



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



DESENVOLVIMENTO DE COMBUSTÍVEL ALTERNATIVO A PARTIR DA APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA

DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE FUEL THROUGH THE APPLICATION OF REVERSE LOGISTICS

DESARROLLO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA

Handerson Rosa da Silva¹; Nataly Senna Gerhardt Barraqui²

¹ Centro Universitário Salesiano, ² Universidade Federal do Espírito Santo

¹ handerson.rosa13@gmail.com ² nataly.gerhardt@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

PALAVRAS-CHAVE: Logística Reversa; Pelotização;

Reaproveitamento; Solução; Meio ambiente.

KEYWORDS: Reverse Logistics; Pelletizing; Residue; Reuse; Solution.

PALABRAS CLAVE: Logística Inversa; pelletización; Residuo; Reutilizar; Solución.

*Autor Correspondente: Handerson, da Silva.

RESUMO

A produção de aço é uma das atividades que mais geram valor no Brasil, onde uns dos seus principais insumos são minério de ferro e carvão mineral. A manipulação destes pode gerar inúmeros efeitos no meio ambiente onde a indústria está inserida, mesmo mantendo boas medidas de mitigação de impactos ambientais. Para as indústrias siderúrgicas, a preferência por práticas mais sustentáveis não somente ajuda a preservar o meio ambiente, mas também pode ser uma vantagem competitiva. Durante a transformação dos insumos minerais para o aço são diversas as etapas até a conclusão final onde se tem o produto pronto, ao recorrer do fluxo produtivo as máquinas trabalham para alterar formas e, com isso, são gerados resíduos que por muitas das vezes não tem mais utilidade para voltar para o processo. Diante disso, este trabalho tem como objetivo aplicar os conceitos de logística reversa a fim de fazer o reaproveitamento do resíduo gerado a partir do processo de fabricação do aço, aplicando-o novamente em um sistema de produção para confecção de um novo produto.

ABSTRACT

Steel production is one of the activities that generate the most value in Brazil, where one of its main inputs are iron ore and mineral coal. The manipulation of these can generate numerous effects on the environment where the industry is located, even while maintaining good measures to mitigate environmental impacts. For the steel industry, the preference for more sustainable practices not only helps preserve the environment but can also be a competitive advantage. During the transformation of mineral inputs into steel there are several steps until the conclusion where the product is ready, when using the production flow, the machines work to change shapes and, as a result, waste is generated that often has no more usefulness to get back to the process. Therefore, this work aims to apply the concepts of reverse logistics to reuse the waste generated from the steel manufacturing process, applying it again in a production system to manufacture a new product.

RESUMEN

La producción de acero es una de las actividades que más valor genera en Brasil, donde uno de sus principales insumos es el mineral de hierro y el carbón mineral. La manipulación de estos puede generar numerosos efectos en el entorno donde se ubica la industria, aun manteniendo buenas medidas para mitigar los impactos ambientales. Para la industria siderúrgica, la preferencia por prácticas más sostenibles no sólo ayuda a preservar el medio ambiente, sino que también puede ser una ventaja competitiva. Durante la transformación de los insumos minerales en acero existen varios pasos hasta la conclusión donde el producto está listo, al utilizar el flujo de producción las máquinas trabajan para cambiar de forma y como resultado se generan residuos que muchas veces ya no tienen utilidad para obtener. volver al proceso. Por ello, este trabajo pretende aplicar los conceptos de logística inversa con el fin de reutilizar los residuos generados en el proceso de fabricación del acero, aplicándolos nuevamente en un sistema productivo para fabricar un nuevo producto.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um valor fundamental para a sociedade do século XXI. De acordo com informações das Nações Unidas, no ano de 2022, o mundo atingiu o número de oito bilhões de pessoas, ou seja, em menos de 50 anos do século XX houve um salto populacional onde os habitantes foram multiplicados por três. Esta evolução consequentemente gerou um enorme impacto para o meio ambiente (CANEJO, 2022; FREITAS, 2011; ONU NEWS, 2022).

Essa alarmante situação suscitou uma preocupação em escala mundial sobre a geração de resíduos sólidos e suas consequências. Pois para atender às necessidades da sociedade, os recursos naturais são transformados em produtos industrializados que são descartados quando chegam ao fim de sua vida útil, ou seja, esses recursos chegam aos fins para os quais foram criados, gerando o que se chama de resíduos sólidos (ABU HAJAR et al., 2020).

O crescente aumento do descarte desse material no meio ambiente se deve por este crescimento desordenado da população e da renda per capita, relacionado ao processo inadequado de produção e consumo, levando, à deterioração do ambiente natural (ABU HAJAR et al., 2020).

Com isso, as questões ambientais começaram a ser debatidas e mecanismos foram procurados para amenizar a pressão da sociedade em relação ao meio ambiente (GOUVEIA, 2012).

Diante desse cenário, a inovação orientada para a sustentabilidade pode incluir recursos renováveis, logística reversa, ecoeficiência, cadeia de suprimentos verde e o envolvimento de toda a cadeia de suprimentos. Também pode ser considerada uma estratégia de negócios ecologicamente correta (HANSEN et al., 2009; KATSIKEAS et al., 2016).

