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EPO (*European Patent Office*) - Escritório Europeu de Patente
FSC (*Forest Stewardship Council International*)
GEE - Gases de Efeito Estufa
IAB - Instituto Aço Brasil
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT - Instituto de Ciência e Tecnologia
IoT - Internet das Coisas
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LPI - Lei da Propriedade Industrial
MLE - Mercado Livre de Energia
OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU - Organização das Nações Unidas
PCT (*Patent Cooperation Treaty*) - Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes
PIB - Produto Interno Bruto
PSN - Plano Siderúrgico Nacional
SFB - Serviço Florestal Brasileiro
WIPO (*World Intellectual Property Organization*) - Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI)
WSA (*World Steel Association*) - Associação Mundial do Aço



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

1 Objetivo do estudo

Este radar tecnológico foi elaborado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica (ACT) em vigor entre o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), que estabelece o compromisso conjunto de promover a disseminação da cultura de inovação e o uso qualificado do sistema de propriedade industrial no estado do Espírito Santo. Entre as metas do ACT está a realização anual de estudos de prospecção tecnológica em temáticas de interesse mútuo. Neste contexto, considerando a importância da metalurgia no estado do Espírito Santo e a oportunidade de contribuir para o ecossistema de inovação local, o setor metalúrgico de transformação do ferro e do aço foi escolhido para elaboração do presente estudo. O principal objetivo foi apresentar um panorama dos pedidos de patentes de invenção e de modelo de utilidade depositados no Brasil nos últimos anos que descrevem tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, na fundição e na soldagem, em especial as tecnologias consideradas sustentáveis.

Nas últimas décadas, tem crescido o interesse pela sustentabilidade na produção metalúrgica de modo que as empresas do setor têm investido em pesquisas voltadas a tecnologias aplicadas a estes processos, que ajudem a minimizar os problemas ambientais. Assim, primeiramente foram buscados pedidos de patentes depositados no Brasil referentes à siderurgia, à fundição e à soldagem do ferro e do aço. Dentro deste conjunto inicial, foram identificados os pedidos de patente relacionados às tecnologias sustentáveis. Além da evolução do número de pedidos, este estudo apresenta uma análise da situação legal dos pedidos, os principais depositantes no Brasil, identificando sua natureza jurídica e sua origem no território nacional (unidade da federação). Também é efetuado um diagnóstico do gênero dos inventores das tecnologias e dos depositantes residentes dos pedidos (quando estes são pessoa física), visando apoiar políticas públicas neste setor. Por fim, foram levantados os pedidos depositados no Brasil, que descrevem tecnologias metalúrgicas sustentáveis, que participaram do programa de trâmite prioritário, na modalidade “Tecnologias Verdes”, desde o seu lançamento pelo INPI, em 2012.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

2 Contextualização

2.1 Introdução

O setor metalúrgico tem um importante papel na economia brasileira, sendo um dos motores que impulsionam o desenvolvimento do país. A indústria metalúrgica é considerada uma das mais importantes indústrias de base, por ser responsável pela produção de matéria-prima para todos os setores que dependem dos metais, atingindo diversos mercados. Desta forma, a indústria metalúrgica tem impacto direto na sociedade como um todo, já que os metais estão presentes no cotidiano da população: nos componentes do celular ou do computador, nos meios de transporte, nas construções, em utensílios domésticos, em embalagens e equipamentos comerciais, em instrumentos da medicina etc. (Sebrae, 2024). A metalurgia também é aplicada a materiais elétricos e eletrônicos, onde metais como alumínio, cobre, estanho e ouro são usados em linhas de energia, fios, placas de circuito impresso e circuitos integrados.

A crescente preocupação com a questão ambiental também trouxe impactos para o setor metalúrgico que tem buscado se adaptar as determinações mundiais de redução de emissão de carbono, dentre outras iniciativas relacionadas à sustentabilidade. Neste sentido, muitas empresas do setor têm desenvolvido projetos e iniciativas com este foco, que variam desde a redução dos resíduos provocados pelo processo produtivo à busca por maior eficiência energética por meio de energias alternativas, a fim de enfrentar este grande desafio que se impõe ao setor (IAB, 2024; Conegundes, 2023). Como parte relevante da indústria metalúrgica, a indústria siderúrgica tem desenvolvido tecnologias inovadoras para a transformação do ferro e permitindo uma produção de aço mais sustentável.



2.2 Definições

Metalurgia

Metalurgia é uma área da ciência e da engenharia de materiais que estuda o comportamento físico e químico de elementos metálicos, seus compostos intermetálicos e suas misturas, que são chamadas de ligas (Enciclopédia do Novo Mundo, 2024)¹. Desta forma, a metalurgia procura estudar os fenômenos físico-químicos dos metais, além de gerenciá-los desde sua extração do subsolo, passando pelo refino, pela fabricação de metais e suas ligas, até sua transformação em produtos adequados ao uso.

A metalurgia pode ser dividida em três áreas principais: a extrativa ², a física ³ e a de transformação. A metalurgia de transformação aborda processos mecânicos e metalúrgicos, em que tensões são utilizadas para alterar a forma do metal⁴ (Demet/UFRGS, 2025). Assim, a metalurgia de transformação é definida pela sua aplicação.

A indústria metal mecânica, também chamada de metalomecânica ou metalúrgica, envolve a transformação de metais (matéria-prima) como aço, ferro, cobre, ouro, prata (etc.) em produtos para a indústria ou para o consumidor final. A transversalidade dos mecanismos e processos deste setor expande-se por diversos segmentos da manufatura, dos menos complexos aos mais tecnológicos, tornando-o fundamental para a cadeia de produção da indústria⁵ (Firjan, 2025). De acordo com o Sebrae (2022), as cinco principais funções da indústria metalúrgica são: a fundição, a siderurgia, a produção de metais não ferrosos, a produção de ferroligas e ferro-gusa e a fabricação de tubos.

¹ New World Encyclopedia, 2024. Disponível em [[Sítio da internet](#)].

² A metalurgia extrativa busca a obtenção e o beneficiamento de minérios, a partir dos processos pré-extrativos, a aquisição de metais elementares a partir de seus respectivos minérios, pelos processos extrativos e a produção de ligas metálicas em composições bem definidas, também conhecida como refino.

³ Dedicar-se à estrutura dos metais e suas propriedades, avaliando suas aplicações e desempenho. Assim, são abordados aspectos envolvendo imperfeições cristalinas, transformações de fase, como fundição e soldagem, tratamentos térmicos, termomecânicos e termoquímicos, conformação plástica e comportamento mecânico de metais e ligas sob condições de carregamento estático e dinâmico.

⁴ Portal do Departamento de Metalurgia (Demet) da Escola de Engenharia da UFRGS. Disponível em [[Sítio da internet](#)].

⁵ O setor metal mecânico e a Firjan, 2025. Disponível em [[Sítio de internet](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Metalurgia da transformação de ferro e do aço

A metalurgia da transformação de ferro e aço engloba os processos que transformam esses metais em produtos metálicos com as propriedades e formas desejadas. Isso inclui a extração do minério, a produção de ferro e aço, e a conformação desses metais através de processos como a metalurgia do pó, a fundição, a laminação, o forjamento, a soldagem, a usinagem, dentre outros.

Assim, o foco do estudo foi o conjunto de processos industriais que são intrinsecamente ligados e fundamentais para a produção do aço: a siderurgia, fundição e soldagem.

Siderurgia

A siderurgia é um ramo da metalurgia aplicado a metais ferrosos (ferro e suas ligas), sendo responsável pela fabricação e pelo tratamento do aço e ferros fundidos (ACEPIL, 2024).⁶ A indústria siderúrgica é uma das principais fornecedoras de serviços de transformação do mercado. Por isso, a siderurgia é considerada o principal segmento da indústria metalúrgica. Essa característica ajuda a definir o grande elo comercial de suas operações com outras grandes empresas industriais, como por exemplo, a indústria automobilística e a de construção. A indústria siderúrgica possui benefícios voltados às mais diversas áreas de uso cotidiano, tais como: energia, transportes públicos, construção civil, transformação de aços e metais para construção de pontes, ferrovias, dentre outros. Desta forma, a siderurgia tem um importante papel no avanço tecnológico dos países e nas mudanças inerentes à chamada indústria 4.0.

O minério de Ferro e o Aço

O ferro aparece sob diversas formas minerais na natureza. No entanto, apenas algumas delas possuem valor comercial. Os minerais formados por óxidos de ferro (exemplos: Magnetita - Fe_3O_4 e Hematita - Fe_2O_3) representam a grande maioria das fontes de ferro para a indústria siderúrgica, sendo o mineral mais empregado na siderurgia.

⁶ACEPIL, 2024.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

O aço é uma liga de ferro e carbono, que contém menos de 2% de carbono, 1% de manganês e pequenas quantidades de silício, fósforo, enxofre e oxigênio. O aço não é um produto único: existem mais de 3.500 tipos diferentes de aço com propriedades físicas, químicas e ambientais diversas. Os carros modernos são construídos com novos aços que são mais fortes e até 35% mais leves do que no passado. Verifica-se que aproximadamente 75% dos aços modernos foram desenvolvidos nos últimos 20 anos.

O Apêndice 1 apresenta algumas propriedades dos metais ferrosos e do aço e suas aplicações. Por exemplo, o ferro fundido é extremamente forte, mas quebradiço. Já o aço de baixo carbono é macio e dúctil, pois não conta com a grande quantidade de carbono do ferro fundido (Aços Nobre, 2024).

2.3 Breve histórico

A manipulação de metais acompanha a evolução da humanidade ao longo dos milênios. No passado, as tribos ou grupos sociais primitivos aprenderam a manipular os metais encontrados na natureza para adaptá-lo às suas necessidades, tais como: produzir utensílios de uso doméstico, ferramentas de trabalho, objetos decorativos, obras de arte ou armas de guerra. A Idade dos Metais (6.000 a.C. a 1.000 a.C.) é caracterizada pela criação dos primeiros utensílios de metais e consequente desenvolvimento das indústrias metalúrgicas e siderúrgicas (Sebrae, 2024).⁷ O aperfeiçoamento do uso dos metais ao longo dos milênios ajudou a impulsionar a sociedade e teve importante papel nas revoluções tecnológicas, sociais e econômicas (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994).

Os primeiros altos-fornos apareceram no século XIII, e no século XVIII a indústria metalúrgica teve novo impulso devido à revolução industrial. Por outro lado, a análise química dos minérios e metais passa a fornecer informações preciosas com desenvolvimento da termodinâmica (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994).

⁷ Esse período da Pré História é subdividido em três partes: Idade do Cobre, Idade do Bronze e Idade do Ferro (UOL, 2024). O primeiro ferro fundido foi datado em 600 a.C., e no período romano, de 250 a 100 a.C.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A mudança mais importante na siderurgia ocorre em 1826, com a patente de Neilson de pré-aquecimento do ar em tubos de ferro fundido, aquecidos externamente. Já os problemas de trincamento dos tubos só foram resolvidos, na segunda metade do século, com os regeneradores de Cowper⁸. Outros processos importantes surgiram na segunda metade do século XIX: os processos Bessemer e Siemens-Martin de produção de aço líquido (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994).⁹ Ainda hoje o aço é produzido usando tecnologia baseada no Processo Bessemer, de soprar ar através de ferro gusa fundido para oxidar o material e separar impurezas¹⁰ (World Steel Association, 2024).

2.3.1 Histórico da Metalurgia no Brasil

Pesquisadores dividem a história inicial da metalurgia no Brasil em dois grandes períodos: a época dos “Engenhos de Ferro” (de 1500 a 1700) e o “Século do Ouro” (de 1700 a 1800)¹¹. No século XVI, foram descobertas jazidas de prata e minério de ferro no Brasil¹², mesma época em que surge a primeira fábrica de ferro no Brasil (Gomes, 2016)¹³.

No século XIX, a expansão da metalurgia foi possível graças à presença cada vez maior de imigrantes europeus com conhecimentos metalúrgicos. No entanto, apesar da Revolução Industrial estar ocorrendo na Europa desde o século XVIII, havia um atraso tecnológico no Brasil. Porém, a chegada da Corte portuguesa ao Brasil, em 1808, trouxe incentivos para o crescimento das atividades industriais no país e esforços para a implantação de uma siderurgia no país (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994).

⁸ A pudlagem, que fora a grande solução do século anterior, já se tornava incapaz de atender à crescente demanda de ferro.

⁹ A invenção da primeira técnica para produzir aço em massa, em meados da década de 1850, é creditada geralmente a um inventor britânico, Henry Bessemer.

¹⁰ Para mais informações, confira a publicação online da WSA (2024).

¹¹ Durante o “Século do Ouro” ocorre uma mudança na sociedade brasileira, visto que a mineração provoca uma corrente migratória para o interior com muitos aventureiros em busca de ouro e pedras preciosas.

¹² Em 1554, os padres jesuítas relataram, em um informe ao rei de Portugal, a existência de depósitos de prata e minério de ferro no interior da capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo).

¹³ Um dos pioneiros no tratamento de metais no Brasil, que trabalhou na redução do minério de ferro, foi Afonso Sardinha. Em 1587, Sardinha descobriu magnetita na atual região de Sorocaba, no interior de São Paulo, e iniciou a produção de ferro a partir da redução do minério. As forjas construídas por Sardinha operaram até a sua morte, em 1616.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A indústria metalúrgica no Brasil ganhou impulso nos anos 30, com a revolução industrial no país (Sebrae, 2024). Contudo, a dependência brasileira de produtos siderúrgicos importados começou a mudar somente nos anos 40. Importantes empresas siderúrgicas nacionais surgem neste século, como a “Companhia Siderúrgica Nacional – CSN” e a “Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST”. Em 1971, é lançado o Plano Siderúrgico Nacional (PSN), com o objetivo de iniciar novo ciclo de expansão e quadruplicar a produção. Nesta época, cerca de 70% da produção nacional vinha das empresas estatais, onde parte da produção era destinada à exportação. Na década de 80, havia uma retração no mercado interno, o que levou o Brasil a passar de grande importador a exportador de aço, mesmo sem ter tradição no ramo. Na década de 90, começou o processo de privatização das siderúrgicas. (Barros, 2015) O Quadro 6.1 do Apêndice 1 apresenta uma evolução histórica dos principais acontecimentos da metalurgia no Brasil, nos séculos XIX e XX.

Nas últimas décadas, tem se ampliado as pesquisas de metais com enormes reservas no Brasil, como o grafeno e o nióbio, e eles têm apresentado um enorme potencial para gerar uma inovação disruptiva, gerando progresso para a sociedade (INPI, 2021; INPI, 2024). Por exemplo, quando adicionados a uma liga, o nióbio e o grafeno têm a capacidade de aprimorar as propriedades do ferro e do aço, que são o foco deste estudo.

2.4 A produção metalúrgica mundial

O setor de metalurgia é tradicionalmente identificado como produtor de *commodities*, assim como a mineração. Isso porque a maior parcela de produção de ambos é de produtos padronizados que concorrem no mercado com relação a preço. De acordo com a publicação “Panoramas setoriais 2030 - Mineração e Metalurgia” do BNDES, este é um setor metalúrgico bastante competitivo a nível mundial, exceto com relação a elementos metálicos caracterizados pela concentração de reservas minerais em determinados países e com baixos substitutos no mercado, como é o caso do nióbio. A principal barreira de entrada neste mercado é o elevado volume de capital necessário (BNDES, 2017).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A China está no 1º lugar do *ranking* dos países que mais produzem aço bruto no mundo, tendo produzido em 2023, a quantidade de 1.019,1 milhões de toneladas de aço bruto. Em 2º lugar, está a Índia (140,8 Mt/a), em 3º o Japão (87,0 Mt/a). Os EUA estão em 4º lugar (81,4 Mt/a) e a Rússia em 5º (76,0 Mt/a). A produção mundial total de aço bruto em 2023 foi de 1.892 Mt/a. Contudo, o uso aparente de aço (produtos de aço acabados) mundial total foi de 1.763 Mt/a (globalmente, estima-se que foram usados 219 kg de aço por pessoa, em 2023, em novos produtos). O Brasil apareceu na 9ª posição, no *ranking* dos 10 maiores países produtores de aço bruto em 2023, tendo produzido 31,8 Mt/a. (WSA, 2024). Contudo, no *ranking* da América Latina, o Brasil se manteve na 1ª posição, tendo produzido 54,6% de aço bruto do total da região (IAB, 2023).

Segundo a World Steel Association (WSA), a demanda mundial de aço acabado é de 1763 Mt/a, representando um aumento de 1,7% em 2024. Na região denominada "Central e América do Sul", a projeção é de 45,5 Mt/a (redução de 0,5%). Os 10 países que mais usaram aço, em 2023, foram: China (895,7 Mt/a), Índia (133,4 Mt/a), Estados Unidos (90,5 Mt/a), Coreia do Sul (54,7 Mt/a), Japão (53,3 Mt/a), Rússia (44,6 Mt/a), Turquia (38,1), México (28,5 Mt/a), Alemanha (28,0 Mt/a) e o Brasil (em 10º lugar no *ranking*, tendo consumido 23,9 Mt/a). No caso do Brasil, a previsão é de consumir 24,5 Mt/a de aço em 2025.¹⁴ Em 2023, as cinco principais empresas produtoras de aço bruto, no mundo, foram: *China Baowu Group*, a *ArcelorMittal* com sede em Luxemburgo, a siderúrgica chinesa *Ansteel Group*, a japonesa *Nippon Steel Corporation*¹⁵ e o conglomerado chinês *HBIS Group*. Observa-se que três destes conglomerados são da China: juntos eles somam um total 228 Mt/a de aço bruto produzidos em 2023 (67% da soma das 5 primeiras). Também é possível verificar que só há uma empresa brasileira neste *ranking* de 2023: a *Gerdau S.A.*, na 33ª posição mundial com 12,74 Mt/a de aço bruto produzidos (WSA, 2024).

¹⁴ World Steel Association (2024). Consulta: Março 2025.

¹⁵ A empresa japonesa "Nippon Steel Corporation" inclui dados da Usiminas (31,4%).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

2.4.1A produção metalúrgica no Brasil e o parque industrial siderúrgico

Um dos pilares da economia brasileira, o setor metalúrgico tem se destacado no mercado industrial, onde a indústria de aço é responsável por aproximadamente 90% da produção total (BNDES, 2017). A produção brasileira de minério de ferro é a 3ª maior do mundo, atingindo quase 20% do total produzido em 2018. Por outro lado, a produção de aço no Brasil representou menos de 2% da produção mundial de aço bruto em 2023, que corresponde a cerca de 31,816 Mt de aço bruto por ano. Para 2025, a Instituto Aço Brasil (IAB) prevê queda de 0,6% na produção e uma queda de 0,8% nas vendas internas, mas prevê alta de 2,2% nas exportações e 11,5% nas importações de laminados.

O Brasil possui uma das cinco maiores reservas de minério de ferro do mundo, estimada em mais de 30 bilhões de toneladas. O minério de ferro brasileiro é de uma qualidade rara, pois possui baixo teor de P (fósforo), principal contaminação que encarecem os processos para produção de aço. China e Rússia aparecem como outros destaques mundiais. Porém, nosso minério de alta pureza é levado para o exterior para fazer um "blend" com outros minérios de menor qualidade existentes pelo mundo (ANM, 2024).

Segundo o Relatório de Sustentabilidade 2020 do Instituto Aço Brasil, o parque industrial siderúrgico brasileiro (produção de aço) é composto por 31 usinas (15 integradas e 16 mini-mills) localizadas em 10 estados brasileiros, com maior concentração na região Sudeste. As 31 usinas produtoras de aço são administradas pelos seguintes grupos: Açonorte; Aço Verde do Brasil; Aperam; ArcelorMittal Brasil; Companhia Siderúrgica do Pecém - CSP; Companhia Siderúrgica Nacional - CSN; Gerdau; Simec; Sinobras; Ternium Brasil; Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais - Usiminas; Vallourec; e Villares Metals. Estas usinas, administradas por 12 grupos empresariais, têm capacidade instalada de 51 milhões de toneladas por ano de aço bruto. Em 2023, o faturamento das empresas do setor atingiu R\$ 167.539.068 (IAB, 2024).

O portal Econodata mostra que há 19.068 empresas metalúrgicas no Brasil, com a metalúrgica Gerdau S.A. (SP), figurando em primeiro lugar no *ranking* das 100 maiores empresas de metalurgia no Brasil por



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

faturamento^{16, 17}. Segundo o estudo "Perfil Setorial da Indústria" da Confederação Nacional da Indústria (CNI), o segmento de metalurgia emprega mais de 200 mil pessoas e representa aproximadamente 3,1% do Produto Interno Bruto (PIB) do país. A força de trabalho total nas siderúrgicas foi de 115.007 colaboradores em 2023 (IAB, 2024). Além disso, a expectativa para a indústria metalúrgica aponta para uma progressão proporcional ao crescimento do PIB, de acordo com expectativa da CNI¹⁸.

