



## REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS: OPORTUNIDADES DE PESQUISA E DESAFIOS DO SETOR

Nicole Gröff da Silva<sup>1</sup> ([groff.nicole@gmail.com](mailto:groff.nicole@gmail.com)), Feliciane A. Brehm<sup>1</sup> ([felicianeb@unisinis.br](mailto:felicianeb@unisinis.br)),  
Mauricio Mancio<sup>1</sup> ([mancio@unisinis.br](mailto:mancio@unisinis.br)), Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>1</sup> ([cmoraes@unisinis.br](mailto:cmoraes@unisinis.br)).  
1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

### RESUMO

A indústria siderúrgica é responsável pela geração de resíduos sólidos, dos quais 80% em média retornam para a cadeia de produção do aço ou são incorporados em outros processos. O setor participa de estudos em parceria com instituições de ensino e pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias e demais recursos que viabilizem técnica e economicamente tais destinações. Com este objetivo, o presente artigo visa delinear uma perspectiva acerca dos estudos e avanços que têm sido realizados com relação aos resíduos sólidos desta cadeia, além das dificuldades encontradas na busca destas soluções. A partir de uma pesquisa bibliográfica por termos em português relacionados em três bases de dados científicos, os trabalhos foram coletados e investigados quanto a seis questões previstas na metodologia utilizada neste trabalho. Constatou-se uma contribuição significativa da região Sudeste do Brasil na produção de estudos científicos sobre este assunto e um interesse maior com relação às escórias. A agricultura mostrou-se como a área que mais absorve os resíduos siderúrgicos. É imprescindível o fomento contínuo de pesquisas, diferenciando metodologias, para se viabilizar a reciclagem e reutilização de resíduos ou mesmo otimizar os resultados anteriormente obtidos. No entanto, o presente trabalho apresenta limitações, sendo necessários estudos mais aprofundados para a verificação das tendências apontadas.

**Palavras-chave:** Siderurgia; Reciclagem; Reutilização.

## WASTE STEEL REUSE AND RECYCLING: RESEARCH OPPORTUNITIES AND INDUSTRY CHALLENGES

### ABSTRACT

The steel industry is responsible for the generation of solid waste, of which 80% average return for the steel production chain or is embedded in other processes. The industry participates in studies in partnership with educational institutions and research for the development of technologies and other resources that enable technically and economically such destinations. To this end, this article aims to outline a perspective about the studies and advances that have been made with respect to solid waste in this chain, in addition to difficulties in finding these solutions. From a literature search for terms related to Portuguese in three scientific databases, the works were collected and investigated for the six questions provided in the methodology used in this work. Contacted was a significant contribution of the country's southeastern region in the production of scientific studies on this topic and more interest with respect to slags. Agriculture proved to be the area that absorbs more iron and steel waste. It is essential to the continued promotion of research, differing methodologies to facilitate the recycling and reuse of waste or even optimize the results previously obtained. However, this study has limitations, requiring further study to verify the identified trends.

**Keywords:** Steel; Recycling; Reuse.

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias e estudos multidisciplinares no campo científico ambiental tem impulsionado cada vez mais a transformação de resíduos, independente de sua periculosidade,

