

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Departamento de Metalurgia

ANÁLISE DO RENDIMENTO METÁLICO DO FEA DEVIDO AO USO DO SISTEMA
DE DESPOEIRAMENTO DO SHREDDER

Pedro Cunha Alves

Trabalho de Diplomação

Orientador: Professor Dr. Wagner Viana Bielefeldt

Porto Alegre
2016

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e meu padrasto por todas as oportunidades e por sempre me apoiarem em minhas decisões durante o curso, também a todos os membros da minha família.

À professora Rejane Tubino e ao Pedro Buzin pelos ensinamentos do curso logo no início da graduação e pela oportunidade de pesquisa junto ao LAEMet.

À toda equipe da Gerdau Riograndense por todo o conhecimento adquirido em todo tempo de convivência. Em especial ao Leonardo Magalhães dos Reis por ter sido responsável por discutir e idealizar o início do projeto. Ao Gustavo Frassine Pelisser e ao Jakson Mattiello por todo apoio durante a realização dos testes e discussão dos resultados. A toda equipe do pátio de sucatas pela ajuda com a execução do trabalho e pela convivência durante o período de estágio. Aos colegas de trabalho Alexandre e Pierre pelo companheirismo.

Ao professor Wagner Viana Bielefeldt pela sua orientação e disponibilidade, sempre trazendo aspectos positivos para serem adicionados ao trabalho. Além de sua busca de trazer um curso cada vez melhor para os alunos.

Aos amigos que entraram juntos na Física e se espalharam por diversos cursos, mas principalmente na engenharia metalúrgica.

À minha namorada Sarah por todo apoio fornecido em todos os momentos, tu é a grande responsável pela realização deste trabalho, me fazendo ser uma pessoa cada vez melhor a cada dia.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Principais Rotas de Produção de Aço	4
3.2 Aciaria Elétrica	6
3.2.1 Pátio de Sucatas.....	6
3.2.2 Forno Elétrico a Arco.....	7
3.2.2.1 Preparação do Cestão e Carregamento.....	8
3.2.2.2 Fusão	9
3.2.2.3 Refino.....	10
3.2.2.4 Vazamento.....	10
3.2.3 Refino Secundário.....	11
3.2.4 Lingotamento Contínuo	12
3.3 Rendimento Metálico.....	13
3.3.1 Influência da Sucata	15
3.3.2 Influência das Práticas de Injeção	16
3.3.2.1 Injeção de Oxigênio	17
3.3.2.2 Injeção de Carbono	17
3.4 Shredder	18
3.4.1 Equipamentos	18
3.4.2 Sistema de Despoeiramento	22
3.4.3 <i>Eddy Current</i>	24

3.4.4	Sucatas Processadas	24
3.4.5	Sucata Shredder.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	Definição dos Procedimentos	27
4.2	Produção da Sucata Shredder - SSHR	28
4.3	Preparação do Cestão e Corridas	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Impurezas na SSHR	33
5.2	Rendimento Metálico.....	34
5.3	Escória, Basicidade e Cales	36
5.4	Teor de FeO	39
5.5	Consumo de Energia Elétrica.....	41
5.6	Outros Parâmetros do Processo	42
6	CONCLUSÕES	45
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
8	REFERÊNCIAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Ilustração das etapas de redução e refino do processo siderúrgico.....	5
Figura 3.2	Custos na produção do aço.....	6
Figura 3.3	Ilustração dos equipamentos do FEA.....	8
Figura 3.4	Representação das camadas do cestão para carregamento do FEA.	9
Figura 3.5	Ilustração esquemática de um forno-panela.	12
Figura 3.6	Componentes geralmente utilizados em um distribuidor LC.....	13
Figura 3.7	Rendimento metálico do FEA.	14
Figura 3.8	Fatores que influenciam o rendimento metálico.	15
Figura 3.9	Impureza intrínseca: material galvanizado.....	16
Figura 3.10	Impureza extrínseca retirada no despoeiramento do Shredder.....	16
Figura 3.11	Newell Shredder.....	18
Figura 3.12	A) Rotor com martelos de manganês acoplados; B) Alimentação, rolo alimentador e rotor do equipamento.....	20
Figura 3.13	Tambores magnéticos.....	21
Figura 3.14	Localização do sistema de despoeiramento.	21
Figura 3.15	Fluxograma da operação do Shredder.....	22
Figura 3.16	<i>Dumper</i> do despoeiramento do Shredder.....	23
Figura 3.17	Alteração da vazão de ar devido a posição do <i>dumper</i>	23
Figura 3.18	Fluxo do <i>Eddy Current</i>	24
Figura 3.19	Sucata Shredder.....	26
Figura 4.1	Fluxograma do trabalho	28
Figura 4.2	A) <i>Dumper</i> na posição 4º furo; B) <i>Dumper</i> na posição 1º furo.....	29
Figura 4.3	Amostra de <i>dirt</i> da sucata.....	30
Figura 4.4	Carregamento da SSHR para o cestão utilizando eletroímã	31

Figura 5.1	Produção sem despoeiramento operando (A) Sucata shredder mais impurezas; (B) Impurezas separadas	33
Figura 5.2	Produção com despoeiramento operando (A) Sucata shredder mais impurezas; (B) Impurezas separadas.....	34
Figura 5.3	Média do rendimento metálico do FEA para os dois cenários testados.....	35
Figura 5.4	Média das % de SiO ₂ e CaO, basicidade binária e consumo de cales.....	38
Figura 5.5	Média do teor de FeO.....	40
Figura 5.6	Curva de carbono crítico durante a descarburização.....	41
Figura 5.7	Média do consumo de energia elétrica, energia elétrica por tonelada de aço e potência média.....	42
Figura 5.8	Média dos valores de <i>power on, tap to tap</i> (TTT) e produção horária.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Média da carga fria dos testes realizados	32
Tabela 5.1	Quantidade de impurezas na sucata shredder	34
Tabela 5.2	Carga fria dos testes sem despoeiramento operando.....	37
Tabela 5.3	Carga fria dos testes com despoeiramento operando	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

FEA	forno elétrico a arco	US\$/t	US dólar/tonelada
t/h	tonelada/hora	Fe	ferro
SiO ₂	sílica	C	carbono
CaO	óxido de cálcio	cm	centímetros
FeO	óxido de ferro	m	metros
BOF	<i>blast oxigen furnace</i>	mm	milímetros
LD	processo Linz-Donawitz	kg/m ³	quilograma/metro ³
SSHR	sucata shredder	PPC	pátio de preparação do cestão
t/m ³	tonelada/metro ³	Al ₂ O ₃	alumina
MgO	óxido de magnésio	t	tonelada
CO	monóxido de carbono	kg/t	quilograma/tonelada
P ₂ O ₅	pentóxido de difósforo	kWh	kilowatt hora
N ₂	gás nitrogênio	kWh/t	kilowatt hora/tonelada
H ₂	gás hidrogênio	MW	megawatt
O ₂	gás oxigênio	min	minuto
LC	lingotamento contínuo		

RESUMO

Em uma aciaria elétrica, a sucata representa entre 60 e 80% do custo de fabricação do aço. Visando a diminuição deste valor, cada vez mais se busca a utilização de sucatas de baixo custo. O Shredder é o principal responsável por possibilitar o uso destas sucatas no forno elétrico a arco, sendo um dos melhores investimentos que podem ser feitos em um pátio de sucatas. O equipamento, que é um moinho de martelos, é responsável por entregar uma sucata de ótima qualidade com baixos níveis de impureza extrínseca. O sistema de despoeiramento é uma parte importante do equipamento, responsável por retirar ainda mais impurezas após a separação magnética. O objetivo do trabalho foi verificar o comportamento do rendimento metálico do FEA devido ao uso de sucata shredder com diferentes quantidades de impurezas extrínsecas, utilizando-se ou não o sistema de despoeiramento. No primeiro teste foi produzida sucata shredder sem despoeiramento operando e no segundo com despoeiramento operando. No carregamento do FEA foi utilizada uma carga fria com 100% de sucata shredder. Não foram realizadas alterações nos métodos de injeção no FEA. Assim a variável utilizada para análise do rendimento metálico foi a quantidade de impurezas presente na sucata shredder em cada condição. A sucata shredder produzida com despoeiramento operando apresentou uma quantidade de impurezas menor quando comparada a condição sem despoeiramento operando. Ao usar sucata shredder produzida com despoeiramento operando houve um ganho de 1,34% no rendimento metálico do FEA. Outros parâmetros de operação do FEA foram analisados, visando verificar outros ganhos no processo que o uso de sucata shredder com despoeiramento operando pode trazer. Com essas análises será possível indicar as vantagens do uso de despoeiramento na produção da sucata shredder.

Palavras-chave: sucata; impureza; aciaria elétrica

ABSTRACT

In an electric steelmaking, the scrap represents between 60 and 80% of the steel manufacturing cost. In order to reduce this value, the use of low-cost scrap is increasingly sought. Shredder is the principal responsible for enabling the use of these scraps in the electric arc furnace, being one of the best investments that can be made in a scrap yard. The equipment, which is a hammer mill, is responsible for delivering a high quality scrap with low levels of extrinsic impurity. The dedusting system is an important part of the equipment, responsible for removing even more impurities after the magnetic separation. The objective of this work was to verify the behavior of the metallic yield of the EAF due to the use of shredded scrap with different amounts of extrinsic impurities, using or not the dedusting system. In the first test it was produced a shredded scrap without dedusting operating and in the second with dedusting operating. In EAF's charging it was used a scrap recipe with a 100% of shredded scrap. No changes were made in the injection methods in the EAF. So the variable used for metallic yield analysis was the amount of impurities present in the shredded scrap in each condition. The shredded scrap produced with dedusting operating presented a smaller quantity of impurities when compared to the condition without dedusting operating. When using shredded scrap produced with dedusting operating there was a 1,34% gain in the metallic yield of the EAF. Other operating parameters of the EAF were analyzed in order to verify other gains in the process that the use of scrap shredder with dedusting operating can bring. With these analysis it will be possible to indicate the advantages of using the dedusting in the production of shredded scrap.

Keywords: scrap; impurity; electric steelmaking.

1 INTRODUÇÃO

A sucata tem um impacto de 60-80% do custo do aço em aciarias elétricas, sendo um motivo para se investir fortemente nesta área (MALFA, 2013). O pátio de sucatas é o local responsável por administrar a sucata até que ela seja carregada no cestão, tendo como função atender o forno elétrico a arco sempre com o melhor material, ao menor custo possível. Ao cumprir esta função, os custos da aciaria são reduzidos. A sucata também impacta no rendimento metálico, o qual objetiva-se ser o mais alto possível. Infelizmente, mesmo com essa importância, a maioria dos investimentos em usinas siderúrgicas acaba focado em outras áreas da aciaria (CHEVRAND, 2008).

Depois de recebida e classificada, a sucata pode seguir dois caminhos: ir direto para a área de preparação do cestão ou passar por um ou mais processos de tratamento. Cada processo tem suas próprias características e serve melhor para determinados tipos de sucatas. Ao passar por um processo, a sucata acaba subindo de preço, agregando custo ao processo (JOHN, 2009). Isso deve ser levado em consideração para que se escolha o melhor processo para cada tipo de sucata. Entre esses processos, o Shredder, que é um moinho de martelos, ganha destaque por ser uma das principais escolhas na hora de investir em melhorias no pátio de sucata. Entre as qualidades da sucata produzida no Shredder, pode-se apontar sua densidade, dimensões e composição química. No entanto, o fator mais impactante muitas vezes é a disponibilidade de sucata que pode ser comprada na região onde está localizada a usina siderúrgica.

O Shredder tem como objetivo redimensionar e realizar separação magnética na sucata, entregando como produto final uma sucata muito mais limpa comparada a sucata de entrada. Após a separação magnética, o material ainda pode apresentar pequena quantidade de impurezas extrínsecas. O equipamento possui um sistema de despoeiramento que pode realizar a retirada da maior parte dessas impurezas (THE NEWELL SHREDDER, 1994). A inclusão do despoeiramento não é algo amplamente utilizado, existem equipamentos que operam sem esse sistema. Em ambos os casos, a sucata entregue é de ótima qualidade, porém o uso do despoeiramento indica que é possível se obter uma sucata com menor quantidade de impurezas. A sucata shredder muitas vezes pode ser a única responsável por

levar impurezas ao forno dentre as sucatas da carga fria. Desse modo, qualquer ganho na diminuição destas impurezas pode ser significativo.

Os tipos de sucata processada podem variar dependendo da região. Nos EUA, Europa e Japão o uso do Shredder é basicamente para reciclagem de veículos, função para a qual foi criado o equipamento (FIEDLER, 2004). Com o passar do tempo foi sendo introduzido outros tipos de sucata ao processo visando utilizar sucatas de pior qualidade na confecção do cestão, trazendo queda no custo do processo por serem sucatas de baixo custo. No Brasil, o uso do Shredder é caracterizado por processar diversos tipos de sucatas, o uso somente de veículos não é uma atividade recorrente. Entre as sucatas processadas, a mais utilizada é a sucata de obsolescência que pode apresentar altos níveis de impureza (FILHO, 2008). Esta diferença de matéria-prima acaba apresentando mudanças no desempenho do equipamento. O que se vê é uma queda de desempenho quando comparado ao processamento de veículos. Basicamente os fatores que podem ser afetados são produção horária (t/h), quantidade de *fluff* gerado, impureza na sucata shredder, queda no rendimento e ocorrência de sucata pesada.

Este trabalho analisou o impacto da quantidade de impurezas extrínsecas da sucata shredder no rendimento metálico do FEA. Pequenos ajustes no equipamento podem fazer com que o material entregue apresente excelente qualidade, com quantidade de impureza cada vez menores. Para se obter uma sucata shredder mais limpa, foram feitas alterações no sistema de despoeiramento, mostrando uma opção simples que pode trazer benefícios para todo o processo. O tipo de sucata processada pode ter impacto no teor de impurezas e um bom sistema de despoeiramento irá diminuir esse fator, permitindo uso de diversos tipos de sucatas com grande eficiência.

Além do rendimento metálico, outros indicadores do FEA foram analisados, entre eles: produção horária (t/h), teores de SiO₂, CaO e FeO na escória, basicidade da escória, consumo de cales, consumo de energia, tempo de *power on* e *tap to tap*. Estes indicadores devem se manter nas faixas desejáveis do processo ou apresentarem melhorias nas diferentes condições testadas. Os resultados do trabalho buscam mostrar o desempenho do FEA ao serem realizadas corridas somente com sucata shredder produzidas nas condições sem despoeiramento operando e com despoeiramento operando.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar o rendimento metálico do FEA pelo emprego de sucata shredder com diferentes teores de impurezas, verificando a influência do despoeiramento no equipamento Shredder.

Objetivos Específicos

Alterar a operação do Shredder através do uso do sistema de despoeiramento.

Para as diferentes condições testadas, do uso ou não do despoeiramento no equipamento Shredder:

Verificar a quantidade de impurezas extrínsecas na sucata shredder;

Avaliar a quantidade de cal utilizada como função das impurezas presentes na sucata shredder;

Acompanhar os teores de SiO_2 e CaO na escória ao final do refino oxidante e a basicidade binária da escória;

Verificar o teor de FeO ao final do refino oxidante;

Verificar o consumo de energia no FEA;

Verificar a influência na produção horária (t/h) do FEA;

Verificar o comportamento dos tempos de *power on* e *tap to tap*.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos de operação do FEA e do Shredder. Para o FEA será descrito desde os tipos de sucatas que podem ser utilizadas, descrição das funções do pátio de sucatas, até o final do processo no lingotamento. Como o trabalho foi realizado em uma aciaria com lingotamento contínuo, será abordado este tipo na revisão. Após a abordagem do processo de produção do aço será mostrado os principais parâmetros que podem interferir no rendimento metálico do FEA. Para o Shredder será demonstrado as principais sucatas utilizadas no equipamento e as funções de cada parte deste.

