



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**PRODUÇÃO DO FERRO GUSA E AÇO E O
TRATAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO
PROCESSO**

Daniel de Rezende Silva

**Belo Horizonte- MG
2010**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**PRODUÇÃO DO FERRO GUSA E AÇO E
TRATAMENTO DE RESÍDUOS GERADOS NO
PROCESSO**

Daniel de Rezende Silva

Monografia apresentada ao Curso de Química Tecnológica do CEFET-MG como parte das exigências da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II).

Orientador: Prof. Dr. Ildefonso Binatti

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ildefonso Binatti (orientador)

Prof. Dr. Claudinei Rezende

Prof^a.Dra. Patrícia Procópio Pontes

**Belo Horizonte- MG
2010**

Agradecimentos

Agradeço primeiro à Deus, por ter me dado força e saúde para chegar até aqui.

Aos meus pais e irmão, que, com muito apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao professor e orientador Ildelfonso Binatti por seu apoio e inspiração para o amadurecimento profissional que levou à conclusão desta monografia.

À professora Patrícia Procópio por ter me dado oportunidade para meu desenvolvimento através de projetos de iniciação científica, e acima de tudo pela sua dedicação pessoal, profissional para comigo e sua paciência para ensinar, e por fazer parte da banca da defesa.

Ao professor Claudinei Rezende por ter me apoiado, fazendo parte da banca da monografia e por ter feito parte da minha formação profissional como coordenador durante estes anos.

A todos os professores do CEFET- MG, Emerson Fernandes, Fátima de Cássia, Janice Cardoso, Lúcia Emília, Márcio Basílio, Míriam Stassun, Marcelo, Cléverson, Ângela de Mello, Waldomiro Borges e outros, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia.

E aos amigos e colegas, em especial, Cheisy, Larissa, Bruno José, Ana, Nayara, Luciana, Thiago, Breno, Meriane, Poliana, Fernando, Camila, Davidson, Isabela, Glaúcia Danielle, Thiago, Priscila, Bruno Oliveira, Marcos, Nathália, Igor, Luiz, por terem tido maior convívio comigo e me apoiado com mais frequência nesta jornada de quatro anos.

Lista de figuras e tabelas

Figuras

Figura 1-----	Pág. 5
Figura 2-----	Pág. 8
Figura3-----	Pág. 11
Figura 4-----	Pág. 13
Figura 5-----	Pág. 17
Figura 6-----	Pág. 19
Figura 7-----	Pág. 22
Figura 8-----	Pág. 23
Figura 9-----	Pág. 28
Figura 10-----	Pág. 40
Figura 11-----	Pág. 42
Figura 12-----	Pág. 43
Figura 13-----	Pág. 44

Tabelas

Tabela 1-----	Pág. 37
Tabela 2-----	Pág. 38
Tabela 3-----	Pág. 46

Sumário

1 Introdução-----	Pág. 1
2. Objetivo-----	Pág. 3
3. Revisão Bibliográfica-----	Pág. 4
3.1 Produção do Ferro e aço-----	Pág. 4
3.1.2 A indústria siderúrgica-----	Pág. 6
3.1.2.1 Minério de ferro-----	Pág.6
3.1.2.2 Preparo e enriquecimento das matérias primas-----	Pág. 7
3.2 O Alto-forno e suas instalações anexas-----	Pág. 10
3.3 Obtenção do ferro gusa-----	Pág. 13
3.3.1 Reações químicas no alto forno-----	Pág. 14
3.3.2 Reações químicas de redução do minério-----	Pág. 14
3.3.3 Produtos do alto forno-----	Pág. 15
3.4 Fabricação do aço-----	Pág. 16
3.4.1 Método de conversores-----	Pág. 16
3.4.1.1 Método Bessemer-----	Pág. 16
3.4.1.2 Método LD (Linz Donawitz)-----	Pág. 19
3.4.2 Método de Produção Martin-----	Pág. 20
3.4.2.1 O processo com o minério-----	Pág. 21
3.4.2.2 Processo com a sucata-----	Pág.22
3.4.3 Método de produção em forno elétrico-----	Pág.22
3.4.3.1 Fornos de indução-----	Pág. 23
3.4.3.2 Os fornos de arco elétrico-----	Pág. 23
3.4.3.3 Processo de fusão elétrica-----	Pág. 25
3.5 Os resíduos na indústria metalúrgica-----	Pág. 26
3.5.1 Efluentes atmosféricos-----	Pág. 26
3.5.1.1 Composição química dos efluentes atmosféricos-----	Pág. 27
3.6 Efluentes líquidos-----	Pág. 27
3.6.1 Usos da água pelos produtores de ferro gusa-----	Pág. 27
3.6.2 Parâmetros de poluição nos efluentes líquidos-----	Pág. 28
3.6.3 Controle ambiental dos efluentes líquidos, aspectos técnicos da sedimentação-----	Pág. 28
3.7 Resíduos sólidos-----	Pág. 30
3.7.1 Classificação dos resíduos sólidos-----	Pág. 31
3.7.1.1 Resíduos classe I; Perigosos-----	Pág. 31
3.7.1.2 Resíduos classe II: Não Inertes-----	Pág. 31
3.7.1.3 Resíduos classe III: Inertes-----	Pág. 31
3.7.2 Os resíduos gerados em uma siderúrgica a carvão vegetal---	Pág. 32
3.7.2.1 Escória de alto forno-----	Pág. 32
3.7.2.2 Finos de minério de ferro-----	Pág. 32
3.7.2.3 Finos de carvão vegetal (moinha)-----	Pág. 32
3.7.2.4 Pó do sistema a seco dos gases (pó coletor ou pó balão)--	Pág. 33
3.7.2.5 Lama do sistema de limpeza a úmido dos gases-----	Pág. 33
3.8 Tratamento de resíduos-----	Pág. 34