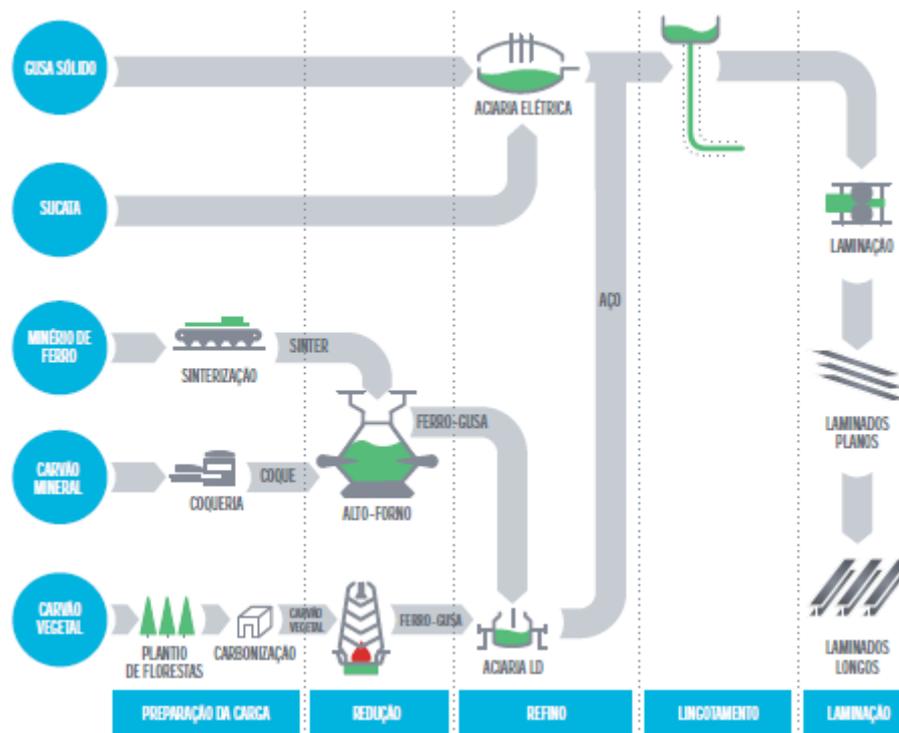


em coprodutos para os mais diversos setores industriais. Esta tendência está fortemente presente no ramo siderúrgico, que recicla e reutiliza grande parte de seus resíduos no próprio processo e para o qual já existem pesquisas nacionais e internacionais para o seu uso em demais cadeias produtivas, desde a agricultura até a construção civil.

## 1.1 Siderurgia e o processo produtivo do aço

O princípio de obtenção do aço consiste na combinação de processos químicos e termomecânicos para a extração e o tratamento do ferro. Esse procedimento pode ocorrer tanto em usinas integradas quanto em semi-integradas, que se diferenciam pelas técnicas de produção aplicadas. Nas usinas integradas, o aço é obtido pela redução do minério de ferro nos altos-fornos, que resulta no ferro-gusa, posteriormente refinado nas aciarias. As usinas integradas abrangem as cinco etapas apresentadas na Figura 1. A primeira parte é identificada no fluxograma como preparação da carga, na qual o minério de ferro sofre um processo de aglomeração (denominado sinterização e pelletização) resultando em uma granulometria que possibilite seu carregamento no alto-forno. Esta etapa contempla ainda a conversão do carvão mineral em coque através da eliminação dos compostos voláteis presentes e que são indesejáveis ao processo, aumentando assim a eficiência deste redutor no alto-forno. Na sequência, é obtido o ferro-gusa, produto da redução do minério de ferro a coque/carvão vegetal em alto-forno. No refino, o ferro-gusa é transformado em aço nas chamadas aciarias LD (*Linz-Donawitz*) ou a oxigênio, através da diminuição do teor de carbono e demais impurezas. Enfim, são realizados o lingotamento e a laminação, que consistem na conformação do produto final. Por outro lado, o processo semi-integrado acontece somente a partir da terceira etapa (refino e conformação), e usa como principal matéria-prima a sucata de aço, reciclando este material em fornos elétricos a arco, também chamados de aciarias elétricas (MOURÃO, 2011; IAB, 2014).

Figura 1. Processo de obtenção do aço



Fonte: IAB, 2014.



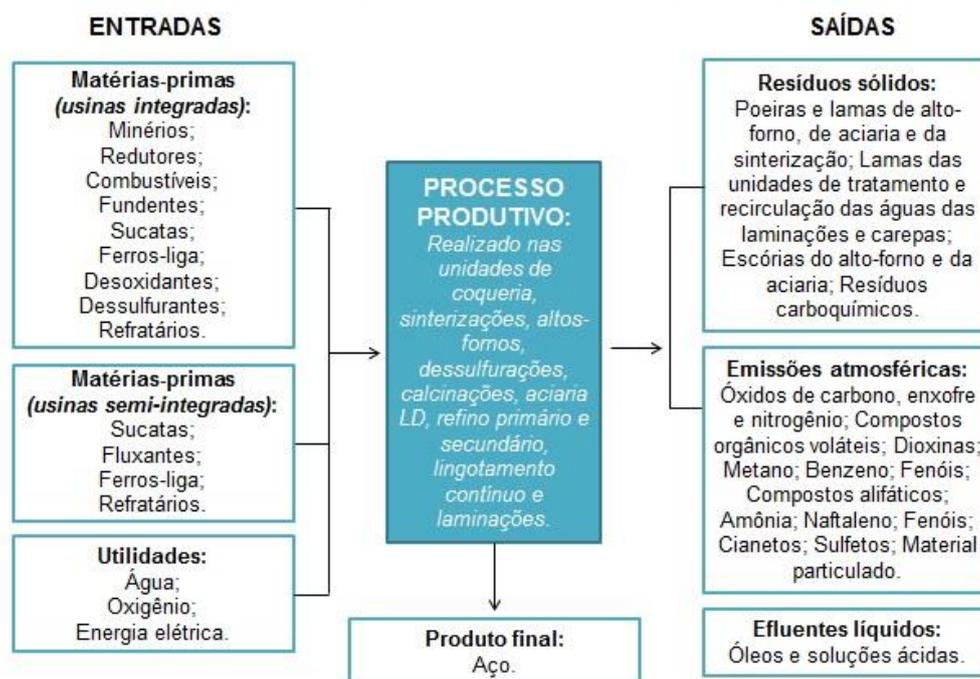
## 1.2 Geração de resíduos siderúrgicos

De acordo com estimativas do Instituto Aço Brasil, cerca de 450 kg de “coprodutos e resíduos” são originados a cada tonelada de aço produzida. Este valor está relacionado à rota tecnológica empregada e já chegou a superar a marca de 700 kg (IBS, 2007). Deste montante, 80% em média são reciclados ou reutilizados seja no ciclo do aço ou em outros processos.