3.1 Principais Rotas de Produção de Aço

A produção mundial de aço se baseia em duas rotas principais: produção via alto-forno/conversor BOF e via FEA. Sendo que a produção via FEA corresponde a 26% do total produzido, conforme dados de 2015 (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2015). A produção é diferenciada pela matéria-prima de entrada, as quais podem ser minério de ferro ou sucata ferrosa.

O processo de produção de aços pode ser dividido em três principais etapas: redução, refino e conformação mecânica. Na etapa de redução, o óxido de ferro é reduzido a ferro metálico no processo de alto-forno ou redução direta. O alto-forno produz ferro primário líquido com alto teor de carbono, denominado ferro-gusa, enquanto que a redução direta produz ferro primário no estado sólido, denominado ferro esponja. O ferro primário passa então para etapa de refino na aciaria. Alternativamente ao ferro primário, pode ser empregada sucata de aço reciclado como fonte de ferro na aciaria, através dos processos de conversor LD ou forno elétrico a arco. Ainda na aciaria, o aço passa pelo refino secundário e é solidificado na forma de produtos semi-acabados. Estes produtos passam então pela etapa de conformação mecânica na qual tomam a forma final do produto (RIZZO, 2005). As etapas de redução e refino com seus principais equipamentos e matérias-primas estão ilustradas na figura 3.1. Destacado em azul, pode-se observar a rota de produção da aciaria na qual foi desenvolvido o trabalho.

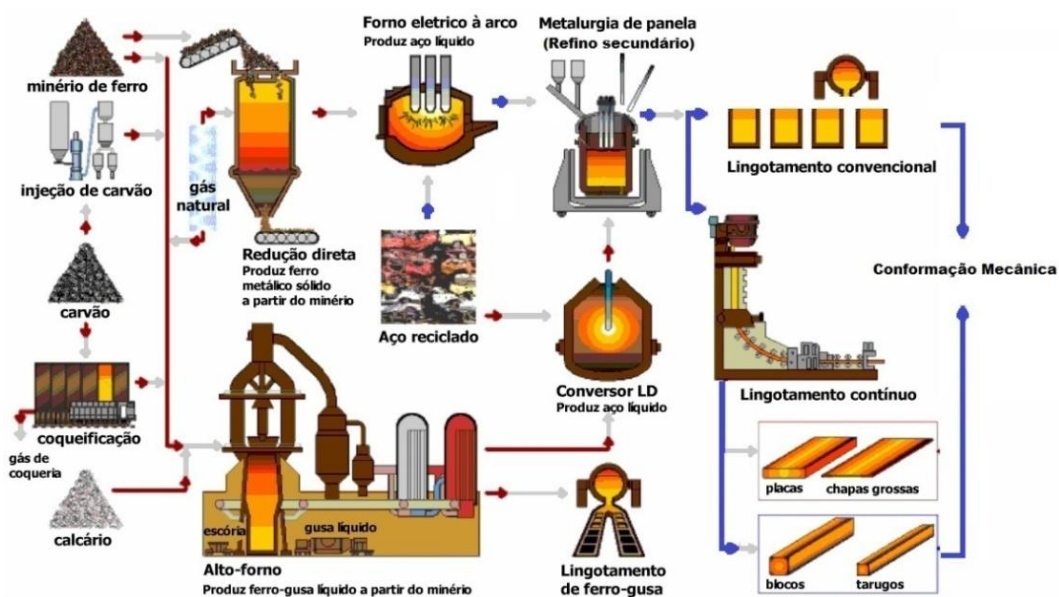


Figura 3.1 Ilustração das etapas de redução e refino do processo siderúrgico.

Fonte: Adaptado de Moreira (2012).

A figura 3.1 mostra a diferença de matéria-prima na entrada e os diferentes equipamentos utilizados para a produção de aço. Em ambos processos, após o refino na panela, o aço é lingotado e ocorre a solidificação. O processo fornece um produto semi-acabado que, posteriormente, pode ser beneficiado para obtenção de produtos através de processos como: laminação, trefilação, forjamento, entre outros (RIZZO, 2005).

O fluxo superior representa uma usina semi-integrada, a matéria-prima de entrada é a sucata ferrosa. Ferro-gusa e ferro-esponja, dependendo da disponibilidade, também são adicionados a carga. O processo utiliza um FEA como reator e será estudado mais detalhadamente nos tópicos a seguir.

O fluxo inferior representa uma usina integrada, é possível visualizar a entrada de minério de ferro como matéria-prima, além do minério é colocado coque e fluxantes para ocorrer a redução e fusão no alto-forno, dando origem ao ferro-gusa (produto ferroso com teores de carbono entre 4 e 5%). Após o vazamento, o ferro-gusa é levado para o conversor a oxigênio onde será feito o refino oxidante.

3.2 Aciaria Elétrica

A aciaria elétrica é o local onde será produzido aço utilizando sucata ferrosa como matéria-prima e um FEA como reator. Ela é geralmente composta pelo pátio de sucatas, FEA, forno-panela e lingotamento.

3.2.1 Pátio de Sucatas

O processo de fabricação de aço se inicia no pátio de sucatas, setor responsável pelo recebimento, processamento, armazenamento e transporte da matéria-prima do FEA. A sucata ferrosa pode ser classificada em torno de 20 tipos para aço ao carbono e mais de 100 para aços inoxidáveis (SANDBERG, 2005). A sucata ferrosa é responsável por cerca de 60-80% do custo de produção do aço e também influencia nos parâmetros do forno, a qualidade do aço líquido, emissão de gases e composição da escória (MALFA, 2013). Na figura 3.2 se observa uma estimativa de custos na produção de aço via FEA.

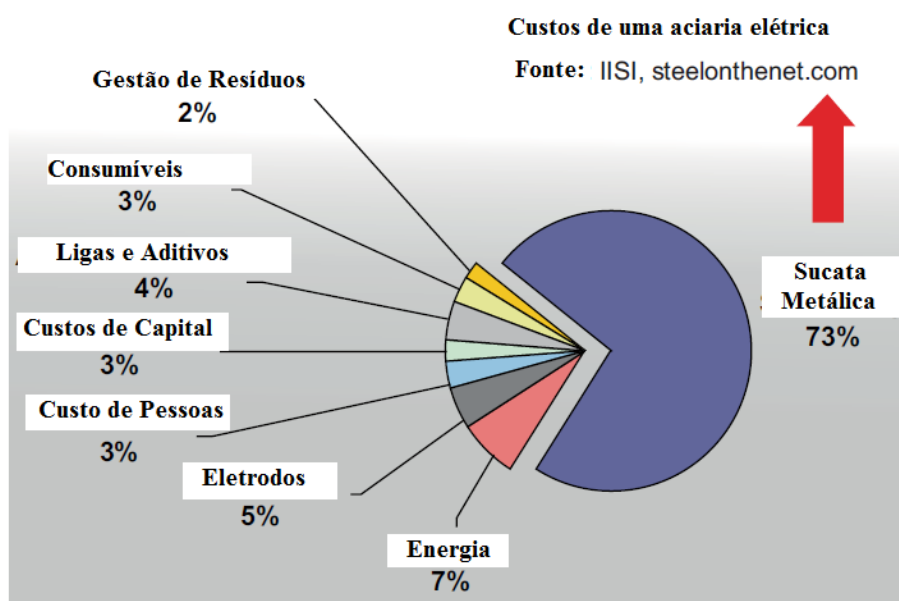


Figura 3.2 Custos na produção do aço.
Fonte: Adaptado de Malfa (2013).

O pátio de sucatas é fundamental na transformação e adequação do material recebido, buscando sempre entregar com o menor custo possível. A sucata é separada e classificada de acordo com seu tamanho, densidade, composição química, procedência e método de processamento (SANDBERG, 2007).

As sucatas podem ser classificadas em três categorias:

1. Sucata de retorno interno: esse tipo de sucata é gerada pela própria usina. Incluem-se todas as sucatas perdidas durante os processos da usina, oriundas da recuperação da escória, despontes da laminação, perda de produtos acabados, produtos não conforme, entre outros. Este tipo de sucata está em declínio, pois cada vez mais os processos estão diminuindo a perda metálica (JOHN, 2009).

2. Sucata industrial: proveniente da transformação do aço em produto acabado. Dependendo da localização da siderúrgica pode haver grande demanda deste tipo de sucata (JOHN, 2009).

3. Sucata de obsolescência: proveniente de materiais considerados obsoletos e irrecuperáveis para o uso, corresponde à sucata que chega a usina depois de 15 anos ou mais de sua produção original (JOHN, 2009).

Muitas sucatas não chegam prontas nas usinas para serem carregadas no cestão e, por isso, elas precisam ser processadas a fim de melhorar suas dimensões, densidade e quantidade de impureza. Os principais métodos utilizados no processamento de sucata são:

- Prensa pacote: utilizada para formar pacotes de sucata;
- Prensa tesoura: primeiramente, prensa a sucata e depois uma tesoura guilhotina corta a mesma, em alguns casos é utilizada uma calha vibratória para retirar impurezas;
- Oxicorte: equipamento utilizado para cortar sucatas de grandes dimensões;
- Tesoura móvel: implemento acoplado ao braço de escavadeiras industriais, composto por duas mandíbulas (inferior e superior) e lâminas de corte;
- Shredder: equipamento composto por moinho e grelhas, que irá triturar a sucata e realizar separação magnética, promovendo a retirada de impurezas;

Este trabalho ainda irá abordar mais características de sucatas que são processadas no Shredder assim como a sucata shredder (SSHR), produto final do equipamento.

3.2.2 Forno Elétrico a Arco

Em um forno elétrico a arco (Figura 3.3) ocorrem os processos de fusão e refino oxidante da carga de sucata ferrosa carregado no cestão. Este equipamento possui uma carcaça metálica, revestida por material refratário e painéis refrigerados, além de ser coberto por uma abóboda. Nos fornos de corrente alternada, o equipamento possui três colunas de eletrodos de grafita que servem como meio condutor da corrente elétrica, que irá gerar o arco elétrico entre o eletrodo e a sucata ferrosa, fundindo a carga.

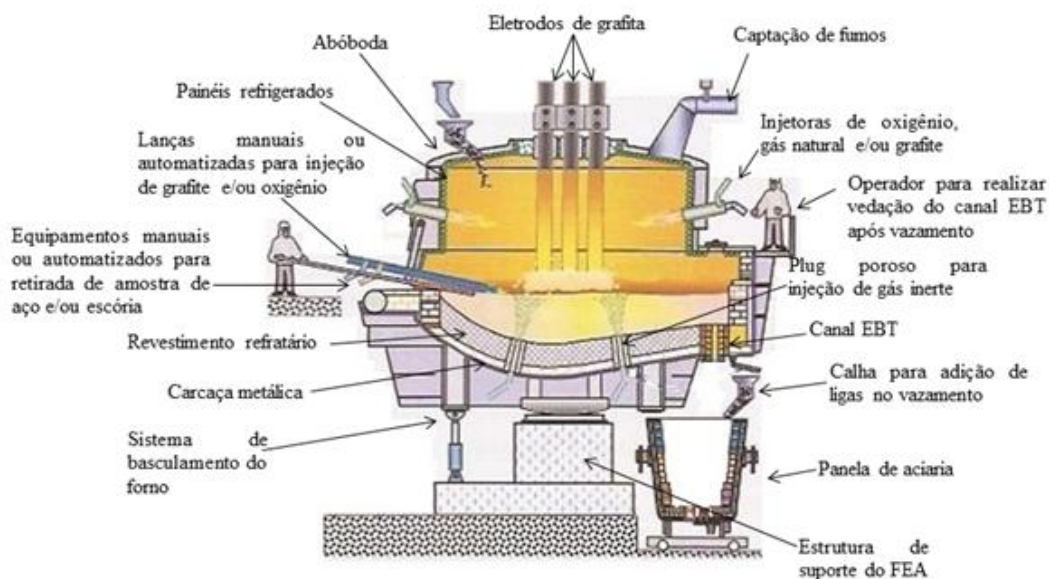


Figura 3.3 Ilustração dos equipamentos do FEA.

Fonte: Adaptado de Rizzo (2005).

A operação de um forno elétrico a arco pode ser subdividida em: preparação do cestão, carregamento, fusão, refino oxidante, ajuste de temperatura e vazamento.

3.2.2.1 Preparação do Cestão e Carregamento

O primeiro passo é a seleção de material que será colocado no cestão. A escolha dos tipos de sucatas na carga é importante para garantir a composição química, bem como boas condições de fusão. A sucata deve ser posicionada no cestão de acordo com seu tamanho e densidade, isto irá garantir uma rápida formação de banho líquido na soleira, proteção das paredes laterais e proteção da abóboda pela irradiação do arco elétrico (JONES, 1998).

Na camada inferior do cestão recomenda-se utilizar sucata leve (densidade entre 0,25 e 0,55 t/m³), ela irá servir para acomodar a sucata pesada colocada em cima posteriormente, protegendo o material refratário da soleira do impacto mecânico causado na hora do carregamento (JOHN, 2009).

Na segunda camada é utilizada sucata pesada (densidade acima de 1,11 t/m³), ela tem efeito positivo ao compactar a sucata leve localizada abaixo. Desse modo, diminui a chance de quebra de eletrodo por queda da sucata, podendo ocorrer se a sucata pesada ficar muito em cima perto dos eletrodos. A carga abaixo funde rapidamente e a sucata pesada logo entra em contato com o fundo úmido, aumentando sua taxa de fusão (JOHN, 2009).

Na terceira camada são colocados o ferro-gusa e carburantes, junto com a sucata de densidade média. No topo dessa camada é recomendado a utilização de sucatas leves para facilitar a rápida penetração dos eletrodos, minimizando a exposição da abóboda ao arco elétrico. A SSHR é uma sucata recomendada para ser utilizada no topo da camada. Na figura 3.4 é possível observar uma representação das camadas do cestão (JOHN, 2009).

Na maioria das operações se utiliza de 2 a 3 carregamentos, o ideal é minimizar este número, pois a operação de carregamento é considerado um tempo morto. Muitos carregamentos podem diminuir a produtividade do FEA, além de ocorrer perdas energéticas cada vez que a abóboda é aberta (JONES, 1998).

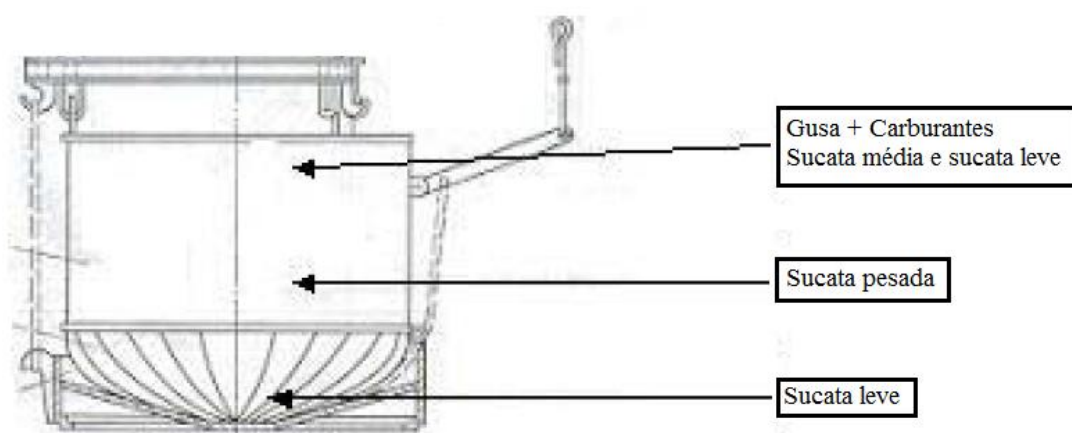


Figura 3.4 Representação das camadas do cestão para carregamento do FEA.