3.9 Estudo de casos de tratamento e reaproveitamento de efluentes líquidos-----	Pág. 35
3.9.1 Utilização de rejeitos ácidos no tratamento de águas de lavagem de gases de aciaria LD-----	Pág. 35
3.9.2 Bioadsorção de metais pesados, (Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+6} , Ni^{+2} , Fe^{+2}), por células imobilizadas de <i>S. cerevisiae</i> -----	Pág. 39
3.10 Estudo de casos de aplicações de resíduos da indústria metalúrgica na construção civil-----	Pág. 41
3.10.1 Utilização da escória de aciaria do processo Lins Donawitz como adição em cimentos-----	Pág. 41
3.10.2 Solidificação e estabilização do pó de aciaria elétrica em blocos de concreto para pavimentação-----	Pág. 43
3.11 Estudo de caso de aplicação de resíduos da indústria metalúrgica no solo-----	Pág. 45
3.11.1 Aplicação de escória siderúrgica no solo: efeito sobre fósforo solúvel-----	Pág. 45
4. Conclusão da monografia-----	Pág. 47
5. Referências Bibliográficas-----	Pág. 49

1. Introdução

Atualmente uma das maiores preocupações globais tem sido em obter o desenvolvimento sustentável, ou seja, a capacidade de suprir as necessidades contemporâneas sem comprometer a capacidade de atender as gerações futuras. ⁽¹⁾

E um dos mecanismos utilizados têm sido o tratamento e reaproveitamento de resíduos das mais diversas áreas, em virtude da demanda por produtos industriais que tem aumentado cada vez mais e como conseqüência a indústria tem sido responsabilizada, na maioria dos casos por justa razão, pelo fenômeno de contaminação ambiental.

A contaminação proveniente de indústrias tem ocorrido através de dois fatores de extrema importância. O primeiro está relacionado como acúmulo de matérias primas e insumos, que envolve riscos de contaminação durante os processos de transporte e disposição inadequada, a segunda está relacionada com a ineficiência dos processos de conversão da matéria prima gerando resíduos. ⁽¹⁾

As metalúrgicas e siderúrgicas são produtoras de uma grande variedade e quantidade de resíduos passíveis de reciclagem e o seu reaproveitamento ainda tem sido estudado e desenvolvido. ⁽²⁾

As metalúrgicas são indústrias relacionadas com os processos de obtenção metais de seus respectivos minérios e posterior elaboração e beneficiamento. ⁽³⁾

A siderurgia faz parte da metalurgia, esta por sua vez utiliza energia fóssil como agente térmico redutor e é responsável por emitir quase 1 bilhão de toneladas por ano de CO₂ na atmosfera. Substâncias extremamente tóxicas como o SO_x e NO_x também são resultantes dos processos siderúrgicos. ⁽³⁾

Em uma pesquisa realizada durante a fase de diagnóstico do Projeto Minas Ambiente foi indicada os principais pontos de geração de resíduos de efluentes atmosféricos em uma usina a carvão vegetal, que são descritos a seguir: ⁽⁴⁾

- Preparo de matérias primas
- Queima do gás de alto-forno nas tochas e nos glendons (ou cowpers)

- Peneiramento e transferência de carrega,
- Movimentação de veículos em vias não pavimentadas,
- Processamento de escória,
- Vazamento do gusa,
- Carregamento do alto forno (topo)

Além disso, diversos efluentes líquidos são gerados, tais como os provenientes da lavagem dos gases do alto forno, da granulação da escória, da lavagem e/ou umidificação de pátios.