A logística reversa é uma área que está relacionada com a logística empresarial, tendo como objetivo o retorno dos bens que foram utilizados pelos consumidores ao ciclo de negócios, tanto no pós-compra quanto no pós-consumo, com o intuito de agregar valor ao produto, em âmbito, econômico, ecológico, legal, logístico, ou mesmo no que diz respeito à imagem corporativa (LINHARES, 2008).

A cada tonelada de aço produzida são gerados cerca de 594 quilos de resíduos. Se toda essa sobra de fabricação do aço for destinada somente em aterros, provavelmente teríamos um grande problema ambiental. Muitas indústrias substituíram a destinação em aterros industriais ou aproveitamento dentro dos processos internos desenvolvendo estratégias para transformar esse passivo ambiental em uma fonte de receitas.

Para que os resíduos sólidos sejam usados ou dispensados pelas indústrias de forma correta, devem seguir alguns procedimentos até a sua destinação final, seguindo uma ordem de precedência, minimização da geração de resíduos, reutilização, reciclagem e tratamento (COELHO et al, 2011).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), no ano de 2022, o Brasil destinou de forma ambientalmente incorreta 39% dos resíduos sólidos urbanos, correspondendo a mais de 29 toneladas de resíduos sólidos.

A partir disso, com fulcro no Art. 9 da PNRS, há uma ordem de prioridade para a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010). Importante destacar que em 2022 houve a instituição do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o Planares, por meio do Decreto Federal nº 11.043, com a função de estabelecer diretrizes, estratégias e metas para impulsionar a gestão de resíduos sólidos no Brasil.

Nesse sentido, o objetivo da presente pesquisa está relacionado nos conceitos da logística reversa, com o intuito de analisar soluções alternativas para o destino dos resíduos sólidos gerados a partir da fabricação de aço no meio ambiente de modo a auxiliar na busca da mitigação dos impactos ambientais gerados por indústrias desse ramo e que possa contribuir financeiramente para a empresa alvo do estudo.

Especificamente foi realizado os seguintes passos: analisar os possíveis impactos, tanto ambientais quanto sociais e econômicos, gerados pela má gestão de resíduos de aço; verificar a possibilidade de o resíduo proveniente do processo de confecção do aço ser reaproveitado em algum processo, como por exemplo, na produção de pelotas de minério e fazer um levantamento do comparativo de qualidade em relação a outros tipos de combustíveis sólidos.

METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada uma revisão de literatura sobre logística reversa de resíduos. O trabalho em questão apresenta a sua base através de material encontrado em artigos científicos publicados. Assim, a pesquisa baseou-se, principalmente, nos estudos de artigos científicos, revistas e mídias eletrônicas, confiáveis, sendo também realizada, uma revisão de literatura.

Para Lakatos e Marconi (2011), a pesquisa bibliográfica refere-se àquela na qual se realiza a partir de material disponível, decorrente de pesquisas anteriores em documentos impressos, como livros artigos, periódicos, e outros de forma objetiva, a pesquisa é qualitativa considerada aplicada, cujo principal objetivo é a geração de conhecimento, dirigidos à solução de problemas específicos.