3.2.2.2 Fusão

Para essa etapa são utilizadas fontes de energia elétrica e químicas durante o processo de fusão. A fusão se inicia após o abaixamento da abóboda, após a ignição do arco elétrico, é realizado a penetração dos eletrodos na sucata. O uso de sucatas leves no topo facilita esse processo e no início é utilizado uma potência mais baixa (ROSSI, 2014).

Após alguns minutos, a penetração é suficiente para utilizar uma voltagem mais alta, gerando arcos elétricos mais longos, maximizando a transferência de calor para a sucata ferrosa e o processo segue até a fusão da carga. Para acelerar a fusão da carga é utilizado energia química pelo uso de injeção de oxigênio. Essa injeção ajuda no corte da sucata em alguns casos e quando injetada no metal líquido, o oxigênio reage com o carbono e outros elementos, ocorrendo oxidação e geração de calor para o processo. A injeção de oxigênio também é utilizada para fundir a sucata que fica localizada entre os eletrodos e/ou pontos frio (JONES, 1998).

No momento que a sucata do carregamento estiver suficientemente fundida para acomodar o próximo cestão, o forno é carregado novamente e o processo se repete até que o último cestão seja fundido. No final será atingida a condição de banho pleno, e então é iniciado o processo de refino (ROSSI, 2014).

3.2.2.3 Refino

Durante a operação de refino, os principais objetivos são o ajuste dos teores de fósforo e carbono, e o aquecimento do aço até a temperatura de vazamento. Na década de 80, foi desenvolvido a prática de escória espumante, que envolve o arco elétrico, absorvendo sua irradiação e criando uma barreira que protege os painéis refrigerados e refratários. A escória de aciaria também possui um papel fundamental nas reações de refino, influenciando tanto a cinética das reações, como os teores de fósforo e carbono após o refino oxidante (ROSSI, 2014).

Para formação de escória espumante é injetado oxigênio no banho, gerando FeO. Este FeO é incorporado à escória junto com outros elementos oxidados, além de CaO e MgO provenientes das cales. Para ocorrer a espumação da escória, são injetados materiais carburantes como finos de carvão, que irão reagir com o FeO, formando Fe mais CO. Ao controlar a tensão superficial e a viscosidade da escória, é possível manter o CO gerado no interior da escória, fazendo com que o volume da mesma aumente. Isto forma uma espuma que irá gradativamente envolver os eletrodos e o arco elétrico (ROSSI, 2014).

O teor de FeO irá impactar na espumação efetiva e solubilidade do MgO em função da basicidade. Teores muito altos de FeO na escória podem representar perda metálica no processo e, por isso, a espumação deve ser uma parte bem controlada do processo para evitar queda no rendimento metálico. Este trabalho irá abordar posteriormente com mais detalhes fatores que podem afetar o rendimento metálico (ROSSI, 2014).

3.2.2.4 Vazamento

Assim que a composição química e a temperatura do banho desejadas são alcançadas, é iniciado o vazamento. Durante essa atividade podem ser adicionadas ligas e carburantes para aproveitar a agitação. A maioria dos processos deseja que a passagem de escória seja mínima. Essa escória rica em FeO e P₂O₅ pode causar reversão do fósforo para o banho, além de elevar o consumo de desoxidantes (ROSSI, 2014).

Após cada vazamento, uma quantidade de aço líquido e escória permanece no FEA intencionalmente (fundo úmido). Segundo John (2009), os principais benefícios dessa prática são:

- Antecipa a oxidação do carbono;
- Antecipa a desfosforação;
- Antecipa a dissolução das cales;
- Melhora nas condições de transferência de calor durante a fusão;
- Proteção da soleira do forno contra o impacto da sucata durante o carregamento e a irradiação do arco elétrico durante a fusão da carga.

3.2.3 Refino Secundário

No forno-panela (figura 3.5) é onde ocorrem os processos de ajustes de temperatura e composição química antes do aço líquido ser lingotado. Nesta etapa, ainda ocorre a dessulfuração, desoxidação e desgaseificação, ao contrário do FEA, no forno-panela se trabalha em um ambiente redutor.

Ajustes na composição química do aço são feitos através da adição de ferroligas e o controle da temperatura através de aquecimento via arco elétrico. Na panela é utilizado três eletrodos de grafita similares aos do FEA, porém com diâmetro menor. São realizados ajustes na escória para garantir uma boa dessulfuração e um menor consumo dos refratários da panela. Para garantir uma boa homogeneização do banho e aceleração das reações, é injetado gases inertes pelo fundo da panela (rinsagem) (ROSSI, 2014).

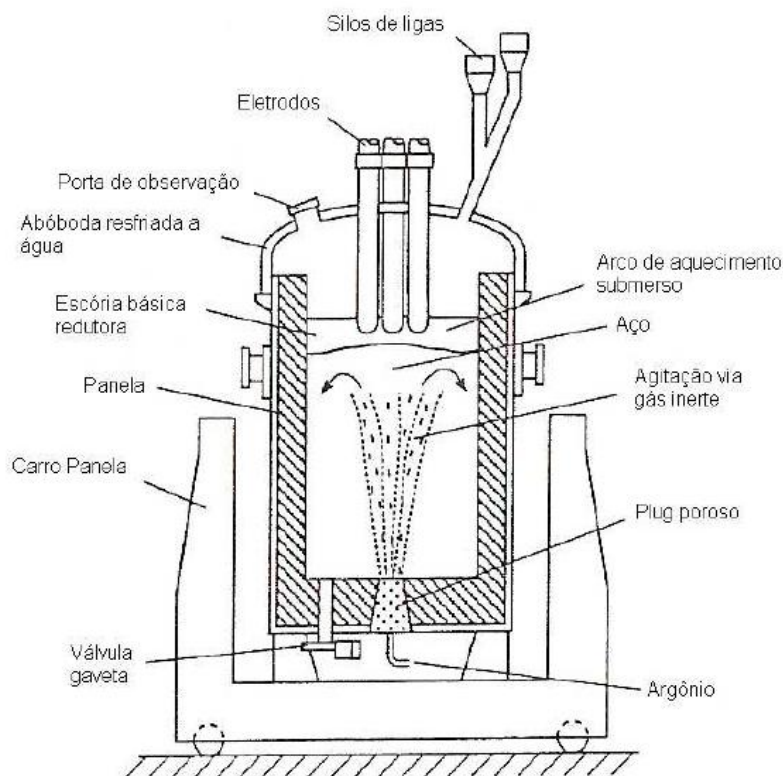


Figura 3.5 Ilustração esquemática de um forno-panela.
Fonte: Adaptado de Turkdogan (1996).

Segundo John (2009), os principais benefícios do forno-panela são:

- Aumento da produtividade do FEA por diminuir tempos de refino no interior do forno, além de favorecer o vazamento em temperaturas mais baixas;
- Melhora o ajuste de composição química, principalmente de aços alta liga;
- Melhora a qualidade dos aços, pela remoção de gases como N_2 , H_2 e O_2 ;
- Aumenta o rendimento das ligas adicionadas;
- Promove uma maior homogeneização da temperatura e composição química do aço líquido, que é gerada pela rinsagem com gás inerte ou agitação eletromagnética, favorecendo também a remoção de inclusões indesejadas e dessulfuração.

3.2.4 Lingotamento Contínuo

O lingotamento é a última etapa na fabricação de aço em uma aciaria elétrica e sua principal função é a solidificação do aço líquido. Este processo pode ser através do lingotamento convencional ou lingotamento contínuo. O método de lingotamento contínuo

(figura 6) é responsável por grande parte do aço produzido no mundo e sua introdução apresentou uma revolução na aciaria (JOHN, 2009).

A continuidade do processo é obtida pelo sequenciamento de corridas, onde o aço líquido da panela é transferido para um distribuidor e deste para os moldes nos veios. Na figura 3.6 é mostrado componentes destes equipamentos. A solidificação se dá nos moldes, possibilitando a produção contínua de tarugos, placas, blocos ou tiras. Este processo precisa de um excelente controle dos tempos e temperaturas envolvidos para que não haja interrupções, sendo assim um processo contínuo de alta produtividade (ROSSI, 2014).

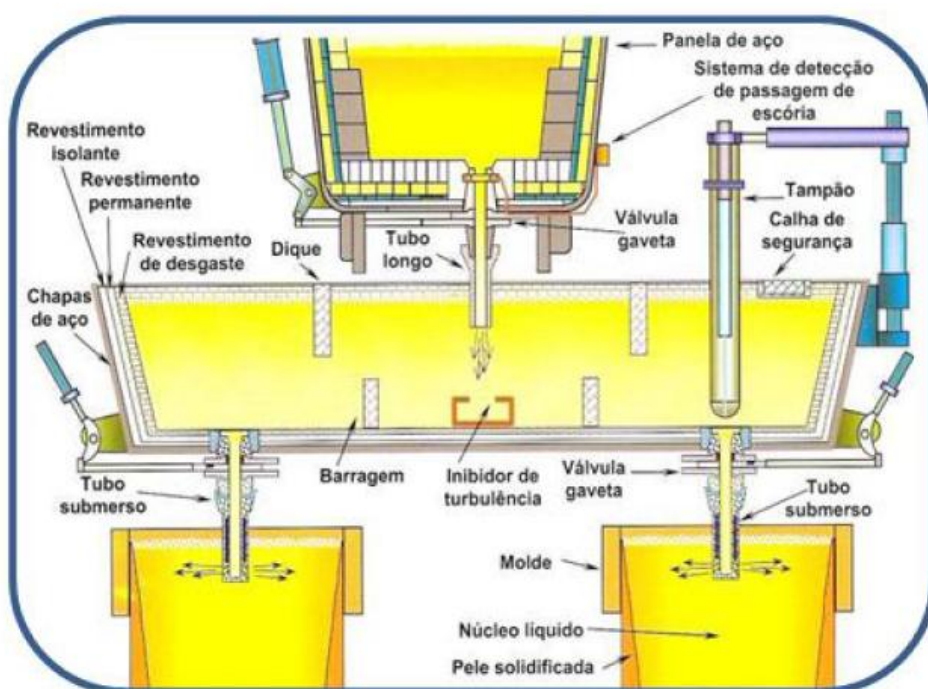


Figura 3.6 Componentes geralmente utilizados em um distribuidor LC.
Fonte: Rizzo (2006).

3.3 Rendimento Metálico

O rendimento metálico é um dos indicadores mais importantes da aciaria elétrica. Ele irá afetar diversos indicadores como a produtividade, o consumo de energia e o custo final do aço. Além de ser o índice que compara a quantidade de carga metálica que entrou no processo com a quantidade final de aço produzido (NASCIMENTO, 2008).

Neste trabalho serão considerados materiais de entrada, a carga de sucata ferrosa e ligas adicionadas. A quantidade de saída será o valor do peso vazado. O cálculo do

rendimento será conforme a equação 1, e na figura 3.7 é possível observar as variáveis de entrada e saída, em cada momento do processo de fabricação do aço.

$$\text{Rendimento Metálico (\%)} = \frac{\text{Peso Vazado}}{\text{Peso Carregado} + \text{Ligas}} \times 100 \quad (1)$$

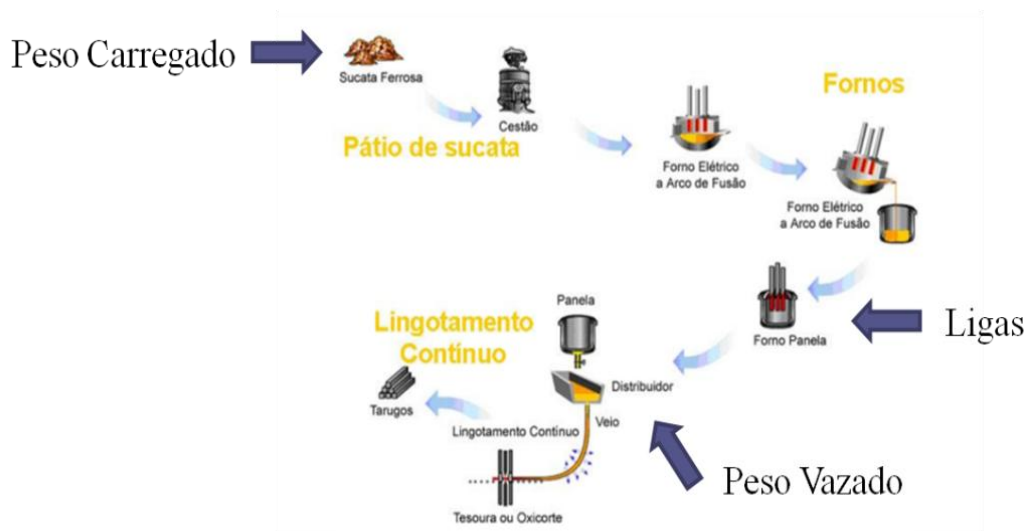


Figura 3.7 Rendimento metálico FEA.
Fonte: Adaptado de Gerdau (2007).

Esse indicador depende tanto da carga metálica carregada no cestão quanto das atividades realizadas no FEA durante o processo. É possível reduzir de 3 a 4 US\$/t do custo do aço para cada 1% de ganho no rendimento metálico. A carga metálica irá atuar devido a sua porcentagem de Fe, C e impurezas. As atividades durante o processo são aquelas que modificam o teor de FeO na escória. O fluxo da figura 3.8 apresenta estas relações entre carga metálica e atividades no FEA com o rendimento metálico (TORRES, 2003).

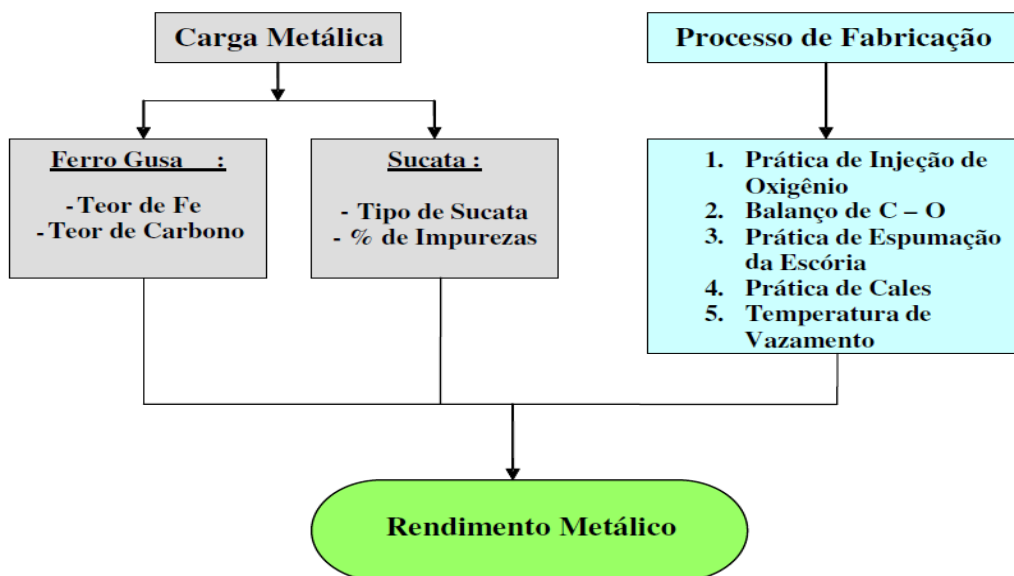


Figura 3.8 Fatores que influenciam o rendimento metálico.
Fonte: Adaptado de Torres (2003).