Neste contexto, baseando-se nos conceitos previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considera-se por reciclagem “o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos os novos produtos [...]”. Da mesma forma, a reutilização é descrita como o “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química [...]” (BRASIL, 2010). É importante destacar que, apesar de muitos estudos citarem de forma errônea estas ou outras denominações, no presente trabalho serão considerados os termos e seus conceitos previstos pela PNRS.

A variação de composição e aspectos entre os resíduos variam muito em função dos procedimentos e características das matérias-primas utilizadas. A Figura 2 apresenta um diagrama de blocos com as principais entradas e saídas do processo de obtenção do aço de ambas as rotas tecnológicas atualmente empregadas.

Figura 2. Diagrama de blocos da obtenção do aço



Fonte: Elaborado pela autora, 2016. Adaptado de MOURÃO, 2011.

Dentre as classes de resíduos presentes no diagrama, os sólidos são os que apresentam maior potencial para a reutilização e reciclagem, em especial aqueles que possuem teor de ferro em sua composição (MOURÃO, 2011). Neste grupo encontram-se escórias, lamas, poeiras/pós e carepa. A escória, proveniente dos fornos de redução e refino, é composta por impurezas do minério de ferro/ferro gusa, sucatas, adições e reações ocorridas nos banhos líquidos, como os óxidos e silicatos, e constitui o resíduo de maior volume - cerca de 70% (LOBATO, 2014; IBS, 2007; IAB, 2014). Sua classificação conforme a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) varia entre a classe IIB - não perigoso e inerte, e a classe IIA - não perigoso e não inerte, considerando o teor de alumínio presente (ALMEIDA, MELO, 2001).



As lamas por ora representam cerca de 5% dos resíduos, provem do tratamento dos gases por via úmida e são formadas por óxidos de ferro, cálcio, silício, manganês e alumínio (LOBATO, 2014; IAB, 2014). Sua classificação varia entre classe I – perigoso e classe IIA – não perigoso e não inerte, devido à possível presença de elementos tóxicos como cádmio, zinco, chumbo e arsênio (MANSFELDT, DOHRMANN, 2004; ABNT, 2004).

Quando o tratamento dos gases de processo ocorre por via seca, originam-se os pós, cuja geração alcança quase 15% do total de resíduos sólidos. Divididos em pó do alto-forno e pó de aciaria elétrica, ambos são agrupados como classe I - perigoso. O primeiro é composto principalmente de óxidos metálicos e materiais carbonosos; já o segundo contém grande quantidade de metais como zinco, cromo, cádmio e chumbo (JACOMINO *et al.*, 2002; OLIVEIRA, MARTINS, 2003; ABNT, 2004; IAB, 2014).

Por fim, outro resíduo comum ao processo é a carepa, derivada da oxidação da superfície do aço nas etapas finais de lingotamento e laminação. Sua composição se resume à presença de óxidos de ferro, bem como uma grande quantidade de óleo; logo, corresponde à classe I - perigoso, de acordo com a NBR 10004 (ALMEIDA, 2009; MARTÍN, LÓPEZ, TORRALBA, 2012; CUNHA *et al.*, 2006; ABNT, 2004).

### 1.3 Desafios e oportunidades

O setor siderúrgico brasileiro, atualmente posicionado como 9º maior produtor mundial, foi responsável em 2014 pela produção de 33,9 milhões de toneladas de aço bruto no país, mas responde também ao montante de 22 milhões de toneladas de “coprodutos” gerados no mesmo ano (IAB, 2015). Neste cenário, alternativas de tratamento como a reutilização e a reciclagem apresentam-se como uma solução duplamente benéfica, pois contribuem não apenas evitando que este volume de resíduos seja simplesmente disposto em aterros, mas com a minimização do uso de recursos naturais não renováveis (CNI, 2012). O mesmo instituto, responsável por criar o Centro de Coprodutos Aço Brasil, aponta a possibilidade de uso de agregados siderúrgicos na fabricação de cimentos, pavimentação de vias, dentre outras aplicações (IAB, 2015).