Já em relação aos resíduos sólidos gerados no processo, é necessário que os mesmos sejam gerenciados baseando-se nos seguintes conceitos⁽⁴⁾:

- Minimizar é uma abordagem preventiva que visa reduzir o volume e o impacto causado pelos mesmos e em alguns casos visa-se a completa geração do resíduo.
- Valorizar é uma abordagem baseada na extração de valores materiais e energéticos que contribuem para a redução dos custos de destinação dos resíduos.
- Reaproveitamento é baseado na abordagem corretiva trazendo de volta ao ciclo produtivo matérias primas, substâncias e produtos extraídos de resíduos gerados.

O reaproveitamento tem três enfoques diferentes: O primeiro consiste na reciclagem, ou seja, reaproveitamento cíclico de matérias primas de fácil purificação, o segundo é fundamentado na recuperação, no caso de extração de algum composto dos resíduos e o terceiro é relacionado no reaproveitamento direto, sob a forma de produto, reutilização.

- Disposição é uma abordagem passiva, consiste na manutenção do controle sob os efeitos dos resíduos gerados, utilizando locais em que os mesmos possam ser monitorados.

2. Objetivo

Fazer uma revisão bibliográfica sobre a produção do ferro gusa e aço, assim como uma introdução sobre classificação e tratamento dos resíduos gerados e a análise de estudos de casos de aplicação dos mesmos, como forma de tratamento.

3. Revisão Bibliográfica

Para compreender melhor o tratamento e reaproveitamento de resíduos siderúrgicos e aciaria, será apresentada uma revisão sobre todo o processo de produção do ferro gusa e aço.

3.1 Processo de Produção do Ferro e Aço ⁽⁴⁾

Na natureza o ferro encontra-se associado a outros elementos como o oxigênio, na forma de hematita (Fe_2O_3) ou de magnetita (Fe_3O_4). O primeiro contato do homem com esse metal foi através da queda de meteoritos, que continham, além do ferro, níquel. A origem de siderurgia vem do latim *sidus* que significa estrela.

A primeira vez que ocorreu o processamento de redução dos óxidos de ferro aconteceu por acaso: as pedras utilizadas ao redor da fogueira mudavam de propriedades com o passar do tempo. Esta mudança pode ser representada por: Minério de ferro (Fe_2O_3) + carbono (da madeira) + calor (da queima da madeira) = redução dos óxidos de ferro e produção de ferro metálico, este por sua vez tinha baixo teor de carbono, pois esse elemento não se incorporava no ferro devido à baixa temperatura do processamento, então o primeiro metal foi considerado como aço, ferro com até 2% de carbono, e não ferro gusa, ferro com carbono em torno de 4%.

Este processo por sua vez foi evoluindo, antigamente era basicamente uma mistura de minério de ferro com carvão vegetal e um sopro (ou entrada natural de ar). A queima do carvão vegetal gera calor e gases redutores (monóxido de carbono) permitindo a redução dos óxidos de ferro e a produção de uma massa sólida, pastosa, de ferro com baixo teor de carbono, além de escória. Esse material era então aquecido e forjado para a obtenção das formas adequadas para a sua utilização.

Com o passar dos anos diversos modelos de fornos surgiram, um desses tipos se denominou Forjas Catalãs que eram lareiras feitas de pedra que usavam para o sopro foles manuais.

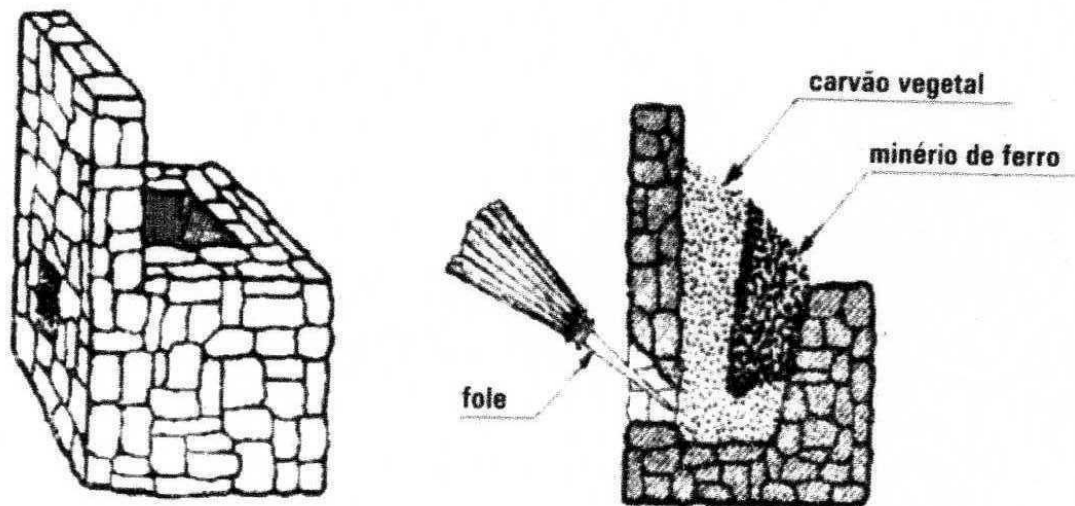
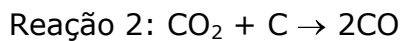
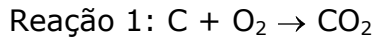


Figura 1: Fornos primitivos que reduziam diretamente os óxidos de ferro.