Cada vez mais se faz necessário o uso de sucatas de baixa qualidade devido a disponibilidade de sucata e/ou diminuição do custo do cestão. Este trabalho irá focar na qualidade da sucata ferrosa, utilizando SSHR como 100% da carga fria. O equipamento Shredder é ideal para possibilitar o uso de sucatas de menor qualidade e seu funcionamento será discutido adiante.

3.3.1 Influência da Sucata

A principal influência da sucata é a quantidade de impureza contida nela. A impureza é o conjunto de todos os componentes não ferrosos presentes nas sucatas. (NASCIMENTO, 2008). As impurezas podem ser classificadas como intrínsecas e extrínsecas.

Impureza intrínseca (figura 3.9) é aquela que necessariamente está agregada a sucata e faz parte da natureza da mesma. Desde que não esteja em quantidades acima do normal, é um fator conhecido e levado em conta no processo. Ferrugem e revestimentos superficiais são exemplos de impureza intrínseca (NASCIMENTO, 2008).

Já a impureza extrínseca (figura 3.10) é aquela que pode estar agregada ou solta no meio da sucata. Terra, papel e plástico são exemplos de impureza extrínseca. Toda impureza extrínseca irá acabar na escória do FEA e, por isso, pode causar quedas no rendimento metálico. Muitas sucatas passam por processamento para que esta impureza possa ser retirada e o uso desta sucata seja possível no FEA (NASCIMENTO, 2008).



Figura 3.9 - Impureza intrínseca: material galvanizado.



Figura 3.10 Impureza extrínseca retirada no despoeiramento do Shredder.

O nível de impureza pode prejudicar o rendimento metálico, além de afetar outros parâmetros, podendo dificultar a operação do FEA. No pátio de sucatas é feito o processamento de alguns tipos de sucatas, buscando reduzir o nível de impurezas. Cada processo tem suas características e é importante realizar o melhor processo para cada tipo de sucata. É preciso evitar que uma sucata passe por processos desnecessários que só irão aumentar o custo desta, sem melhorar sua qualidade.

3.3.2 Influência das Práticas de Injeção

Durante a produção de aço, é prática comum a injeção de oxigênio e material carbonoso para melhoria do processo. Estes dois processos influenciam no teor de FeO na escória, podendo causar queda no rendimento metálico, caso o teor de FeO esteja muito alto.

O controle dos parâmetros de injeção de oxigênio e carbono deve ser muito preciso para regular o teor de FeO da escória de modo favorável ao processo. Esse teor precisa ser suficiente para a espumação da escória, porém sem apresentar quedas acentuadas no rendimento metálico. Mais informações sobre processos de injeção podem ser vistas na dissertação de John (2009).

3.3.2.1 Injeção de Oxigênio

Durante o refino primário, ocorre a retirada de impurezas por meio de sua oxidação. Essa oxidação ocorre devido a injeção de O₂ no FEA. O principal elemento que se deseja oxidar é o C, porém também ocorre a oxidação de outros elementos, além do Fe, o qual vai para escória na forma de FeO (FALCONI, 1980).

Logo após o início da escorificação, ocorre a incorporação dos óxidos CaO e MgO, provenientes da dissolução das cales. Esses óxidos irão aumentar a atividade do FeO, favorecendo o retorno do Fe para o banho (FALCONI, 1980). Com isso, os teores de FeO na escória serão favoráveis ao processo, possibilitando a prática de escória espumante. Porém não havendo perda metálica em excesso devido ao elevado teor de FeO na escória.

3.3.2.2 Injeção de Carbono

Além da injeção de O₂, também é injetado C utilizando materiais carbonosos como coque de petróleo ou carvão. Essa injeção ocorre na interface metal/escória, produzindo gás CO devido a reação do C com o FeO dissolvido na escória. Uma consequência dessa reação é a escória espumante, que como já foi dito anteriormente, traz benefícios para o processo (NASCIMENTO, 2009).

Logo, o FeO na escória é indispensável para formação de gás CO, o qual é responsável pela espumação da escória. Porém, valores muito altos de FeO na escória podem significar perda de rendimento metálico e, por isso, seu teor deve ser controlado a níveis favoráveis ao processo (NASCIMENTO, 2009).

3.4 Shredder

O equipamento Shredder foi inventado nos anos 60 por Alton Scott Newell, que na época trabalhava com reciclagem e desmonte de veículos, sendo o responsável por

idealizar o equipamento. Seu primeiro Shredder (figura 3.11) foi montado partindo de um rotor, martelos e um motor elétrico. Trata-se de um moinho de martelos. Os martelos foram acoplados a um rotor, que foi ligado a um motor elétrico que girava o rotor, essa rotação fazia com que os carros fossem triturados pelos martelos. Um dos principais diferenciais de seu projeto foi o controle da alimentação, permitindo o uso de motores com potências menores quando comparados com outros equipamentos da época. Aliado a um sistema para eliminar peças que não poderiam ser trituradas. Isto proporcionou um grande ganho de produtividade e o projeto foi patenteado em 1965 (THE NEWELL SHREDDER, 1994).

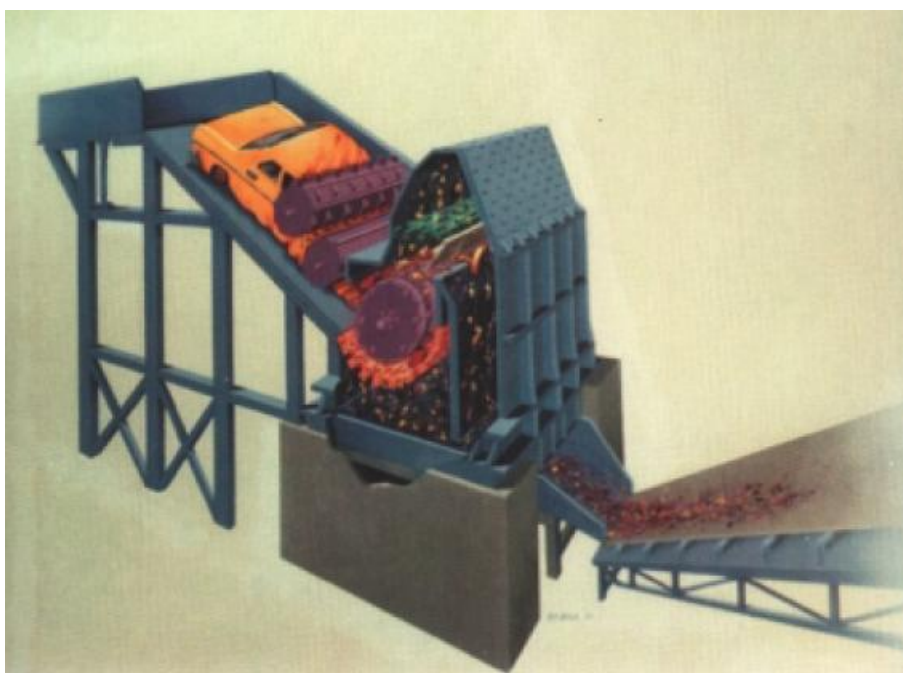


Figura 3.11 Newell Shredder.
Fonte: The Newell Shredder (1994).

3.4.1 Equipamento

O princípio básico do equipamento é trituração e separação magnética, a fim de obter apenas sucata ferrosa. O equipamento foi criado para trituração de veículos, porém com o tempo, a necessidade cada vez maior de se utilizar sucatas de menor preço fez com que variados tipos de sucatas fossem utilizados na alimentação. Nos EUA, Europa e Japão, o uso ainda se mantém basicamente com veículos como sucata de entrada (FIEDLER, 2004). Já em outros países, como o Brasil, seu principal uso é para processamento de sucatas variadas, sendo pouco utilizado tendo carros como matéria-prima (FILHO, 2008).

A primeira etapa é a alimentação do equipamento, que começa pelo carregamento da sucata em uma esteira, levando a mesma para a primeira parte do equipamento. Essa parte contém um rolo alimentador responsável por controlar a quantidade de sucata na câmara do rotor. A sucata é carregada para esteira por escavadeiras industriais num processo contínuo (THE NEWELL SHREDDER, 1994).

A sucata começa a entrar no equipamento e sua alimentação é controlada através de um rolo alimentador, este é controlado por um operador e seu objetivo é manter a alimentação adequada ao rotor. Se entrar muita sucata pode ocorrer o entupimento do moinho, assim como aumento excessivo da corrente elétrica, causando desligamento do aparelho (THE NEWELL SHREDDER, 1994).

Ao entrar no moinho, a sucata será triturada por martelos de ligas de manganês acoplados em um rotor. Estes martelos irão triturar a sucata, possibilitando que ela seja ejetada da câmara no moinho através de grades posicionadas na parte superior da câmara, onde ocorre a saída do material para próxima etapa. A sucata que não conseguir passar, segue sendo triturada pelos martelos até que consiga passar pelo sistema de grades. O equipamento possui um sistema de eliminação de peças que não podem ser trituradas, esse sistema visa proteger o rotor, mesmo assim, algumas peças acabam tendo que ser retiradas manualmente e podem causar sérios danos dentro da câmara do rotor. A figura 3.12 apresenta um esquema com esta parte do equipamento (THE NEWELL SHREDDER, 1994).

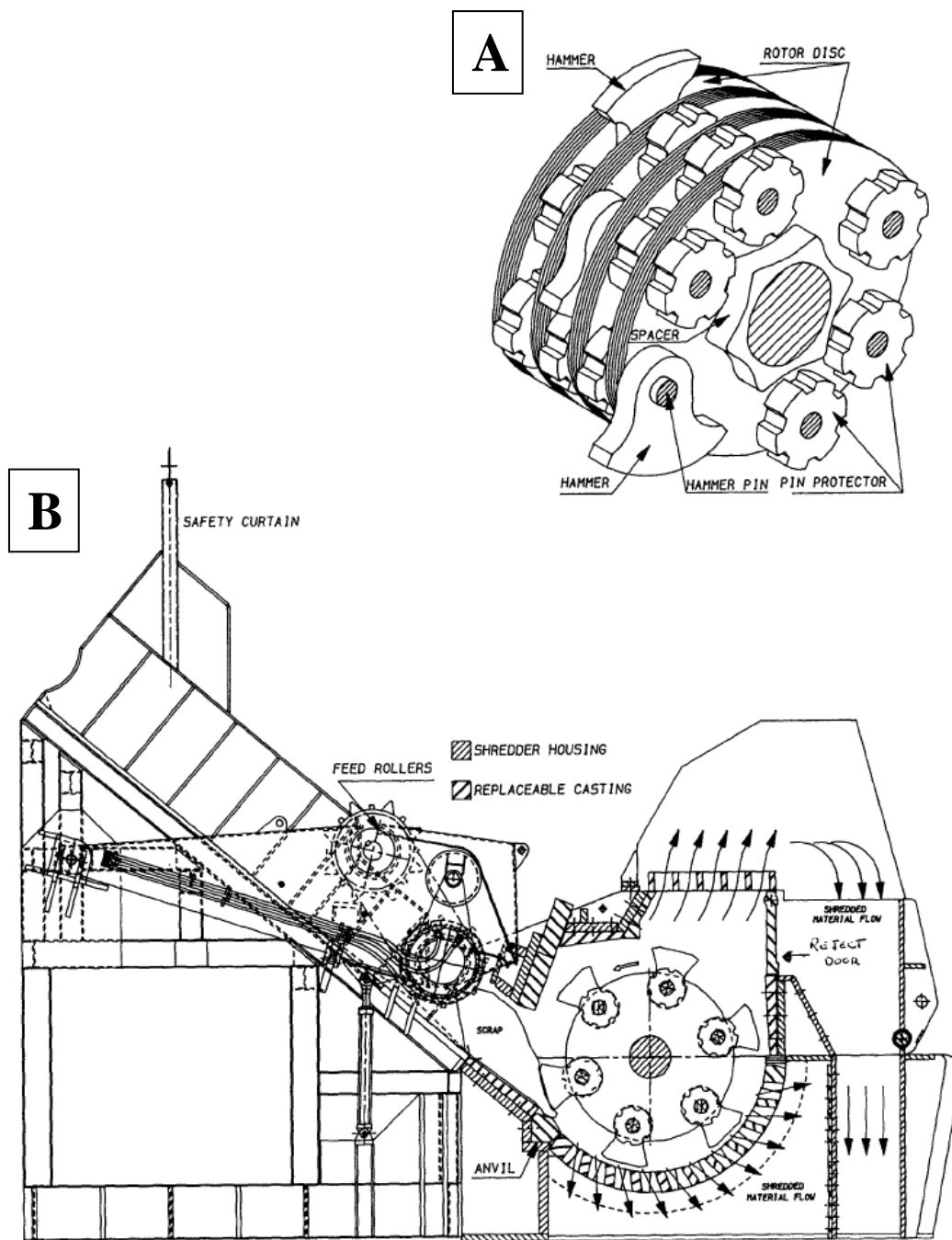


Figura 3.12 A) Rotor com martelos de manganês acoplados; B) Alimentação, rolo alimentador e rotor do equipamento.
Fonte: The Newell Shredder (1994).

O material segue para próxima etapa onde será realizada a separação magnética por meio de tambores magnéticos (figura 3.13), que irão separar a sucata ferrosa da não ferrosa. A sucata ferrosa segue na linha do processo e ainda irá passar pelo processo de despoeiramento (figura 3.14). A sucata não ferrosa irá passar por uma peneira rotativa, para então passar pelo o *Eddy Current*, responsável por recuperar metais não ferrosos

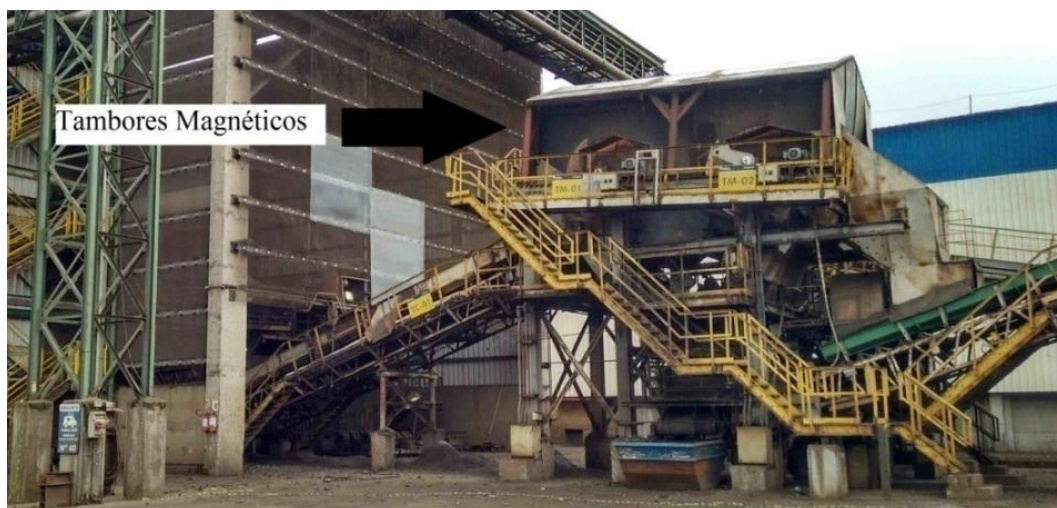


Figura 3.13 Tambores magnéticos.
Fonte: Cortesia Gerdau.