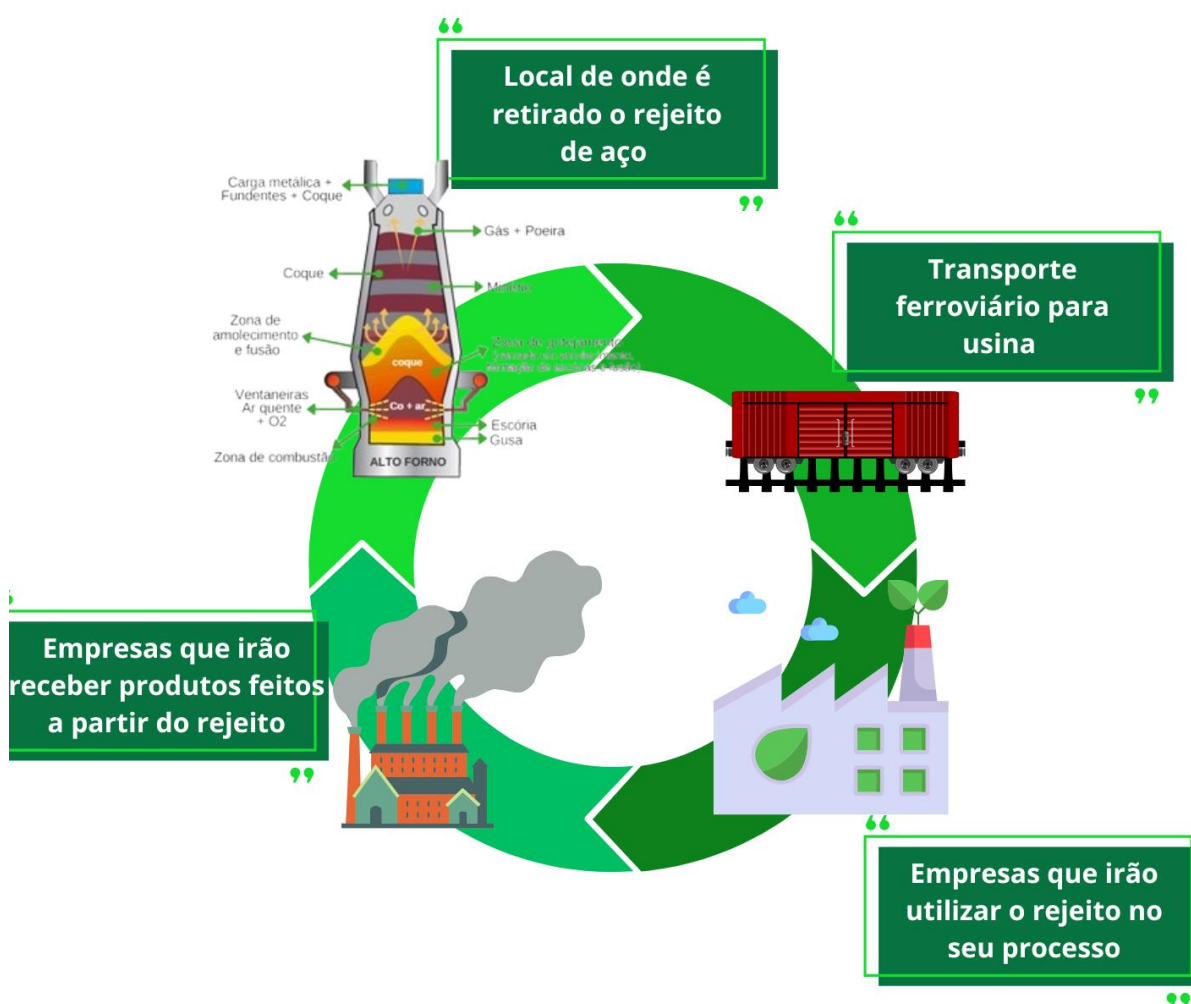
Esta pesquisa se deu pelo caráter quantitativo que para Ciribelli (2003) o método científico pode ser definido como um conjunto de etapas e instrumentos pelo qual o pesquisador direciona seu projeto de trabalho com critérios alcançar dados que suportam ou não sua teoria inicial. E, também, se caracteriza como pesquisa aplicada já que tem por finalidade desenvolver algum conhecimento, método, produto ou até mesmo uma solução que pode ser aplicada na prática. Neste tipo de pesquisa, a intenção é propor uma mudança ou experimento em algum assunto. Quanto aos fins a pesquisa se desenvolveu como descritiva, uma vez que é um tipo de pesquisa baseada em assuntos teóricos, ou seja, é aquela em que você utiliza livros e artigos.

A partir das pesquisas e revisões de literatura foi identificado a oportunidade de analisar o processo de fabricação de aço de uma empresa do ramo siderúrgico. Com base nisso, foi constatado a possível utilização de um resíduo proveniente do sistema produtivo da siderurgia no desenvolvimento de novos produtos como, por exemplo, o de fabricação de pelotas.

Em seguida, se analisou a viabilidade técnica e econômica do pó de balão verificando se suas composições químicas atendem às especificações necessárias para a utilização como combustível alternativo. Também foi feita uma análise do rejeito em relação ao meio ambiente, no âmbito físico, social e econômico.

GRAPHICAL ABSTRACT - RESUMO GRÁFICO - INFOGRÁFICO

Figura 1. Representação do Graphical Abstract



Fonte: Arquivo próprio (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO AÇO

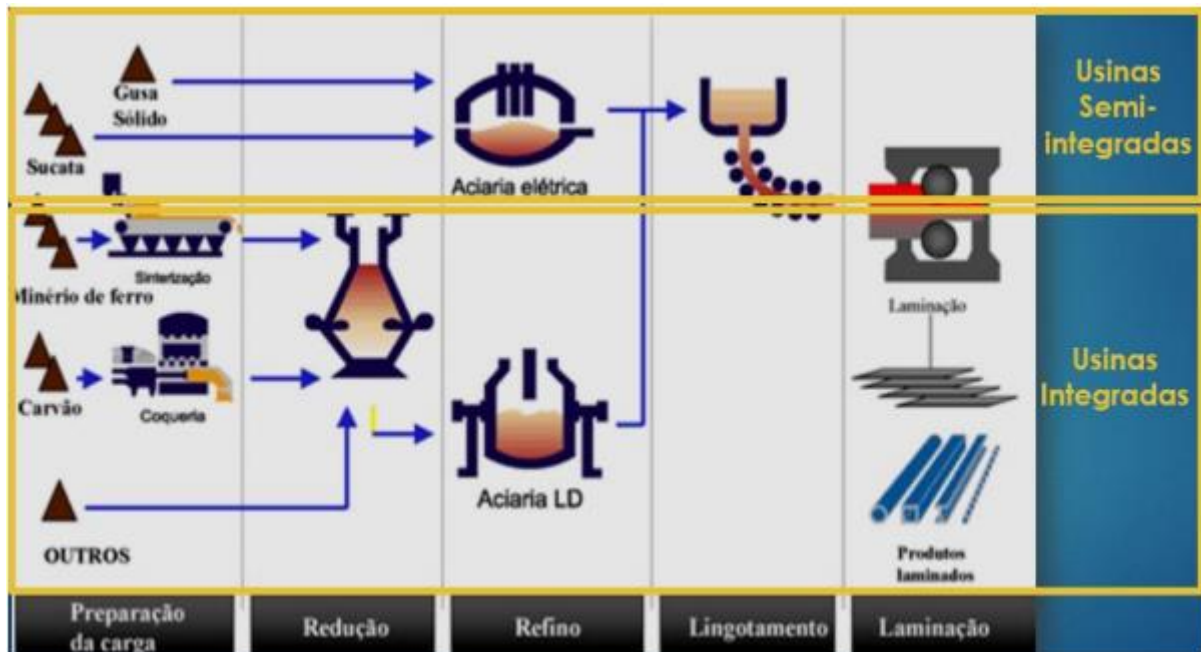
O aço, essencialmente é uma liga de Ferro (Fe) que é obtido a partir do minério e Carbono (C) que tem como fonte o carvão mineral e o cal na indústria siderúrgica, onde exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível e como redutor, associando-se ao Oxigênio (O) que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. Este processo é conhecido como redução e ocorre no alto forno.