O consumo de aço por habitante no Brasil é baixo comparado aos países mais desenvolvidos economicamente, que têm um consumo de aço *per capita* alto. Segundo o professor Estéfano Vieira, a principal forma de aumentar o consumo de aço é por meio de expansão das Ferrovias e da Construção Civil¹⁹. Em 2023, os principais setores presentes na Metalurgia foram os de autopeças automotivas, a linha agrícola e a fundição em geral. Segundo o IAB, a participação no consumo aparente aumentou, passando de 55,8% em 2021 para 58,7% em 2022. Em 2023, o consumo aparente de produtos siderúrgicos foi de 23,92 Mt. Para 2025, o IAB prevê que o consumo aparente deverá variar 1,5% para 26,7 Mt. Dentre os estados, São Paulo continua liderando como o maior consumidor, com sua participação subindo de 32,5% em 2021 para 33,5% em 2022. (IAB, 2024).

No triênio 2018 a 2020, ocorreram alguns fatos relevantes que limitaram o crescimento econômico no país nos últimos anos: a greve dos caminhoneiros em 2018, que praticamente parou o país e prejudicou o escoamento de matérias-primas, insumos e produtos finais nas cadeias produtivas; a tragédia ambiental e social causada pelo rompimento da barragem de Brumadinho, em Minas Gerais, em 2019, que impactou a economia do setor, gerando incertezas em relação ao

¹⁶ Segundo o Econodata, o cálculo das maiores empresas é baseado nas informações de faturamento anual, quantidade de funcionários e porte das empresas da referida região.

¹⁷ Dados disponíveis neste portal, em 2025.

¹⁸ Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM, 2024) Disponível em [[Sítio da internet](#)].

¹⁹ Segundo o pesquisador Estéfano Aparecido Vieira do Ifes, a construção civil brasileira está mais focada no concreto. Já as ferrovias, estas são poucas no país, se comparado à extensão territorial gigantesca. Os países desenvolvidos estão na frente, porque identificaram os benefícios e as oportunidades geradas pelas ferrovias. Alemanha, França, Estados Unidos, entre outros, são países que não produzem minério de ferro de forma significativa, mas que possuem malha ferroviária extensa. As ferrovias contribuem com a redução no custo de transporte de matérias-primas e produtos acabados, além da circulação de pessoas, gerando benefícios e desenvolvimento para o país.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

suprimento de minério de ferro para as indústrias metalúrgicas²⁰; e a pandemia da COVID-19 em 2020 com impactos sociais, econômicos e ambientais, nos anos seguintes. Neste triênio, apesar dos desafios, a indústria do aço mostrou resiliência (IAB, 2024).²¹

A produção siderúrgica no Brasil se mostra competitiva quando comparados os custos de produção em relação aos principais produtores mundiais, principalmente em função do acesso ao minério de ferro de menor custo relativo e de alta qualidade (BNDES, 2017). O Brasil exporta aço para mais de 100 países, sendo seu maior concorrente a China, líder no mercado mundial de aço (PWC, 2013)²². Em 2023, o Brasil exportou 11,72 Mt de produtos siderúrgicos, como: produtos semiacabados, produtos planos, produtos revestidos e não revestidos, aços especiais-ligados, produtos longos e outros produtos.

2.4.1.1 A produção metalúrgica no Espírito Santo

A região Sudeste foi responsável pela produção de 27 Mt de aço bruto em 2020, segundo o “Relatório de Sustentabilidade 2020” do IAB. Deste montante, o Espírito Santo produziu, no mesmo ano, 4,644 Mt, que corresponde a uma participação de 17,2% do total produzido no país, ficando em 3º lugar no *ranking* de estados produtores. Em 2023, o Espírito Santo produziu 6,9 Mt de ferro-gusa, 7,04 Mt de aço bruto e 5,4 Mt de laminados e semiacabados para vendas, 26,8%, 22,1% e 17,2% da produção da região sudeste, respectivamente.

Segundo o Instituto Jones dos Santos Neves do Governo do Estado do Espírito Santo, em janeiro de 2025, a produção industrial capixaba retraiu 2,6% na comparação com dezembro de 2024. Contudo, o setor metalúrgico capixaba cresceu 5.8% no acumulado de 2024 (12 meses), onde a taxa de crescimento no período foi de 0,8% (publicado em dezembro de 2024) (IJSN, 2024)²³. No caso das exportações, em

²⁰ A Agência Nacional de Mineração passou a exigir a Declaração de Condição de Estabilidade e, muitas minas e barragens/reservatórios tiveram suas operações interrompidas ou reduzidas, até que pudessem atender às novas exigências.

²¹ IAB (2024) Disponível em [[Sítio da internet](#)].

²² Relatório da PriceWaterHouse. SIDERURGIA e Metalurgia. Disponível em [[Sítio de internet](#)].

²³ Dados extraídos do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Disponível em [[Sítio da internet](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

fevereiro de 2025, as vendas para alguns países tiveram crescimento, com destaque para os EUA: produtos semimanufaturados de ferro ou aço não ligado (36,42%), minérios de ferro e seus concentrados (10,70%) e produtos semimanufaturados de ligas de aço (6,59%). Dados do Sebrae (2022) mostram que o Espírito Santo tinha 5.111 empresas metalúrgicas abertas em 2021.²⁴

2.4.2 A cadeia produtiva do ferro e do aço

A cadeia industrial metalúrgica está intrinsecamente ligada às atividades e técnicas de transformação de metais, ou seja, ao *setor metalmecânico*. Assim, o complexo metalmecânico engloba empresas e atividades especializadas na fabricação de produtos e componentes de metal, englobando diferentes métodos e técnicas: o derretimento, a moldagem e o aprimoramento das características do metal são alguns destes importantes recursos (CIMM, 2024).

A CNI categoriza as atividades do **complexo metalmecânico** em **quatro eixos** distintos: (i) **produção de matérias-primas** (inclui desde a extração de minérios até a fabricação de aço e outros metais, assim como a criação de *ligas metálicas*); (ii) **fabricação de bens intermediários** (produção de bens e equipamentos de metal, que serão utilizados como *insumos em outras indústrias*; um exemplo é a fabricação de *peças metálicas* para a indústria automobilística); (iii) **fabricação de bens de capital** (produção de equipamentos e máquinas utilizados nos processos produtivos que desempenham um papel relevante na modernização da indústria, visando maior eficiência e produtividade); e (iv) **produtos destinados ao consumidor final** (exemplos: eletrodomésticos e ferramentas de uso cotidiano). (CIMM, 2024).

²⁴ Sebrae. Disponível em [[Site da internet](#)].

2.4.2.1 Fluxo dos processos siderúrgicos

O processo siderúrgico, segundo o WSA, é mostrado na Figura 1.

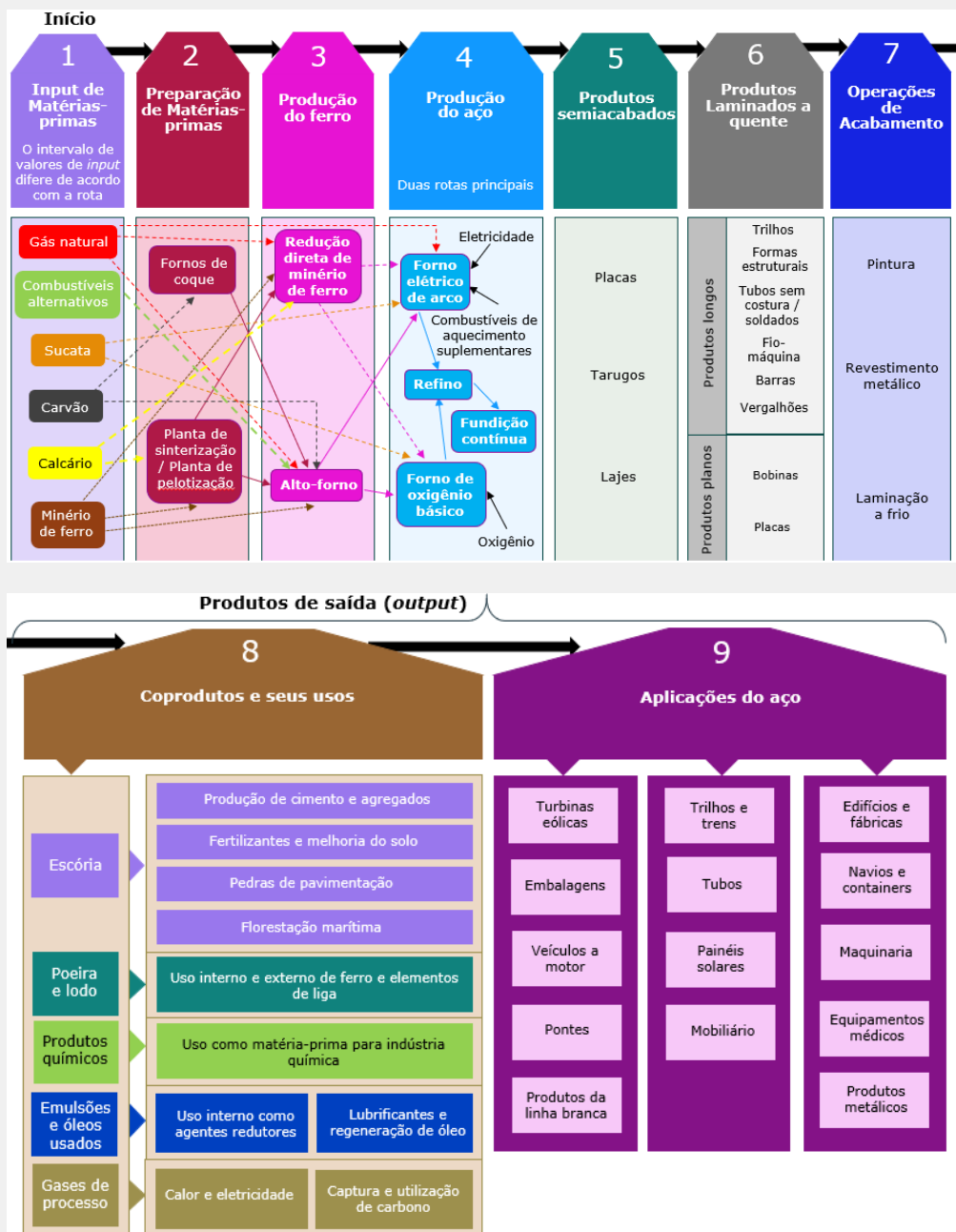


FIGURA 1. O PROCESSO SIDERÚRGICO COM SUAS ETAPAS

Fonte: Adaptado do fluxograma da WSA pela autora



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Os metais são moldados por processos como a fundição, o forjamento, a laminação, a extrusão, a sinterização e a usinagem. A Tabela 6.1 (Apêndice 1) mostra os tipos de processos de moldagem dos metais no setor metalúrgico.

Para fins de categorização dos pedidos de patente neste estudo, foram consideradas as seguintes etapas do processo siderúrgico:

- Etapa 1 - a *entrada (input)* da matéria-prima (exemplos: minério de ferro, calcário, carvão, sucata, combustíveis alternativos ou gás natural);
- Etapa 2 - a preparação de matérias-primas;
- Etapa 3 - a produção do ferro;
- Etapa 4 - a produção do aço (com duas rotas principais);
- Etapa 5 - produtos semiacabados (placas, tarugos e blocos);
- Etapa 6 - produtos laminados a quente (produtos planos ou longos);
- Etapa 7 - operações de acabamento (pintura, revestimento metálico ou laminação a frio);
- Etapa 8 - produtos de saída (coprodutos e suas utilizações como a escória, poeiras e lamas, produtos químicos, emulsões e óleos usados e os gases de processo).

A Etapa 9 do processo siderúrgico (“Aplicações do aço”) não foi utilizada neste estudo. Além das Etapas 1 a 8 da Figura 1 acima. O estudo incluiu ainda as tecnologias relacionadas aos processos de “Fundição” e a “Soldagem” do ferro e do aço.

As etapas 5 e 6 da Figura 1 mostram os produtos semiacabados e laminados a quente respectivamente. Atualmente existe uma grande variedade de formas e tipos de produtos de aço, que podem ser classificados de acordo com a composição química e o seu processamento, visando a sua aplicação final. Quanto à composição química do aço, é possível classificá-lo em aço carbono e aço especial/ligado. Quanto ao formato e tipo de produtos, os aços podem ser classificados em semiacabados, planos e longos. Assim, o Quadro 1 mostra as classificações dos aços e dos seus produtos.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

QUADRO 1. CLASSIFICAÇÕES DOS AÇOS E SEUS PRODUTOS

Classificações dos Aços	
Classificação baseada na Composição Química	
Aço carbono	Este é um aço com teor de carbono de cerca de 0,05 a 2,1 % em peso. São aços com baixo teor de liga, de composição química definida em faixas amplas. Este é o tipo de aço mais produzido e utilizado.
Aço especial / ligado	São aços ligados ou de alto teor de carbono, de composição química definida por especificações rígidas. São considerados aços especiais, os de construção mecânica ligados, inoxidáveis e ferramenta. Esses aços contêm, além da liga ferro e carbono, outros elementos em proporções significativas, que podem alterar as propriedades químicas e/ou mecânicas. Os principais elementos que são adicionados nesses aços são: alumínio (Al), manganês (Mn), níquel (Ni), cromo (Cr), molibdênio (Mo), vanádio (V), silício (Si), cobre (Cu), cobalto (Co) e tungstênio (W), dentre outros.
Classificação baseada no Formato e Tipos de produtos	
Semiacabados	Os produtos semiacabados são oriundos de processo de lingotamento contínuo ou de laminação de desbaste, na forma de placas, blocos e tarugos, destinados a posterior processamento de laminação ou forjamento a quente.
Planos	Estes são produtos resultantes de processo de laminação, cuja largura é extremamente superior à espessura. Os produtos planos são comercializados na forma de chapas e bobinas de aços carbono e especiais.
Longos	Os produtos longos são produtos siderúrgicos resultantes do processo de laminação, cujas seções transversais têm formato poligonal e seu comprimento é extremamente superior à maior dimensão da seção reta. Estes produtos são ofertados em aços carbono e especiais, no formato de vergalhões, fios-máquina, barras, perfis, tubos sem costura e trefilados.

Fonte: Relatório de sustentabilidade (IAB, 2020).

2.4.2.2 O processo de produção do aço no Brasil

No Brasil, existem duas rotas tecnológicas para produzir o aço: a rota integrada e a rota semi-integrada. A rota integrada inclui três fases básicas de produção: redução, refino e laminação. Já a rota semi-integrada não tem a etapa de redução. A rota integrada representa mais de 80% da produção total de aço no Brasil (IAB, 2024).

As usinas integradas produzem aço a partir do minério de ferro, que é transformado em ferro-gusa, em seus altos-fornos, através da

utilização de um agente redutor, que pode ser o coque²⁵ ou o carvão vegetal. Aproximadamente 11% do aço brasileiro são produzidos utilizando carvão vegetal como agente redutor nos altos-fornos, uma iniciativa que beneficia o meio ambiente²⁶ (IAB, 2024). A Figura 2 mostra um esquema visual do processo de produção do aço, de acordo com o Instituto Aço Brasil.

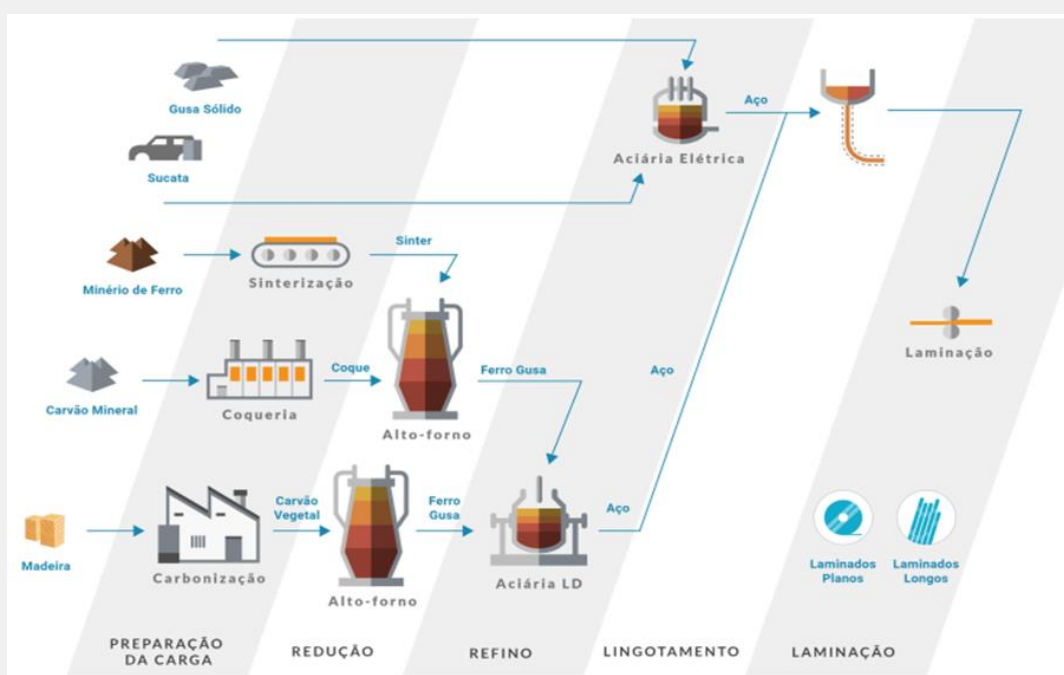


FIGURA 2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO

Fonte: Relatório de Sustentabilidade (IAB, 2020).

As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução. A produção de aço, neste caso, ocorre pela fusão de carga metálica, constituída por sucata, ferro-gusa e/ou ferro-esponja, nas aciarias elétricas. A produção de aço via rota semi-integrada depende diretamente da disponibilidade de sucata, que é gerada a partir do consumo de aço de cada país. A utilização desta sucata no processo

²⁵ Coque é um tipo de combustível derivado do carvão mineral.

²⁶ Devido às propriedades mecânicas do carvão vegetal (maior friabilidade), seu uso só é possível em altos-fornos de menor porte e depende da disponibilidade de áreas para plantio de florestas em um raio econômico para abastecer as plantas industriais. (Relatório de Sustentabilidade 2020 do IAB). A indústria metalúrgica brasileira é pioneira na utilização do carvão vegetal como agente redutor do minério de ferro nos altos-fornos para produzir aço com menor pegada de carbono.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

produtivo do aço também beneficia o meio ambiente, visto que permite a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, além da redução das emissões de gases de efeito estufa, geradas na etapa de redução (produção do ferro-gusa) (IAB, 2024). O Quadro 2, a seguir, descreve as etapas da produção do aço apresentadas na Figura 2: preparação da carga, redução, refino, lingotamento e laminação.

QUADRO 2. ETAPAS DA PRODUÇÃO DO AÇO

Etapas da Produção do Aço	
Preparação da carga	Para otimizar o rendimento, o minério e o carvão são previamente preparados, antes de serem levados ao alto-forno. O minério deve ser aglomerado por meio da sinterização ou pelotização. ²⁷ No caso da preparação do carvão mineral, é necessário retirar compostos voláteis por meio do aquecimento em fornos (coquerias) e da obtenção do coque.
Redução	Etapa na qual há a redução do óxido de ferro (minério) a ferro metálico no alto-forno, utilizando revestimento especial (refratários) capaz de resistir a temperaturas elevadas (mais de 1200° C) do processo de alto aquecimento. Os materiais carregados no alto-forno se transformam em ferro-gusa ²⁸ , escória e gás de alto-forno. O ferro-gusa é utilizado na produção do aço. Já os coprodutos gerados nesta etapa são reaproveitados: a escória é utilizada principalmente na indústria de cimento, enquanto se utiliza o gás de alto-forno na geração de energia.
Refino	Com o ajuste do teor de carbono e a remoção das impurezas, o ferro-gusa é levado a fornos a oxigênio nas aciarias para a obtenção do aço. No caso das usinas semi-integradas, a carga metálica (sucata, ferro-gusa e/ou ferro esponja ²⁹) alimenta diretamente os fornos elétricos a arco para a sua fusão.
Lingotamento	Há dois processos de lingotamento: o convencional e o contínuo. No lingotamento contínuo, o processo mais utilizado no mundo, o aço é vazado das aciarias para ser lingotado em máquinas de lingotamento contínuo, sendo moldado na forma de produtos semiacabados (placas, blocos ou tarugos).
Laminação	A laminação é uma das últimas fases do processo siderúrgico, na qual os semiacabados são processados mecanicamente para serem transformados em produtos siderúrgicos tais como: chapas, vergalhões, barras, bobinas, fios-máquina, tubos sem costura, dentre outros.

Fonte: Relatório de sustentabilidade (IAB, 2020).