Figura 3.14 Localização do sistema de despoeiramento.
Fonte: Cortesia Gerdau.

Todo processo descrito anteriormente pode ser visualizado no fluxograma da figura 3.15. O material não ferroso que vai para a peneira rotativa é a mistura do material não magnético separado nos tambores magnéticos mais as impurezas retiradas pelo sistema de despoeiramento. Após o material passar pela peneira rotativa ele é separado em diferentes granulometrias. O sistema de *Eddy Current* irá separar os metais não ferrosos que podem ser vendidos e o que não for separado nesta etapa forma o resíduo do shredder, o *fluff*. Este resíduo é bastante heterogêneo, podendo conter plásticos, borracha, papel, tecidos, vidro e areia (RECKZIEGEL, 2012). Maiores informações sobre caracterização e aproveitamento deste resíduo podem ser vistos na dissertação de Reckziegel (2012).

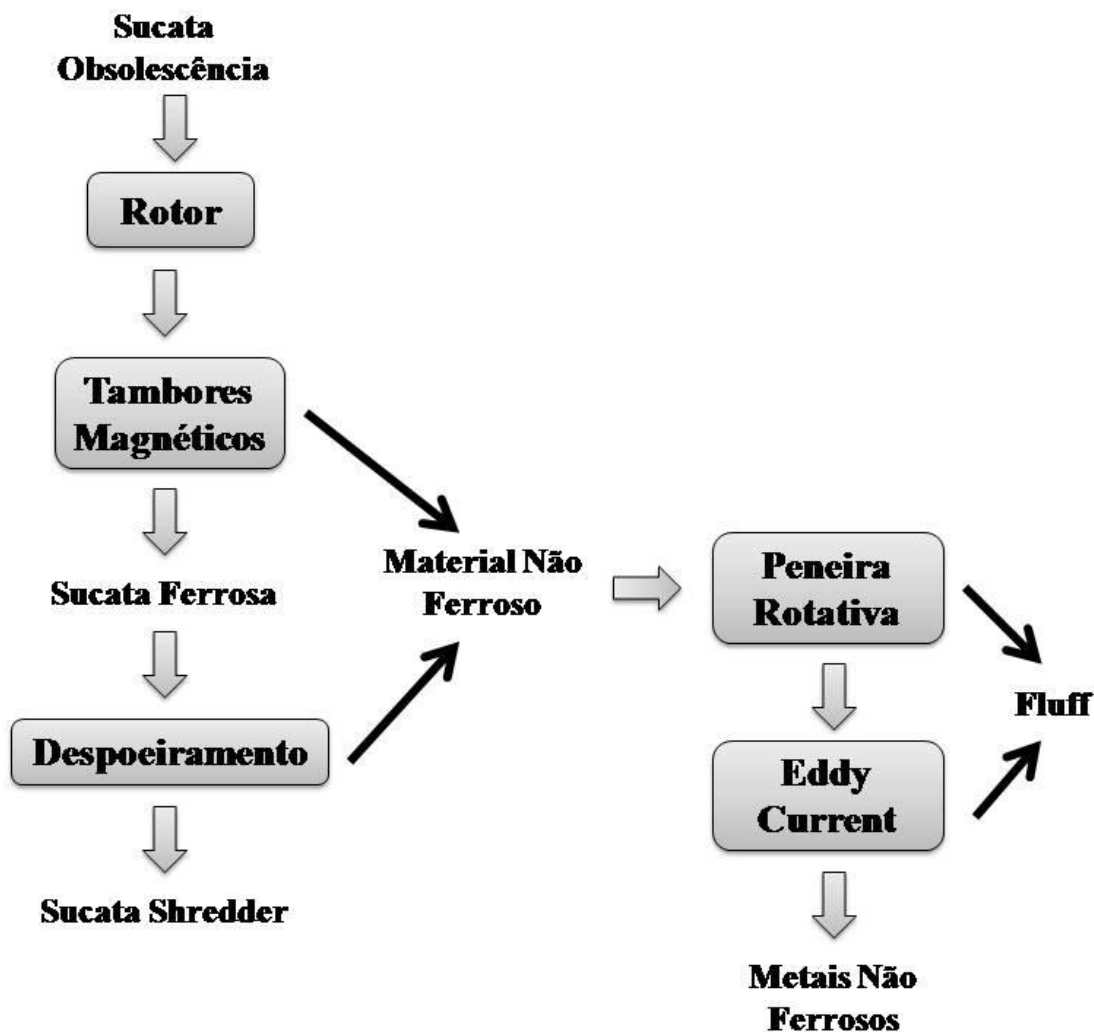


Figura 3.15 Fluxograma da operação do Shredder.

3.4.2 Sistema de Despoeiramento

Antes da sucata ser disposta na área de estoque, ela passa pelo sistema de despoeiramento para realizar a retirada de impurezas extrínsecas, como papel, plásticos, terra, entre outros. Mesmo após a separação magnética, pode ocorrer que certas impurezas continuem no meio da sucata, assim o despoeiramento é mais uma ferramenta para retirada dessas impurezas, entregando um produto final ainda melhor. O sistema de despoeiramento consiste em um sistema exaustor em que a vazão pode ser controlada por um *dumper* (figura 3.16). Alterações nesse equipamento podem aumentar ou diminuir a capacidade do despoeiramento. O material retirado pelo despoeiramento é misturado ao material não ferroso separado nos tambores magnéticos, indo para o *Eddy Current*. A sucata Shredder é colocada na área de estoque para ser usada no FEA.



Figura 3.16 *Dumper* do despoeiramento do Shredder.
Fonte: Cortesia Gerdau.

Ao variar a posição do *dumper* é possível realizar a retirada de mais ou menos impurezas. A figura 3.17 apresenta um esquema de como o *dumper* atua na vazão de ar do sistema de despoeiramento. Neste exemplo, na posição 0, se permite uma passagem de ar muito maior do que na posição 6. Quando a abertura for muito grande, pode haver passagem de material metálico junto as impurezas, podendo gerar perda metálica.

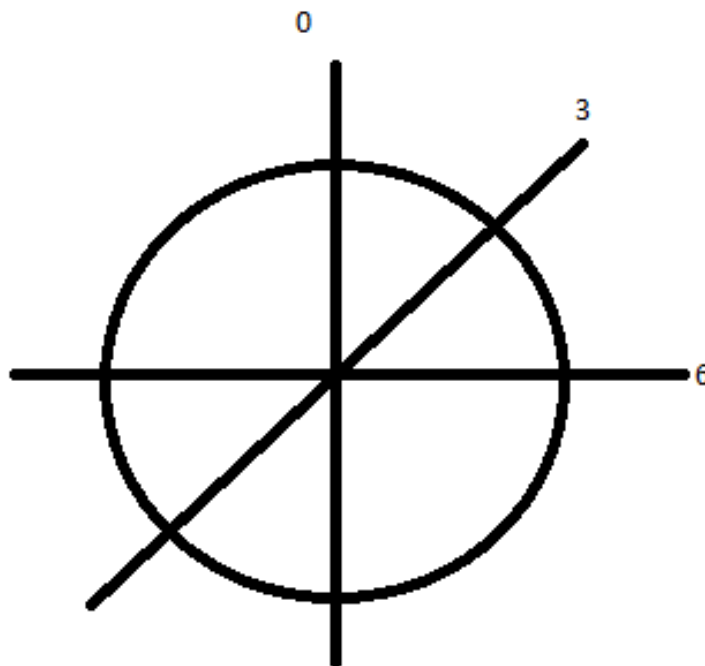


Figura 3.17 Alteração da vazão de ar devido a posição do *dumper*.

3.4.3 Eddy Current

Esta parte do equipamento é responsável por fazer a separação de metais não ferrosos que podem ser vendidos, diminuindo o custo de operação do equipamento. O material não magnético que não segue no processo após a separação magnética e o material retirado no despoeiramento irão passar no *Eddy Current* para a separação dos metais desejados (exemplos: alumínio e cobre).

Os separadores *Eddy Current* são compostos por uma correia transportadora com um rotor magnético que gera um campo indutivo devido a sua rotação. A velocidade de rotação gera uma rápida troca do campo magnético. Materiais não ferrosos com condutividade elétrica geram uma corrente magnética do tipo *Eddy Current*. A interação entre estas duas forças resulta na ejeção do material não metálico no fluxo da correia transportadora. Esse material ejetado será direcionado para um local de armazenamento e o material que segue na correia pode passar por mais processos *Eddy Current* ou considerado o resíduo do processo (fluff). O fluxo do *Eddy Current* pode ser visto na figura 3.18 (GOUDSMIT, 2016).

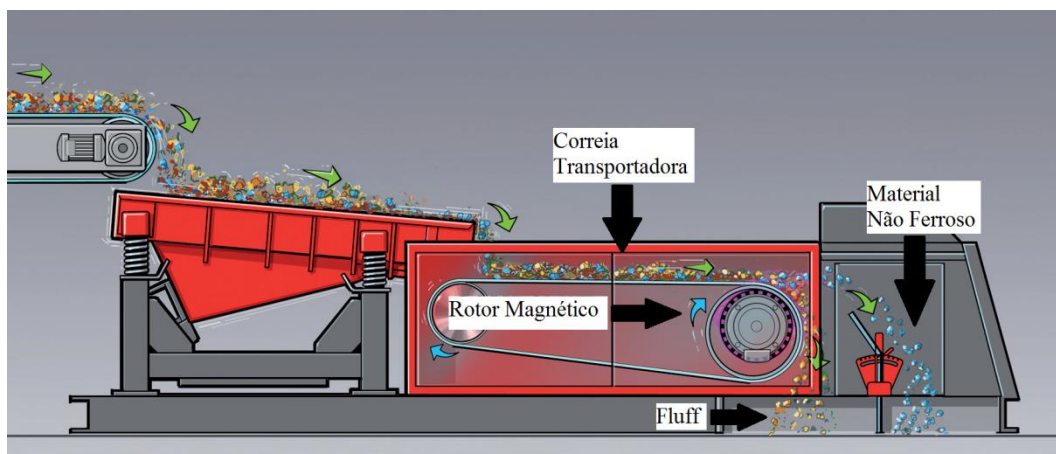


Figura 3.18 Fluxo do *Eddy Current*.
Fonte: Adaptado de Goudsmit (2016).

3.4.4 Sucatas Processadas

Um dos principais diferenciais dos Shredders no Brasil é o tipo de sucata processada, em sua grande maioria são usadas sucatas de obsolescência como matéria-prima, sendo a sucata mista uma das principais. A seguir pode-se ver algumas

características das principais sucatas processadas. A descrição abaixo foi baseada na Instrução Técnica de Sucata (ITS), norma interna da empresa para recebimento e classificação de sucatas.

- Sucata Mista: sucata gerada por obsolescência, em geral de materiais diversos como latarias, automóveis, geladeiras, tambores, galões, calhas, entre outros. Possui composição química variada e impureza intrínseca presente (ITS, 2015);
- Pacote de Mista: proveniente da prensagem da sucata mista. Pode apresentar dimensões inferiores a 800 mm, ou quando é utilizado encharutadores para prensagem, possui tamanho médio de 1500 mm (ITS, 2015);
- Obsolescência Separada: gerada pela seleção e separação (garimpo) de materiais provenientes da sucata mista. Deve estar isenta de materiais leves, como, por exemplo: fogões, geladeiras, latinhas, arames, entre outros. Isso favorece que a densidade seja maior quando comparada com a sucata mista (ITS, 2015);
- Miúda de Obsolescência: sucata de composição química variada (aços ligados), com altos índices de elementos residuais, podendo apresentar impureza intrínseca. Pode ter ou não revestimento metálico e apresenta dimensões inferiores a 800 mm. É composta por pedaços de tubo, pregos, mandíbulas, peças automobilísticas, entre outros (ITS, 2015);
- Graúda para Corte: sucata pesada composta de uma ou mais dimensões superiores a 800 mm e espessura maior que 3 mm. Podem necessitar passar por processamentos como tesoura móvel, antes de ser utilizado no Shredder (ITS, 2015).

O uso de sucatas de menor qualidade faz com que a operação do equipamento Shredder seja automatizado para estes tipos de sucata, buscando a maior produtividade nessas condições. Todas essas sucatas possuem um nível de impurezas intrínsecas que é retirado durante o processamento no Shredder.

Considerando que o equipamento tenha um rendimento médio de 70%, é possível deduzir que a média de impurezas gire em torno de 30%, sendo que deste valor, 7,5% é de material não ferroso, gerando retorno financeiro ao ser vendido. Desse modo, a impureza média das sucatas utilizadas como matéria-prima fica em 22,5%, este valor é referente à impureza extrínseca. (KIM, 2005)

3.4.4 Sucata Shredder

Depois de processada, a sucata Shredder (figura 3.19) apresenta as seguintes vantagens:

- Densidade;
- Dimensões;
- Baixo nível de impurezas;
- Composição química estável;
- Fácil transporte.

A densidade da SSHR pode ter valor máximo de 1200 kg/m^3 e mínimo de 600 kg/m^3 , apresentando em média 1000 kg/m^3 . Suas dimensões são inferiores a 20 cm. Essa densidade aliada ao dimensional ajuda a evitar problemas como sucata alta durante o carregamento do forno. Durante o processo, as impurezas intrínsecas, como revestimentos, são retiradas e as extrínsecas, como terra, ficam limitadas a valores baixos, entre 1-2%. A composição química é ideal devido ao uso dos tambores magnéticos. O residual de produtos não metálicos fica limitado a valores muito baixos, com isso, evitando possíveis desclassificações devido a presença de elementos como cromo, chumbo, cobre e alumínio.



Figura 3.19 Sucata Shredder.
Fonte: Cortesia Gerdau.

Todas essas vantagens são aliadas a uma facilidade no transporte, a sucata pode ser levada diretamente para o cestão através de esteiras ou carregadas com uso de caminhão basculante até o PPC.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Definição dos Procedimentos

O primeiro passo foi definir uma sequência de ações para garantir a continuidade dos testes. Todas as partes, desde a produção da sucata shredder até a coleta dos resultados do FEA, foram planejadas de modo a garantir que a próxima etapa ocorresse sem problemas. Optou-se por produzir a sucata shredder durante toda a noite anterior aos testes. Desse modo, garantindo que durante o dia fossem feitos todos os procedimentos para realização dos testes. Os mesmos foram realizados nas últimas corridas antes do forno parar para o período sazonal.

Com isso, foi definido a seguinte rotina:

- Produção da sucata shredder durante toda a noite com a configuração de despoejamento utilizada no teste;
- Organização do vão onde seria colocada a sucata shredder para o teste;
- Carregamento da sucata shredder do piso do Shredder para o pátio de preparação do cestão;
- Carregamento do cestão com a sucata shredder para o teste;
- Realização dos testes nas últimas corridas antes do período sazonal;
- Coleta dos resultados das corridas.

Junto a este planejamento foi definido, com ajuda de um fluxograma (figura 4.1), quais resultados seriam analisados em cada parte do processo.