Fonte: JACOMINO; 2002

Estes tipos de fornos usavam o processo de redução direta cujas reações são representadas a seguir:



Após ser retirado do forno, o ferro estava em uma massa metálica sólida. Para retirar a escória, a massa metálica era martelada. O resultado final era uma barra ou "lupa", posteriormente reaquecida e trabalhada através de batidas de martelo.

Então como já foi descrito, os fornos foram se desenvolvendo adquirindo proporções cada vez maiores (fornos de chaminé).

3.1.2 A indústria Siderúrgica ⁽⁴⁾

A indústria siderúrgica é o resultado de todo um processo histórico que possui como matéria prima os seguintes compostos:

- Minério de ferro
- Carvão
- Outros insumos importantes como os fundentes (quartzo, calcário, e bauxita), o minério de manganês, escória de ferro silício e resíduos metálicos.

3.1.2.1 Minério de ferro

Os minérios de ferro são compostos naturais que contêm óxido de ferro e a ganga, esta última é composta basicamente de sílica SiO_2 , alumina Al_2O_3 , , óxido de cálcio CaO e óxido de magnésio MgO . ⁽⁴⁾

Os principais minérios de ferro industriais são ⁽⁵⁾:

Magnetita: Contêm ferro na forma de óxido (Fe_3O_4), num teor entre 45% a 70%, este minério tem propriedades magnéticas, possui alta densidade, e é de cor preta.

Hematita: É o óxido de ferro desidratado (Fe_2O_3). Este minério possui aproximadamente um teor de 50% a 60% de ferro e apresenta cor "avermelhada-anegrada".

Limonita: é o óxido de ferro hidratado ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), este possui um teor de ferro de aproximadamente de 20% a 60% e apresenta coloração parada de diferentes matrizes.

Siderita: é a combinação do ácido carbônico com o ferro, formando o carbonato de ferro (FeCO_3), o teor de ferro neste minério é de aproximadamente de 30% a 42% sua coloração é cinzenta com matizes variadas de amarelo.

3.1.2.2 Preparo e enriquecimento das matérias primas ⁽⁵⁾

Consiste em diversas operações para tornar o minério adequado para sua utilização.

As operações são: trituração, a classificação, a calcinação, a lavagem, a separação eletromagnética e a ustulação.

Primeiro é realizada a trituração do minério em moinhos de mandíbulas ou cone, depois o minério triturado é classificado em peneiras de estrutura especial, separando os pedaços grandes dos pedaços finos, que posteriormente se submetem para a ustulação e os pedaços maiores de 30 a 100 mm são classificados em grupos e enviados para a fusão e se submetem à calcinação.

Já os minérios que têm muita argila, areia e terra argilosa são lavados por um jato forte de água retirando a ganga.

Os minérios que possuem propriedades magnéticas são classificados em instalações especiais, onde ímãs elétricos separam as partículas do minério rejeitando a ganga.

Os menores pedaços de minério e cisco de coque são submetidos à ustulação com o objetivo de obter pedaços maiores, ou seja, para ocorrer aglomeração dos mesmos.

O equipamento para ustular (figura 2) compreende em uma transportadora, com uma câmara de rarefação (4), composta de carros (5) que se movem em um circuito fechado, a carga é posta na canoura (1), misturada na misturadora (2), esta mistura do minério com o combustível esmiuçado é carregada sobre as grelhas dos carros (5), formando uma camada, o combustível se inflama por meio de queimadores (3), durante a queima a temperatura do combustível mais o minério pode chegar até 1300 °C, formando aglomerados porosos do minério, que depois da queima são transportados nos carros nos trilhos (7) para serem classificados em crivos (8) segundo o tamanho dos grânulos.