²⁷ O carvão vegetal é usado de forma preponderante na produção de ferro gusa e aço. Na produção de ferro gusa, o carvão cumpre duas funções: como combustível para gerar calor necessário à operação do alto-forno da siderúrgica e como agente químico para retirar o oxigênio durante o processo.

²⁸ Ferro-gusa é um ferro primário ou ferro de primeira fusão (liga de ferro e carbono).

²⁹ Ferro-esponja é um ferro primário sólido, produzido a partir do minério na forma de pelotas ou granulado, com uso de gás reformado como agente redutor (em geral, obtido a partir do gás natural), no processo denominado *redução direta*, cuja tecnologia mais usada é a Midrex.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Coprodutos e suas utilizações

Há uma ampla gama de coprodutos do processo siderúrgico (chamados *produtos de saída*), que são valiosos e podem ser vendidos para outras indústrias. Dentre eles, podemos citar: escória, poeiras e lamas, produtos químicos, emulsões e óleos usados, gases do processo (Figura 1). A escória pode ser usada na produção de cimento e agregados, na produção de fertilizantes e melhoramento do solo, como pedras de pavimentação de ruas e estradas, enquanto que as poeiras e lamas podem se tornar elementos de liga. Os produtos químicos podem ser usados como insumo para a indústria química. As emulsões e óleos usados podem ter um uso interno como agentes redutores e como lubrificantes e na regeneração de óleo. Os gases do processo podem gerar calor e eletricidade ou serem capturados para a utilização de carbono. (WSA, 2024).

2.5 A sustentabilidade no setor metalúrgico

O “desenvolvimento sustentável” tem como objetivo aliar a evolução e progresso socioeconômico à preservação ambiental. Deste modo, a sustentabilidade procura utilizar a natureza para atender as necessidades da sociedade sem comprometer as gerações futuras, de modo que elas também possam utilizar os recursos naturais (Gomes, 2016). As “tecnologias verdes” são consideradas tecnologias ambientalmente saudáveis pois são inovações que visam mitigar os impactos ambientais das atividades humanas, promovendo a sustentabilidade.

A Agenda 2030 da ONU é um plano de ação global que reúne 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), onde o objetivo 9 foca na indústria, inovação e infraestrutura. Neste sentido, a meta 9.4 tem como objetivo “*Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais*”.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

limpos e ambientalmente adequados; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades.”³⁰

Neste contexto, nos últimos anos, tem crescido a preocupação com a sustentabilidade no setor metalúrgico. A sustentabilidade inclui, por exemplo, o uso de materiais reciclados, a implantação de procedimentos mais eficientes no que diz respeito ao consumo de energia ou o tratamento da água e resíduos oriundos do processo produtivo.

Uma iniciativa relevante da indústria metalúrgica brasileira é o seu pioneirismo na utilização do carvão vegetal como agente redutor do minério de ferro nos altos-fornos para produzir aço com menor pegada de carbono. A redução das emissões de gases de efeito estufa, devido ao plantio de florestas, é um diferencial do Brasil se comparado aos demais países produtores de aço. Outra ação sustentável diz respeito à reciclagem e ao tratamento da sucata a fim de aumentar o uso de materiais recicláveis na produção de aço, visto que esta iniciativa permite a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, além da redução das emissões de gases de efeito estufa geradas na etapa de redução (produção do ferro-gusa) (IAB, 2020).

Uma demanda relevante da indústria metalúrgica tem sido a eficiência energética, pois este é um setor que consome muita energia na cadeia produtiva. Dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apontam que a indústria metalúrgica continua sendo a maior consumidora de energia do país, responsável por quase 25% do consumo energético industrial³¹. Assim, a busca pela eficiência energética torna-se crucial para este setor, visando reduzir custos e otimizar a produção (CIMM, 2024). O alto consumo de energia na indústria metalúrgica pode ser explicado pela natureza de seu processo produtivo, que é altamente eletrointensivo, envolvendo altas temperaturas, fornos, máquinas e equipamentos que necessitam de grandes potências para fabricação dos produtos. Logo, a preocupação com a eficiência energética e a sustentabilidade são

³⁰ No âmbito do Brasil, a meta 9.4 foi adaptada para “Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as atividades econômicas para torná-las sustentáveis, com foco no uso de recursos renováveis e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados.” (IPEA)

³¹ Tal valor é praticamente o dobro da segunda colocada, a indústria de alimentos. (Clarke Energia, 2024)



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

cruciais e pautas cada vez mais urgentes no setor metalúrgico (Clarke Energia, 2024).

Algumas medidas para reduzir os gastos com energia e tornar o produto mais competitivo e sustentável envolvem a implantação de energias alternativas no processo produtivo e a otimização destes processos. Neste sentido, muitas empresas estão migrando para o Mercado Livre de Energia (MLE)³², pois este modelo permite que a indústria tenha liberdade de contratar fontes renováveis de energia, o que aumenta a sustentabilidade da indústria metalúrgica (CIMM, 2024).

2.5.1 O Aço e a Economia circular

Nos últimos anos, a Economia Circular³³ tem se tornado pauta de toda sociedade, em função das preocupações cada vez maiores com a sustentabilidade do planeta. Este é um novo modelo de produção e consumo que vai além da reciclagem e desassocia o desenvolvimento econômico da utilização recorrente de recursos naturais, uma característica da Economia Linear. No novo modelo econômico, quase nada é descartado. Materiais usados durante o processo produtivo ou que resultam deste processo podem ser reutilizados e remanufaturados, ou reciclados repetidas vezes na fabricação de novos produtos, reduzindo a demanda por recursos naturais.

De acordo com o Instituto Aço Brasil, o aço não apenas oferece as qualidades necessárias, como também vantagens significativas para a transição da Economia Linear ao modelo da Economia Circular. O ciclo de vida do aço produzido é infinito, de modo que o aço é 100% reciclável de forma infinita, sem qualquer perda de qualidade, sendo considerado o material mais reaproveitado do planeta, com 630 milhões de toneladas recicladas por ano, segundo dados da World Steel Association (WSA, 2024).

³² O Mercado Livre de Energia (MLE) já é responsável por 40% da comercialização de energia no Brasil. Segundo especialistas do setor, o MLE é a principal forma de reduzir os custos na metalurgia.

³³ A Economia Circular é mencionada no Relatório de Sustentabilidade (IAB, 2020). Disponível em [[Site de internet](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A indústria do aço investiu, entre 2018 e 2020, mais de R\$ 2,6 bilhões em ações ambientais direcionadas ao aprimoramento dos processos técnicos e programas voltados à sustentabilidade e à redução da emissão de CO₂ na produção do aço (IAB, 2020). Esta indústria possui certificações relacionadas à sustentabilidade, como por exemplo, a FSC (*Forest Stewardship Council International*), que atesta que as matérias-primas de um produto não agredem o meio ambiente, ou a ISO 14001, que exige comprometimento com a prevenção da poluição e com melhorias contínuas.

Por outro lado, a indústria siderúrgica é atualmente a responsável pela maior parte da emissão de gases do efeito estufa (GEE). A fim de tentar resolver este problema, diversas tecnologias inovadoras com foco na sustentabilidade vêm sendo desenvolvidas, visando não apenas reduzir a emissão de carbono como também gerar maior economia à indústria siderúrgica.

No Brasil, existem iniciativas como o Programa Brasileiro GHG Protocol, voltado ao controle e à gestão de emissões GEE e o Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal (iniciativa do Instituto Aço Brasil, que contou com a adesão de todas as associadas do Instituto), que prevê que 100% da demanda de carvão vegetal da siderurgia seja suprida por meio de plantio próprio ou de terceiros ³⁴ (Barros, 2015).

De acordo com a publicação “Panoramas setoriais 2030 - Mineração e Metalurgia” do BNDES, as soluções para a sustentabilidade no setor metalúrgico deverão buscar interação com redes de negócios que englobem grandes fornecedores de engenharia, tecnologia e processos, além do papel dos usuários finais como consumidores conscientes. Neste sentido, grandes empresas já têm buscado formar parcerias para inovação, difusão de tecnologias e exploração de novos mercados (BNDES, 2017).

³⁴ Em 2013, por exemplo, 88,7% da madeira para produção de carvão vegetal teve origem em floresta plantada própria, 7,7% em floresta plantada de terceiros e 3,6% em resíduos florestais legalizados.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

2.6 Inovação e Propriedade Industrial na Metalurgia

Para alguns pesquisadores, a indústria siderúrgica, de maneira geral, é considerada pouco intensiva em P&D quando comparado a outras indústrias, sendo marcada por poucas inovações ao longo do tempo. Neste sentido, a maior parte das inovações siderúrgicas é considerada incremental (Kirst & Pinto, 2014).

Contudo, este cenário parece estar mudando, com diversas tendências recentes de inovação no setor metalúrgico: indústria 4.0, a manufatura aditiva, manutenção preditiva, a simulação e realidade virtual (RV), a inteligência artificial, a automação e a sustentabilidade (Malcon Metalúrgica, 2024; CIMM, 2024).

A análise de patentes oferece informações valiosas sobre a inovação no setor tecnológico estudado. Nesse sentido, a análise dos dados de patente relativas à metalurgia da transformação no Brasil e no âmbito global, possibilitam rastrear as tecnologias fornecendo evidências sobre as tendências no setor. Alguns estudos disponíveis analisam o patenteamento de tecnologias metalúrgicas. Os pesquisadores Kirst & Pinto (2014) fizeram uma análise qualitativa das patentes relativas à metalurgia³⁵ de ferro depositadas no Brasil, indicando além do baixo número de depósitos de pedidos de patente, não haver uma regularidade ou tendência de crescimento das patentes publicadas no Brasil com foco em siderurgia até 2014. Adicionalmente, foi identificado que a maior parte das tecnologias depositadas no país eram de origem de países como EUA, Japão, Alemanha e França. Por outro lado, um radar tecnológico publicado pelo INPI mostrou que 128 pedidos de patente referentes ao campo tecnológico “Materiais e Metalurgia”, oriundos do Espírito Santo, foram depositados no INPI até junho de 2022 (INPI, 2022a).

³⁵ A busca de patentes foi efetuada na base *Espacenet* (EPO), usando as IPCs: C21B 13/00, C21C 5/46, C21D 9/46 e C22C 38/00.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Por fim, apesar de muitos ainda considerarem a indústria metalúrgica (assim como a de mineração) pouco inventiva ou hostil ao meio ambiente, observa-se neste setor uma preocupação crescente com o meio ambiente demonstrado no desenvolvimento de novas tecnologias com foco na sustentabilidade (IAB, 2020). Além disso, dentre os pedidos de patente aceitos no programa de trâmite prioritário em tecnologias verdes do INPI, os pedidos que descrevem tecnologias relacionadas à metalurgia e materiais ocupavam o 4º lugar no *ranking* ³⁶ das tecnologias mais aplicadas, indicando uma crescente preocupação com a sustentabilidade no setor metalúrgico (Conegundes, 2023).

³⁶ <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/tramite-prioritario/estatisticas-gerais>



3 Resultados

Nesta seção, serão mostrados os resultados deste estudo divididos em duas partes. A primeira parte (item 3.1) apresenta os gráficos e respectivas análises dos **4.888** pedidos de patente, que descrevem tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço, depositados no Brasil e já publicados a partir do ano 2000 até setembro de 2024. A segunda parte dos resultados (item 3.2) apresenta as análises referentes aos **2.362** pedidos de patente relacionados a **tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia da transformação do ferro e do aço**, que foram extraídos do grupo de 4.888 pedidos iniciais, incluindo uma análise dos 439 pedidos depositados por residentes no Brasil (item 3.2.6). Por fim, serão analisados os pedidos que solicitaram o trâmite prioritário de patentes ao INPI na modalidade de Tecnologias Verdes, com foco na metalurgia da transformação do ferro e do aço (item 3.2.7).

3.1 Análise dos pedidos de patente depositados no Brasil relativos às tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço

Através das estratégias de busca desenvolvidas e apresentadas no Apêndice 2 (*Metodologia do estudo*), foram recuperados **4.888** pedidos de patente depositados no Brasil, relativos a tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, fundição e soldagem.

3.1.1 Evolução temporal do depósito de pedidos de patente no Brasil

A Figura 3 mostra a evolução, por ano de depósito, do número de pedidos de patente, efetuados no Brasil, que descrevem tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, fundição e soldagem. No período inicial da análise, compreendido entre 2000 e 2006, observa-se um crescimento contínuo no número de pedidos depositados anualmente. A partir de 2007 há vários períodos de



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

queda e elevação no número de depósitos, oscilando em torno de uma média de 230 pedidos por ano.

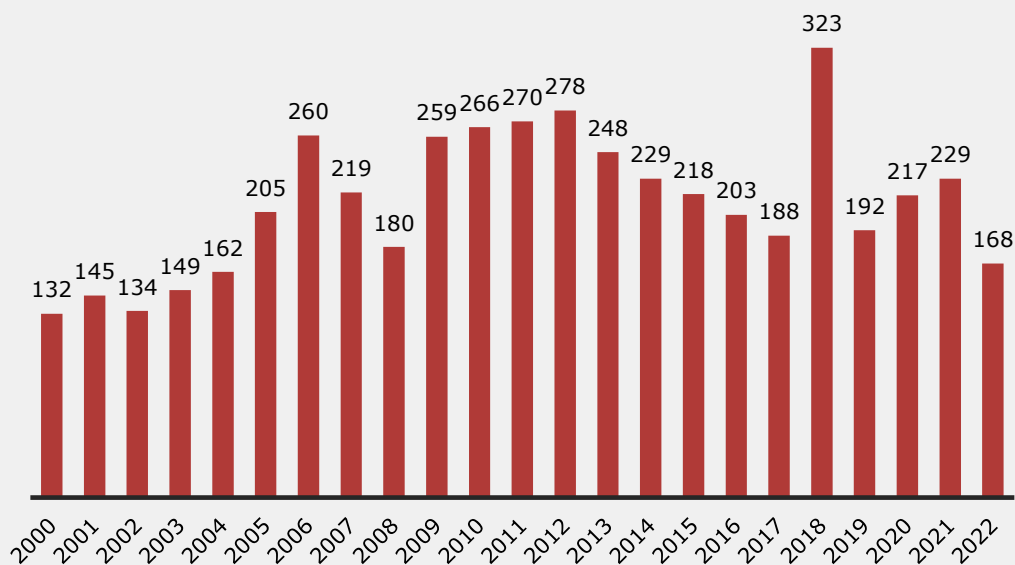


FIGURA 3. DISTRIBUIÇÃO ANUAL³⁷ DOS DEPÓSITOS DE PEDIDOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO BRASIL SOBRE TECNOLOGIAS METALÚRGICAS DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO COM FOCO NA SIDERURGIA, FUNDIÇÃO E SOLDAGEM

3.1.2 Principais depositantes dos pedidos de patente depositados no Brasil

A análise dos depositantes dos pedidos de patente permite compreender quem são os principais interessados em obter exclusividade de determinada tecnologia no país. Neste sentido, a análise dos depositantes dos pedidos no Brasil possibilita identificar as instituições estrangeiras que visam explorar ou negociar suas tecnologias no mercado nacional, assim como os residentes que desenvolvem tecnologia no país.

³⁷ Os dados de depósito nos últimos anos não podem ser considerados como consolidados tendo em vista o período de sigilo de 18 meses é contado da data de depósito, previsto na LPI, a menos que seja solicitada a publicação antecipada pelo depositante; e os prazos para que os pedidos de patente depositados no exterior têm para entrar em fase nacional no Brasil, i.e. até 12 meses (por meio da Convenção da União de Paris – CUP) ou até 30 meses (por meio do Tratado de Cooperação em matéria de Patentes – PCT).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A Figura 4 mostra os 20 principais depositantes de pedidos de patente identificados no estudo. Observa-se que o depositante com mais pedidos depositados no Brasil é o conglomerado japonês *Nippon Steel Corporation* (11,9% dos pedidos), seguido por outro grupo empresarial japonês *JFE Steel Corporation* (7,8%). A holding *Arcelormittal* de Luxemburgo aparece, em 3º lugar (com 5%), seguida do grupo alemão SMS (4,5%) e da empresa americana *Ethicon Llc* (2,9%). A *Usiminas - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A.* (0,74% dos pedidos) é a única instituição brasileira que aparece, entre as 20 primeiras posições do ranking de depositante, ocupando a 18ª posição.

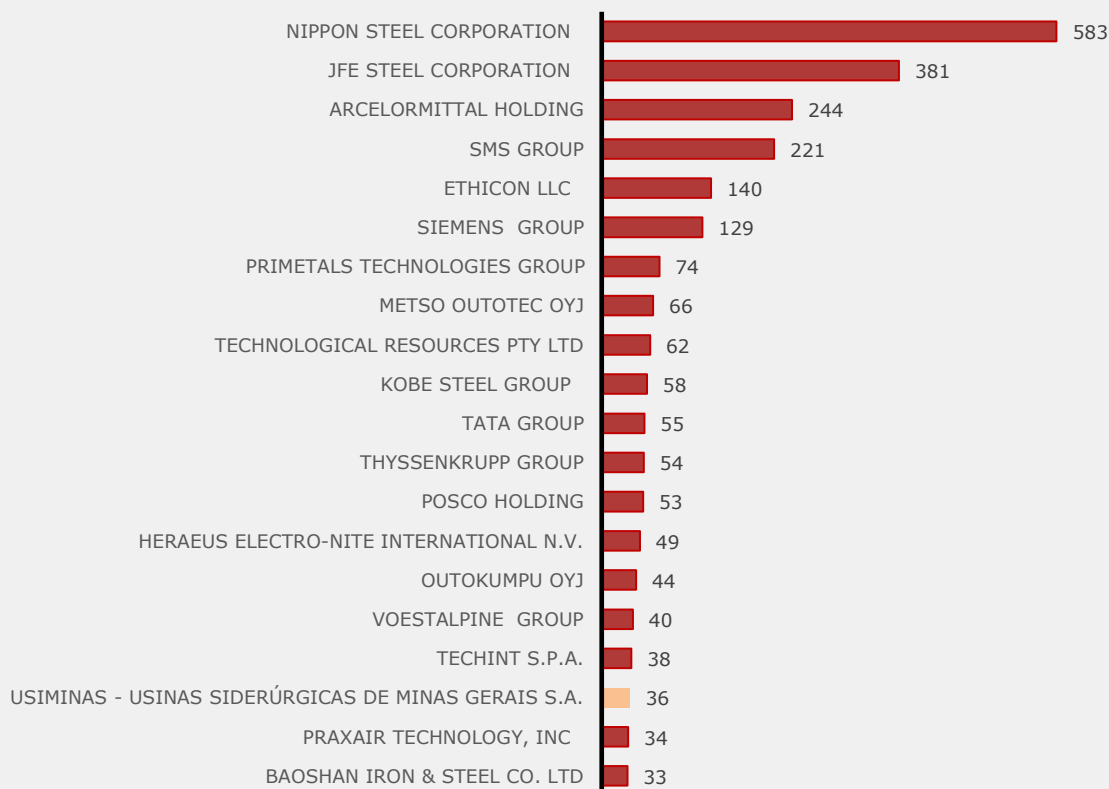


FIGURA 4. PRINCIPAIS DEPOSITANTES DOS PEDIDOS DE PATENTE REFERENTES ÀS TECNOLOGIAS METALÚRGICAS DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS NO BRASIL³⁸

³⁸ Por exemplo, o grupo ArcelorMittal, com sede em Luxemburgo, inclui os pedidos das subsidiárias francesas Usinor, ArcelorMittal France e ArcelorMittal - Stainless & Nickel Alloys, da subsidiária espanhola ArcelorMittal Investigación y Desarrollo S.L. (dentre outras), assim como os pedidos da ArcelorMittal Brasil S.A. Já a "Techint S.p.A.", um conglomerado italo-argentino, inclui as subsidiárias "Tenaris", "Ternium", "Tenova", dentre outras. O conglomerado "SMS Group" inclui as empresas SMS, Paul Wurth, dentre outras.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

As empresas listadas na Figura 4 depositaram pedidos de patente ao longo de todo o período analisado, com exceção da empresa *Ethicon Ilc* que depositou todas as suas invenções nos anos de 2018 e 2019, tendo realizado 101 pedidos de patente somente em 2018. Tal feito se refletiu no pico de depósitos identificado para este ano na Figura 3.

Vale destacar que, no caso de depositantes do tipo empresas, que são conglomerados multinacionais, foram incluídos os pedidos de patente depositados pelas respectivas subsidiárias. No entanto, este agrupamento não foi considerado para a análise do país de origem do depositante (Figura 5), onde se manteve a informação original do país associado ao depositante de cada pedido de patente para aferir a origem da tecnologia.