A intenção principal dos estudos realizados na área é estimular ações para a “qualificação técnica e a agregação de valor aos coprodutos”. Como exemplo recente, foi publicada em 2015 uma norma brasileira para tratar especificamente da aplicação de agregado siderúrgico como sub-base e base, técnica que já tem sido utilizada em parceria com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em trechos experimentais (IAB, 2015). O setor contribui com estudos em parceria com instituições de ensino e pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e reutilização que sejam técnica e economicamente viáveis, o que representa uma ótima oportunidade para o aumento da sustentabilidade nas atividades siderúrgicas. No entanto, o incentivo por parte dos órgãos ambientais é um fator primordial na criação de condições que possibilitem uma “isonomia de tratamento entre materiais primários e secundários” (IBS, 2007), que muitas vezes não concorrem igualmente, ainda que o resíduo apresente periculosidade inferior à matéria-prima já consolidada no mercado.

## 2. OBJETIVO

O presente estudo tem o propósito de avaliar a existência de pesquisas nacionais na área de reciclagem e reutilização de resíduos do setor siderúrgico analisando sua viabilidade, as oportunidades e os desafios de tal prática.

## 3. METODOLOGIA

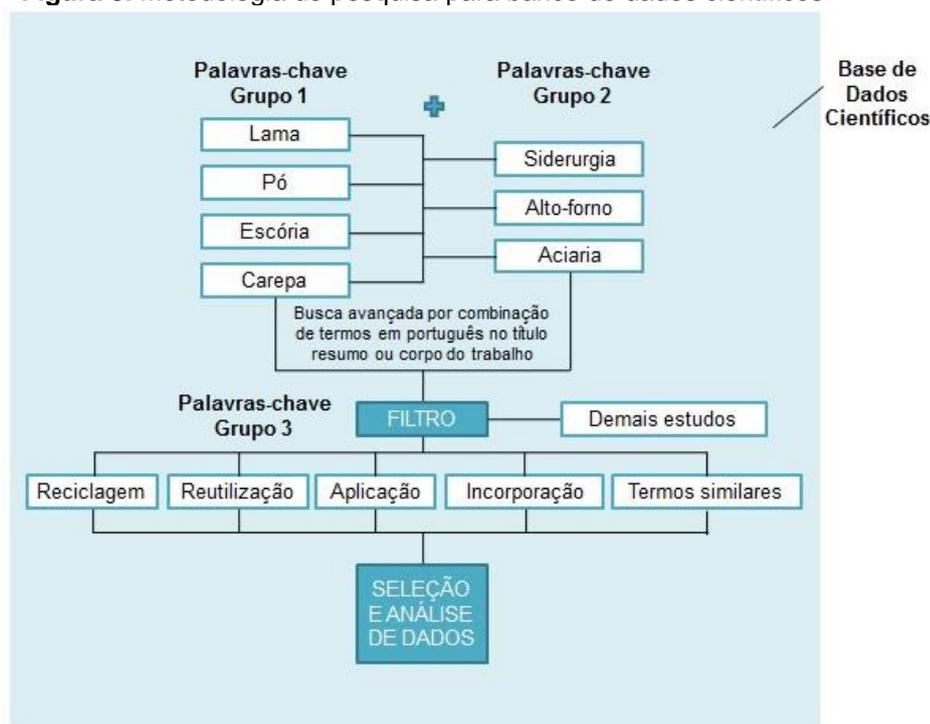
O objeto de estudo escolhido corresponde ao grupo de resíduos sólidos do setor siderúrgico (pós, lamas, escórias e carepas), desconsiderando seu grau de periculosidade. O escopo da pesquisa limitou-se a 3 bases de dados científicos: Portal de Periódicos Capes, SciELO e Sumários.org.

Com o objetivo de se avaliar apenas pesquisas nacionais na área de resíduos siderúrgicos, a busca foi realizada utilizando termos em português. Inicialmente, definiu-se 4 palavras-chave para



designar os resíduos sólidos de interesse: (1) Lama; (2) Pó; (3) Escória e (4) Carepa. Estas, por sua vez reunidas em um primeiro grupo, foram aplicadas em combinação com palavras-chave de um segundo grupo: (1) Siderurgia; (2) Alto-forno e (3) Aciaria. Sendo assim, chegou-se às seguintes expressões empregadas na busca avançada nos títulos, resumos e corpo dos trabalhos: *Lama da siderurgia*, *Pó da siderurgia*, *Pó do alto-forno*, *Pó de aciaria*, *Escória da siderurgia*, *Escória do alto-forno*, *Escória de aciaria* e *Carepa da siderurgia*. Após a primeira triagem, refinou-se a busca dentre os estudos coletados, pesquisando nestes os termos *Reciclagem/Reutilização* e *Aplicação/Incorporação*, bem como demais termos similares. O resumo da metodologia descrita está ilustrado na Figura 3.