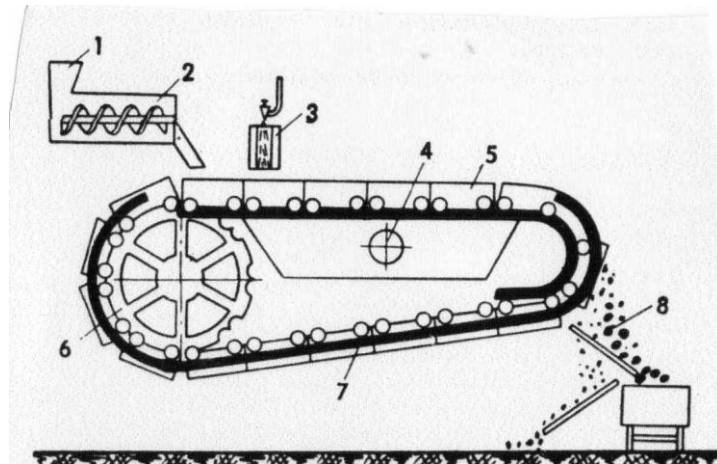


Figura 2: Equipamento para ustulação

Fonte: MALISHEV; 1970

- 1- Canoura de cargas
- 2- Misturadora
- 3- Queimador
- 4- Câmara de rarefação
- 5- Carro
- 6- Roda dentada motriz
- 7- Trilho
- 8- Crivo

A aglomeração que ocorre no processo de ustulação pode ser de sinterização ou pelotização.

A sinterização é um processo onde ocorre a progressiva transição daquele estado de aglomeração, partículas em simples justaposição, para uma unidade na qual as partículas fundem-se umas com as outras. Este processo ocorre sobre uma mistura de grânulos de minério de ferro com coque, a temperatura deste atinge cerca de 1.300 a 1500°C, para promover a ligação das partículas finas do minério, resultando num produto uniforme e poroso chamado sinter. ⁽⁶⁾

Já a pelotização é um processo de aglomeração caracterizado pela formação de aglomerados esféricos, devido a constante movimentação do material dentro de aparelhos adequados como o cone, o tambor e o disco pelotizador, este processo ocorre sem aplicação de força externa ao processo e ocorre na presença ou não de agentes ligantes. ⁽⁷⁾

Carvão coque é o combustível fundamental para a fusão nos altos fornos. Obtêm-se por meio da destilação seca do carvão mineral, a temperatura atingida na sua produção é de 1000 a 1100 °C, as moléculas orgânicas do carvão vegetal se dividem produzindo gases e compostos orgânicos sólidos e líquidos e um resíduo carbonáceo. Este resíduo obtido é o "coque", que para ser de boa qualidade deve ter uma pequena porcentagem de cinza e umidade e pouco teor de enxofre. ⁽⁵⁾

As vantagens apresentadas pelo coque são: alto poder calorífico, porosidade, resistência considerável ao esmagamento e desgaste, e baixo custo. ⁽⁵⁾

Carvão vegetal é obtido por meio da "destilação seca da madeira" em fornos especiais, isto é quebra das moléculas complexas da madeira em moléculas mais simples, utilizando o calor. O carvão vegetal de boa qualidade têm cor preta com matriz brilhante e sua composição é de 80% a 90% de C, 10% a 12% de (H +O + N) e 0,6% a 1% de cinza. Seu poder calorífico é de 6500 a 8000 Kcal/Kg. Suas principais vantagens são: Ausência de enxofre, baixa porcentagem de cinza, e a sua desvantagem é a sua baixa resistência e o seu alto custo. ⁽⁵⁾

Os fundentes são substâncias minerais que se introduzem no alto forno, onde, ao fundir-se com as gangas dos minérios e com a cinza do combustível, produzem escórias facilmente fusíveis facilitando a separação do minero de ferro de sua ganga, uma parte não interessante economicamente, e quando os minérios possuem muita impureza de argila e areia usa-se o calcário como fundente e se a ganga é calcária utiliza-se como fundente compostos que tenham sílica, quartzo, arenito, e quartzito.

3.2 O Alto-forno e suas instalações anexas ⁽⁵⁾

O alto forno é uma instalação de ação contínua, ver figura 3, sua parte superior se chama tragante (1), este tem um carregador destinado a alimentar o forno, a mistura. O tragante é composto também por tubos condutores (2) que dão a saída dos gases provenientes da queima no alto forno.

Embaixo do tragante, encontra-se a parte cônica do forno, que se chama cuba (3), a parte mais larga do forno se denomina ventre (4), e na parte inferior do ventre se encontra o bojo (5), e mais abaixo, se encontra o crisol (6), que tem forma cilíndrica, o fundo do crisol é denominado soleira (7), e ao nível desta, encontra-se a abertura (8), que dá saída à fundição, e um pouco mais acima a biqueira (9) de escórias. Na parte superior do crisol estão distribuídos por sua circunferência de 12 a 18 orifícios, nos quais se encaixam os aparelhos dos alcavarizes (10), que se empregam para injetar o ar.