A *Usiminas* aparece na Figura 4, uma vez que esta empresa depositou pedidos de patente no Brasil em seu nome, apesar de ser controlada por um grupo formado pela *Nippon Steel*, a *Ternium/ Techint* e o fundo de pensão dos empregados da empresa.³⁹

3.1.3 Origem das tecnologias descritas nos pedidos de patente depositados no Brasil

O país de residência dos depositantes permite compreender a origem das tecnologias descritas nos pedidos de patentes. Neste estudo, foram identificados os países dos depositantes que realizaram pedidos de patente de tecnologias metalúrgicas aplicadas à transformação do ferro e do aço no Brasil.

Neste sentido, a Figura 5 mostra os países de origem das tecnologias com as respectivas quantidades de pedidos depositados no Brasil referentes às tecnologias estudadas. Os pedidos de patente são apresentados principalmente por depositantes não residentes no País, representando 80% do total de pedidos encontrados.

Vale observar que muitos depósitos de pedidos de patente que apresentam o Brasil como país de origem das tecnologias estudadas

³⁹ Em 2023, a Ternium aumentou sua participação na Usiminas, chegando a 51,5% (Wikipedia). Disponível em [[Sítio da internet](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

foram efetuados por empresas subsidiárias de conglomerados estrangeiros com filiais no Brasil, como é o caso da *Arcelormittal Brasil*. O panorama dos depósitos realizados por depositantes residentes no Brasil será apresentado no item 3.2.6 deste estudo.

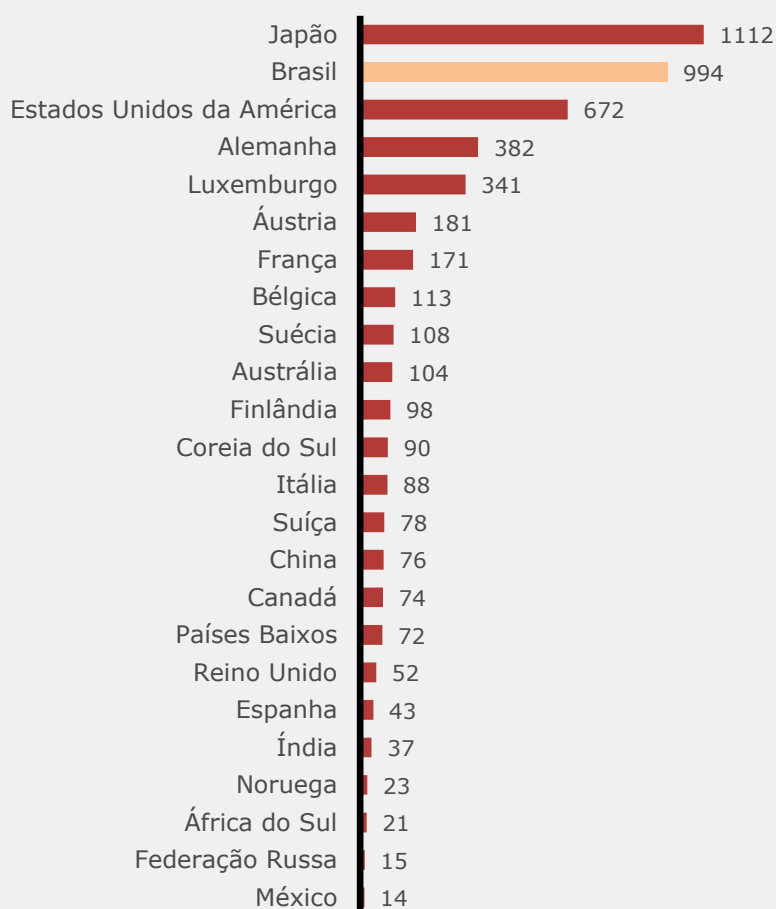


FIGURA 5. PAÍIS DE ORIGEM DAS TECNOLOGIAS METALÚRGICAS DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DESCRITAS NOS PEDIDOS DE PATENTES DEPOSITADOS NO BRASIL.

A Tabela 1 correlaciona os dados de produção siderúrgica mundial dos 10 países que apresentam maior produção de aço, com os números de pedidos de patente, que descrevem tecnologias aplicadas à transformação do ferro e do aço, depositados no Brasil, por requerentes destes países. Assim, a quantidade de pedidos depositados pode refletir o interesse dos países pelo mercado destas tecnologias, ao procurar a



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

proteção por patentes nestes territórios. Em geral, muitos pedidos de patente depositados em determinado país indicam que este é um mercado importante para as tecnologias estudadas.

TABELA 1: RANKING GLOBAL DE PAÍSES PRODUTORES DE AÇO X RANKING DOS PAÍSES DE ORIGEM DOS PEDIDOS DEPOSITADOS NO BRASIL REFERENTES METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO

RANKING GLOBAL DE PRODUÇÃO DO AÇO	PAÍSES PRODUTORES DE AÇO	PRODUÇÃO ANUAL DE AÇO BRUTO ⁴⁰ (MILHÕES DE TONELADAS)	QUANTIDADE DE PEDIDOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO BRASIL	POSIÇÃO NO RANKING DE ORIGEM DOS PEDIDOS DEPOSITADOS NO BRASIL ⁴¹
1º	China	1.005,1	76	15º
2º	Índia	149,6	37	20º
3º	Japão	84,0	1.112	1º
4º	EUA	79,5	672	3º
5º	Federação Russa	70,7	15	23º
6º	Coreia do Sul	63,5	90	12º
7º	Alemanha	37,2	382	4º
8º	Turquia	36,9	5	30º
9º	Brasil ⁴²	33,7	994	2º
10º	Irã	31,0	0	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela é possível observar que grandes produtores globais de aço são também grandes geradores de invenções que buscaram proteção por patente no Brasil associadas à siderurgia como, por exemplo, Japão e EUA. Isso indica um maior interesse das empresas japonesas e americanas do setor metalúrgico de transformação do ferro e do aço pelo mercado brasileiro, se refletindo na preocupação pela proteção de suas tecnologias. Também é possível observar, que apesar da China ser o maior produtor de aço no mundo atualmente, este país encontra-se no 15º lugar no *ranking* dos pedidos de patente depositados

⁴⁰ Dados de janeiro a dezembro de 2024 divulgados no relatório da WSA. Disponível em [\[Sítio da internet\]](#).

⁴¹ Segundo o gráfico da Figura 5 do estudo.

⁴² O Brasil ocupa o 1º lugar na América Latina, tendo produzido 54,6% de aço bruto do total da região.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

no Brasil, o que pode refletir o baixo interesse desses depositantes em explorar ou negociar suas tecnologias no mercado nacional.

Por outro lado, no grupo dos 10 maiores produtores de aço no mundo, é possível observar a existência de países em desenvolvimento como, por exemplo, o Brasil, a Turquia e a Índia. Vale destacar que o Brasil possui uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo, estimada em mais de 30 bilhões de toneladas, mas não aparece nos cinco primeiros lugares na produção de aço mundial. Já a China (1º) e a Rússia (5º) são também destaques mundiais de reserva de minério de ferro, além de estar nas cinco primeiras posições do *ranking* dos maiores produtores mundiais de aço.

No *ranking* da Tabela , aparecem 4 países originais do bloco dos BRICS⁴³: Brasil, Rússia, Índia e China. Neste grupo, Rússia, Índia e China depositaram pedidos de patente relacionados a tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço no Brasil, cabendo destaque para a empresa chinesa *Baoshan Iron & Steel Co.* e a empresa indiana *Tata Group*, que figuram entre os principais depositantes de pedidos de patente no Brasil neste tema (Figura 4). O Irã, que aderiu ao BRICS em 2024, está na 10ª posição mundial na produção do aço. Contudo, não foi encontrado nenhum pedido de patente, que envolve as tecnologias estudadas, depositado no Brasil, após 2000, realizado por depositante Iraniano.

3.1.4 Categorização das tecnologias descritas nos pedidos de patente depositados no Brasil

Os pedidos de patente foram categorizados conforme as etapas do processo siderúrgico definidos esquematicamente pelo fluxograma da *World Steel Association* exposto na Figura 1. Esta categorização das tecnologias dos pedidos de patente foi feita de acordo com a metodologia apresentada no Apêndice 2.

⁴³ O BRICS foi formado pelos países Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, em 2009. O BRICS é um grupo de países de economias emergentes, que visa fortalecer a posição do grupo em fóruns multilaterais, como a ONU e a OMC. Em 01 de janeiro de 2024, Egito, Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Etiópia e Irã aderiram ao bloco como membros plenos. Em janeiro de 2025, a Indonésia foi incluída neste grupo.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

A maior parte dos pedidos de patente depositados no Brasil concentra-se na “Produção do ferro e do aço” (etapas 3 e 4 da Figura 1), com 65% do total de pedidos, conforme apresentado na Figura 6. As categorias relacionadas a “Coprodutos e resíduos” (etapa 8 da Figura 1) e “Input e preparação de matérias-primas” (etapas 1 e 2 da Figura 1) estão associadas a cerca de metade das invenções. Os “Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento” (etapas 5, 6 e 7 da Figura 1) aparecem em 27% dos pedidos de patente, quantidade semelhante à encontrada na categoria de “Fundição”. Por outro lado, a categoria com menos pedidos de patente no estudo foi a de “Soldagem” citada em 11% deles. Vale destacar que, é possível que um mesmo documento esteja classificado em mais de uma categoria.

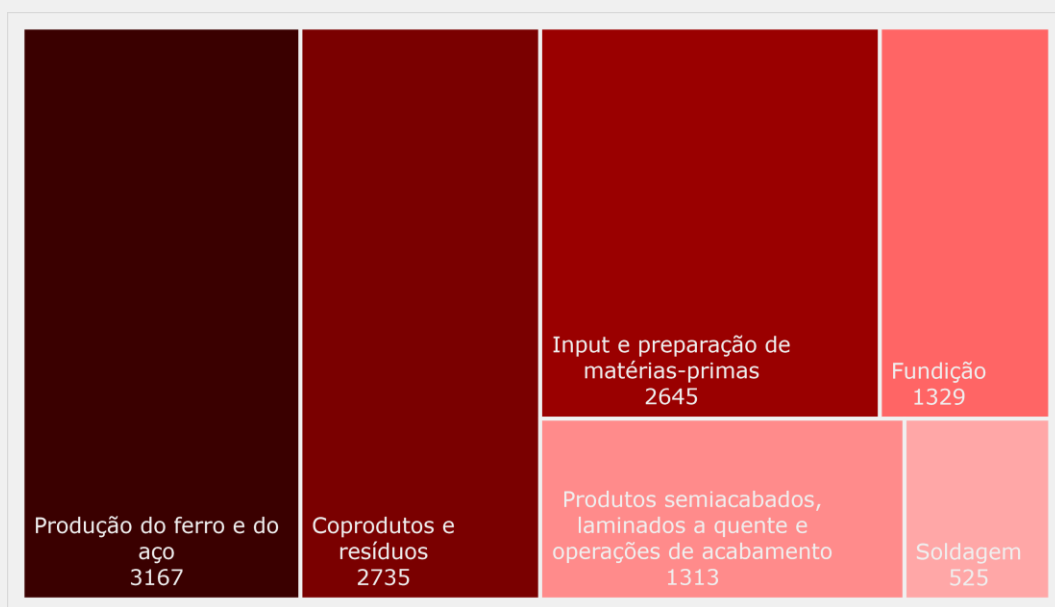


FIGURA 6. CATEGORIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS RELACIONADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DESCRITAS NOS PEDIDOS DE PATENTES DEPOSITADOS NO BRASIL



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

3.2 Análise dos Pedidos de Patente que apresentam características relacionadas à Sustentabilidade

Para identificar dentro do conjunto formado por **4.888** pedidos de patente sobre tecnologias aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço (item 3.1), foi elaborada uma nova estratégia de busca (Apêndice 2) visando identificar os documentos que apresentavam características relacionadas à sustentabilidade, tendo sido identificados **2.362** pedidos (48% do total) com esse viés sustentável, englobando tecnologias que beneficiam o meio ambiente, auxiliando na sua preservação, tais como aquelas voltadas à economia de energia, à redução da emissão de gases poluentes ou à gestão dos resíduos gerados na produção metalúrgica. As análises deste conjunto de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia serão apresentadas a seguir.

3.2.1 Evolução anual dos pedidos de patente relativos às tecnologias metalúrgicas sustentáveis

A Figura 7 mostra a evolução, por ano de depósito, do número de pedidos de patente depositados no Brasil que descrevem tecnologias metalúrgicas sustentáveis focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço, frente ao conjunto de pedidos de patente relacionados à metalurgia da transformação do ferro e do aço em geral.

É possível observar que cerca de metade das invenções de tecnologias aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço identificadas no estudo, correspondem a invenções associadas à sustentabilidade. No período mais recente, de 2020 a 2022, verifica-se a elevação no percentual de tecnologias no setor que apresentam viés de sustentabilidade, alcançando 60% do conjunto de pedidos depositados relacionados à metalurgia da transformação do ferro e do aço.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

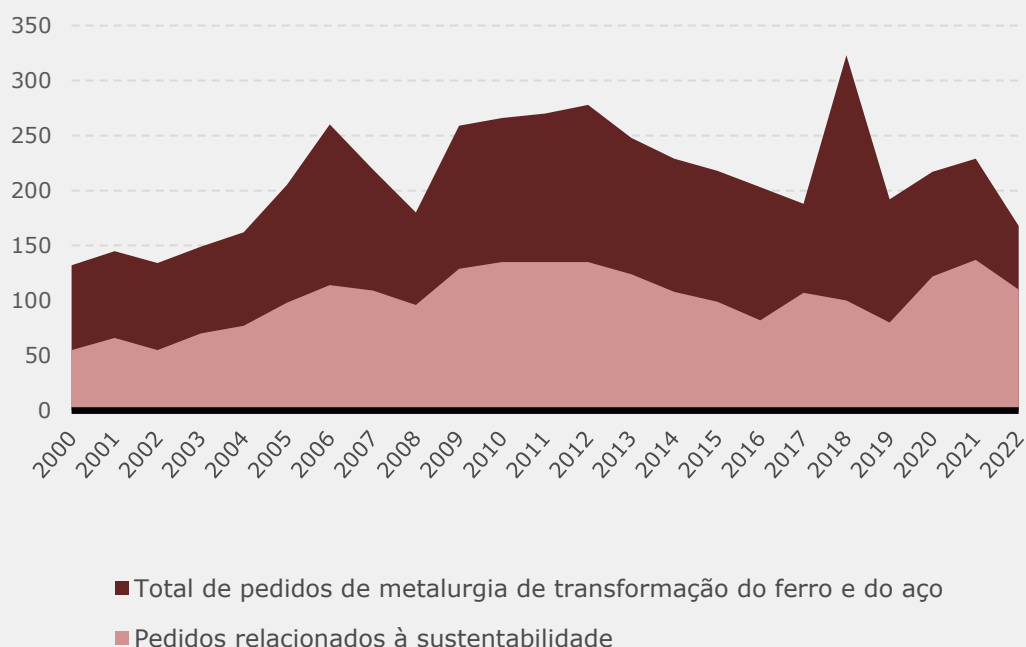


FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS DEPÓSITOS DE PEDIDOS DE PATENTE NO BRASIL SOBRE TECNOLOGIAS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO COM VIÉS DE SUSTENTABILIDADE FRENTE AO CONJUNTO TOTAL DE TECNOLOGIAS NO SETOR

3.2.2 Origem das tecnologias com viés de sustentabilidade

A Figura 8 mostra os países de origem das tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço, com as respectivas quantidades de pedidos de patente depositados no Brasil. Verifica-se que o *ranking* dos países de origem das tecnologias depositadas no Brasil é liderado pelo próprio Brasil, com 19% dos pedidos, seguido pelo Japão e Estados Unidos da América com 18% e 14 % do total, respectivamente. Somadas às tecnologias de origem na Alemanha (9%) e Luxemburgo (7,5%), os cinco principais países de origem dos depositantes reúnem cerca de 67% das invenções de tecnologias sustentáveis focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço depositadas no Brasil.

Dentre os países de origem dos depositantes listados na Figura 8, verifica-se que alguns dedicaram um maior percentual de suas invenções a tecnologias relacionadas à sustentabilidade frente ao

número inicialmente apresentado na seção anterior (Figura 6): são eles Austrália (82%), Itália (70%) e China (63%).

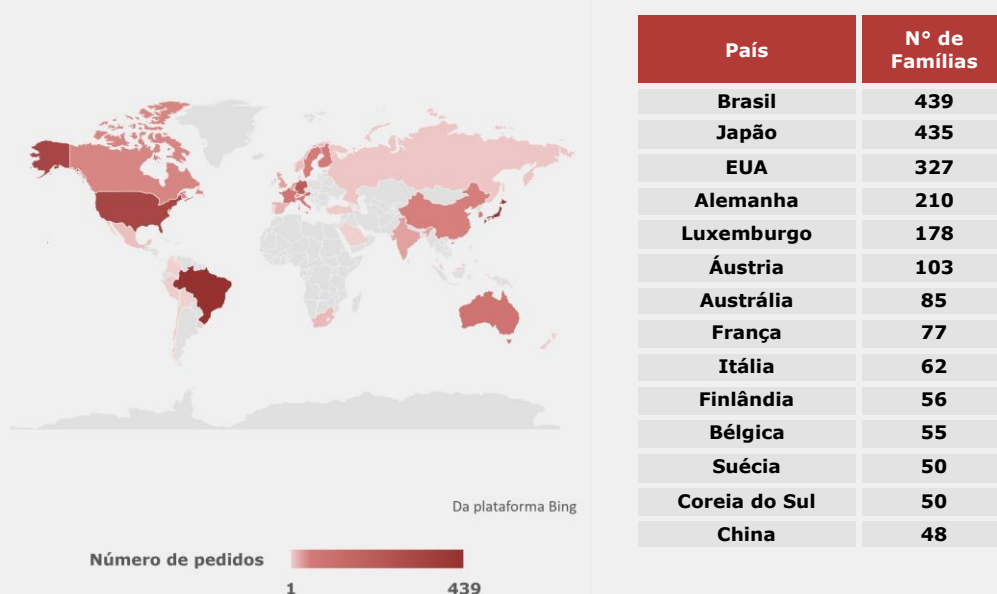


FIGURA 8. ORIGEM DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS NO BRASIL

3.2.3 Principais depositantes de pedidos com tecnologias sustentáveis

A Figura 9 mostra os 30 principais depositantes de pedidos de patente relacionados às tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, fundição e soldagem, depositados no Brasil.

Observa-se que os depositantes com mais pedidos no panorama de metalurgia da transformação do ferro e do aço (ver Figura 4), são também líderes no grupo de pedidos relacionados a tecnologias sustentáveis neste setor: o conglomerado japonês *Nippon Steel Corporation* (com 8,9%), o grupo empresarial japonês *JFE Steel Corporation* (7,1%) e a *holding Arcelormittal* de Luxemburgo (6,4%). Nas 4ª e 5ª posições do *ranking* estão os grupos alemães *SMS* (4,6%) e *Siemens* (3,8%), respectivamente. Juntos estes cinco principais



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

depositantes reúnem 30% dos pedidos sobre as tecnologias sustentáveis aplicadas ao setor estudado, depositados no Brasil.

Cabe ressaltar que algumas empresas identificadas na Figura 9 dedicam boa parte de seu portfólio de invenções (69 a 100% dos seus pedidos de patente no setor) relativas às tecnologias sustentáveis, tais como *Siemens Group*, *Primetals Technologies Group*, *Technological Resources Pty Ltd*, *Praxair Technology Inc*, *Johnson & Johnson Group*, *Midrex Group* e *Danieli Group*. As empresas *Vale S.A.* (na 17ª posição com 0,9% dos pedidos) e *Usiminas - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A.* (0,5% de pedidos, na 20ª posição) são as únicas depositantes brasileiras que aparecem entre as 30 primeiras posições do ranking exibido na Figura 9.