O minério de ferro e o carvão sofrem um pré-processamento que visa aumentar o rendimento e economia do processo no alto forno, esta etapa é conhecida como preparação da carga. Os finos do minério de ferro passam por um processo de aglomeração, via sinterização ou pelletização, dando origem, respectivamente, ao sinter e às pelotas que são usadas, além do minério de ferro de maior granulometria, na carga do alto-forno. O carvão é processado na coqueria para retirar os compostos voláteis e transforma-se em coque. Estes materiais são carregados no alto forno onde ocorre a etapa de redução.

A etapa seguinte do processo é o refino. Nesta etapa do processamento na aciaria divide-se em refino primário e refino secundário onde são geradas também as escórias de aciaria. O refino primário acontece no conversor a oxigênio ou elétrico, onde o Ferro-gusa, geralmente adicionado à sucata de aço, é transformado em aço. Nesta fase, o Silício (Si), o Manganês (Mn) e principalmente o Carbono (C) são removidos. No refino secundário são feitas as correções mais específicas e controladas do processo de produção e posteriormente passam por um processo de lingotamento onde será feita a solidificação do aço (resfriamento), em um formato adequado para posterior processo de conformação a quente.

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. Os semiacabados, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química. A Figura 2 ilustra de forma simplificada o processo citado anteriormente para um melhor entendimento.

Figura 2 - Fluxo simplificado de produção do aço

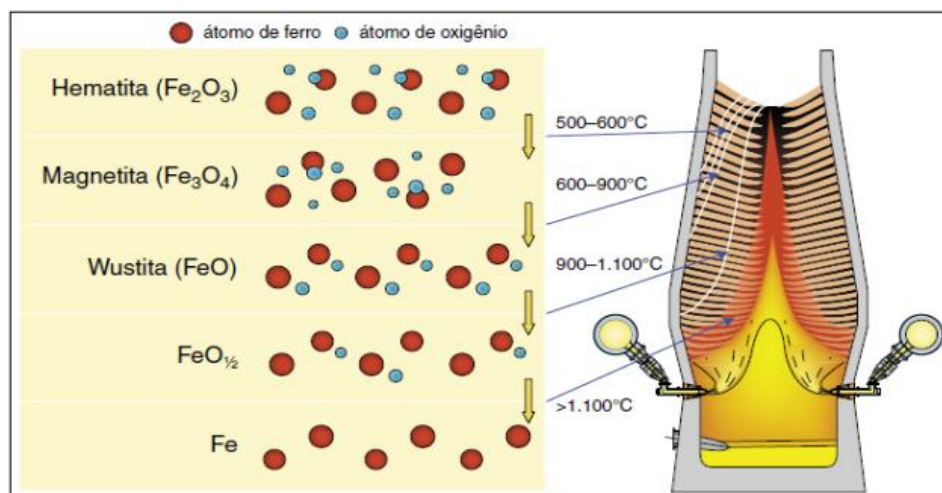


Fonte: IABR, 2008 (Adaptado)

VIABILIDADE TÉCNICA DO PÓ DE BALÃO

A partir da análise do fluxo produtivo do aço iremos observar com mais criticidade a etapa de redução, onde está localizado o alto-forno. Nessa parte do processo, o oxigênio, aquecido a uma temperatura a partir de 1000 °C, é soprado pela parte de baixo do alto forno. O coque, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa. Conforme podemos observar na figura 3 a seguir:

Figura 3 – Esquema de redução dos óxidos de ferro e temperatura



Fonte: GEERDES et al., 2004.

No alto-forno, além de ferro-gusa e escória, são produzidos os seguintes subprodutos: gás de baixo poder calorífico, pó e lama. Gerando assim diversas oportunidades de reutilização, seja no mesmo processo ou na geração de um novo produto, que é o objetivo deste projeto.