**Figura 3.** Metodologia de pesquisa para banco de dados científicos



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

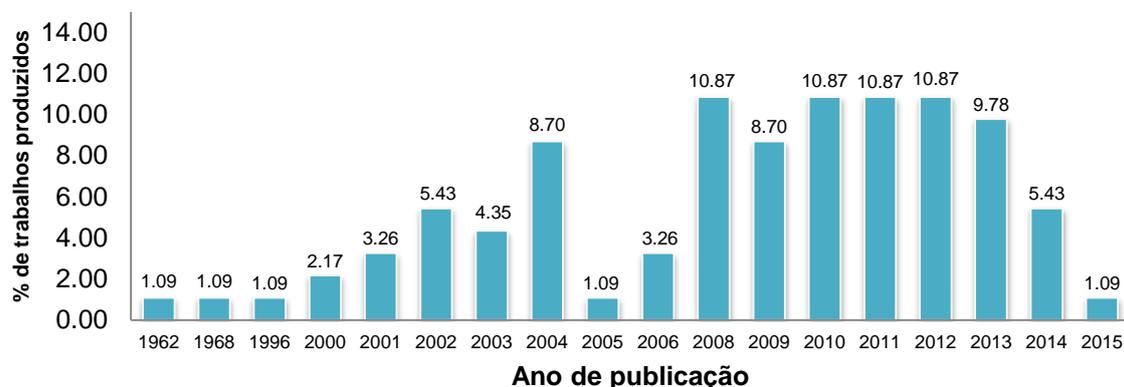
Os trabalhos por fim selecionados foram analisados para a coleta das informações a seguir listadas: (a) Ano de publicação do estudo; (b) Região do país onde foi realizado; (c) Resíduo estudado; (d) Processo/produto no qual foi incorporado; (e) Resultados constatados e (f) Recomendações e sugestões dos autores. Os resultados são apresentados no capítulo a seguir.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa, segundo a metodologia escolhida, reuniu um total de 92 estudos na área pretendida, realizados entre o período de 1962 a 2015. Foram consideradas apenas as produções científicas de livre acesso, cuja versão completa estivesse disponível para *download* ou visualização *online*. Observando-se a Figura 4, é possível perceber que os anos de maior produção científica correspondem a 2008, 2010, 2011 e 2012 com 10 trabalhos publicados ao ano. Na sequência, estão 9 trabalhos em 2013 e 8 em 2009 e também em 2004. Dentre os artigos coletados, o mais antigo data de 1962. No total, 5,43% dos estudos divulgados concentra-se no período de 1962 a 2000, 56,52% de 2001 a 2010 e 38,04% entre 2011 a 2015.



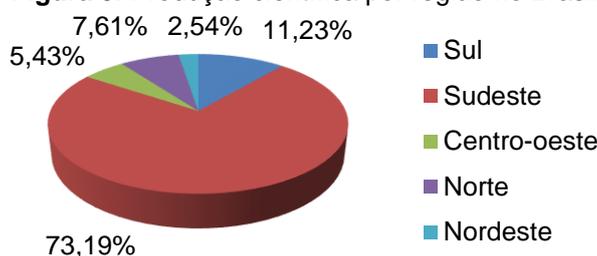
**Figura 4.** Produção científica ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

A Figura 5, por sua vez, representa as contribuições científicas por região do país, de acordo com a localização das instituições de pesquisa vinculadas aos autores nos respectivos trabalhos. Em primeiro lugar está o Estado de São Paulo, totalizando 43,84% do total de estudos coletados; Minas Gerais é responsável por 20,65%, enquanto que Rio de Janeiro, Pará e Rio Grande do Sul representam aproximadamente 7% cada. Os demais estados, se somados, correspondem a 14,85%. A maior contribuição é da região Sudeste, seguida do Sul. É importante destacar também que em 10 dos 92 trabalhos houve parceria entre universidades de diferentes Estados.

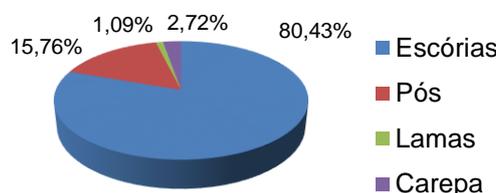
**Figura 5.** Produção científica por região no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Outro aspecto importante refere-se aos tipos de resíduos sólidos estudados.