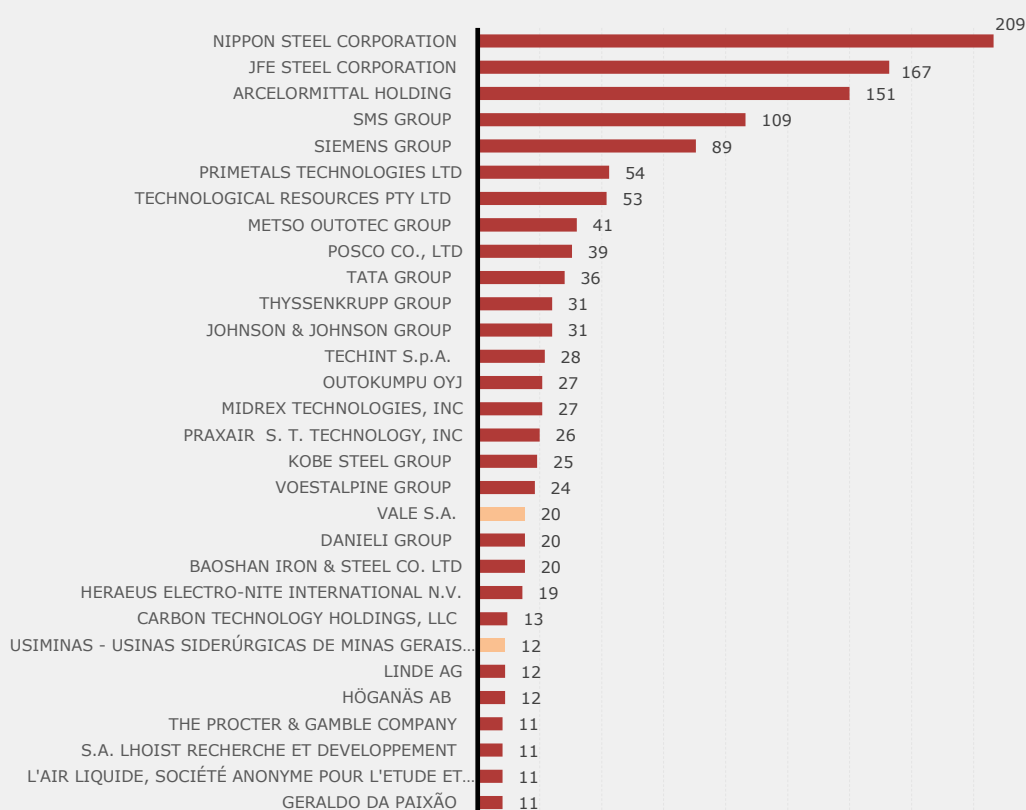


FIGURA 9: PRINCIPAIS DEPOSITANTES DOS PEDIDOS DE PATENTE REFERENTES ÀS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS NO BRASIL

3.2.4 Categorização das tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço

A Figura 10 exibe as categorias atribuídas aos pedidos de patente, conforme as etapas da siderurgia definidas esquematicamente pelo fluxograma da *World Steel Association* exposto na Figura 1, assim como os processos de fundição e soldagem do ferro e do aço.

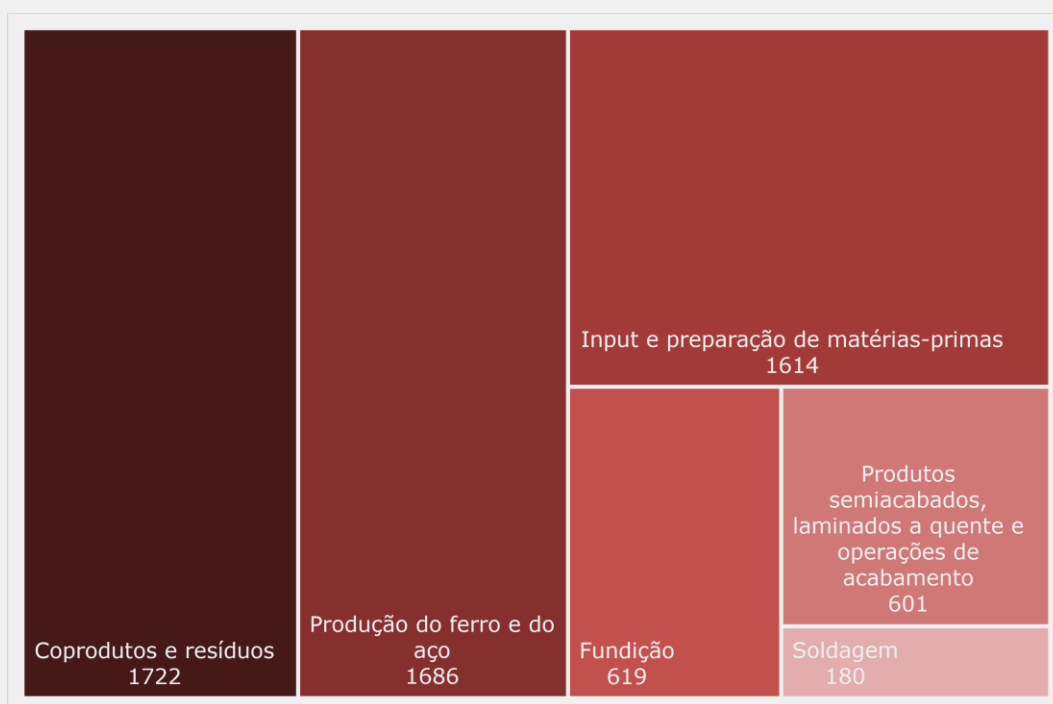


FIGURA 10. CATEGORIAS DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS NO BRASIL

As invenções voltadas à sustentabilidade concentram-se na categoria “Coprodutos e resíduos” que é encontrada em 73% dos pedidos de patentes. Outras categorias que abragem muitos pedidos de patente voltados para sustentabilidade são as de “Input e preparação de matérias-primas” e de “Produção do ferro e do aço”.

A Tabela 2 apresenta os quantitativos de pedidos por categoria dos processos siderúrgicos e seus principais países e depositantes de origem. Observa-se que o Japão é o principal país de origem das



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

invenções depositadas no Brasil em quase todas as categorias associadas ao processo siderúrgico: "Input e preparação de matérias-primas"; "Produção do ferro e do aço"; "Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento"; e "Fundição". Cabe destacar as empresas japonesas *Nippon Steel Corporation* e *JFE Steel Corporation*, grandes depositantes em todas as áreas analisadas.

TABELA 2. NÚMERO DE DEPÓSITOS NO BRASIL NAS DIFERENTES CATEGORIAS DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO, ORIGEM DAS TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS DEPOSITANTES

CATEGORIA	10 PRINCIPAIS PAÍSES DE ORIGEM POR CATEGORIA	PRINCIPAIS DEPOSITANTES POR CATEGORIA
Input e preparação de matérias-primas [1.614]	Japão [260]; Brasil [260]; EUA [226]; Alemanha [167]; Luxemburgo [110]; Áustria [95]; Austrália [80]; Itália [47]; Finlândia [45]; Bélgica [43]; Coreia [43]	JFE STEEL CORPORATION [131]; SMS GROUP [107]; NIPPON STEEL CORPORATION [93]; SIEMENS GROUP [86]; ARCELORMITTAL HOLDING [63]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [52]; PRIMETALS TECHNOLOGIES GROUP [52]; METSO OUTOTEC OYJ [38]; TATA GROUP [33]; POSCO HOLDINGS [32]
Produção do ferro e do aço [1.686]	Japão [385]; EUA [200]; Alemanha [172]; Luxemburgo [171]; Brasil [159]; Áustria [98]; Austrália [69]; França [65]; Itália [49]; Finlândia [47]	NIPPON STEEL CORPORATION [194]; JFE STEEL CORPORATION [153]; ARCELORMITTAL HOLDING [131]; SMS GROUP [105]; SIEMENS GROUP [84]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [53]; PRIMETALS TECHNOLOGIES GROUP [51]; METSO OUTOTEC OYJ [38]; TATA GROUP [34]; POSCO HOLDINGS [33]
Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento [601]	Japão [200]; Luxemburgo [88]; EUA [58]; Brasil [44]; França [39]; Alemanha [35]; Itália [19]; Áustria [18]; Suécia [18]; China [17]	NIPPON STEEL CORPORATION [130]; ARCELORMITTAL HOLDING [89]; JFE STEEL CORPORATION [58]; THYSSENKRUPP GROUP [15]; SIEMENS GROUP [14]; SMS GROUP [12]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [11]; BAOSHAN IRON & STEEL CO. LTD. [11]; TECHINT S.P.A. [9]; USINOR SA [8]; PRIMETALS TECHNOLOGIES GROUP [8]; OUTOKUMOU OYJ [8]
Coprodutos e resíduos [1.722]	Brasil [312]; Japão [273]; EUA [246]; Alemanha [164]; Luxemburgo [110]; Áustria [93]; Austrália [77]; Itália [48]; França [47]; Bélgica [47]	JFE STEEL CORPORATION [122]; NIPPON STEEL CORPORATION [112]; SMS GROUP [95]; SIEMENS GROUP [79]; ARCELORMITTAL HOLDING [75]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [52]; PRIMETALS TECHNOLOGIES GROUP [44]; METSO OUTOTEC OYJ [36]; TATA GROUP [33]; POSCO HOLDINGS [31]



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Fundição [619]	Japão [123]; Brasil [73]; EUA [70]; Alemanha [58]; Austrália [47]; Luxemburgo [36]; Áustria [34]; Coreia [31]; França [26]; Bélgica [22]	JFE STEEL CORPORATION [61]; NIPPON STEEL CORPORATION [46]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [39]; ARCELORMITTAL HOLDING [30]; SMS GROUP [28]; POSCO HOLDINGS [26]; TATA GROUP [23]; SIEMENS GROUP [22]; HERAEUS ELECTRO-NITE INTERNATIONAL N.V [16]; VOESTALPINEGROUP [15]
Soldagem [180]	Luxemburgo [36]; Brasil [33]; EUA [26]; Japão [23]; França [10]; Alemanha [8]; Austrália [8]; Suécia [6]; China [6]	ARCELORMITTAL HOLDING [33]; NIPPON STEEL CORPORATION [13]; JFE STEEL CORPORATION [8]; TECHNOLOGICAL RESOURCES PTY LTD [7]

O Brasil é o principal país de origem das invenções associadas a “Coprodutos e resíduos”, e o segundo país das categorias “Input e preparação de matérias-primas”, “Fundição” e “soldagem”. No entanto, não há organizações brasileiras entre os principais depositantes nestas áreas, conforme listados na Tabela 2. A depositante brasileira com maior número de pedidos no setor estudado é a empresa *Vale*, figurando em 21º na lista de depositantes com mais pedidos relacionados a “Coprodutos e resíduos”. Os EUA, que consta entre os principais países de origem das tecnologias em análise, também não possuem organizações listadas entre os principais depositantes nestas áreas, conforme apresentado na Tabela 4. Alemanha e Luxemburgo também são importantes países de origem das tecnologias relacionadas “Input e preparação de matérias-primas”; “Produção do ferro e do aço” e “Coprodutos e resíduos”, com destaque para as empresas *Siemens Group*⁴⁴, *Thyssenkrupp Group*, *SMS Group*⁴⁵ e *Arcelormittal Holding*. Luxemburgo se destaca entre as invenções relacionadas a “Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento”, especialmente em razão da atuação da empresa *Arcelormittal Holding*.

As empresas *Nippon Steel Corporation*, *JFE Steel Corporation* e *Arcelormittal Holding* lideram a geração de invenções relacionadas a tecnologias sustentáveis de metalurgia de transformação do ferro e do

⁴⁴ O *Siemens Group* possui como país de origem Áustria em 60 pedidos e Alemanha em 24 pedidos.

⁴⁵ O *SMS Group* possui como país de origem Luxemburgo em 65 pedidos, Alemanha em 42 pedidos e Itália em 6 pedidos.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

aço, destacando-se em todas as categorias associadas ao processo siderúrgico. As empresas *SMS Group*, *Siemens Group*, *Primetals Technologies Group*, *Technological Resources Pty Ltd*, *Metso Outotec Oyj*, *Tata Group* e *Posco Holdings* completam o grupo dos 10 principais depositantes relativos às etapas de: “Input e preparação de matérias-primas”; “Produção do ferro e do aço”; e de “Coprodutos e resíduos”. Na etapa do processo siderúrgico relacionada aos “Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento” outras empresas como *Thyssenkrupp Group*, *Baoshan Iron & Steel Co. Ltd.*, *Techint S.p.A.*, *Usinor SA* e *Outokumou Oyj* aparecem com destaque. Já na etapa de “Fundição” além das principais depositantes já mencionadas cabe destacar as empresas *Heraeus Electro-Nite International N.V* e *Voestalpine Group*.

3.2.5 Situação legal dos pedidos de patente no Brasil

É importante investigar se a tecnologia de interesse possui *patente vigente* no país ou se é ainda um *pedido de patente pendente* de análise técnica no INPI. No primeiro caso, o titular da patente possui os direitos de exclusividade sobre a exploração da tecnologia no mercado, por um período de tempo. Porém, se o pedido está pendente de análise no INPI, o depositante do pedido tem uma expectativa de direito até a decisão final do instituto, quando a patente poderá (ou não) ser concedida. Por outro lado, as tecnologias não protegidas por patente são livres para a produção, o uso, a comercialização e a importação.

Na Figura 11, é possível observar a situação processual,⁴⁶ no INPI (em janeiro de 2025), dos 2.362 documentos de patente que descrevem tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço. Verifica-se que 29% desta amostra são *patentes concedidas e vigentes*, enquanto 16% são *pedidos de patentes pendentes de decisão*.

⁴⁶ Aconselha-se consultar a situação legal dos pedidos depositados no INPI (disponível nas RPIs e no portal do Instituto), sempre que for necessário e de interesse do leitor deste estudo, pois os *status* legais dos pedidos podem ser alterados com o passar do tempo.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

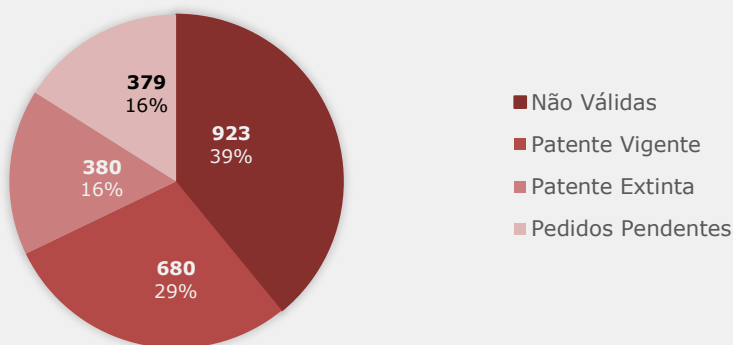


FIGURA 11. SITUAÇÃO PROCESSUAL⁴⁷ DOS PEDIDOS DE PATENTE COM TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS NO BRASIL(JANEIRO DE 2025)

A soma das *patentes não-válidas* e *extintas* chegam a 1.303 documentos (55,2% do total). As *patentes extintas*, cujo prazo de vigência está encerrado, são tecnologias livres para serem exploradas comercialmente. Contudo, o conjunto de pedidos de patente *não válidas*, apresentado no gráfico, não indica necessariamente tecnologias com liberdade de operação. Afinal, o indeferimento do pedido pode estar relacionado à existência de patente anterior válida, que descreve a mesma tecnologia.

3.2.6 Análise dos pedidos de patente depositados por Residentes no Brasil com viés de sustentabilidade

No conjunto de pedidos referentes a tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia da transformação do ferro e do aço foram encontrados 439 pedidos de patente que contavam com depositante(s) residente(s) no Brasil. A análise deste conjunto de documentos é apresentada a seguir.

⁴⁷ Os documentos de patente estão agrupados como: i) "não válidos" (pedidos de patente que foram arquivados definitivamente ou aqueles para os quais houve a decisão final de indeferimento); ii) "pedidos pendentes" (pedidos de patente que aguardam uma decisão final do INPI); iii) "patentes vigentes" (conjunto composto por patentes concedidas, com carta patente emitida e vigente); iv) "patentes extintas" (são as patentes que estão extintas por falta de pagamento de anuidade, caducidade, dentre outros motivos).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

3.2.6.1 Principais depositantes residentes

A Figura 12 apresenta os principais depositantes⁴⁸ residentes no Brasil dos pedidos de patente que envolvem tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço com foco na siderurgia, fundição e soldagem.

Verifica-se que o conjunto dos principais depositantes residentes no Brasil inclui diversas empresas, como a *Usiminas*, a *Vale*, a *CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão*, a *Magnesita* e a *Petrobras*, além de universidades e instituições de ensino e pesquisa. É importante esclarecer que alguns pedidos possuem mais de um depositante. No total, foram identificados 392 depositantes residentes no Brasil, incluindo pessoas jurídicas (PJ) e pessoas físicas (PF).

O principal depositante de pedidos de patente sobre tecnologias sustentáveis no setor estudado é a empresa *Vale S.A.* (com 4,3% dos pedidos), seguida pela *Arcelormittal Brasil* (3%) e a *Usiminas* (2,7%). A *Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG* (na 7ª posição) é a universidade brasileira com maior número de pedidos (1,8%) de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço no Brasil.

⁴⁸ São apresentados os depositantes com 4 ou mais pedidos depositados no INPI



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade



FIGURA 12. PRINCIPAIS DEPOSITANTES RESIDENTES DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO

3.2.6.2 Geolocalização dos depositantes residentes

O mapa apresentado na Figura 13, mostra a origem das tecnologias estudadas em função de como os depositantes residentes estão distribuídos pelo território nacional. Assim, optou-se por utilizar os estados brasileiros dos depositantes para auferir a origem das tecnologias para as quais se deseja obter proteção patentária no Brasil, descritas nos pedidos de patente analisados. Cabe lembrar que pedidos com mais de um titular, caso não estejam no mesmo Estado, podem ser contabilizados mais de uma vez.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Estados do Brasil (UF)	Nº de pedidos
Minas Gerais	162
São Paulo	101
Rio de Janeiro	66
Paraná	36
Espírito Santo	26
Rio Grande do Sul	19
Santa Catarina	17
Bahia	9
Distrito Federal	5
Goiás	5
Ceará	4
Maranhão	3
Rio Grande do Norte	3
Mato Grosso	2
Pará	2
Pernambuco	2
Sergipe	2
Paraíba	1
Alagoas	1
Mato Grosso do Sul	1

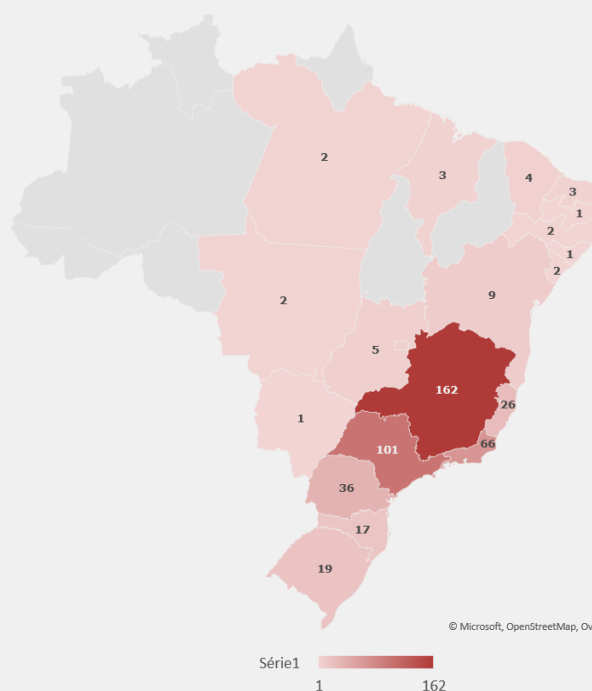


FIGURA 13. ORIGEM DOS DEPÓSITOS DE RESIDENTES REFERENTES A TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO

Nota-se a predominância dos estados do Sudeste como origem dos depósitos dos pedidos de patente que englobam as tecnologias estudadas: somados os pedidos destes estados correspondem à 81% do total (439 pedidos). Minas Gerais, na primeira posição (37%), possui grandes reservas minerais, sendo uma das principais regiões produtoras de minério de ferro (Quadrilátero Ferrífero) no Brasil. Este Estado é origem de várias empresas com relevante número de depósitos neste tema como, por exemplo, *Usiminas*, *Arcelormittal Brasil*, *Samarco Mineração* e *Solvi*, além de também possuir relevantes universidades depositantes de pedidos de patente, como por exemplo, a *Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG* e a *Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP*, listados entre os principais depositantes apresentados na Figura 12.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Em segundo lugar, está o Estado de São Paulo, figurando como origem de 23% dos pedidos de patente, cujos principais depositantes são a empresa *Tecnored*, a *Universidade de São Paulo – USP* e o *Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT*. O Estado do Rio de Janeiro encontra-se em terceiro lugar com 15% dos pedidos, tendo como principais depositantes as empresas *Vale S.A.*, *K&k Tecnologias Industriais*, *Petrobras* e *Companhia Siderúrgica Nacional – CSN*. O Espírito Santo aparece em quinto lugar com 6% dos depósitos efetuados por residentes no Brasil, entre os depositantes com origem no Estado destacam-se as empresas *Arcelormittal Brasil* e *Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST*, além do *Instituto Federal do Espírito Santo – IFES*.

3.2.6.3 Natureza jurídica dos depositantes residentes

No conjunto de depositantes residentes de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço 58% dos pedidos de patente foram depositados por pessoas jurídicas (PJ) dos setores público e privado, 37% por pessoas físicas (PF) e 5% possuem depositantes dos dois tipos.