O gás que deixa a goela do alto-forno (chamado gás de alto-forno) arrasta consigo partículas finas da carga normalmente menores que 1 mm na taxa de 5 – 28 g/Nm³. Ao sair do alto-forno os gases passam primeiro pelo coletor de pó, onde, devido ao alargamento da seção, perdem velocidade e depositam as partículas mais grosseiras (6 – 17 kg/t gusa).

O pó de balão é drenado por um sistema de válvulas na parte inferior e é normalmente enviado para a sinterização. Os particulados no pó do alto-forno são constituídos basicamente de óxidos metálicos e materiais carbonosos (MOURÃO et al., 2007), aproximadamente é composto por 25 a 40% de Ferro (Fe); 40 a 45% de Carbono (C); 5 a 7% de Dióxido de Silício (SiO₂) e 2 a 4% de Conteúdo arterial de Oxigênio (CaO) (MACHADO, 2009). Conforme ilustração (Tabela 1) a seguir para uma melhor visualização dos dados.

Tabela 1 – Representação da composição química do pó de balão

Elemento químico	Qtd. (%)
C	40 - 45
Fe	25 – 40
SiO ₂	5 – 7
CaO	2 – 4

Fonte: Arquivo próprio

COMPARAÇÕES COM COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

Do ponto de vista químico, os carvões caracterizam-se pelo alto teor de carbono, normalmente 55% a 95%. De acordo com esse teor, têm-se, dos tipos menos ricos para os mais ricos em carbono: turfa, linhito, hulha (ou carvão betuminoso) e antracito. Um grau de pureza ainda maior que o do antracito seria o da grafita, mas ela não é combustível.

Esses tipos de carvão constituem a série dos carvões e traduzem o grau de evolução (*rank*) do processo de transformação da matéria vegetal, ou seja, o grau de carbonificação. Além do *rank*, é também importante, na classificação dos carvões, o grade, que é a relação entre a matéria orgânica e a matéria inorgânica na camada.

Tabela 2 – Representação do grau de carbonificação dos tipos de carvão

Carvão	% de Carbono (C)
Pó de balão	40 - 45
Turfa	55 a 60
Linhito	67 a 78
Hulha	80 a 90
Antracito	96

Fonte: Arquivo próprio

O poder calorífico, propriedade fundamental, é inferior a 4.000 kcal (quilocalorias) nos linhitos e turfas, 4.424kcal no pó de balão e entre 7.000 e 8.650 kcal nos demais carvões. A turfa tem a característica de permitir claramente a identificação dos restos vegetais.

Ao ser comparado com os demais tipos de combustíveis sólidos podemos notar que o nível de Carbono do pó de balão está abaixo dos demais tipos de carvão existentes, porém conta com um valor aproximado, 10% em relação ao Turfa, e seu poder calorífico é maior em comparação com os linhitos e turfa, sendo assim uma possível forma alternativa de combustível sólido.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos em uma análise imediata (teor de umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo) do carvão fino e pó de balão (análise global).

Tabela 3: Análise do carvão e pó

Amostra	Umidade (%)	Cinza (%)	Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)
Carvão	0,73	11,25	18,51	70,24
Pó de balão	1,80	35,14	18,46	46,40

Fonte: SILVA, 2016

Segundo dados fornecidos por siderúrgicas brasileiras, o limite de umidade de carvões desejado para fins de injeção é 2%. É desejável que o teor de cinzas de um carvão para injeção esteja abaixo de 10% e a matéria volátil no intervalo de 10 a 40% (CALDEIRA, 2006). O intervalo ideal para carbono fixo deve ser de 68 a 91% (CALDEIRA, 2006).

O pó de balão possui elevado teor de cinzas e baixo teor de carbono fixo, o que prejudica o comportamento do material como combustível. Neste trabalho não foi realizada a análise química da cinza remanescente, mas é possível que essa cinza possua natureza ferrosa em função da composição do PB, o que exigiria uma temperatura de chama maior que a dos padrões normais para ser capaz de consumi-la.

Com base em dados obtidos em artigos em que foram realizadas misturas entre o carvão mineral e pó de balão, que posteriormente foram submetidas aos ensaios de combustão no simulador de injeção de materiais pulverizados. Sabe-se que as amostras utilizadas possuíam

130mg, o que representa uma taxa de injeção de 130kg/t gusa no processo industrial. A Tabela 4 apresenta os resultados das amostras analisadas.

Tabela 4: Resultados da análise química imediata das amostras

Amostra	Mistura	Umidade (%)	Matéria volátil (%)	Cinza (%)	C fixo (%)
1	CV 100%	0,73	18,51	11,25	70,24
2	PB 100%	1,80	18,46	35,14	46,40
3	Mix 95/5*	0,78	18,51	12,44	69,05
4	Mix 90/10*	0,84	18,51	13,64	67,86
5	Mix 85/15*	0,89	18,50	14,83	66,66
6	Mix 70/30*	1,05	18,50	18,42	63,09

*percentual de pó de balão na mistura

Fonte: SILVA, 2016

Um teor elevado de cinzas pode comprometer significativamente o desempenho do combustível, tanto em termos de energia gerada quanto em relação aos resíduos produzidos. Normalmente, quanto maior o teor de cinzas, menor será o índice de combustão e a taxa de substituição, quando se pratica a ICP (BRITO, 1993). Elevado teor de cinzas é prejudicial tanto no alto-forno, quanto na ICP. Nos dois casos as cinzas consomem calor e ocupa volume dentro da partícula e do alto-forno.