**Figura 6.** Resíduos estudados



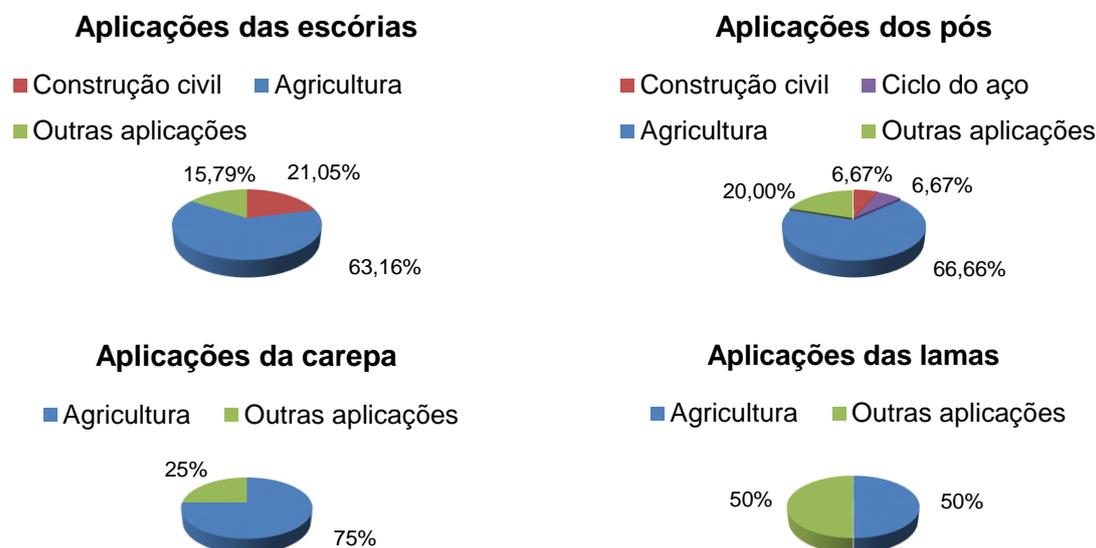
Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

De acordo com a Figura 6, a escória é o resíduo sólido de maior interesse entre os pesquisadores, com quase 81% dos trabalhos com ênfase nas suas aplicações, enquanto que as lamas são o resíduo menos explorado em termos de reutilização e reciclagem. Dos 92 trabalhos, 86 avaliaram



apenas 1 resíduo, 4 estudaram escória e carepa, 1 carepa e lama e 1 pó e lama, simultaneamente.  
Na Figura 7, são apresentadas as áreas nas quais os resíduos em questão foram aplicados.

Figura 7. Resíduos x aplicações



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

De acordo com os gráficos, a agricultura corresponde à área cuja aplicação foi mais explorada, sendo unânime entre os resíduos, com exceção das lamas. Do total de estudos coletados, 59 trabalharam com o setor agrícola e 17 com a construção civil. Os pós foram a única classe que apresentou incorporação de resíduo no próprio ciclo produtivo do aço, com apenas 1 trabalho voltado à este propósito. Das 92 pesquisas, 15 abrangem demais aplicações, dentre as quais estão a produção de vidros, pigmentos, processos químicos, tratamento de efluentes, etc. Uma vez que os objetivos e metodologias são particulares de cada pesquisa, torna-se difícil comparar os resultados encontrados entre um estudo e outro. No entanto, é válido ressaltar que a maioria dos autores conseguiu verificar a eficiência da aplicação de resíduos nos produtos/processos avaliados, de acordo com as condições estabelecidas em cada caso. O principal objetivo dos estudos relacionados à agricultura foi a avaliação dos efeitos dos resíduos quando empregados como fonte de micronutrientes, como o zinco, e na correção do pH do solo. As culturas mais utilizadas nas pesquisas foram a cana-de-açúcar e o milho. Outros cultivos também considerados foram o arroz, a alfafa, a alface, a aveia-preta, o café arábica, o feijão e a soja, além do capim, gramíneas e eucaliptos de diferentes espécies e das árvores goiabeira, maracujazeiro e cordia africana. Apenas 3 estudos avaliaram o solo sem cultivo. Em alguns trabalhos foi possível relacionar tamanhos de partícula de escória menores e sua influência no aumento do pH, ou ainda, a acidez do meio com o aumento da solubilidade dos pós e sua disponibilidade de nutrientes para as plantas. No entanto, uma das maiores dificuldades do uso agrícola está na presença de metais pesados como o chumbo e o cádmio na composição dos resíduos (PEREIRA et al, 2010; ACCIOLY et al, 2000). Como exemplo bem-sucedido de aplicação de resíduos na agricultura está o trabalho apresentado por Carvalho-Pupatto et al (2003), que demonstrou a eficiência da escória de alto-forno na cultura do arroz, provocando melhoria das condições químicas do solo, bem como no incremento do crescimento e superfície radicular, diminuição do diâmetro das raízes e elevação dos teores de silício no solo e na planta, gerando



consequentemente maior produtividade. No entanto, não foi avaliada uma possível contaminação do solo pela presença de metais pesados. Em contrapartida, Prado et al (2002), através de sua metodologia, constatou que a escória não é o corretivo mais adequado na cultura do alface.