O revestimento (16) do alto forno é feito de refratários (chamota). A composição da chamota é de aproximadamente de 50% a 65% SiO_2 , 35% a 42% de Al_2O_3 , 1,5% a 3% de Fe_2O_3 , e sua capacidade refratária oscila na temperatura de 1580°C a 1730°C. O forno está revestido com uma "camisa" (15), de chapas metálicas de aço soldadas. No revestimento do crisol e do bojo se instalam tubos (refrigeradores), pelos quais circulam a água. O ar quente é conduzido pelo tubo circular para as mangas (11), que tem forma de cotovelo, das quais o ar é levado aos alcavarizes.

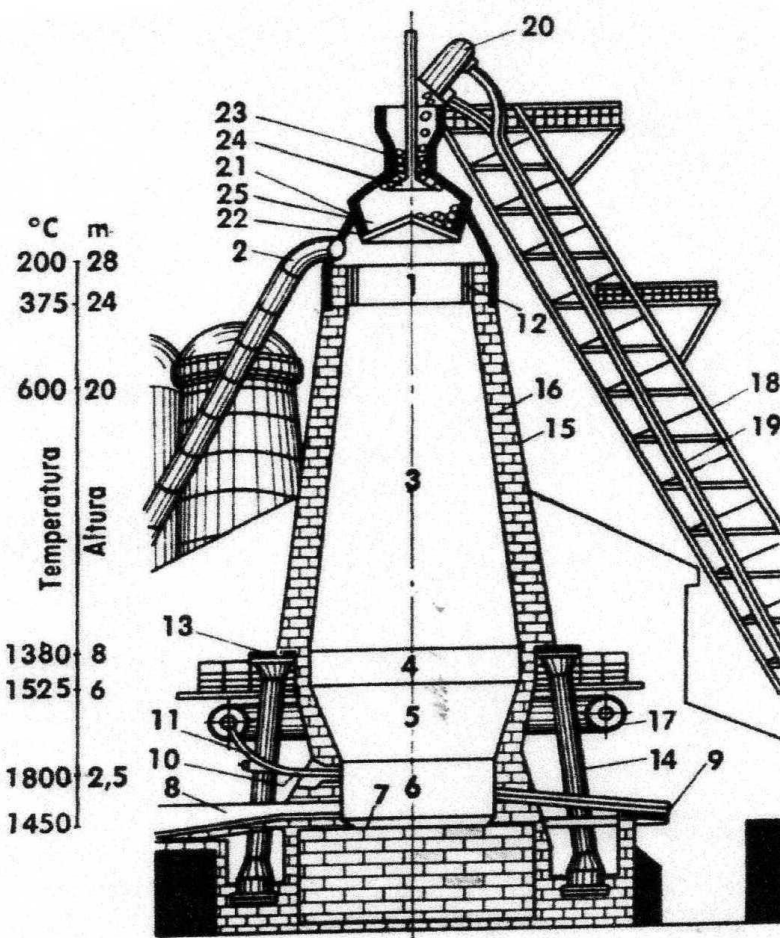


Figura 3: Secção transversal do alto forno

Fonte: MALISHEV; 1970

- 1- Tragante
- 2- Tubo de saída
- 3- Cuba
- 4- Ventre
- 5- Bojo
- 6- Crisol
- 7- Soleira
- 8- Abertura
- 9- Biqueira
- 10- Alcavariz
- 11- Manga do alcavariz
- 12- Aros
- 13- Aro de apoio
- 14- Sustento

- 15- Camisa
- 16- Revestimento
- 17- Tubo para ar
- 18- Elevador de carga inclinado
- 19- Trilho
- 20- Vagoneta
- 21- Funil Grande
- 22- Cone grande
- 23- Funil pequeno
- 24- Cone pequeno
- 25- Carga

O aquecimento de ar que chega no alto forno através dos alcavarizes é realizado em recuperadores, estufas Cowper, que são torres revestidas com tijolos refratários e encerradas em uma caixa de aço. No interior desta se encontra a câmara de combustão e a grelha de tijolos. A mistura de gás e ar do alto forno é fornecido ao recuperador através da tubuladura. Esta mistura se queima na câmara de combustão, de onde os produtos da combustão, aquecidos, se conduzem para uma cúpula, e desta saem para a atmosfera por chaminé e parte vai para uma grelha de tijolos refratários aquecendo-o por aproximadamente 2 ou 3 horas, termina-se então o fornecimento da mistura, fecha-se a chaminé e por uma tubuladura se passa um ar frio, que, ao passar pelo grelhado, se aquece até cerca de 800°C, e sai por uma tubulatura para o tubo circular do alto forno. ⁽⁵⁾

3.3 Obtenção do Ferro Gusa:

Inicialmente o minério de ferro, composto pela canga e o metal de interesse, juntamente com o coque e o fundente são introduzidos no alto forno.