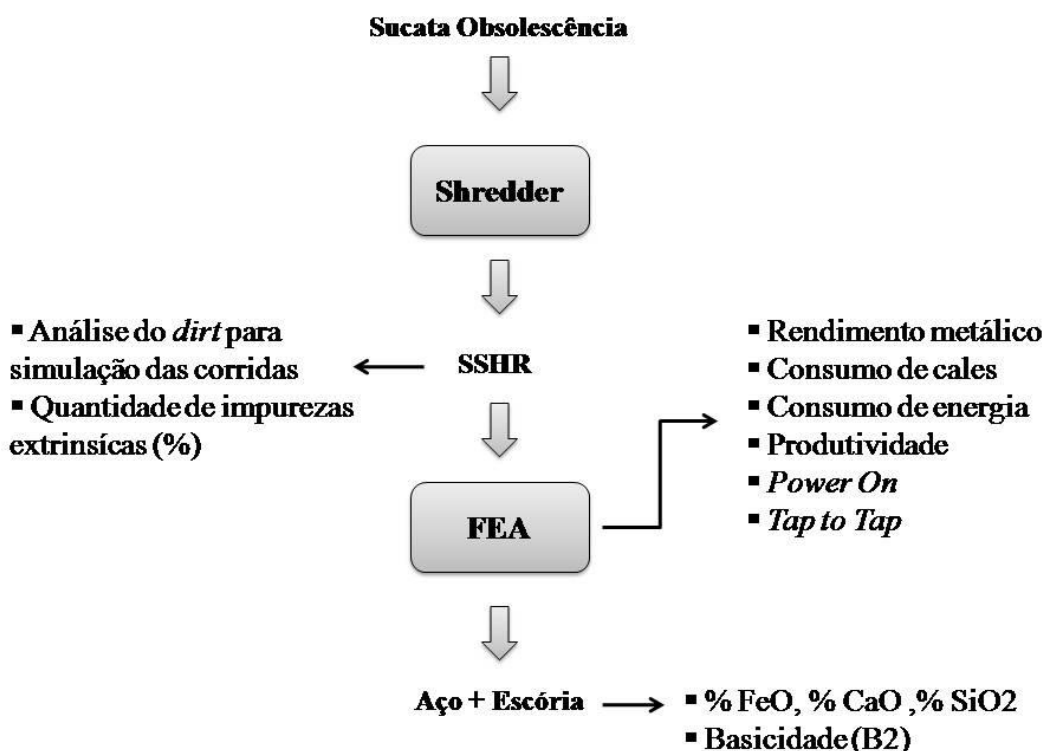


Figura 4.1 Fluxograma do trabalho.

Os testes foram realizados a partir de duas configurações no sistema de despoeiramento. O primeiro teste com o despoeiramento operando e o segundo com o mesmo ligado. Com o despoeiramento operando é possível fazer alterações no *dumper* para controlar a vazão de ar e permitir maior retirada de impurezas. No teste com o despoeiramento operando foi utilizada a posição 4º furo. Foi escolhida a posição que o equipamento opera diariamente e que apresenta bons resultados na limpeza da SSHR.

Na operação do FEA não foram feitas alterações no sistema de injeção, foram mantidas as mesmas condições de operação das corridas anteriores ao teste. O objetivo era que a única modificação fosse a qualidade da sucata, para avaliar o impacto da quantidade de impureza no rendimento metálico.

4.2 Produção da Sucata Shredder - SSHR

Para a produção da SSHR não foi selecionado nenhum tipo de sucata específica, foram utilizados todos os tipos de sucatas empregadas normalmente na produção. A variável no processo do Shredder foi à inclusão do despoeiramento na produção da SSHR utilizada no segundo teste. Ao utilizar somente um tipo de sucata, poderia se optar por um

tipo que apresentasse menor quantidade de impureza extrínseca, porém se desejava manter as condições de produções do dia-a-dia. Para a obtenção de um cestão a baixo custo é necessário usar todos os tipos de sucata disponíveis, não sendo possível escolher processar sucatas de melhor qualidade.

O despoeiramento pode ser modificado, alterando a posição do *dumper* do equipamento. Essa mudança pode ser feita manualmente pelo operador do Shredder (figura 4.2). Optou-se por utilizar somente a posição de operação diária do equipamento, sem realizar modificações na posição do *dumper*. O fator de diferença então ficou na utilização ou não do sistema de despoeiramento.



Figura 4.2 A) *Dumper* na posição 4º furo; B) *Dumper* na posição 1º furo.

Após a produção, foi coletada uma amostra de impureza da SSHR, como a carga fria seria composta de 100% SSHR. Desejava-se saber quais impurezas estariam entrando no forno. Foi coletada uma amostra de terra do piso do Shredder, no local onde foi produzido a SSHR para o teste. Somente foi recolhido terra, evitando pegar amostras ferrosas que poderiam invalidar o teste. A amostra foi levada para o laboratório para realização de análise química. A análise do *dirt* (figura 4.3) do SSHR foi feita da seguinte maneira:

- Coleta da amostra de impureza;
- Peneiramento em malha *mesh* #100;
- Retirada da parte ferrosa da amostra de impureza com imã;
- Preparação da amostra para análise por raio-X;
- Análise química considerando os seguintes elementos: SiO₂, CaO, MgO e Al₂O₃.



Figura 4.3 Amostra de *dirt* da sucata.

Fonte: Gerdau (2012).

Por motivos de sigilo industrial, a análise do *dirt* não pode ser incluída nos resultados. Com os resultados, foi utilizado um software de simulação genérico para determinação da quantidade de cales que seriam utilizadas nos testes e simulação das corridas.

Após, foram realizadas análises para estimar o valor de impurezas na sucata shredder conforme norma interna da empresa. Foram separadas amostras da mesma em um balde e levadas para análise no laboratório. As amostras foram coletadas na lateral do monte, em mais de um ponto. No laboratório, toda a amostra foi pesada e então as impurezas foram separadas da parte metálica manualmente. Após foi pesado somente as impurezas separadas. Com isso foi obtido a porcentagem de impurezas da amostra. Este resultado irá mostrar se o despoejamento é eficiente em retirar maior quantidade de impurezas durante o processamento da sucata no Shredder.

4.3 Preparação do Cestão e Corridas

Após a produção da sucata dos testes, foi feita a organização do vão para receber a SSHR. Foi realizada a limpeza do vão com auxílio de uma máquina Pá Carregadeira, a máquina levou todo material para o fundo do vão, retirando sucata e impurezas/terra da parte frontal do mesmo. Depois de limpar o vão, a SSHR foi carregada para o PPC para a realização dos testes.

Foram realizadas 4 corridas para condição sem despoejamento operando e 3 corridas para condição com despoejamento operando. A carga fria utilizada foi 100% SSHR e no cestão foi carregado 22,5t de SSHR mais cales. O objetivo de usar 100% de

SSHR na carga fria foi para obter os resultados com um menor número de corridas. Se fosse mantida a operação com outras sucatas na carga fria, o número de corridas para se atingir um bom resultado deveria ser maior, pois os outros tipos de sucatas poderiam afetar o rendimento metálico. Ao utilizar somente SSHR, foi eliminado o erro que outras sucatas poderiam trazer para o resultado.

O carregamento (figura 4.4) foi dividido em 2 cestões. O valor de cales adicionadas foi baseado nas simulações realizadas no software, o mesmo deveria garantir uma boa basicidade da escória, dentro dos limites de operação, além de garantir a espumação da escória. No primeiro carregamento foi colocado SSHR e cales, e no segundo somente SSHR. A camada de cales foi colocada em cima da camada de SSHR.



Figura 4.4 Carregamento da SSHR para o cestão utilizando eletroímã.
Fonte: Cortesia Gerdau.

Na tabela 4.1 é mostrada a carga fria utilizada nos testes. No teste sem despoeiramento operando não houve variação na carga fria, já no segundo teste houve variação na sucata carregada e cales, o valor da tabela mostra a média das corridas. O valor de sucata carregada variou 0,1t da primeira para a segunda e terceira corrida, pequena variação aceitável dentro da operação de carregamento de sucata pela ponte rolante. O valor de cales adicionados iniciou em 28,44 kg/t na primeira corrida, reduzindo para 25,66 na última corrida dos testes. O valor inicial mais alto foi para garantir a espumação da escória, sendo obtida uma boa espumação, foi-se reduzindo o valor de cales adicionado na próxima corrida. Nos resultados serão mostrados os valores de cada corrida.

Tabela 4.1 Média da carga fria dos testes realizados.

	Sem Despoeiramento Operando	Com Despoeiramento Operando
SSHR (t)	22,5	22,57
Cal Calcítica (kg)	300	303,3
Cal Dolomítica (kg)	250	303,3
Consumo kg/t	24,44	26,88

Não houve precipitação pluviométrica nos dias dos testes, com isso não houve modificação de valores na umidade devido à chuva.

Para melhorar os resultados dos testes, nas corridas anteriores buscou-se diminuir o fundo úmido do FEA, com o objetivo de minimizar interferências no resultado do rendimento metálico. Se houvesse muito aço de corridas anteriores, poderia haver erro no valor do rendimento metálico. Com isso, foi-se secando o fundo do FEA nas corridas anteriores ao teste.

Os teores de FeO, CaO e SiO₂ foram analisados quando o FEA realizou o vazamento para o forno-panela. Com os valores de CaO e SiO₂, foi calculado a basicidade binária B2.

Após a realização das corridas, todos os resultados do FEA foram coletados para realizar a análise dos mesmos. Por razões industriais, alguns resultados serão expostos como comparativos a partir dos valores obtidos no teste sem despoeiramento operando.

Os seguintes parâmetros do processo serão coletados para análise dos resultados:

- Rendimento metálico por corrida em porcentagem;
- Teores de FeO, SiO₂ e CaO e basicidade binária da escória;
- Consumo de cal calcítica e dolomítica por corrida em kg/t;
- Consumo de energia elétrica do FEA por corrida em kWh e kWh/t;
- Potência média do FEA em MW;
- Produção horária do FEA em t/h;
- *Power on* (tempo de forno ligado) em minutos/corrída;
- *Tap to tap* em minutos/corrída.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns resultados serão apresentados de maneira comparativa, utilizando o cenário do Teste 1, sem despoejamento operando, como zero. Este cenário será chamado de BASE. Os resultados do Teste 2, com despoejamento operando, irão mostrar a variação do mesmo em relação ao cenário BASE.

Por questões de confidencialidade acerca dos dados obtidos, optou-se por apresentar os resultados da maneira acima. O rendimento metálico, quantidade de impurezas na sucata shredder e o teor de FeO não serão apresentados neste modelo, os valores obtidos nos dois cenários serão mostrados em seu valor verdadeiro, sem comparação com um cenário BASE.

5.1 Impurezas na SSHR

Foram coletadas amostras de sucata shredder da produção com e sem despoejamento operando para análise das impurezas.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as amostras coletadas e as impurezas separadas para cada cenário.

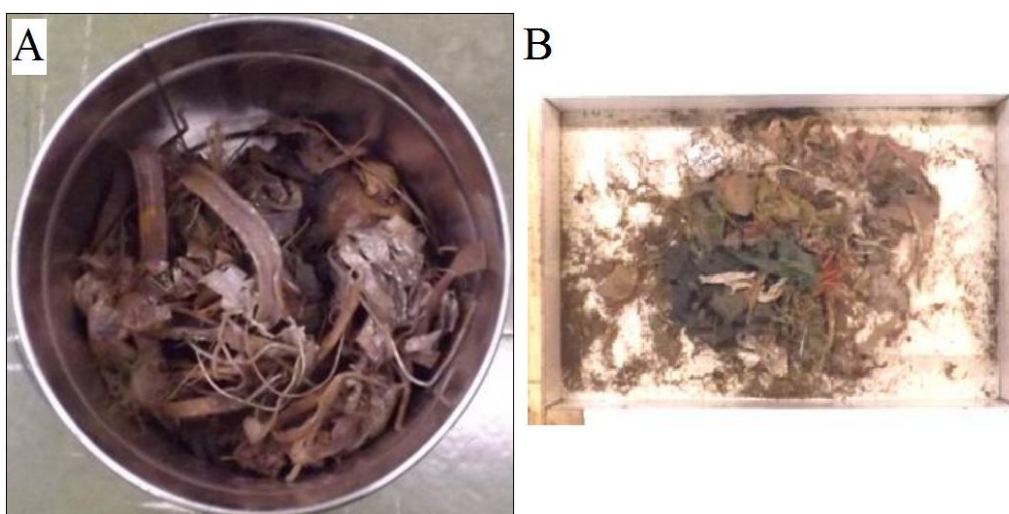


Figura 5.1 Produção sem despoejamento operando (A) Sucata shredder mais impurezas; (B) Impurezas separadas.

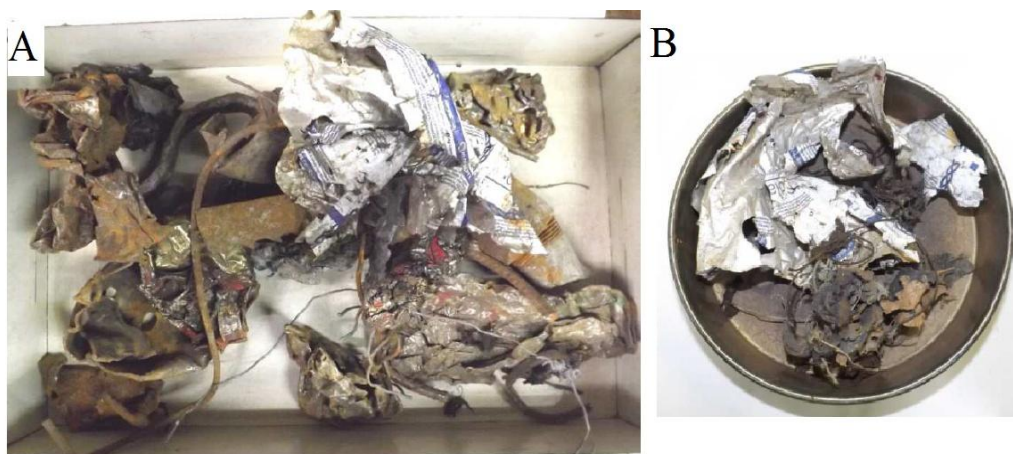


Figura 5.2 Produção com despoeiramento operando (A) Sucata shredder mais impurezas; (B) Impurezas separadas.

Na tabela 5.1 são apresentados os valores em porcentagem das impurezas encontradas em cada análise.

Tabela 5.1 Quantidade de impurezas na sucata shredder, % em massa.

	Sem Despoeiramento Operando	Com Despoeiramento Operando
Quantidade de impurezas (%)	5,06	0,28

Houve diminuição de 4,78% na quantidade de impurezas quando o despoeiramento esteve operando durante a produção da sucata shredder. Este resultado comprova a eficiência do despoeiramento em retirar maior quantidade de impurezas. Essa redução ocorreu devido ao sistema exaustor presente no despoeiramento. Por densidade foi possível retirar grande quantidade de pós, papéis e plásticos contidos na sucata mesmo após a separação magnética.

5.2 Rendimento Metálico

Foram realizadas 4 corridas sem despoeiramento operando, com valor médio de 92,75% e desvio padrão de 3,48. Os resultados das 4 corridas apresentaram valor dentro do intervalo de um desvio padrão. No teste com despoeiramento operando a média ficou em 94,09% e o desvio padrão de 1,46. Duas corridas apresentaram maior variação e ficaram em um intervalo de 3 desvio padrão, enquanto uma corrida se encontrou dentro do intervalo de um desvio padrão. Apesar dos testes com despoeiramento operando terem apresentado resultados que se desviaram do desvio padrão, foi feito o balanço de massa do

início (carregamento) ao fim (lingotamento contínuo) do processo, e não foi verificada perdas durante o processo. Com isso, os valores de rendimento metálico estão corretos. O valor de 97,72% na primeira corrida pode ser resultado da capacidade de panela e/ou capacidade do LC, naquele momento era possível vaziar uma maior quantidade de aço. Na segunda corrida, onde o rendimento foi de 90,77% a capacidade se encontrava elevada devido à primeira corrida, com isso foi vazado uma menor quantidade de aço.