A Figura 14 mostra as quantidades de pedidos de patente dos depositantes tipo pessoa jurídica (PJ) residentes no Brasil separados por sua natureza jurídica: entidades empresariais, administração pública ou entidades sem fins lucrativos. Vale lembrar que alguns pedidos possuem mais de um depositante residente, e estes podem ter natureza jurídica diferente. Nestes casos, o mesmo pedido é considerado todas as categorias de natureza jurídica atribuídas aos seus depositantes.

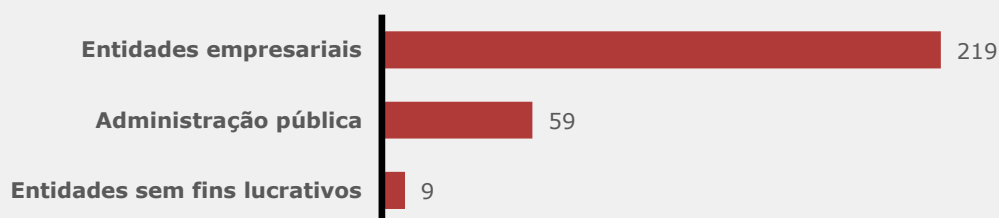


FIGURA 14. NATUREZA JURÍDICA DOS DEPOSITANTES RESIDENTES NO BRASIL DOS PEDIDOS DE PATENTE SOBRE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Assim, metade dos pedidos de patente depositados por residentes no Brasil tem como titulares entidades empresariais. Desse conjunto, 9 pedidos foram codepósitos de empresas com organizações da administração pública ou de entidades privadas sem fins lucrativos. A outra metade dos pedidos foi realizada por depositantes pessoa física (37%), organizações da administração pública (13%) e de entidades privadas sem fins lucrativos (2%), as organizações da administração pública depositantes de pedidos de patente englobam o setor educacional e de pesquisa, o qual inclui as universidades, faculdades, centros de educação, fundações, institutos de pesquisa ou agência de fomento e desenvolvimento científico e tecnológico.

3.2.6.4 Categorização dos pedidos de patente relacionados a tecnologias sustentáveis depositados por residentes

Na Figura 15, observa-se que a categoria com mais pedidos de patente depositados por residentes, é a denominada "Coprodutos e resíduos" com 71% dos pedidos, seguido da categoria "Input e preparação de matérias-primas" com 59%. Tal configuração espelha aquela encontrada no panorama das tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço apresentado na Figura 10, que abrangia todos os depositantes no Brasil. No entanto, entre os depositantes residentes verifica-se uma menor geração de invenções nas categorias "Produção do ferro e do aço" (36%), bem como na categoria "Produtos semiacabados, laminados a quente e operações de acabamento" (10%) e também "Fundição" (17%). A categoria com menos pedidos de patente encontrados, no estudo, foi a "Soldagem" (7,5%). Vale destacar que é possível que um mesmo documento esteja classificado em mais de uma categoria.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

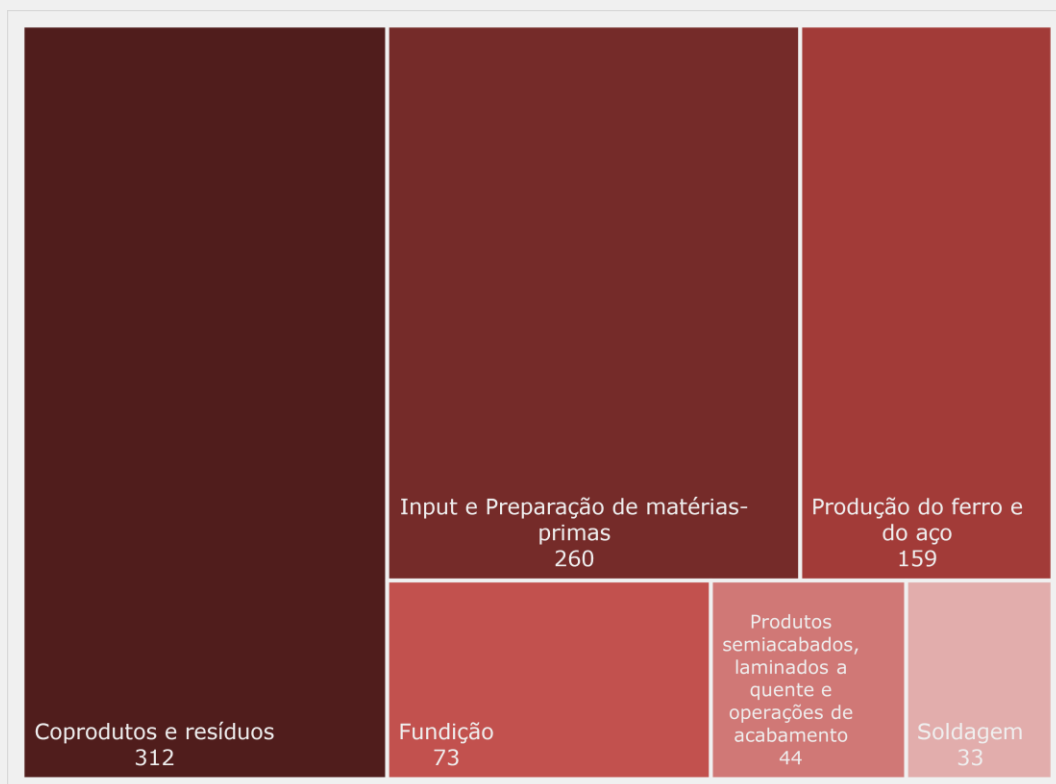


FIGURA 15. CATEGORIAS DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRAFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO DEPOSITADOS POR RESIDENTES

3.2.6.5 Situação legal dos pedidos de patente sobre tecnologias metalúrgicas sustentáveis depositados por residentes

A maior parte dos pedidos de patente (59%) se encontram como *pedidos não válidos*⁴⁹. O conjunto de documentos que correspondem às *patentes extintas* (7,5%) são tecnologias livres para serem exploradas.

Por outro lado, 22% dos documentos são *patentes vigentes* no mercado brasileiro por um período. Portanto, para a produção/comercialização destas tecnologias protegidas, deve-se obter a autorização do detentor da patente. No caso dos *pedidos de patente*

⁴⁹ Os motivos de não estarem válidos incluem as seguintes possibilidades: o pedido de patente foi indeferido após o exame ou o pedido foi arquivado (por não cumprir a exigência do examinador ou por falta de pagamento de alguma taxa, por exemplo) ou houve desistência do pedido por parte do requerente.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

pendentes de exame técnico (12%), há uma expectativa de direito, sendo necessário acompanhar o andamento destes processos no INPI (Brasil).⁵⁰ É importante destacar que o levantamento da situação processual destes pedidos foi realizado em janeiro de 2025. Portanto, recomenda-se consultar a base de patentes do INPI, para atualização quanto a situação processual do pedido de interesse, quando for necessário tomar alguma decisão.

3.2.6.6 Análise de Gênero dos Depositantes residentes (PF) e Inventores de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço

Algumas pesquisas mostram que há uma menor participação das mulheres em determinadas áreas das ciências devido a diversos motivos culturais ou questões econômicas. O baixo percentual de mulheres inventoras pode ser confirmado em estudos como o de Azevedo & Abrantes (2021), que avaliou a presença de mulheres na atividade de patenteamento no Brasil. Outro exemplo é o estudo de Carvalho *et al.* (2020), que analisou o *gap* de pedidos de patente efetuados por mulheres, em países ibero-americanos, a fim de medir as inequidades de gênero, nos diferentes setores tecnológicos.

Diante deste cenário, esta análise de gênero visa realizar um diagnóstico em relação a participação das mulheres brasileiras como inventoras de tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço, no Brasil, e como depositantes dos respectivos pedidos de patente. Este diagnóstico poderá auxiliar na elaboração de políticas públicas mais efetivas voltadas às mulheres, com o objetivo de criar estímulos e apoio governamental para que estas possam atuar com inovação no país.

Dentro da amostra de pedidos de patentes de depositantes residentes foram encontrados 818 nomes distintos de inventores, dentre os quais somente 16,7% dos inventores destas tecnologias metalúrgicas

⁵⁰ Os pedidos pendentes de decisão também contemplam os pedidos que podem ser restaurados, pedidos deferidos, cujos depositantes devem pagar a taxa estabelecida para obter a carta patente, e os pedidos com prazo para entrada em fase de recurso que podem ter a decisão de indeferimento revertida, tornando-se uma patente concedida.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

são mulheres. Não foi possível atribuir um gênero a 1,8% dos nomes ("indefinidos"⁵¹). (Figura 16)

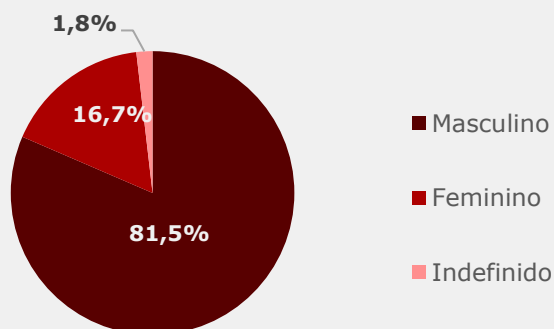


FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO DE GÊNERO DOS INVENTORES RESIDENTES NO SETOR DE METALURGIA DA TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO COM VIÉS DE SUSTENTABILIDADE

No caso dos depositantes dos pedidos de patente de residentes pessoa física este estudo encontrou 185 pedidos com 198 nomes distintos de depositantes, dos quais somente 7,1% são mulheres. (Figura 17)

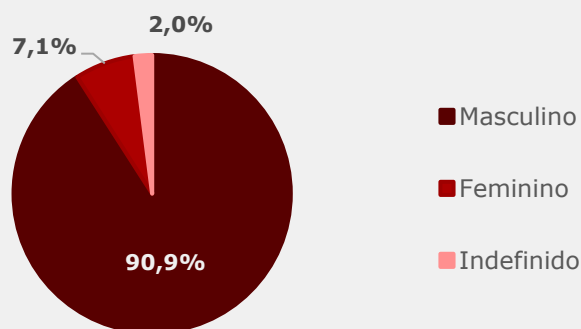


FIGURA 17. DISTRIBUIÇÃO DE GÊNERO DOS DEPOSITANTES RESIDENTES (PF) NO SETOR DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS APLICADAS À METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO

⁵¹ Sobre os inventores/depositantes "indefinidos": a dificuldade de identificação do gênero ocorre, em geral, com os nomes estrangeiros (não latinos), como, por exemplo, os nomes nos idiomas chinês, japonês ou árabe.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Observa-se, portanto, uma predominância de homens atuando, tanto como inventores destas tecnologias como depositantes dos pedidos de patente, confirmando a existência da desigualdade de gênero no patenteamento do setor estudado.

3.2.7 Utilização do Trâmite Prioritário na modalidade de “Tecnologias Verdes” do INPI

Uma vez que estamos analisando o conjunto de patentes relacionados a tecnologias sustentáveis aplicadas à metalurgia da transformação do ferro e do aço depositadas no Brasil, decidiu-se analisar os pedidos de patente que optaram por solicitar o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes” do INPI. Este programa foi criado com o intuito de acelerar o trâmite administrativo destes pedidos, a fim de que estas tecnologias pudessem chegar ao mercado o mais breve possível, visando colaborar com o esforço para preservar o meio ambiente e mitigar problemas decorrentes das mudanças climáticas.

3.2.7.1 Depositantes que utilizaram o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”

Foram identificados 41 pedidos de patente com trâmite prioritário em tecnologias verdes no INPI. A Figura 18 apresenta os usuários do programa de trâmite prioritário no setor estudado, onde se verifica que a maioria dos pedidos de patente (76%) identificados são de depositantes residentes.

A empresa brasileira *Vale S.A.* é a principal usuária (22%) do “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes” do INPI, seguida pela *holding* americana *Carbon Technology* (14,6%) e pela empresa brasileira *Tecnored Desenvolvimento Tecnológico* (12,2%). Também é possível observar que a maior parte dos depositantes possuem um único pedido de patente com trâmite prioritário na modalidade de Tecnologias Verdes no Brasil.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

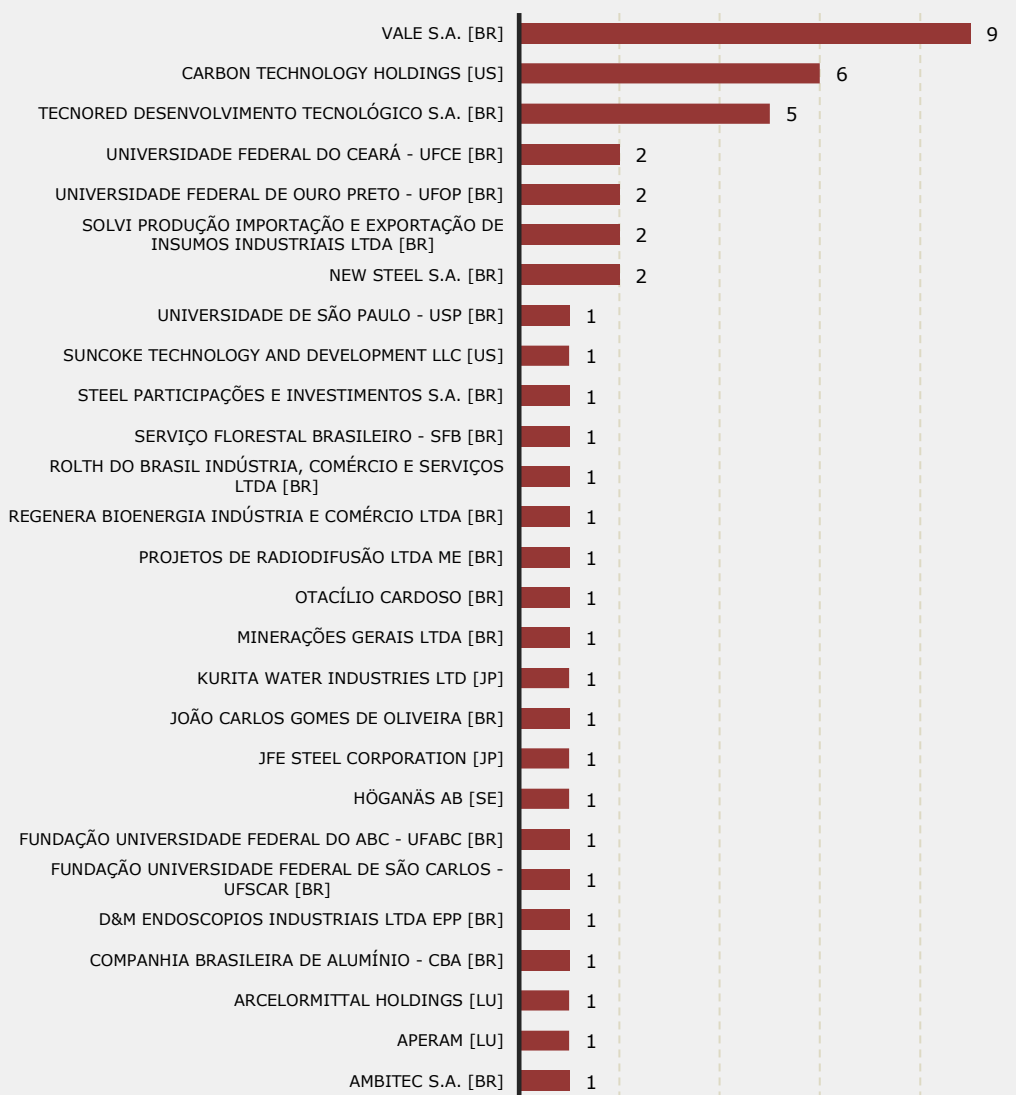


FIGURA 18. DEPOSITANTES DOS PEDIDOS DE PATENTE REFERENTES ÀS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS À METALURGIA DA TRANSFORMAÇÃO, QUE UTILIZARAM O “TRÂMITE PRIORITÁRIO EM TECNOLOGIAS VERDES”



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

3.2.7.2 Categorização dos pedidos de patente que utilizaram o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”

A Figura 19 mostra a distribuição dos pedidos que utilizaram o “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes” em função das categorias de tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço.

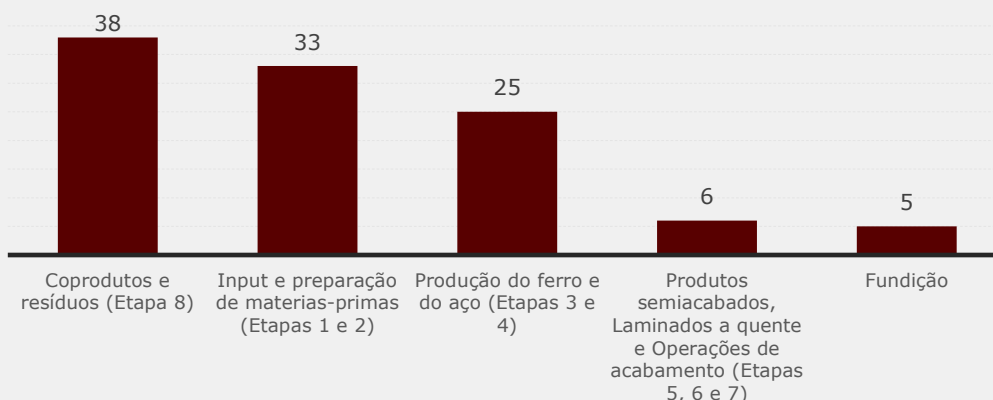


FIGURA 19. CATEGORIAS DAS TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS DE TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO COM TRÂMITE PRIORITÁRIO EM “TECNOLOGIAS VERDES”

No conjunto de pedidos de patente identificados neste estudo com trâmite prioritário 92,7% estão relacionados a categoria “Coprodutos e resíduos (Etapa 8)”. Por outro lado a categoria com menor uso do programa de priorização é “Fundição” (com 12,2% dos pedidos). Cabe observar que alguns pedidos de patente foram classificados em mais de uma categoria.

No programa de trâmite prioritário de Patentes Verdes a *Vale S.A* se destaca como depositante em todas as categorias com exceção da categoria “Fundição”.



4 Considerações Finais

Este estudo apresenta o panorama desenvolvimento tecnológico no Brasil através da análise dos pedidos de patente depositados no país envolvendo tecnologias aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço, ou seja, tecnologias focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e aço.

Contextualizando o estudo, foram apresentadas as características técnicas das tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço, um breve histórico, sua produção no Brasil e no mundo, além de dados de mercado deste setor. Assim, foi também apontada a importância do Brasil na lavra e beneficiamento do minério de ferro e no setor siderúrgico, além da comercialização dos produtos de aço. Por fim, foi mostrado um breve panorama dos principais problemas e desafios ambientais neste setor.

A análise dos pedidos de patente recuperados através da metodologia apresentada neste estudo foi dividida em duas partes: (i) análise dos pedidos de patente que descrevem tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço, depositados no Brasil a partir do ano 2000 (até setembro de 2024); e (ii) análise referente aos pedidos de patente, dentro do conjunto inicial de documentos, mas que apresentavam características relacionadas à sustentabilidade. Foram identificadas ainda as tecnologias desenvolvidas por residentes e os pedidos de patente que solicitaram o trâmite prioritário no INPI por meio da modalidade “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”.

Este estudo verificou, em ambos os grupos (tecnologias metalúrgicas gerais de transformação do ferro e do aço e tecnologias com foco na sustentabilidade), a predominância de depositantes *não residentes*, representando cerca de 80% do total de pedidos de patente depositados no Brasil. Os dois depositantes com mais tecnologias depositadas no Brasil são de origem japonesa, enquanto a brasileira *Usiminas - Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A.* é a única instituição brasileira que aparece entre os principais depositantes de tecnologias metalúrgicas aplicadas à siderurgia do ferro e do aço.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Em relação às tecnologias metalúrgicas sustentáveis, além da Usiminas, na 20ª posição ⁵², aparece também a Vale S.A. (17ª posição), ⁵³ como representantes brasileiros no *ranking*.

Os principais países de origem das tecnologias depositadas no Brasil são o Japão (22,75% dos pedidos na amostra geral), o próprio Brasil em 2º lugar (20,34% dos pedidos) e os EUA (com 13,75% dos pedidos). Dentre as tecnologias relacionadas à metalurgia sustentável depositadas no país, a principal origem dos pedidos passa a ser o Brasil (18,6% dos pedidos), seguido pelo Japão (18,4%) e os EUA (13,8%).

Vale observar que o Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo e que abriga 8,3% das reservas (a 5ª maior do mundo), equivalente a mais de 30 bilhões de toneladas. ⁵⁴ Assim, apesar de ter uma significativa reserva de minério de ferro, um dos principais insumos para a produção do aço, o que confirma o Brasil como grande produtor desta *commodity*, muitas tecnologias da siderurgia que buscam a proteção por patentes no país têm origem estrangeira, de forma que o seu destaque nas reservas da matéria-prima não reflete um desenvolvimento de tecnologias envolvidas no processo de transformação do ferro e do aço e na sua respectiva proteção por patentes.