Após a introdução da carga pelo topo, as reações ocorrem de cima para baixo do alto forno, como descrito a seguir:

- Entre 300°C e 350°C temos a dessecação, onde o vapor de água contido na carga é liberado.
- Entre 350°C e 750°C ocorre a redução, onde o óxido de ferro perde o oxigênio.
- Entre 750°C e 1150°C temos a carburação, onde o ferro se combina com o carbono formando o gusa.
- Entre 1150°C e 1800°C ocorre a fusão, onde o gusa passa para o estado líquido
- Em torno dos 1600°C ocorre a liquefação, onde a gusa se separa da escória. ⁽⁸⁾

Estas etapas são representadas esquematicamente na figura 4.

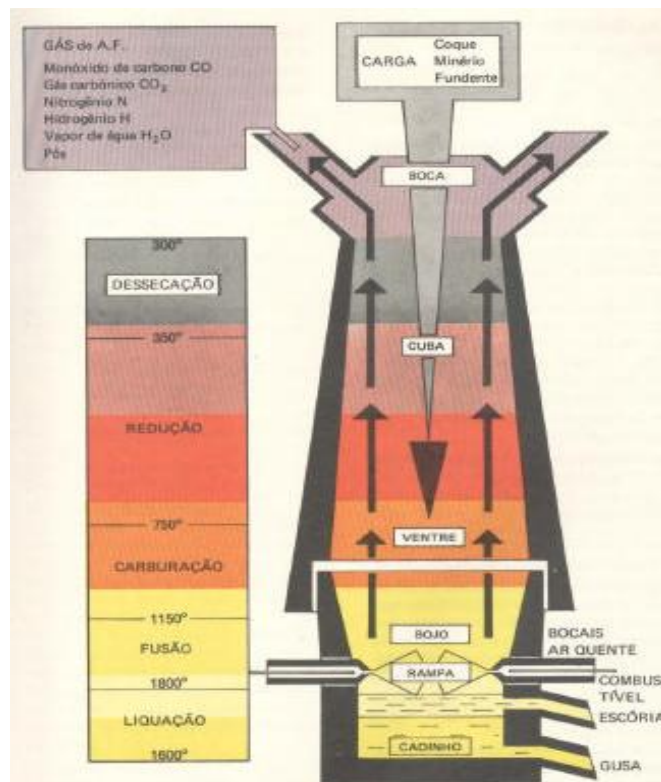
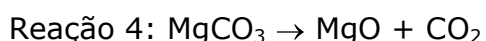
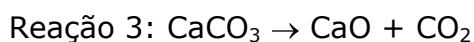
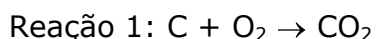


Figura 4: Etapas de obtenção do gusa

Fonte: DZIERVA; 2010

3.3.1 Reações químicas no alto forno

Ao descer o coque se aquece pelos gases quentes que sobem, e ao contato com o ar da parte inferior do forno se queima de acordo com a reação 1 a seguir:

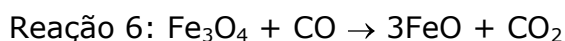
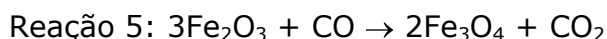


Então quando o coque "arde" a temperatura se eleva até 1600° C - 1750°C. O dióxido de carbono que é formado entra em reação com novas camadas do coque aquecido, reduzindo-se a monóxido de carbono conforme a reação 2. ⁽⁵⁾

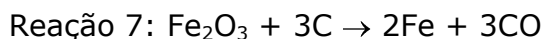
Além disso, no calcário ocorre decomposição dos carbonatos em uma temperatura de 800 °C, conforme as reações 3 e 4.

3.3.2 Reações químicas de redução do minério de ferro ⁽⁸⁾

Na parte média e inferior, às temperaturas de 400°C a 900°C, o monóxido de carbono, atuando sobre o minério, contribuindo para a redução gradual do ferro segundo as reações a seguir.

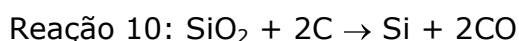
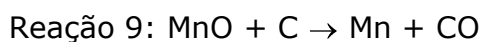
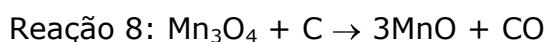


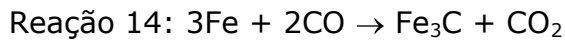
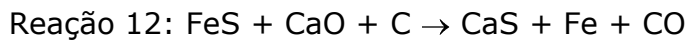
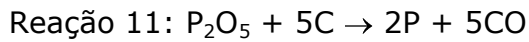
Como redutor do ferro atua também o carbono sólido que se forma como resultado da decomposição do CO segundo a reação 7.



Além destas reações outras reações secundárias (reações 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14) ocorrem, onde além do ferro e carbono, o gusa incorpora também outros elementos como manganês, silício, fósforo e enxofre.