O gráfico da figura 5.3 apresenta a média dos valores de rendimento metálico do FEA obtidos nos dois cenários testados.

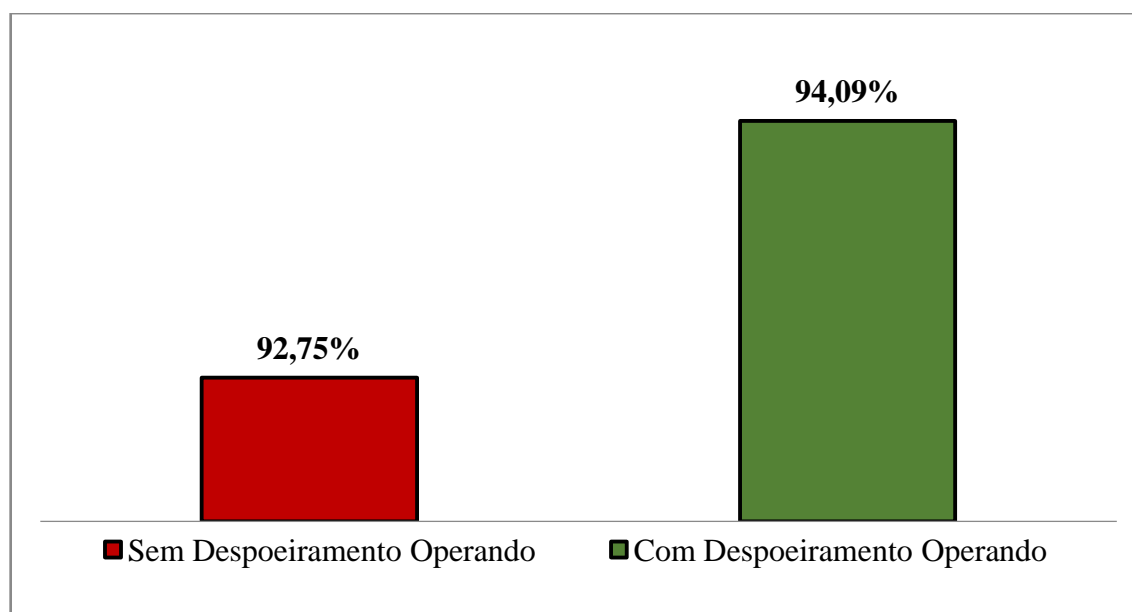


Figura 5.3 Média do rendimento metálico do FEA para os dois cenários testados.

A inclusão do despoeiramento no Shredder resultou em um aumento de 1,34% no rendimento metálico do FEA. Este aumento no rendimento está associado à menor quantidade de impurezas extrínsecas adicionadas ao forno elétrico no início do processo. As impurezas extrínsecas representam material não metálico e deverão ir para a escória ou para o sistema de despoeiramento durante o processo no FEA. Ao diminuir essa quantidade de impurezas, menos material se incorporou a escória, sendo possível vaziar uma maior quantidade de material metálico. Os métodos de injeção não foram alterados, com isso a variação do rendimento metálico estava associada a sucata carregada e não aos métodos de injeção praticados nas corridas.

O aumento do rendimento metálico proporciona ganhos no custo do aço, segundo Torres (2003), ganho de 1% no rendimento metálico pode levar a uma redução de 3-4 US\$/t no custo final do aço. Esse valor deve ser analisado melhor em cada local e pode ter

variações, porém os ganhos existem e ao produzir em escala industrial esse aumento do rendimento metálico é algo considerável e deve ser levado em conta para a diluição de custos de todo o processo. Ao ser vazado mais aço no processo, todos os custos da produção tendem a ser diluídos. Nos próximos tópicos serão mostrados os outros resultados que o uso do despoeiramento proporcionou. O aumento da basicidade favoreceu a espumação da escória e com isso a melhor proteção do arco, isto pode levar a diminuição do consumo de eletrodos. A diminuição da porcentagem de SiO_2 está associada ao aumento da basicidade, ao deixar a escória mais básica também deve haver diminuição do ataque aos refratários devido a diminuição do MgO de saturação. Isto vale para refratários de Mg-C, que é o caso do utilizado no forno dos testes. A diminuição do MgO de saturação deve levar a diminuição do consumo de refratários.

O aumento do rendimento metálico aliado a análise da quantidade de impurezas comprova que o uso do despoeiramento é efetivo para retirar maior quantidade de impurezas extrínsecas da sucata shredder após a separação magnética. Caso o despoeiramento não esteja operando, este material irá seguir até o final do processo e será carregado ao forno, causando queda no rendimento metálico. Em relação ao rendimento do Shredder, o valor não é expressivo, foi realizada uma noite de testes para cada condição, o valor do rendimento de um dia não é significativo para dissertar como resultado. É esperado que a inclusão do despoeiramento diminua o rendimento do Shredder, pois mais material está sendo retirado no processo. Porém, para resultados significativos, deveriam ser realizadas produções em tais condições durante um período maior.

É importante ressaltar que este aumento de rendimento ocorreu com 100% de sucata shredder na carga fria. A maioria das aciarias elétricas utilizam um *mix* de sucatas, buscando diminuição de custos e otimização do forno. Ao utilizar menor quantidade de sucata shredder, ainda haverá ganhos no rendimento metálico do FEA, pois menos impurezas entrarão no forno, porém os valores devem ser mais baixos. Mesmo o aumento sendo menor, ainda é indicado o uso da sucata shredder com despoeiramento operando, pois o aumento no rendimento metálico irá gerar valores significativos em períodos maiores de produção, obtendo ganhos para o processo.

5.3 Escória, Basicidade e Cales.

Os resultados estão apresentados de forma comparativa, sendo o cenário sem despoeiramento operando considerado como BASE. A basicidade analisada foi a

basicidade binária segundo a equação 2. Os resultados mostrados são as médias de cada item, para as duas situações testadas.

$$\text{Basicidade Binária B2} = \frac{\%CaO}{\%SiO_2} \quad (2)$$

O consumo de cales foi mantido constante no teste com sucata shredder sem despoejamento operando, no outro teste, a cada corrida foi diminuído a quantidade de cales na preparação do cestão. Iniciou-se com 28,44 kg/t na primeira corrida, terminando com 25,66 kg/t no último teste. As tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os valores de cal calcítica e cal dolomítica carregados em cada corrida, assim como o valor total de sucata carregada para ser possível avaliar o valor em kg/t. No segundo teste, optou-se iniciar com maior quantidade de cales devido ao primeiro teste ter apresentado dificuldades durante a operação do FEA em relação a espumação da escória. Com isso, se iniciou com um valor mais alto, que foi diminuído conforme as corridas apresentaram um bom desempenho. Foi avaliada a espumação da escória e realizada a análise visual da mesma para ser possível baixar o valor de cales adicionados na corrida seguinte.

Tabela 5.2 Carga fria dos testes sem despoejamento operando.

Sem Despoejamento Operando		
	Corrida 1,2,3 e 4	Média
Peso Carregado (t)	22,5	22,5
Cal Calcítica (kg)	300	300
Cal Dolomítica (kg)	250	250
Consumo kg/t	24,44	24,44

Tabela 5.3 Carga fria dos testes com despoejamento operando.

Com Despoejamento Operando				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Média
Peso Carregado (t)	22,5	22,6	22,6	22,57
Cal Calcítica (kg)	320	300	290	303,33
Cal Dolomítica (kg)	320	300	290	303,33
Consumo kg/t	28,44	26,54	25,66	26,88

O gráfico da figura 5.4 apresenta as médias das porcentagens de SiO₂, CaO, basicidade binária e consumo de cales em kg/t.

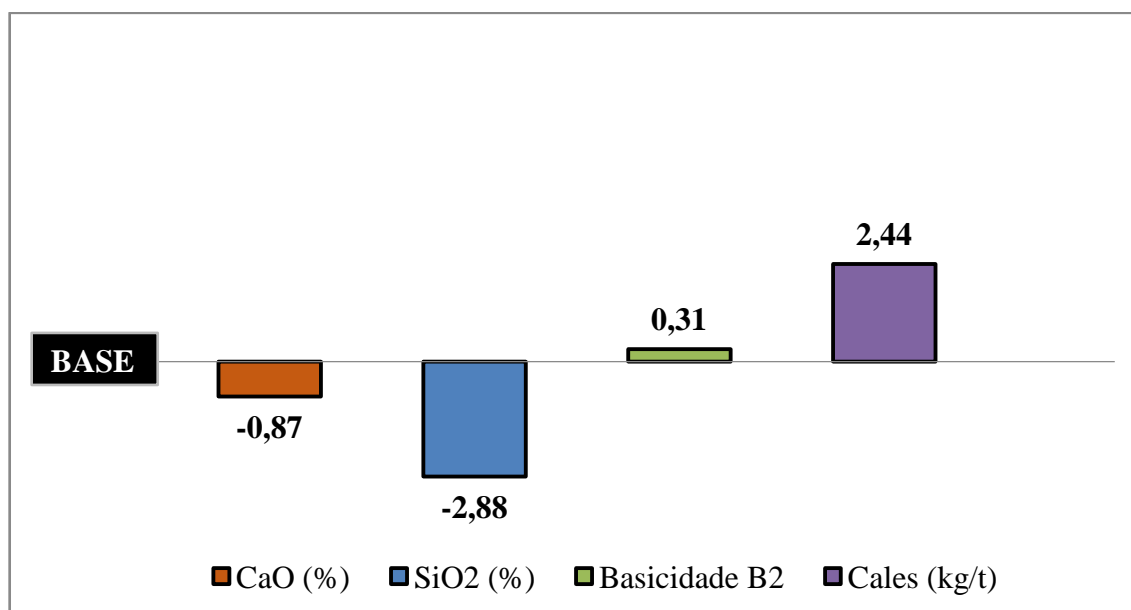


Figura 5.4 Média das porcentagens de SiO₂ e CaO, basicidade binária e consumo de cales.

A porcentagem de CaO apresentou queda de 0,87 e a porcentagem de SiO₂ teve queda de 2,88. O teste com despoeiramento operando colocou uma menor quantidade de impurezas no forno e, com isso, era esperado que menos material fosse para a escória. A porcentagem de SiO₂ apresentou uma queda esperada, dentre as impurezas extrínsecas que vão para o forno junto a sucata shredder, a terra com aproximadamente 55% de sílica é um dos principais componentes, logo ao se diminuir a quantidade de terra, esperava-se uma queda na porcentagem de SiO₂. Para CaO, como foi adicionado mais cales nos testes com despoeiramento operando, essa maior quantidade pode ter influenciado em manter este valor nos mesmos patamares do teste sem despoeiramento operando. A terra também é fonte de CaO, aproximadamente 22%, ao diminuir a quantidade de impurezas, este valor também poderia ter diminuído. Outra hipótese pode ter sido o aumento do teor de FeO, como os valores estão em porcentagem, outros elementos podem influenciar no valor de CaO, já que o aumento do teor de FeO pode ter influenciado na porcentagem de CaO. Estes motivos podem não justificar essa continuidade dos valores e mais estudos em relação a este assunto devem ser realizados para inferir as reais causas deste resultado.

A basicidade binária apresentou aumento de 0,31. Ela está diretamente relacionada a porcentagem de SiO₂ e, ao diminuí-la, era natural que a basicidade aumentasse. Nos dois casos a basicidade binária apresentou valores dentro dos padrões de operação do FEA,

porém no cenário com despoeiramento operando foi verificado melhor espumação da escória. O aumento da basicidade foi favorável para o processo do FEA neste aspecto. Este ganho pelo uso de sucata shredder com despoeiramento operando deve ser levado em consideração para se optar pelo uso do despoeiramento durante a produção da SSHR.

O consumo de cales apresentou aumento de 2,44 kg/t na média das corridas. Este aumento foi devido ao uso de maior quantidade de cales no segundo teste, conforme foi justificado. No teste com despoeiramento operando, a quantidade de impurezas foi muito pequena e, com isso, poderia acontecer de haver pouca escória sobre o banho líquido, expondo o arco elétrico. A adição de cales proporcionou a manutenção de uma escória ideal que garantisse a proteção do arco. É possível que esse valor pudesse ser diminuído com a realização de mais testes, até ser encontrado um ponto ideal de utilização.

5.4 Teor de FeO

O teor de FeO foi analisado somente no final do processo do FEA, esta é uma análise padrão e é feita em todas as corridas. Esta análise é importante, pois se houvesse teores muito altos de FeO, significaria que estaria ocorrendo perda metálica pela escória, comprometendo o principal resultado analisado, o rendimento metálico.

Era desejado que o teor final de FeO ficasse dentro do intervalo considerado ideal do processo, entre 25-30%. No teste sem despoeiramento operando, o valor médio ficou abaixo deste intervalo (21,65%), indicando que não houve perda de ferro pela escória. No teste com despoeiramento operando, o valor médio ficou dentro do intervalo (26,93%), indicando que também não houve perdas. Não houve nenhum valor individual que ultrapassou a faixa de 30%, todas as corridas se comportaram de maneira semelhante, indicando que em nenhuma houve perda de ferro. O aumento no segundo teste será discutido na sequência da discussão. Era de interesse realizar o acompanhamento do teor de FeO ao longo do refino, porém não foi possível ser realizado. Com isso, foi analisado somente o valor no momento do vazamento do FEA.

O gráfico da figura 5.5 apresenta a média do teor de FeO para as duas condições testadas.

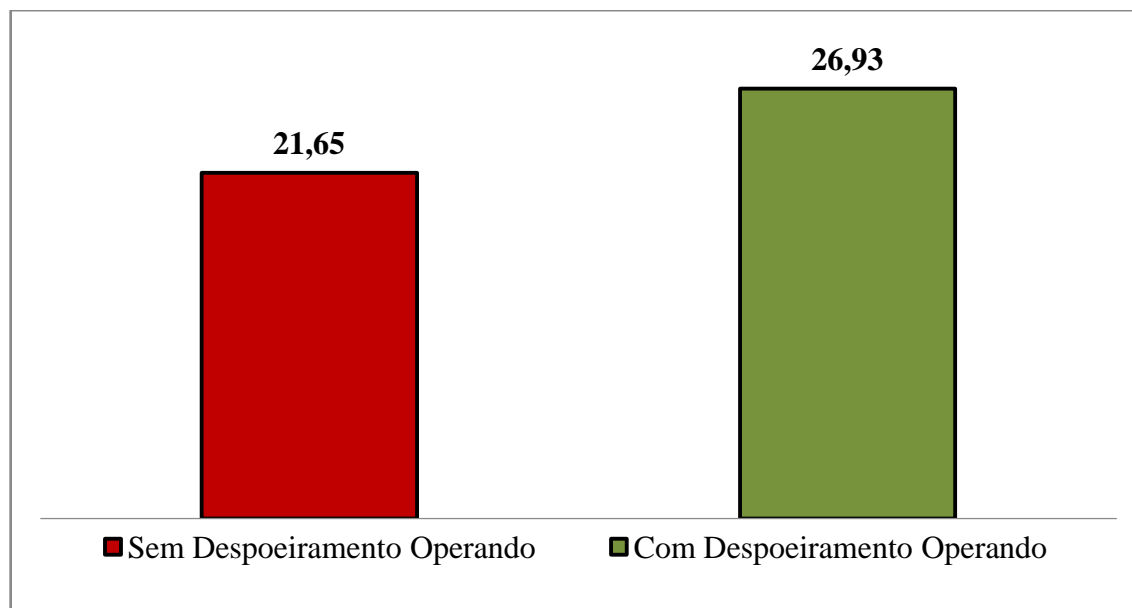


Figura 5.5 Média do teor de FeO.