Por outro lado, considerando-se os estudos na construção civil, teve-se como objetivo geral a avaliação da viabilidade de incorporação de resíduos e do desempenho dos materiais produzidos. A avaliação da escória em cimento compôs o tema mais comum das 17 pesquisas, sendo os demais relacionados ao uso para pavimentação, adição em clínquer e argamassa para fabricação de concreto, telhas e compósitos de cimento-borracha. Alguns dos estudos afirmaram a necessidade de ajustes no resíduo antes de sua incorporação ao produto/processo, em parâmetros como a basicidade e granulometria, a fim de se viabilizar seu uso (JUNIOR et al, 2011; ROHDE, NUÑEZ, CERATTI, 2003). Como exemplo bem-sucedido está a pesquisa de Freitas e Motta, na qual a aplicação de escória como agregado em misturas asfálticas de módulo elevado apresentou aspectos físicos e mecânicos de qualidade equivalente e, em alguns casos superior, à do agregado convencional (FREITAS, MOTTA, 2008). No ciclo do aço, o uso do pó de aciaria elétrica, adicionado ao forno em banhos de ferro-gusa líquido, também atendeu às expectativas, indicando a possibilidade de recuperação de zinco e ferro na forma de óxidos (GRILLO, TENÓRIO, OLIVEIRA, 2013).

Quanto às outras aplicações, muitos foram os resultados satisfatórios obtidos, principalmente visando soluções ambientais. O pó de aciaria elétrica, por exemplo, foi testado quanto à conversão do cromo hexavalente à trivalente, permitindo sua aplicabilidade em reações para remediação ambiental. Já o pó de alto-forno foi aplicado como fonte de ferro para degradação de um corante azo, mostrando-se promissor no tratamento de efluentes com tal corante, uma vez que não representa perigo quanto à lixiviação de outros metais presentes e promove aumento nas taxas de reação (PAULA et al, 2013; AMORIM, LEÃO, MOREIRA, 2009). Nos estudos com escórias, foram contemplados os usos como material de suporte para imobilização de biomassa em reatores anaeróbios para tratamento de compostos fenólicos, bem como agente inertizante de um resíduo proveniente de um passivo ambiental (FIA et al, 2010; PEREIRA et al, 2008). No primeiro caso, concluiu-se que a escória tem maior potencial de uso se comparado à espuma de poliuretano e brita. No segundo exemplo, foi possível atenuar a mobilidade de elementos contaminantes, a partir da disposição da escória acamada ao resíduo contaminado em células de acrílico, simulando o processo de lixiviação que ocorre quando são dispostos em aterros. Em outras pesquisas, também foram realizados estudos para a obtenção de sílica gel, vidros e corantes cerâmicos. Da mesma forma que a escória, a carepa foi aplicada como agente inertizante, em solo contaminado com cádmio e zinco e cultivado com eucalipto. A lama, quando submetida a um processo de reciclagem para recuperação de níquel e cromo, apresentou elevada eficiência (MAGALHÃES, SOBRINHO, MAZUR, 2011; SOBRINHO, TENÓRIO, 2004).

Por fim, com relação às recomendações dos autores, estas foram identificadas em poucos trabalhos, sendo sugeridos de modo geral: o uso/desenvolvimento de outras metodologias e ferramentas para uma avaliação mais adequada, bem como estudos mais específicos, tempo de avaliação mais prolongado, alterações no processo de preparação do resíduo como tratamento de superfície, avaliação de viabilidade econômica e experimentação em campo.

## 5. CONCLUSÃO

Através do presente trabalho foi possível delinear uma perspectiva acerca das oportunidades de pesquisa e desafios da reciclagem e reutilização de resíduos sólidos siderúrgicos, em âmbito nacional, ao longo de 53 anos. Constatou-se uma contribuição significativa da região Sudeste do Brasil na produção e publicação de estudos científicos nesta área, em especial do Estado de São Paulo, provavelmente pela maior concentração de indústrias e universidades nesta região. Ainda assim, faz-se importante o incentivo e subsídio para que outras regiões também possam se destacar no desenvolvimento de pesquisas no setor. Também foi possível verificar um interesse maior com relação às diferentes aplicabilidades das escórias, o que muitas vezes representa uma



perda de oportunidade para os demais resíduos, que também apresentam características tecnológicas e ambientais atraentes e viáveis de reciclo ou reutilização. A agricultura mostrou-se como a área que mais absorve os resíduos siderúrgicos, seguido da construção civil. É imprescindível, no entanto, o fomento contínuo de pesquisas na área, mesmo que com objetivos semelhantes aos estudos já disseminados, mas com a diferenciação de metodologias a fim de se viabilizar o uso de resíduos nos casos em que se constatou ineficiência ou mesmo otimizar os resultados anteriormente obtidos pelos pesquisadores. É válido destacar que os resultados encontrados estão limitados às condições de busca determinadas, pois a metodologia escolhida para a presente pesquisa considerou bases de dados amplamente utilizadas para a publicação de temas em geral e não para temas específicos da área. O desenvolvimento de estudos mais aprofundados poderá verificar de fato as possibilidades de alteração ou mesmo intensificação das tendências apontadas neste artigo.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, Adriana M. A. et al. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e de contaminantes para plantas de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.35, n.7, p.1483-1491, 2000.