Na amostra geral de tecnologias metalúrgicas gerais a maior parte dos pedidos de patente depositados no Brasil está relacionada à “Produção do ferro e do aço” (Etapas 3 e 4), enquanto na amostra de pedidos focados nas tecnologias metalúrgicas sustentáveis, a categoria de “Coprodutos e Resíduos” (Etapa 8 de produção do aço) é a que possui maior quantidade de documentos (72,9%). A categoria onde foi encontrada menor quantidade de pedidos de patente é a “Soldagem”, em ambos os conjuntos de documentos (10,74% e 7,6% respectivamente).

⁵² Na mesma posição, que a empresa alemã “Linde AG” e a empresa sueca “Höganäs AB” com 12 pedidos cada.

⁵³ No mesmo lugar no *ranking*, que o conglomerado italiano “Danieli Group” e a empresa chinesa “Baoshan Iron & Steel Co. Ltd.” com 20 pedidos de patente cada.

⁵⁴ Em 2024, o Brasil tinha reservas de 15 bilhões de toneladas métricas de teor de ferro e 34 bilhões de toneladas métricas de minério bruto. O Brasil produziu 440 milhões de toneladas de minério de ferro em 2024. Atualmente a maior reserva mundial de minério de ferro fica na Austrália (Craton Pilbara), que encontrou recentemente o maior depósito de minério de ferro do mundo com 55 bilhões de toneladas com mais de 60% de pureza e valor estimado em U\$5,7 trilhões. (Teles, 2024, em CPG). Disponível em [\[Site da internet\]](#).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Neste estudo, foram identificados 439 pedidos de depositantes residentes no Brasil, sendo que 60% são de pessoas jurídicas (PJ) dos setores público e privado. A maior parte dos depositantes residentes PJ são entidades empresariais (49,9%), como a *Vale S.A.*, a *Arcelormittal Brasil* e a *Usiminas*". A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) é a universidade brasileira com mais pedidos no setor depositados no Brasil. Verificou-se ainda a predominância dos estados do Sudeste (81%) como origem dos depositantes residentes, especialmente o estado de Minas Gerais (com 37% dos pedidos de residentes), Estado que possui grandes reservas minerais, sendo uma das principais regiões produtoras de minério de ferro (Quadrilátero Ferrífero) no Brasil. O Espírito Santo aparece em quinto lugar com 6% dos depósitos de pedidos de patente efetuados por residentes no Brasil.

A análise de gênero dos inventores e depositantes PJ residentes constatou que somente 16,7% dos inventores destas tecnologias metalúrgicas são mulheres, corroborando outros estudos sobre gênero e PI que mostram a menor participação feminina no sistema de patentes, tanto como inventoras das tecnologias como depositantes dos pedidos de patentes.

Por fim, foram encontrados 41 pedidos referentes a tecnologias metalúrgicas de transformação do ferro e do aço, que solicitaram o "Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes" do INPI, sendo 92,7% deles relacionados a "Coproductos e resíduos" (Etapa 8 do processo siderúrgico). Além disso, observou-se que os depositantes residentes são os principais usuários do trâmite prioritário no setor estudado, sendo a empresa *Vale S.A.* a principal depositante (22%), atuando nas diversas etapas do processo metalúrgico.

Por fim, ao se comparar os dados de produção siderúrgica dos 10 países maiores produtores de aço no mundo, com os números de pedidos de patente relativos a tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço, depositados por requerentes destes países, foi possível observar os seguintes pontos: apesar de ser o maior produtor mundial de aço, a China está na 15ª posição no número de tecnologias depositadas no Brasil; já o Japão é o 3º no *ranking* dos maiores produtores mundiais de aço, mas é o 1º no *ranking* da origem dos pedidos depositados no Brasil. A Turquia aparece



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

em 8º lugar na produção de aço mundial, na frente do Brasil no *ranking*, mas está na 30ª posição em pedidos de patente depositados no Brasil. O Brasil, por sua vez, possui a 2ª maior reserva de minério de ferro do mundo e ocupa a 2ª posição no *ranking* de pedidos depositados no país, mas é o 9º na produção de aço mundial. Estes dados mostram que o fato de possuir uma grande reserva de minério de ferro ou ser um dos grandes produtores de aço no mundo não tem refletido necessariamente na quantidade de depósitos de pedidos de patente de tecnologias metalúrgicas. Assim, não foi encontrado uma correlação direta entre o tamanho da produção de aço e da reserva de minério de ferro do país com a quantidade de pedidos de patente depositados no Brasil.⁵⁵ Vale destacar que, no *ranking* da Tabela 1, aparecem 4 países originais do bloco dos BRICS: Brasil, Rússia, Índia e China.

4.1 Disponibilização dos dados apresentados

Este radar tecnológico conta também com a disponibilização dos dados bibliográficos e conteúdo técnico dos pedidos de patente identificados como relacionados à metalurgia de transformação do ferro e do aço, permitindo que se utilize diferentes filtros, a depender do interesse do leitor, possibilitando que os pesquisadores e desenvolvedores de tecnologias no setor possam conhecer diferentes soluções técnicas que auxiliem no desenvolvimento de suas pesquisas. Para acessar os dados bibliográficos dos pedidos identificados neste estudo acesse o painel de dados disponível online [[link de acesso](#)]. A estratégia de busca e categorização apresentada neste estudo (ver Apêndice 2) possibilita a atualização periódica dos dados apresentados.

4.2 Tendências e Desafios

O setor metalúrgico no Brasil e no mundo enfrenta diversos desafios e tendências. As empresas do setor, que procuram incorporar tecnologias avançadas e inovadoras no seu processo de produção, tendem a se tornar mais competitivas e, por consequência, mais bem-

⁵⁵ Seria importante analisar, em outro estudo, a quantidade de depósitos no mundo de pedidos de patente correlativos às tecnologias metalúrgicas aplicadas ao ferro e ao aço estudadas.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

sucedidas no mercado global. Entre as diversas tendências e desafios no setor metalúrgico podemos citar a indústria 4.0, a manufatura aditiva, a inteligência artificial, a automação e a sustentabilidade (CIMM, 2024).

“Indústria 4.0” é um conceito que remete à 4ª revolução industrial, com a integração de tecnologias avançadas e que fazem parte das tendências de inovação do mercado. Dentre elas, a internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) e a automação, por exemplo, já inseridas no processo de produção de muitas indústrias, são tecnologias capazes de ajudar indústrias metalúrgicas a melhorarem a eficiência a partir da redução de custos e do aumento da qualidade do produto final. No caso da manufatura aditiva, a impressão 3D de peças metálicas faz parte das tendências de inovação e pode trazer mais eficiência e economia que os métodos tradicionais de fabricação. Além disso, também permite a criação de peças complexas e que não poderiam ser fabricadas de outra maneira.

A inteligência artificial (IA) está entre as tendências de inovação do setor e pode ser empregada para otimizar os processos de produção, prevendo falhas em equipamentos e melhorando a eficiência energética, o que auxilia na redução dos custos das empresas metalúrgicas, aumentando a produtividade e melhorando a qualidade dos produtos. Além disso, com a crescente digitalização nas empresas, já é possível observar, por exemplo, uma presença significativa da inteligência artificial (IA) na área comercial deste segmento, especialmente nos atendimentos realizados nas plataformas de *e-commerce*. O “figital”, termo que se refere à fusão entre o ambiente físico e digital na comercialização de produtos, desponta como uma tendência que permeará este mercado no futuro próximo⁵⁶. Por outro lado, no setor produtivo, a aplicação da IA no chão de fábrica ainda não é amplamente utilizada, tornando-se um dos focos primordiais das metalúrgicas nos próximos anos, que devem investir continuamente em máquinas e soluções inteligentes, visando reduzir a dependência de operadores (mão de obra) e ampliar a margem produtiva.

⁵⁶ Com o fim da situação de emergência em “Saúde Pública”, gerada pela pandemia, o setor metalúrgico voltou a apostar nos pontos de venda físicos, mas levando em consideração que o digital, representado pelas plataformas *e-commerce*, se tornou um canal representativo para os negócios das companhias.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Apesar da automação ser um processo em andamento há algum tempo, somente nos últimos anos ela tem ocupado mais espaço nas indústrias metalúrgicas. A automação está entre as tendências de inovação que são capazes de aumentar a produtividade transferindo mais eficiência aos processos, o que envolve a redução de custos, a eliminação de processos manuais repetitivos e a atribuição para as máquinas de tarefas mais complexas e que exijam alta precisão.

A preocupação com o meio ambiente é outra tendência relevante de inovação para o setor metalúrgico. Cada vez mais há empresas à procura de maneiras de minimizar o impacto ambiental o que inclui, por exemplo, o uso de materiais reciclados e a implantação de procedimentos mais eficientes no que diz respeito ao consumo de energia. Neste sentido, a indústria metalúrgica continua sendo a maior consumidora de energia do país, responsável por quase 25% do consumo energético industrial, conforme dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Assim, a busca pela eficiência energética torna-se crucial para este setor, visando reduzir custos e otimizar a produção. No contexto da matriz energética no Brasil, essa tendência será ainda mais robusta, impulsionada pelo crescimento do mercado de energias alternativas, que se tornou uma pauta central para o segmento.⁵⁷

Estas tendências, em especial a evolução da IA e a crescente preocupação com a sustentabilidade, podem impulsionar a indústria metalúrgica, mudando drasticamente o paradigma deste setor, cujas atividades coincidem com a história da humanidade⁵⁸. Uma vez que a indústria metalúrgica é classificada por especialistas como pouco intensiva em P&D, tendo apresentado poucas inovações ao longo do tempo, onde a maior parte delas foi considerada incremental, a adoção destas tecnologias inovadoras neste setor pode mudar este cenário.

Assim, com relação à inovação tecnológica e à propriedade industrial, espera-se que este estudo possa contribuir com o setor

⁵⁷ Muitas empresas estão migrando para o Mercado Livre de energia (MLE), que permite que as companhias negociem diretamente com as geradoras (diferente do Mercado Regulado), garantindo transparência maior nos encargos e gastos relacionados à energia, tornando este modelo vantajoso para grande parte das metalúrgicas.

⁵⁸ Foi mostrado no "Breve Histórico" (item 2.3) que ainda hoje se produz aço, usando tecnologia baseada no Processo Bessemer de 1850. Além disso, os primeiros altos-fornos apareceram no século XIII. Estes exemplos mostram a necessidade de uma mudança de paradigma no setor.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

metalúrgico brasileiro do ferro e do aço, mostrando um panorama do patenteamento, no Brasil, de tecnologias aplicadas à metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na Siderurgia, na Fundição e na Soldagem, e especialmente tecnologias que apresentam um viés de sustentabilidade, fornecendo informações técnicas úteis aos atores desta cadeia produtiva, a fim de estimular o seu desenvolvimento sustentável a longo prazo.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

5 Referências

1. ACEPIL. Siderúrgicas e Metalúrgicas. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2024.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO [ANM] (2024). Anuário Mineral Brasileiro – Principais Substâncias Metálicas 2023. Economia mineral, Publicações. 18/11/2024, Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível em [[Site de internet](#)] Acesso em março 2024.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO [ABM]. Publicações. Acervo. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2024.
4. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL [BNDES] (2017). *Panoramas Setoriais 2030 - Mineração e Metalurgia*. [Autores: CARVALHO, P. S. L.; Mesquita, P. P. D.; Cardarelli, N. A.]. Rio de Janeiro, 58 p. Disponível em [[Site de internet](#)] Acesso em abril 2024.
5. BARROS, Gustavo (2015). *O desenvolvimento do setor siderúrgico brasileiro entre 1900 e 1940: Crescimento e substituição de importações*. Estudos Econômicos, São Paulo, Vol. 45, n. 1, p. 153-183, jan. - mar. Disponível em [[Site de internet](#)] Acesso em março 2024.
6. [BRASIL]. *LPI nº 9.279 de 1996*. Planalto. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2024.
7. CÂMARA DE COMÉRCIO DE ENERGIA ELÉTRICA [CCEE]. Dados e Análises e Consumo. Estudos Especiais. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2025.
8. CONEGUNDES, Camila (2023). *Da extração à sustentabilidade: tecnologias verdes nas atividades de metalurgia e mineração*. Sustentabilidade, 26/05/2023. Tiinside online. Disponível em [[Site de internet](#)] Acesso em março 2024.
9. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA [CNI] (2024). *Metalurgia e Produtos de metal*, Macro tendências. Observatório Nacional da Indústria, Portal da Indústria, Confederação Nacional da Indústria (CNI). Disponível em [[Site de internet](#)] Acesso em março 2024.
10. TELES, Bruno (2024). *Descoberta revolucionária de U\$ 5,7 trilhões: maior depósito de minério de ferro do mundo com 55 bilhões de toneladas redefine a história da Terra*. Economia. Macaé (RJ): CPG (Click Petróleo e Gás), 21/12/2024. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2024.
11. ECONODATA (2024). Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2025.
12. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO [FIRJAN]. *O setor metal mecânico e a Firjan*. Metal mecânico, Atuação da Firjan. Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em março 2025.
13. GOMES, Rodrigo da Silveira (2016). *Análise dos impactos ambientais e da sustentabilidade em usinas siderúrgicas integradas a coque*. Graduação. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais (DEMM / POLI), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Disponível em [[Site de internet](#)]. Acesso em abril 2024.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

14. HABASHI, Fathi (2017). *History of Metallurgy*. ScienceDirect, reference module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, February, 2017. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001, pages 5537-5541. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
15. HIGA, Carlos César. *Idade dos Metais*. Pré-História, História Geral, Mundo Educação. Uol. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
16. IFES (2020). *Ifes recebe a sexta carta-patente do INPI*. Notícias, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Ministério da Educação, 22/10/2020. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
17. *INOVAÇÕES no setor metalúrgico: tendências para 2024 no Brasil* (2024). CPG, Click Petróleo e Gás, 12/01/2024. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
18. INPI (2022a) *Panorama dos pedidos de patente do Espírito Santo*. (Radar tecnológico nº 32). [Autores: SANTOS et al]. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)/DIRPA/Cepit/Diesp. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
19. INPI (2022b). *Tecnologias com Grafeno: panorama do patenteamento no Brasil*. (Radar Tecnológico nº 27). [Autores: Gorgulho, Cristiane F.; Santos, C. d'U. S. M.; Oliveira, S. S.]. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)/DIRPA/Cepit/Diesp. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acessado em março 2024.
20. INPI (2024). *Tecnologias com Nióbio: panorama do patenteamento no Brasil*. (Radar Tecnológico nº 39). [Autores: Gorgulho, Cristiane F.; Santos, C. d'U. S. M.; Nunes, F. C.]. Rio de Janeiro, Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
21. INSTITUTO AÇO BRASIL [IAB] (2020). *Relatório de Sustentabilidade 2020*, 12ª edição, Instituto Aço Brasil (IABr). Rio de Janeiro, 62 páginas. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
22. INSTITUTO AÇO BRASIL [IAB] (2024a). *Estatísticas da Siderurgia 2024 (3º trimestre)*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
23. INSTITUTO AÇO BRASIL [IABr] (2024b). *Mercado Brasileiro de Aço 2024*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
24. INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). *Produção industrial*. Secretaria de Estado de Economia e Planejamento. Governo do Estado do Espírito Santo. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
25. KIRST, Rafael; Pinto, Fábio Lopes (2014). *Inovação na indústria siderúrgica brasileira: uma análise das principais classes de patentes em metalurgia de ferro*. Cadernos de Prospeção, Salvador, v. 7, n. 3, p. 389-398, jul./set. 2014. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
26. LANDGRAF, Fernando José G.; Tschiptschin, André P.; Goldenstein, Hélio (1994). *Notas sobre a história da metalurgia no Brasil (1500-1850). História da técnica e da tecnologia no Brasil*. Tradução. São Paulo: Ed. UNESP, USP, 1994. p. 412. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.
27. MAROS, Angieli (2024). *Complexo metalmeccânico: o que é e o que compreende o setor?* Especial CIMM & Ind. 4.0, 18/03/2024. Disponível em [[Sítio de internet](#)] Acesso em março 2024.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

28. MAROS, Angieli (2024). *Indústria Metalmeccânica: da fundição à vanguarda dos processos de fabricação*. Especial CIMM & Ind. 4.0, 01/01/2024. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
29. METALLURGY. Enciclopédia do Novo Mundo (New World Encyclopedia) Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
30. METALURGIA. Wikipedia (2010). Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
31. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL [ODS]. *Meta 9.4*, Brasil, Indústria, Inovação e Infraestrutura. Instituto de Pesquisa Aplicada (IPEA). Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
32. *O que é metal ferroso e suas propriedades*. Aços Nobres. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acessado em março 2024.
33. SIDERURGIA e Metalurgia. Estudos setoriais, PriceWaterHouse (PWC). Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
34. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS [SEBRAE] (2022). *Metalurgia*. Data MPE Brasil. Sebrae. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
35. *SETOR de metalurgia é um dos que mais consome energia* (2024). Clarke Energia. São Paulo, 01/02/2024. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
36. SPEYER, Christian (2024). *Setor metalúrgico: as principais tendências para o segmento em 2024*. Centro de Informação Metal Mecânica [CIMM], 14/01/2024. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
37. TEIXEIRA Jr., Sérgio. (2023). *A inovação que promete cortar emissões – e custos – da siderurgia*. Empresas, Reset, UOL, 10/02/2023. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
38. *USIMINAS registra novas patentes*. Notícia, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM Brasil). Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
39. VIECELI. Soluções em Usinagem. *A indústria metalúrgica em 2023*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
40. WORLD INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE [WIPO]. *WIPO GREEN: the marketplace for sustainable technology*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2025.
41. WORLD STEEL ASSOCIATION [WSA] (2024a). *Steel Demand Forecasts*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.
42. WORLD STEEL ASSOCIATION [WSA] (2024b). *The steelmaking process*. Disponível em [[Sítio de internet](#)]. Acesso em março 2024.



6 Apêndices

6.1 Apêndice 1 - Noções gerais sobre metalurgia

Propriedades dos metais ferrosos e do aço e suas aplicações

Os metais mais comuns na engenharia são o alumínio, cromo, cobre, ferro, magnésio, níquel, titânio e zinco. Estes são mais frequentemente usados como ligas, de modo que a metalurgia é essencial para diversos setores como o automobilístico, o aeroespacial, o naval, a construção, e diversos setores da indústria transformadora.

A maioria dos metais é mais forte que a maioria dos plásticos e mais resistente que a maioria das cerâmicas. Se for bem projetado, um material poderá resistir a problemas ou falhas como a corrosão, a concentração de tensão, a fadiga do metal, a fluência e fratura por tensão ambiental.

Metais ferrosos são aqueles que possuem grande quantidade do elemento ferro em sua composição – se não como primeiro elemento, pelo menos como segundo mais evidente (Aços Nobre, 2024). Os metais ferrosos compartilham, normalmente, de algumas propriedades, como alta durabilidade, dureza, boa resistência à tração, boa condutividade elétrica, cor prata, baixa resistência à corrosão e são magnéticos. Contudo, eles podem receber vários elementos de liga e cada um oferece características diferentes.

O aço é o material de engenharia e construção mais importante do mundo, sendo usado em diferentes aspectos de nossas vidas como: automóveis e produtos de construção, geladeiras e máquinas de lavar, navios de carga e bisturis cirúrgicos. O aço inoxidável ou o aço galvanizado são utilizados nas situações em que é importante ter resistência à corrosão. Quando a resistência e a leveza de um material são características necessárias, as ligas de alumínio e ligas de magnésio são usadas.

Evolução Histórica da Metalurgia no Brasil

O Quadro 3 apresenta algumas informações adicionais sobre a história da metalurgia no Brasil.