A perda de matéria volátil aumenta a porosidade do carvão e o consumo do carbono faz crescer o teor de cinzas. A reatividade é influenciada diretamente na quantidade de material volátil do carvão vegetal. Durante o processo de combustão do carvão no interior do “raceway”, verifica-se que maiores porcentagens de materiais voláteis, no carvão, aumentam a reatividade do mesmo para o carvão mineral

A água (umidade) é extremamente prejudicial à operação no alto-forno e no caso da ICP provoca perda de calor, aumentando o consumo específico de carbono e diminuindo a resistência do carvão vegetal (MORAIS, S. 64 et al. 2005) e particularmente para os sistemas de injeção induz a entupimento dos vasos de transporte de carvão pulverizado para ventaneiras.

Portanto, o excesso ou a falta de alguns desses componentes pode ser bastante prejudicial ao processo de siderúrgicas que utilizam combustível sólido no desenvolvimento de seus produtos e, também, podemos perceber que a utilização de pequenas porcentagens de pó de balão não altera de forma muito significativa os resultados da análise química em relação ao uso 100% de carvão mineral. Os índices de combustão dos materiais em proporção única e em misturas podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do índice de combustão das misturas

Amostra	Mistura	Índice de combustão
1	CV 100%	75,20
2	PB 100%	45,20
3	Mix 95/5*	71,90
4	Mix 90/10*	68,60
5	Mix 85/15*	65,00
6	Mix 70/30*	58,60

*percentual de pó de balão na mistura

Fonte: SILVA, 2016

O teor de carbono fixo do carvão vegetal é uma das características mais importantes no procedimento de qualificação, uma vez que está diretamente correlacionado com o poder calorífico desse combustível (BATAUS et al., 1989). Quanto maior a quantidade de carbono fixo, maior será o índice de combustão.

O índice de combustão do pó de balão é relativamente baixo em comparação ao carvão mineral, porém ao ser realizado uma mistura em que se utiliza 5% de pó de balão e 95% de carvão obtivemos um valor aproximado ao do combustível sólido que é utilizado de forma significativa nas siderúrgicas, portanto, podendo-se considerar uma alternativa sustentável para o mercado de aços no mundo.

ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL

As siderúrgicas integradas geram diversos tipos e em grande quantidade de resíduos sólidos. Estes resíduos podem ser classificados em 3 grandes grupos; os ditos recicláveis contendo ferro, os finos de coque e as escórias. Entre os recicláveis contendo ferro estão: as poeiras e lamas de alto-forno e de aciaria; a lama de tratamento de água de laminação; poeiras de sinterização; e outros. As escórias são basicamente as geradas no alto-forno, na aciaria e no lingotamento contínuo (TAKANO et al., 2000). No ano 2000, Takano et al. citou dados estimativos sobre a geração de resíduos siderúrgicos, os quais são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Geração estimada de resíduos siderúrgicos no mundo em 1987

	MUNDO		BRASIL
	kg/t gusa ou aço	Milhões t/ano	Milhões t/ano
RECICLÁVEIS	43⁽²⁾	30	1,2
Poeira de Alto Forno	1 a 2 ⁽³⁾ (***)	0,5 a 1,0	0,02 a 0,04
Lama de Alto forno	< 1 ⁽³⁾ (***)	~0,2	~0,001
Poeira de Sinterização	15 ⁽³⁾ ?	7	0,3
Finos de coque	?	?	?
Lama grossa do conversor	5-6 ⁽³⁾	2,5	0,1
Lama fina do conversor	17 ⁽³⁾	8	0,34
CAREPAS	10-20 ⁽³⁾	7	0,3
POEIRA ACIARIA	15 ⁽³⁾	4,6	0,07
ELETRICA			
ESCORIA A F	150 a 350 (300) ⁽³⁾	140	6,0
ESCÓRIA CONVERSOR	100 ⁽³⁾	47 (*)	2,0 (**)
ESCÓRIA LINGO. CONT	30-35	17(*)	0,7 (**)
ESCORIA ACIARIA ELETRICA	15 ⁽³⁾	5(*)	0,075

Fonte: TAKANO et al., 2000.

(*) 60% de aço por conversor e 40% por aciaria elétrica e (**) 80 e 20% respectivamente; (***) Pós e lamas por produção de gusa = 16,9kg/t gusa e para aciaria = 16kg/t de aço. A recuperação dos valores metálicos contidos nos resíduos sólidos acima mencionados passou a ser muito importante tanto do ponto de vista das restrições legais impostas pelas legislações relativas à proteção do meio ambiente, como do ponto de vista econômico, por contribuírem para a compensação dos custos de instalação e operação de equipamentos antipoluição instalados nas usinas.