Houve um aumento de 5,28% no teor de FeO do teste com despoeiramento operando. Este aumento não está relacionado ao teor de carbono de vazamento, o qual seguiu o valor desejado pelo programa químico das corridas. A variação pode ter sido aos valores menores de SiO_2 carregados com a sucata shredder com despoeiramento operando. Como foi analisado os valores em porcentagem, variações em outros elementos podem refletir na análise do teor de FeO. Do mesmo modo que foi dito no caso do teor de CaO, devem ser feitos mais estudos para validação desta hipótese. Uma explicação mais provável pode ser a variação da carga triturada no Shredder, a sucata de obsolescência pode apresentar alguma variação e, com isso, pode ter sido carregado uma carga com menor quantidade de carbono no sistema. Essa menor quantidade de carbono teria impacto demonstrado pela curva de carbono crítico (figura 5.6).



Figura 5.6 Curva de carbono crítico durante a descarbonização.

Fonte: Falconi (1980).

Considerando que a sucata shredder não apresenta variação nos teores de alumínio e silício, a fase prévia se mantém igual, porém se houver menor quantidade de carbono no sistema, sendo mantida a programação química da corrida, será atingido mais rapidamente o valor de carbono crítico. Ao se atingir esse valor, o oxigênio injetado passa a reagir com o Fe aumentando o teor de FeO da escória.

5.5 Consumo de Energia Elétrica

O gráfico da figura 5.7 apresenta os valores verificados quanto à energia elétrica gasta pelo FEA durante a fusão. Os dados estão mostrados de forma comparativa ao cenário BASE, como já foi explicado anteriormente, e demonstrados em forma de porcentagem.

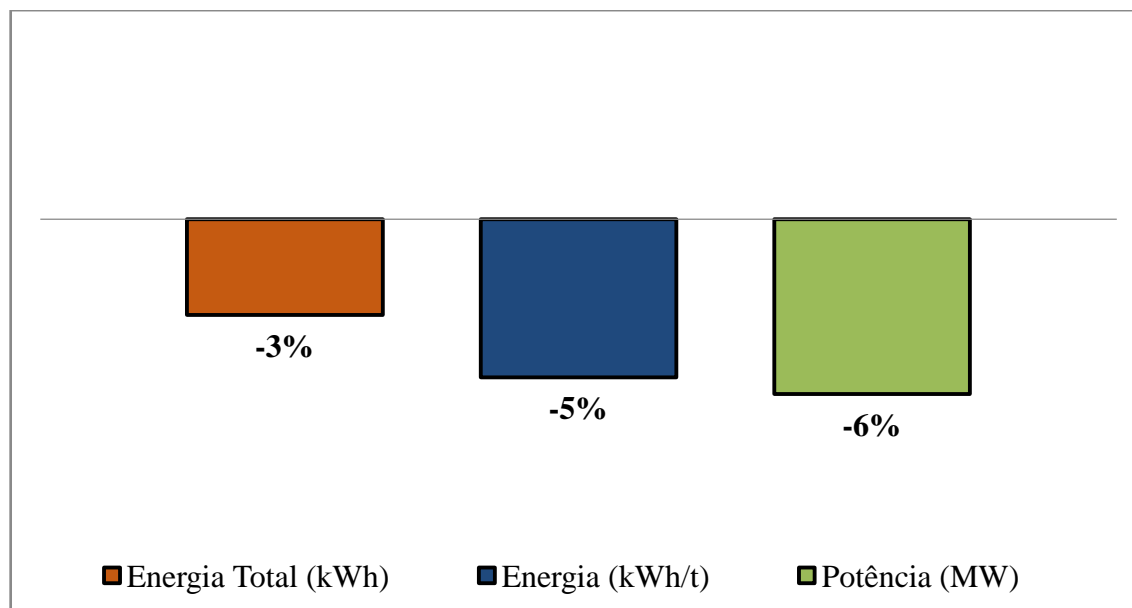


Figura 5.7 Média do consumo de energia elétrica total, energia elétrica por tonelada de aço e potência média.

Praticamente não houve variação no consumo de energia elétrica nos dois testes. Ocorreu uma queda de 3% no consumo em kWh e de 5% em kWh/t. O principal ganho foi no valor em kWh/t. A diminuição deste valor ocorreu devido ao aumento do rendimento metálico. O consumo total de energia em kWh permaneceu praticamente a mesmo. O ganho em kWh/t mostra que foi possível vazar mais aço com a mesma quantidade de energia. Esta diminuição representa ganhos no custo energético do processo.

A potência média também apresentou uma queda de 6%, porém este valor inclui outros fatores da operação além do FEA. A aciaria em que foi realizado os testes opera com 2 FEA e 2 fornos-panela, com isso, dependendo do sincronismo na operação desses equipamentos, pode haver flutuações significativas na média de tensão. Com isso, esta queda pode estar relacionada com outros fatores e não somente com o fato de se utilizar sucata shredder com despoeiramento operando. Variações da tensão externa também podem afetar o resultado. Este resultado está ligado com o valor de *power on* e voltará a ser abordado.

5.6 Outros Parâmetros do Processo

Foram analisados os parâmetros *tap to tap*, *power on* e produção horária para verificar se não houberam variações que pudessem ser negativas ao processo. Aumentar o

rendimento metálico, porém com quedas em parâmetros importantes do processo, não justificariam o uso da sucata shredder com despoeiramento operando. O ganho obtido no rendimento metálico pode ser perdido devido à queda de produção horária. Os resultados serão apresentados utilizando o cenário sem despoeiramento operando como BASE.

O gráfico da figura 5.8 apresenta a média dos valores analisados.

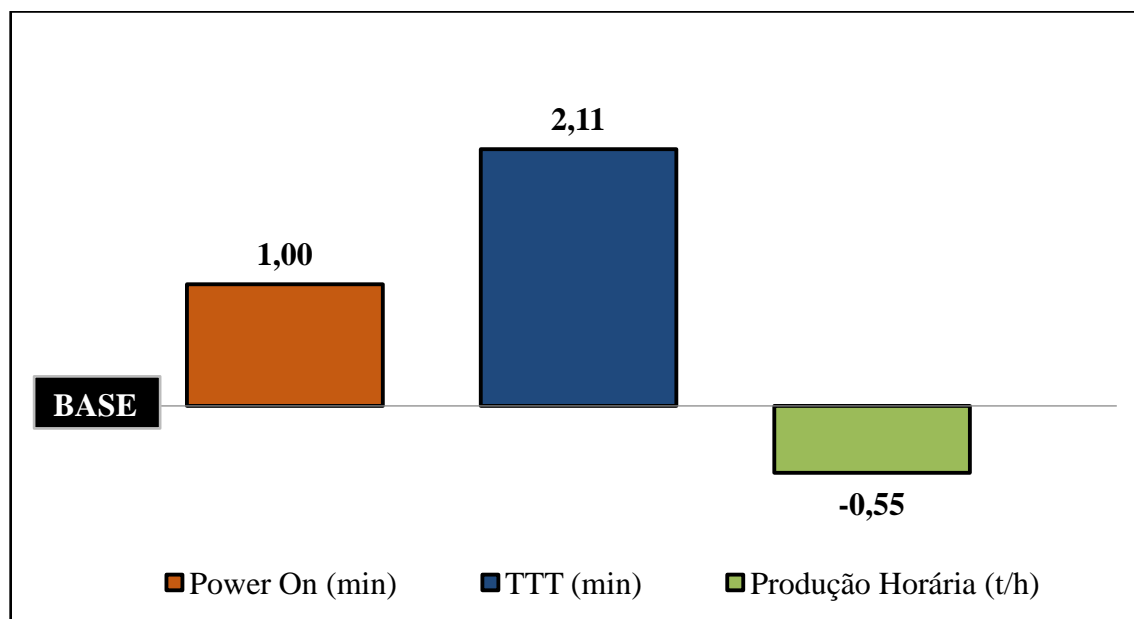


Figura 5.8 Média dos valores de *power on*, *tap to tap* (TTT) e produção horária.

O valor de *power on* (tempo em que o FEA permanece ligado) aumentou em 1 min e o tempo de *tap to tap* aumentou em 2,11 min. Apesar de serem valores pequenos, devem ser levados em consideração, pois devido ao seu aumento, a produção horária caiu 0,55t/h. Essa queda na produção horária foi um fator negativo para o teste, pois com o aumento do rendimento metálico, era esperado aumento da produção horária em t/h. Os valores de *power on* e *tap to tap* estão relacionados com o valor da potência média. Como houve queda de 6% no valor da potência média em MW, houve menor quantidade de energia por tempo fornecido ao processo. Esta menor quantidade levou ao aumento do tempo em que o forno ficou ligado, aumentando estes dois resultados.

O primeiro teste foi realizado em 4 corridas e o segundo em 3, além de serem feitos nas últimas corridas antes do forno parar para o período sazonal. Estes fatores podem ter interferido na análise destes dados, para melhores resultados, seria melhor acompanhar um turno, ou um dia inteiro de produção. Com um maior tempo de observação, as variações de potência poderiam ser menores e estes valores poderiam ser melhor analisados. Como a

variação foi pequena, pode ser possível que num maior número de corridas, estes dados apresentem o resultado esperado: aumento da produção horária em t/h.

6 CONCLUSÕES

Devido aos resultados obtidos nos testes foi possível concluir que:

- A operação do Shredder com o sistema de despoeiramento operando retirou maior quantidade de impurezas durante o processo. A quantidade de impurezas diminuiu 4,78% nesta condição.
- O rendimento metálico aumentou 1,34% devido ao uso de sucata shredder produzida com o despoeiramento operando, pois nesta situação foi carregado menor quantidade de impurezas para o forno.
- A % de SiO_2 diminuiu 2,88% no teste com sucata shredder produzida com despoeiramento operando e a % de CaO não apresentou variação. Este fator levou a um aumento de 0,31 na basicidade binária da escória.
- O consumo de cales não sofreu variação significativa, isso ocorreu para manutenção da espumação da escória durante a fusão.
- Os valores finais de FeO ficaram dentro dos valores ideais de operação, mostrando que não houve perda metálica pela escória no processo.
- O consumo de energia elétrica em kWh/t apresentou queda de 5% no teste com despoeiramento operando. O consumo de energia elétrica total permaneceu praticamente o mesmo
- A potencia média apresentou queda de 6% causando aumento nos tempos de *power on, tap to tap*. Este fator levou a uma queda de 0,55 t/h na produção horária.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como perspectivas do trabalho, sugere-se que sejam realizadas análises do rendimento metálico com o uso de outras sucatas na carga fria, além da sucata shredder. Bem como deve-se analisar a quantidade de cal crítica usada no teste com despoeiramento operando, para que haja boa espumação da escória, e deve-se realizar trabalhos visando a aumento da vida útil de eletrodos e refratários devido às boas condições de espumação obtidas no teste com despoeiramento operando. Outro aspecto importante seria adaptar os métodos de injeção para tentar se obter mais ganho no rendimento metálico, visto que nos testes não foi alterado este parâmetro. Os testes também devem ser realizados em um período maior para melhor análise da produção horária.

8 REFERÊNCIAS

ABOUSSOUAN, L. et al. Steel scrap fragmentation by shredders. **Powder Technology**, v. 105, n. 1, p. 288-294, 1999.

CHEVRAND, L. J. S. **Aciaria Elétrica - Situação Elétrica e Tendência 2025**. Rio de Janeiro: ABM, 2007.

Eddy Current Separators. Goudsmit Magnetic System.
<http://www.goudsmitmagnets.com/data/repository/documents/Brochure_Eddy_current_on_ferrous_separator_EN.pdf> Acesso em 3 de Outubro de 2016.

FALCONI, V. C. **Tecnologia de Fabricação do Aço Líquido**. UFMG, 1980.

FIEDLER, H.; SAKAI, S. Shredder Plants for Treatment of end-of-life-vehicles. Information document prepared for the third Session of the Expert Group on BAT/BEP. 2004.

FILHO, B. M. A. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico**. Brasília: ABM, 2008.

ITS, **Instrução Técnica de Sucata**, São Paulo, 2015

JANKE, D. *et al.* Scrap-Based Steel Production and Recycling of Steel. v. 34, n. 6, p. 387–399, 2000.

JOHN, A. L. **Melhorias no desempenho dos injetores supersônicos em operação em um forno elétrico a arco**. Porto Alegre, UFRGS, 2009. Dissertação de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JONES, J. A. *et al.* **Electric Furnace Steelmaking**. Pittsburgh: The AISE Steel Foundation, 1998, v. 10, p. 525-660.

KIM, J.-G. Strategy and Development of Recycling Technology for End-of-Life (ELVs) in Germany. **Journal of Korean Institute of Resources Recycling**, v. 14, n. 3, p. 16–36, 2005.

MALFA, E. *et al.* Cost and Energy Effective Management of EAF with Flexible Charge Material Mix. **BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte**, v. 158, n. 1, p. 3–12, 2013.

MEMOLI, F.; JONES, J. A. T.; PICCIOLO, F. How Changes in Scrap Mix Affect the Operation of Consteeel® EAF. **AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings**, v. 1, n. 412, p. 795–808, 2013.

MOREIRA, M. F. **Apostila de Siderurgia**. Rio de Janeiro, 2012.

NASCIMENTO, C. C. **Modelamento do rendimento metálico em fornos elétricos a arco**. Rio de Janeiro, UFF, 2008. Dissertação de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal Fluminense.

NASCIMENTO, C. C.; SCAL, M. W.; CASTRO, J. A. Estudo dos parâmetros de influência no rendimento metálico de uma aciaria elétrica **40º Seminário de Aciaria - Internacional**, p. 313–324, 2009.

NOURREDDINE, M. Recycling of auto shredder residue. **Journal of Hazardous Materials**, v. 139, n. 3, p. 481–490, 2007.

RECKZIEGEL, V. N. **Caracterização para o aproveitamento do resíduo de um triturador de sucata de uma usina siderúrgica**. Porto Alegre, UFRGS, 2012. Dissertação de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIZZO, E. M. S. **Curso de Introdução aos Processos Siderúrgicos**. São Paulo: ABM, 2005.

ROSSI, D. **Influência da proporção entre as vazões de oxigênio de gás natural do sistema de injeção na eficiência energética de um forno elétrico a arco**. Porto Alegre, UFRGS, 2014. Dissertação de Mestrado, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANDBERG, E. **Energy and scrap optimisation of electric arc furnaces by statistical analysis of process data**. [s.l.] Lulea University of Technology, 2005.

SANDBERG, E.; LENNOX, B.; UNDVALL, P. Scrap management by statistical evaluation of EAF process data. **Control Engineering Practice**, v. 15, n. 9, p. 1063–1075, 2007.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **The Newell Shredder**. USA, 1994.

TORRES, R. G.; LULE, R. G.; LOPEZ, F. A.; CONEJO, A. N. Analysis of Yield Losses in Steel Production in EAF of IMEXSA. **14th IAS Steelmaking Conference**, Argentina: 2003.

TURKDOGAN, E. T. **Fundamentals of Steelmaking**. The Institute of Materials, London, 1996.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Steel Statistical Yearbook**. Brussels, 2015.

YETISKEN, Y.; CAMDALI, U.; EKMEKCI, I. Cost and Energy Analysis for Optimization of Charging materials for steelmaking in EAF and LF as a system. **Metallurgist**, v. 57, n. 5-6, p. 378-388, 2013.