ALMEIDA, Elisandro de. Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento)- Centro Universitário Univates, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Lajeado.

ALMEIDA, M.B.; MELO, G.B. Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

AMORIM, C.C.; LEÃO, M.D.; MOREIRA, R.M. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. *Eng. Sanit. Ambient.*, v.14, n.4, p.543-550, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n 12305 de 02 de agosto de 2010.

CARVALHO-PUPATTO, Juliana Garcia; et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. *Pesq. Agropec. Bras.* v.38, n.11, p.1323-1328, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Instituto Aço Brasil. A indústria do aço no Brasil. Brasília: CNI, 2012. 48 p.

CUNHA, Adriano Ferreira da; et al. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. *Esc. Minas, Ouro Preto*, v. 59, n. 1, p. 111-116, 2006.

FIA, Fátima. R. L.; et al. Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte. *Eng. Agríc. Ambiental*, v.14, n.10, p.1079-1086, 2010.

FREITAS, Hérika Braga de; MOTTA, Laura Maria Gorettida. Uso de escória de aciaria em misturas asfálticas de módulo elevado. *Transportes*, v.16, n.2, p.5-12, 2008.

GRILLO, Felipe F.; TENÓRIO, Jorge A. Soares; OLIVEIRA, José R. de. Caracterização e adição de poeira de aciaria elétrica em ferro-gusa. *Esc. Minas, Ouro Preto*, v.66, n.3, p.301-307, 2013.



- INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). Aço & sustentabilidade. (folder). Rio de Janeiro, 2015.
- INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). Relatório de sustentabilidade 2014. Rio de Janeiro, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (IBS). Siderurgia Brasileira: princípios e políticas. 2007. Disponível em: <<http://www.ibs.com.br>>.
- JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano; et al. Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302p.
- JUNIOR, Luiz Alberto B. Pinto; et al. Caracterização da mistura de resíduos de granito e escória de aciaria LD. Esc. Minas, Ouro Preto, v.64, n.2, p.169-174, 2011.
- LOBATO, Natália C. C. Gerenciamento de resíduos sólidos da indústria siderúrgica. 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, BH, 2014.
- MAGALHÃES, M. L.; SOBRINHO, N.A.; MAZUR, N. Uso de resíduos industriais na remediação de solo contaminado com cádmio e zinco. Ciência Florestal, Santa Maria, v.21, n.2, p.219-227, 2011.
- MANSFELDT, T.; DOHRMANN, R. Chemical and mineralogical characterization of blast-furnace sludge from an abandoned landfill. Environmental Science Technology, v. 38, p. 5977-5984, 2004.
- MARTÍN, M. I.; LÓPEZ, F. A.; TORRALBA, J. M. Production of sponge iron powder by reduction of rolling mill scale. Ironmaking and Steelmaking, v. 39, n. 3, p. 155-162, 2012.
- MOURÃO, Marcelo Breda (coord.). Introdução à siderurgia. São Paulo, ABM, 2011.
- OLIVEIRA, Míriam Regina Cardoso de; MARTINS, Jader. Caracterização e classificação do resíduo sólido "Pó do Balão", gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: estudo de um caso na região de Sete Lagoas/MG. Quim. Nova, v.26, n.1, p.5-9. 2003.
- PAULA, L. N.; et al. Modificação e caracterização do resíduo pó de aciaria elétrica (PAE) para aplicação em reações de redução de cromo (VI). Quim. Nova, v.36, n.9, p.1332-1337, 2013.
- PEREIRA, Hamilton Seron; et al. Reatividade de escórias silicatadas da indústria siderúrgica. Ciênc. agropec., Lavras, v. 34, n. 2, p. 382-390, 2010.
- PEREIRA, Wilma de Carvalho; et al. Alternativas de utilização de resíduos sólidos alcalinos na disposição de resíduos contaminados: Estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Eng. Sanit. Ambient., v.13, n.2, p.163-170, 2008.
- PRADO, R. M.; et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.37, n.4, p.539-546, 2002.
- ROHDE, Luciana; NUÑEZ, Washington P.; CERATTI, Jorge A. P. Escória de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais. Transportes, v.11, p.13-18, 2003.
- SOBRINHO, Pedro J. Nolasco; TENÓRIO, Jorge A. Reciclagem da poeira e lama geradas na fabricação de aço inoxidável. Esc. Minas, Ouro Preto, v.57, n.2, p.121-127, 2004.