Um dos resíduos mais problemáticos produzidos por usinas siderúrgicas é o pó de balão, material coletado pelo sistema de limpeza a seco dos gases do alto forno. Sabe-se que a destinação de 74% do resíduo sólidos “pó do balão do alto-forno/pó do balão”, se dá a céu aberto nos pátios das empresas, possibilitando a contaminação do solo e dos corpos d’água locais e ainda, que a falta de políticas e diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais constitui um dos problemas ambientais mais graves, com o qual o setor siderúrgico tem se deparado nos últimos tempos.

Esse resíduo, dentro das condições estudadas, foi caracterizado e classificado como Resíduo Perigoso “Classe I- Perigoso”, aqueles que apresentam periculosidade: Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (NBR 10004).

Já no meio social, muitas pessoas que residem próximo às siderúrgicas relatam o excesso de pó preto em suas residências. Em janeiro de 2016, as medições de pó preto realizadas nas estações de monitoramento de Vitória retratam o que tanto tem incomodado a população: em quatro, das cinco unidades, os limites estabelecidos para este tipo de poeira foram ultrapassados (NOBRES, 2016).

Além disso, a adoção de práticas de produção mais eficientes e a implementação de estratégias de economia circular podem gerar redução de custos e maior eficiência empresarial. Considerando os dados da MIP de 2018, atualizada pelos critérios de Passoni e Freitas (2020), em relação ao total de seus valores de produção, a demanda total por carvão mineral no Brasil foi de R\$ 15.397 milhões. Sendo assim, a possível utilização de combustível alternativo reduziria de forma considerável o custo com carvão mineral e, também, mitigaria a extração deste recurso natural afim de evitar possíveis escassez no futuro da mineração.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de algumas aplicações do pó de balão em diferentes ramos do mercado.

Tabela 7: Resultados das aplicações do pó do alto-forno

APLICAÇÃO	RESULTADO
Material vitrocerâmico magnético	O material apresentou boa resistência ao desgaste e durabilidade química
Produção de partículas cerâmicas usadas como suportes de biofilme em filtros biológicos aerados	O material tem potencial para uso como meio suporte em filtro biológico aerado para tratamento de águas residuais
Produção de pellets	Aumento na resistência dos pellets produzidos, porém a produtividade da máquina de sinterização diminuiu.
Fabricação de briquetes autorredutores	A adição do pó do alto-forno junto com a carepa melhorou a resistência à compressão dos briquetes
Redutor de contaminantes orgânicos e metais tóxicos	Os resultados mostraram que o pó do alto-forno tem potencial para ser utilizado como redutor de contaminantes orgânicos
Produção de pigmento preto à base de óxido de ferro	O pigmento apresentou reflectância menor que 4% e uma boa absorção de óleo (23%)

Fonte: CHAVES e OLIVEIRA, 2020

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi motivado pela preocupação com os possíveis impactos ambientais decorrentes do manejo inadequado de insumos metalúrgicos, os quais podem causar sérios danos não apenas aos seres humanos, mas a toda a biodiversidade. Além disso, destaca-se a oportunidade de reduzir os custos operacionais da empresa ao utilizar resíduos, que usualmente são descartados em aterros, e que possuem um valor de mercado significativamente inferior aos insumos convencionais.

A não aplicação das medidas de logística reversa compromete a sustentabilidade do processo de fabricação do aço, cujo objetivo é minimizar os impactos ambientais dos resíduos gerados

durante a produção metalúrgica. Por outro lado, a adoção de práticas sustentáveis emerge como uma alternativa eficaz para atenuar as consequências dos processos siderúrgicos, além de reduzir expressivamente os custos operacionais envolvidos na fabricação de produtos de aço.

A implementação da logística reversa para o reaproveitamento de resíduos como combustível alternativo não só promove a preservação ambiental, mas também contribui para a eficiência econômica da indústria siderúrgica. Este enfoque sustentável, portanto, reflete um compromisso com o desenvolvimento responsável e a inovação na gestão de resíduos industriais.