QUADRO 3. EVOLUÇÃO DOS PRINCIPAIS EVENTOS NO BRASIL

Época	Evolução dos Principais Eventos no Brasil e Características
Início do século XIX	<ul style="list-style-type: none"> • Início das descrições mais acuradas de técnicas metalúrgicas no Brasil e a discussão de opções técnicas. • Os primeiros altos-fornos do país foram instalados pelo intendente Câmara, em Morro do Pilar, e por Varnhagen, em Ipanema.⁵⁹ • O ferro maleável foi amplamente produzido no Brasil, devido à facilidade de aprendizado da sua técnica mais rudimentar. • Além do fracasso na operação de altos-fornos no Brasil, importantes empresas estrangeiras também sucumbiram após anos de operação. A experimentação era prática contínua nessas indústrias. • As fundições desta época operavam com metais importados. (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994)
Após 1808	Com a chegada da Corte portuguesa ao Brasil, são dados incentivos para o crescimento das atividades industriais no país e surgem esforços para a implantação de uma siderurgia no país. Contudo, estes projetos industriais não deslançaram devido aos privilégios comerciais e fiscais (baixas taxas de importação) concedidos à Inglaterra, fatos que provocaram a morte das nascentes forjas da região de Minas.
1817 a 1830	Publicação de importantes livros de viagem na área de A. de Saint Hilaire, que abordavam as atividades industriais do país. Esses livros, atas de governo e correspondências permitem-nos traçar um perfil mais completo e complexo da indústria metalúrgica brasileira deste período. (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994)
1833	Publicação do livro “ <i>P!uto brasiliensis</i> ” (de Eschwege), que tratava da geologia, mineração e metalurgia no Brasil.
1876	Um marco importante: a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto, que formaria engenheiros de minas, engenheiros civis, geógrafos e geólogos. (Gomes, 2015)
Século XX - início	Baixa produção anual de ferro (em torno de 3.000 t) se comparada às importações de ferro e aço, que atingiam mais de 63.000 t, em 1901). A produção de aço e a laminação no Brasil eram inexistentes.
Até 1917	Até o final da 1ª Guerra Mundial, além de algumas pequenas forjas espalhadas em Minas Gerais, havia no Brasil uma única empresa que produzia ferro-gusa, a Usina Esperança (que mais tarde passou a chamar-se Usina Queiroz Júnior) e nenhuma que produzisse aço ou laminados. Ao final da 1ª Guerra, duas outras empresas importadoras iniciaram a produção de aço e de laminados leves: a Cia. Mecânica e Importadora de São Paulo (em 1918) e a Hime & Cia. do Rio de Janeiro.
1917 a 1930	Foram criadas 14 novas empresas no setor. Destacam-se 3 empresas: a Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira, fundada em 1921, a Cia. Brasileira de Mineração e

⁵⁹ Os dois altos-fornos de Ipanema e o de Morro do Pilar foram os únicos em operação na primeira metade do século XIX. Mas a partir de 1821 ambos entraram em decadência. (Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein, 1994)



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

	Metalurgia, criada pela Cia. Mecânica e Importadora em 1925, e a Cia. Brasileira de Usinas Metalúrgicas, criada pela Hime & Cia, em 1926. (Barros, 2015)
1939	O setor já contava com 26 empresas. (Barros, 2015)
Anos 40	A CSN foi fundada em 1941, em Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro, produzindo inicialmente coque metalúrgico e se tornou a primeira produtora integrada de aço plano no Brasil, um marco no processo de industrialização do país. (Gomes, 2016)
1971	Lançado o Plano Siderúrgico Nacional (PSN), com o objetivo de iniciar novo ciclo de expansão e quadruplicar a produção. As empresas estatais respondiam por cerca de 70% da produção nacional e detinham exclusividade nos produtos planos. Parte da produção era destinada à exportação.
1973	Inaugurada no Brasil a primeira usina integrada produtora de aço, utilizando o processo de redução direta de minérios de ferro a base de gás natural, a Usina Siderúrgica da Bahia (Usiba). No mesmo ano, foi criada a Siderurgia Brasileira S.A (Siderbrás).
1976	Entrou em operação, em Vitória (ES), a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), atualmente denominada ArcelorMittal Tubarão. (Gomes, 2016).
1986	A Açominas começou a operar, em Ouro Branco - MG. (Gomes, 2016)
Década de 90	O parque siderúrgico nacional contava com 43 empresas estatais e privadas, cinco delas integradas a coque, nove a carvão vegetal, duas integradas a redução direta e 27 semi-integradas, além de produtores independentes de ferro-gusa e carvão vegetal, que somavam cerca de 120 altos-fornos. A instalação dessas unidades produtoras se concentrou principalmente no Estado de Minas Gerais e no eixo Rio-São Paulo, devido à proximidade de regiões ricas em matérias-primas empregadas na fabricação do aço, ou de locais com grande potencial de consumo.
1991	Começou o processo de privatização das siderúrgicas. (Gomes, 2016)

Fonte: Quadro produzido pela autora baseado na obra de Landgraf, Tschiptschin e Goldenstein (1994), de Barros (2015) e de Gomes (2016).

Processos metalúrgicos

Tipos de Processos de Moldagem dos Metais na Indústria Metalúrgica

Os metais são moldados por processos como a fundição, o forjamento, a laminação, a extrusão, a sinterização e a usinagem. Os principais processos de fabricação empregados na indústria metalmeccânica são: usinagem, soldagem, forjamento, fundição, estampagem, extrusão, corte a laser e plasma, tratamento térmico, pintura e revestimentos⁶⁰. O Quadro 4, a seguir, explica os tipos de processos de moldagem dos metais na indústria metalúrgica.

⁶⁰ Vale lembrar que durante a fabricação, as folhas de metal também podem ser cortadas com guilhotinas ou cortadores a gás e dobradas em forma.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

QUADRO 4. TIPOS DE PROCESSOS DE MOLDAGEM DOS METAIS NA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Processos de Moldagem dos Metais	
Fundição	Na fundição, o metal fundido é derramado em um molde moldado. Existem várias formas de fundição na indústria e na academia, incluindo a fundição em areia, a fundição de precisão (também chamada de “processo de cera perdida”), a fundição sob pressão e a fundição contínua.
Forjamento	No forjamento, um tarugo em brasa é moldado.
Laminação	Na laminação, um tarugo é passado através de rolos sucessivamente mais estreitos para criar uma folha.
Extrusão	Na extrusão, um metal quente e maleável é forçado sob pressão através de uma matriz, que o molda antes de esfriar.
Sinterização	Na sinterização, um metal em pó é comprimido em uma matriz em alta temperatura.
Usinagem	A usinagem é a principal técnica para transformar os metais em peças funcionais para a indústria metalúrgica, seja para veículos, aeronáutica, dentre outros setores. O processo de usinagem permite a confecção de peças com longa resistência e durabilidade e pode reduzir a <i>oxidação das peças</i> ⁶¹ . Esse processo deve ser feito com eficiência e alta qualidade. Na usinagem, tornos, fresadoras, aplainadoras e brocas são usados para cortar o metal frio no formato desejado. A usinagem pode ser mais acessível em demandas de grandes lotes.
Soldagem	A soldagem é uma técnica para unir certos metais ferrosos e certas ligas de alumínio. Os metais na solda e em ambos os lados da junta são geralmente ligas semelhantes. A soldagem também é um método de união de condutores elétricos metálicos, onde não é necessária alta resistência. ⁶²
Estampagem	Processo de fabricação para estamparia de metais, que através da operação de prensagem, corta ou deforma plasticamente chapas metálicas, gerando um produto final com ótimo acabamento. O processo é muito útil em indústrias com produção seriada e com grandes lotes como a automotiva e de eletrodomésticos, por exemplo. Os materiais mais usados na estampagem são o aço, o cobre, o alumínio o níquel e o zinco. ⁶³

⁶¹ A oxidação é um processo natural em peças feitas de metal. Contudo, alguns cuidados durante o processamento das peças podem diminuir esse problema.

⁶² A brasagem é uma técnica de união de metais à base de cobre.

⁶³ Estamparia de metais: O que é? Como funciona? Fit Engineering Systems. Disponível em [\[Sítio da internet\]](#).



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Corte a laser e Plasma	O corte a laser é o processo de separação com o qual os materiais metálicos de diversas espessuras são cortados. A base para isso é um raio laser que é guiado, moldado e concentrado. Quando ele encosta na peça, o material se aquece de tal forma que ele derrete ou vira vapor. O corte a plasma ⁶⁴ é um processo que utiliza um bico com um orifício para constringir o gás ionizado em alta temperatura até que possa ser utilizado para cortar seções de metais, como o aço carbono, aço inoxidável, o alumínio e outros metais eletricamente condutores. Este processo é veloz e apresenta precisão no corte.
Tratamento térmico	O tratamento térmico envolve o aquecimento e resfriamento de ligas metálicas, levando em consideração condições controladas de temperatura, atmosfera, duração e velocidade de resfriamento. Tudo isso resulta na alteração das propriedades ou de características físicas e mecânicas. Seu objetivo é modificar as propriedades físicas e mecânicas do produto sem interferir na sua forma. O principal foco do tratamento térmico é o aumento da resistência do material. ⁶⁵
Pintura e Revestimento	A pintura metalúrgica é muito importante, pois é utilizada para melhorar a aparência das superfícies metálicas, mas também pelo seu caráter funcional. A pintura aplicada na indústria metalúrgica tem como principal objetivo proteger as peças contra a ação do tempo, evitando assim a sua corrosão. Há dois tipos principais de tintas para metal: tinta esmalte e tinta epóxi. ⁶⁶

Fonte: CIMM (2024) e Encyclopedia

⁶⁴ Como funciona o corte a plasma? Megaplasma tecnologia e soluções. Disponível em [[Sítio da internet](#)].

⁶⁵ O universo do tratamento térmico. Feira e Congresso 2025 – Metalurgia. Disponível em [[Sítio da internet](#)].

⁶⁶ O que é pintura metalúrgica, importância e melhor forma de pintar diferentes tipos de metais. Tornado máquinas, 13/01/2023. Disponível em [[Sítio da internet](#)].



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

6.2 Apêndice 2 - Metodologia do estudo

Elaboração da Estratégia de busca e Levantamento dos pedidos de patente

O estudo mapeou os pedidos de patente depositados no Brasil a partir do ano 2000, relativos a tecnologias aplicadas à metalurgia de transformação do ferro e do aço, com foco especial nas tecnologias sustentáveis neste setor. A busca de patentes foi realizada na base *Derwent Innovation* em setembro de 2024, utilizando combinações de palavras-chave e classificações de patente (IPC, CPC e DWPI Manual-codes).⁶⁷

Como o tema Metalurgia é bastante amplo, optou-se por focar nos principais processos metalúrgicos de transformação do ferro e da produção do aço mostrados na figura interativa disponível no portal da *World Steel Association* (que se encontra adaptada na Figura 1 deste estudo). Assim, para a elaboração deste radar tecnológico, os processos metalúrgicos escolhidos foram divididos da seguinte forma:

- *Input* e preparação de matérias-primas (Etapas 1 e 2);
- Produção do Ferro e do aço (Etapas 3 e 4);
- Produtos semiacabados, Laminados a quente e Operações de acabamento (Etapas 5, 6 e 7);
- Coprodutos e Resíduos (Etapa 8);
- Fundição; e,
- Soldagem.

⁶⁷ Nos anos de 2023 a 2024, o total de pedidos de patente depositados no Brasil ainda não está consolidado. Isto porque há o período de sigilo de 18 meses, contado da data de depósito, até que o mesmo seja publicado (a menos que seja solicitada a publicação antecipada pelo depositante). Além disso, pedidos de patente depositados no exterior tem o período de até 12 meses (por meio da Convenção da União de Paris – CUP) ou até 30 meses (por meio do Tratado de Cooperação em matéria de Patentes – PCT) para entrar na fase nacional dos países, onde se buscará a proteção.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

As classificações de patentes selecionadas foram cruzadas com palavras-chave nos títulos, resumos e reivindicações dos pedidos de patente indexados na *Derwent Innovation®*. Assim, para cada etapa da transformação do ferro e do aço, foi montada uma estratégia de busca, apresentada no Quadro 5, juntamente com as respectivas quantidades de documentos de patente encontrados com depósito no Brasil.

QUADRO 5. ESTRATÉGIAS DE BUSCA E QUANTIDADES DE DOCUMENTOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO BRASIL RELACIONADOS ÀS DIFERENTES ETAPAS DE METALURGIA DA TRANSFORMAÇÃO DO FERRO E DO AÇO

GRUPOS DE PEDIDOS	ESTRATÉGIAS DE BUSCA	QUANTIDADE DE PEDIDOS
Metalurgia geral	CTB=(steel-making OR pig-iron OR iron-making OR steelmaking OR pigiron OR ironmaking OR (produc* NEAR3 iron) OR (produc* NEAR3 steel) ADJ (manufactur* NEAR3 iron) OR (manufactur* NEAR3 steel) OR (fabricat* NEAR3 iron) OR (fabricat* NEAR3 steel)) OR AIC=(C21B OR C21C) OR MC=(M24-A OR M24-B OR M24-C OR M27-A OR M27-B)) AND CC=(BR);	4888
Input e Preparação de matérias-primas (Etapas 1 e 2)	CTB=(coke OR fuel? OR biofuel? OR pellet OR briquette OR sinter* OR gas OR ore OR scrap OR (self-reduc* NEAR2 briquette) OR (self-reduc* NEAR2 pellet) OR (selfreduc* NEAR2 briquette) OR (selfreduc* NEAR2 pellet)) OR AIC=(C21B0005* OR C22B0001* OR C10B* OR F27* OR C10K0001*) OR MC=(M24-A07* OR M24-A01B* OR H06-A04* OR M24-A01* OR M24-A03* OR M24-A05* OR M24-A01* OR M24-B01A* OR H08-E02* OR H09-A02A* OR H09-F01*);	2645
Produção do ferro e do aço (Etapas 3 e 4)	CTB=("direct reduction" OR "blast furnace" OR "basic oxygen furnace" OR BOF OR "continuous casting" OR (electric NEAR3 furnace) OR EAF OR "ladle furnace" OR (steel NEAR3 treatment) OR (direct NEAR2 process*)) OR AIC=(C21B000302 OR C21B0007* OR C21B0009* OR C21B0011* OR C21B0013* OR C21C0001* OR C22C0033006 OR C22C0033 OR C22C0035* OR C22C0038* OR F27D) OR MC=(M24-C10* OR M24-D07* OR M27-A01* OR M27-A04* OR M27-B01* OR M27-B04* OR M27-C* OR D04-A05* OR H09-H02* OR Q24-P06* OR E31-F01B* OR E31-F01A* OR E31-F01* OR H09-F02* OR D04-B03* OR M24-A02* OR M24-A03* OR M24-B01A* OR M24-C* OR M27-A04* OR M27-B04* OR M27-C*);	3167
Produtos semiacabados, Laminados a quente e Operações de acabamento (Etapas 5, 6 e 7)	CTB=((hot ADJ roll* ADJ mill*) OR "cold roll*" OR "hot strip mill*" OR "laminat*" OR "hot roll*" OR "heat treatment") OR AIC=(C21D00080226 OR C21D00080236 OR C21D000804 OR C21D000810 OR C21D000812 OR B21B* OR B21C* OR B21D* OR B21F*) OR MC=(M12-B01* OR M24-D01A1* OR M24-D01B1* OR M24-D02*);	1313
Coprodutos e resíduos (Etapa 8)	CTB=(slag OR dust OR sludge OR oil OR grease OR gas OR lubricant? OR water OR smoke OR scale OR cement OR fertili* OR ash) OR AIC=(C04B005* OR C10J2300160* OR C10J2300161* OR C10J2300162* OR C10J230016231 OR C10J230016234 OR C10J2300169 OR C10K0001002 OR	2735



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

	C10K000102* OR C10K000104* OR C10K000106 OR F27D0015* OR F27D0017* OR C21B000304 OR C21B2400* OR C05F0005* OR B22F0008* OR C21B00306* OR C04B0005*) OR MC=(M24-C07* OR D04-B05* OR H06-X03* OR D04-A06* OR M24-C07* OR M24-A07A* OR M24-A07B*);	
Fundição	CTB=(casting OR mould OR cast OR foundry) OR AIC=(B22C* OR B22D0001* OR B22D0002* OR B22D0003* OR B22D0005* OR B22D0007* OR B22D0009* OR B22D0011 OR B22D0013* OR B22D0015* OR B22D0017* OR B22D0018* OR B22D0019* OR B22D0027* OR C21D0005* OR C22C003308 OR C22C0037*) OR MC=(M22-A* OR M22-B02* OR M22-G* OR M22-G03G6* OR M22-G03G7* OR M27-B03* OR M24-C05* OR M24-B01B* OR M27-A03* OR M27-B03*);	1329
Soldagem	CTB=(weld* OR solder*) OR AIC=(B23K*) OR MC=(M23-A* OR M23-B* OR M23-D* OR M23-E* OR M23-F* OR M23-G* OR M23-H* OR M23-J* OR M23-K*);	525

Com o objetivo de identificar dentro da amostra de documentos de patente recuperados acima, quais os documentos, que descrevem tecnologias metalúrgicas sustentáveis foi elaborada uma segunda estratégia de busca, baseada em combinações de palavras-chave e classificações de patentes relacionada à sustentabilidade, apresentada no Quadro 6.

QUADRO 6. ESTRATÉGIA DE BUSCA E QUANTIDADE DE DOCUMENTOS DE PATENTE QUE ENVOLVEM TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

Grupo de pedidos	Estratégia de busca	Quantidade de pedidos
Tecnologias sustentáveis	CTB=(sustainab* OR renewable OR regenerable OR regenerative OR ecológ* OR recycl* OR biodegrad* OR alternative OR bioenergy OR green* OR environment* OR reuse OR recirculat* OR restate OR rework OR ecofriendly OR eco-friendly OR polluti* OR biofuel OR emission OR (self-reduc* NEAR2 briquette) OR (self-reduc* NEAR2 pellet) OR (selfreduc* NEAR2 briquette) OR (selfreduc* NEAR2 pellet) OR (heat NEAR2 recovery) OR (sulfur* NEAR2 capture*) OR (*carbon NEAR3 capture) OR (*carbon NEAR3 sequest*) OR (sulfur* NEAR2 sequest*) OR (particulate* NEAR2 matter?) OR (energy NEAR3 econom*) OR waste OR residu* OR (carbon NEAR2 neutral) OR "circular economy" OR "clean technol*" OR climate OR climatic OR decarbonization OR "energy-efficient*" OR "global warming" OR "low-carbon" OR "low-impact" OR "net zero") OR AIC=(C21B2100* OR C21B2200* OR C21C2100* OR C21C2200* OR F01K0027* OR C02F* OR C21C000538 OR B09* OR Y02*) OR MC=(D04* OR M24-A07C* OR M25-E01* OR M25-F02* OR M25-F03* OR E11-K03* OR P43-E* OR P43-J* OR X15* OR J09-C01A* OR H06-A03* OR H06-A04* OR H06-B07* OR H06-B04A* OR H06-C* OR D05-A04A* OR H05-L* OR H06-C* OR H06-X03* OR H07-H* OR H09-D* OR H09-F02* OR M24-A07C*)) AND CC=(BR)	2362



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Em seguida, para obter os dados bibliográficos dos pedidos de patente depositados no Brasil, os dados obtidos da *Derwent Innovation* foram cruzados com a base de dados de informação tecnológica do INPI (BINTEC).

Análise e Tratamento dos dados dos pedidos de patente

A análise e tratamento dos dados dos documentos de patente encontrados nas buscas foram realizados com o auxílio da ferramenta de *data mining* VantagePoint®.

A análise do gênero foi realizada utilizando os nomes dos depositantes “pessoas físicas” e dos inventores, com base dos dados públicos do IBGE do Censo de 2010, tendo sido determinadas as probabilidades de um nome ser considerado feminino ou masculino, considerando que o gênero atribuído ao nome reflete o que foi informado pelo cidadão brasileiro no momento da coleta do questionário do Censo. Nomes cuja probabilidade de ocorrência não pode ser determinada desta forma foram denominados “indeterminados”.

A “natureza dos depositantes” foi atribuída com base nas informações públicas disponíveis em na base de dados abertos da Receita Federal do Brasil.

Categorização dos documentos de patente

Os pedidos de patente depositados no Brasil relativos a tecnologias metalúrgicas focadas na siderurgia, fundição e soldagem do ferro e do aço foram categorizados utilizando a ferramenta de *data mining* VantagePoint®, através dos critérios de busca listados no Quadro 5. Cabe notar que um mesmo documento pode ter sido categorizado em mais de uma etapa do processo metalúrgico.



Metalurgia da transformação do ferro e do aço com foco na sustentabilidade

Identificação de pedidos que utilizaram o Programa de “Trâmite Prioritário em Tecnologias Verdes”

Para identificar os pedidos de patente que utilizaram o programa de “Trâmite prioritário em Tecnologias Verdes”⁶⁸, verificou-se na amostra os pedidos que continham os seguintes despachos publicados na Revista da Propriedade Industrial (RPI): 27.2 (solicitação concedida para participar do Programa de Patentes Verdes), para requerimentos anteriores ao ano de 2020, ou a associação dos despachos 28.10.11 (notificação de solicitação de Patente Verde) com o despacho posterior 28.30 (concessão de trâmite prioritário), para os requerimentos efetuados a partir de 2020.

Painel de dados

Por fim, foi elaborado um painel de dados com os pedidos de patente depositados no Brasil. Diferentes filtros a podem ser selecionados, como: data de depósito, país do depositante, depositante, *status* do pedido no INPI (situação processual) e porte da empresa. O painel pode ser acessado [[neste link](#)]

⁶⁸ Também conhecido como “Trâmite Prioritário de Patentes Verdes”.