REFERÊNCIAS

- ADEIPE N. O. et al (2005). Waste management, processing, and detoxification. In: CHOPRA, K. et al. (Ed.) Millennium Ecosystems Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Policy Responses: findings of the Responses Working Group. Washington, DC: Island Press v.3, p.313-34.
- ALVES-PASSONI, P.; FREITAS, F. (2020); Estimação de Matrizes Insumo-Produto anuais para o Brasil no Sistema de Contas Nacionais Referência 2010. Texto para Discussão, 025/2020, Instituto de Economia/IE, UFRJ. 2020. Recuperado em: https://www.ie.ufrj.br/images/IE/TDS/2020/TD_IE_025_2020_ALVES-PASSONI_FREI-TASv2.pdf
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe). (2022). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. São Paulo: Abrelpe.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2004) NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 71p.
- BARBIERI, C. C. T. (2013), Estudos de Misturas de Carvões e Biomassa Visando a Combustão em Alto-forno. 2013. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. p. 3-36.
- BATAUS, L. A. M.; PINTO, H. B. A. (1989). Análise filogenética de anuros da espécie *Hyla albopunctata* (Anura: Hylidae). In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2., 1989, Goiânia. Anais eletrônicos do II Seminário Pesquisa e Pós-Graduação [CD-ROM], Goiânia: UFG, 1989.
- BRASIL (2010). Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- BRITO, J. O. (1993). Determinação do Índice de Combustão e da Taxa de Substituição de Briquetes de Carvão Vegetal. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, 1993.
- CALDEIRA, J. G. (2006), Injeção de carvão em altos fornos com alta produtividade. Curso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Santos, SP.
- CANEJO, C (2022). Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: Editora Freitas Bastos, 2022.
- CIRIBELLI, Marilda Corrêa (2003). Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica. Marilda Ciribelli Corrêa, Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.
- CHAVES, N.; OLIVEIRA, R. (2020); As alternativas de aproveitamento do pó do alto-forno: uma revisão. Instituto Federal/IF, IFRJ. 2020.
- COELHO, H. M. G. et al (2011). Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, set. 2011.
- FREITAS, J (2011). Sustentabilidade: direito ao futuro. Belo Horizonte: Fórum, 2011.

GOUVEIA, N (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & saúde coletiva*, v.17, n.6, p.1503-1510, 2012.

HAJAR, Husam A. Abu et al (2020). Assessment of the municipal solid waste management sector development in Jordan towards green growth by sustainability window analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, p. 120539, 2020.

IABR- Instituto Aço Brasil (2015). Estadísticas. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>

KLUNDER, A. et al (2001). Concept of ISWM. Gouda: Waste, 2001.

MACHADO, F. S. (2009), Aproveitamento energético de finos de carvão em alto-forno, visando redução de emissões e obtenção de créditos de carbono. 2009. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009. p. 15-28.

MORAIS, Artur (2005). Concepções e Metodologias de Alfabetização. Dissertação de Mestrado, UFPE, 2005.

MOURÃO, M. (2007), Introdução à Siderurgia. ABM, São Paulo, 2007. p. 55-100.

RIZZO, E. M. S. (2010). Análise de sustentabilidade dos processos siderúrgicos. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, São Paulo, 2010.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. (2001). An Examination Of Reverse Logistics Practices. *Journal of Business Logistics*, v. 22, n. 2, p. 129–148, 2001.

HANSEN, Erik G.; GROSSE-DUNKER, Friedrich; REICHWALD, Ralf. (2009). Sustainability innovation cube—a framework to evaluate sustainability-oriented innovations. *International Journal of Innovation Management*, v. 13, n. 04, p. 683-713, 2009.

KATSIKEAS, Constantine S.; LEONIDOU, Constantinos N.; ZERITI, Athina (2016). Eco-friendly product development strategy: antecedents, outcomes, and contingent effects. *Journal of the Academy of Marketing Science*, v. 44, n. 6, p. 660-684, 2016.

LINHARES, A.C.S., CARDOSO, P.A., & CANGIOLIERI Jr, O. (2008). Logística Reversa: O caso do destino de produtos químicos e vidrarias de uma instituição de ensino profissionalizante em Curitiba.

MIRANDA, C. S. FERREIRA, K.M.; SOUSA, A.G.S.; SOUZA, F.M.; FERREIRA FILHO, H.R. (2020). Logística reversa de medicamentos: percepção da população do município de Redenção-PA quanto ao descarte destes resíduos. In *Anais do XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. 2020. Foz do Iguaçu, Paraná, out. 2020. p.1-11.

NOBRES, J. ARPINI, N. REZENDE, R. e MACHADO, V. (2016). Entenda o que é o pó preto que polui o ar e o mar de Vitória há anos. 26 jan. 2016. Recuperado de <https://g1.globo.com/espirito-santo/noticia/2016/01/entenda-o-que-e-o-po-preto-que-polui-o-ar-e-o-mar-de-vitoria-ha-anos.html>

NETO, F. B., Neto, J B. F., Takano, C., Mourão, M. B. (2000), Avaliação da Reatividade de Produtos Carbonosos. 61 Congresso Anual da ABM, 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro-RJ, V. 1, p. 9 - 16.

NHAN, ANNP; SOUZA, C.; AGUIAR, R. (2003). Logística reversa no Brasil: A visão dos especialistas. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP. 23, 2003, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ABREPO Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.

ONU News (2024). População mundial atinge 8 bilhões de pessoas. Nações Unidas News. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>

SILVA, Hárley. (2016). EFEITO DA ADIÇÃO DE PÓ DE BALÃO NA COMBUSTIBILIDADE DO CARVÃO PULVERIZADO INJETADO NO ALTO-FORNO, Ouro Preto, MG.

ZORPAS, A. A.; PEDREÑO, J. Navarro; CANDEL, BM Almendro. (2021). Heavy metals overview in the framework of wastewater, sewage sludge, and soil treatment and removal. The study-case of zeolite. *Arabian Journal of Geoscience*, v. 14, p. 1-19, 2021.