Outras reações:





A formação da escória compreende reações bem mais complexas. Essa escória resulta da combinação do CaO e do MgO do calcário (fundente) com a ganga (impurezas) do minério e as cinzas do carvão. A escória caracteriza-se por sua grande fluidez e seu baixo peso específico. ⁽⁸⁾

Assim, no cadinho (reservatório), a escória e o gusa líquido separam-se por gravidade, formando duas camadas, isto é, a inferior (metálica) e a superior (escória), facilitando o vazamento de ambos os produtos. ⁽⁸⁾

3.3.3 Produtos do alto-forno ⁽⁵⁾

Os produtos dos altos-fornos são: o ferro fundido, as escórias e o gás.

O ferro fundido (ferro gusa) se divide de acordo com sua composição química em:

Fundição gris: é utilizada para moldar objetos e peças nas oficinas de fundição. Sua composição é a seguinte: Si- 1,25% a 4,25%, Mn- 0,5% a 1,3%, P até 0,3%, S até 0,07%.

O ferro fundido é a parte utilizada para a obtenção do aço, os ferros fundidos com alto teor de silício ou manganês se chamam ferros-ligas. Os ferros-ligas são utilizados como adições especiais para produzir aço e peças de ferro fundido.

As escórias dos alto-fornos se utilizam na produção de tijolos, blocos de concreto, cuja composição varia igualmente dentro de largos limites, isto é:

SiO₂ - 29 a 38%

Al₂O₃ - 10 a 22%

CaO + MgO - 44 a 48%

FeO + MnO - 1 a 3%

CaS - 3 a 4%

O gás do alto forno limpo de pó se usa como combustível nos recuperadores, nas caldeiras a vapor e outras instalações de produção. Conteúdo médio de seus componentes é: CO, 27%; CO₂, 12%; H₂, 2%; CH₄, 0,5%; N₂, 58%. Este gás é utilizado na própria usina siderúrgica nos regeneradores, fornos diversos de aquecimento, caldeiras e outros. ⁽⁵⁾

3.4 Fabricação do aço ⁽⁵⁾

A principal matéria prima utilizada na obtenção do aço é o ferro fundido e a sucata de metais ferrosos.

O aço, em comparação com a fundição, contém uma quantidade menor de carbono e impurezas, devido á oxidação dos mesmos durante sua elaboração do aço. Os métodos utilizados na obtenção do aço são:

- Método de conversores
- Método de produção Martin
- Produção em fornos elétricos
- Método **Linz Donawitz (LD)**

3.4.1 Método de conversores ⁽⁵⁾

O método de conversores consiste na utilização do contato direto do oxigênio com o gusa, e este por sua vez pode ocorrer pelos métodos de Bessemer e Linz Donawitz.

3.4.1.1 Método Bessemer ⁽⁵⁾

Este método foi criado pelo inglês H. Bessemer em 1855, este consiste em soprar ar comprimido ao ferro fundido derramado em uma retorta especial chamada conversor. O conversor é um grande recipiente em forma de pêra (1) feito com chapas de aço. Sua cavidade (2) é revestida por material refratário, o ar entra pelo fundo substituível (3), que tem cerca de 300 orifícios e estão fechados com uma caixa (4), na qual entra o ar através do eixo oco e da tubulação (5). Um mecanismo especial faz bascular o conversor à posição horizontal para a carga do metal e descarga do aço fundido através da boca (7). Ao realizar a fundição do aço, o conversor é colocado na posição vertical que coincide com o fornecimento máximo de ar a pressão de 1,5 Kg/cm² á 2,5Kg/cm². E a conversão que pode ser feita no conversor pode ser de dois tipos ácida e básica.

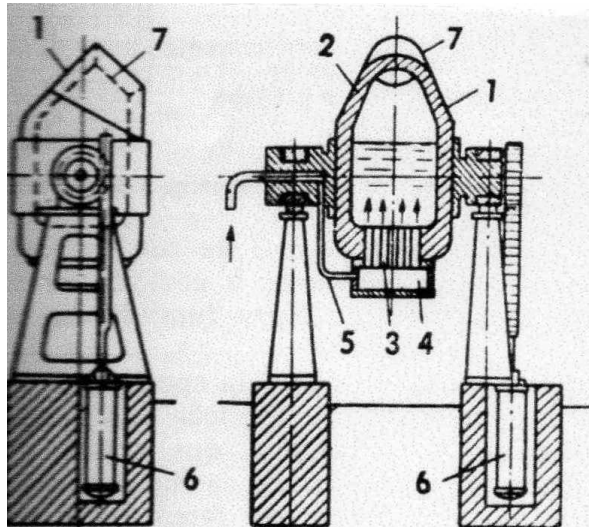


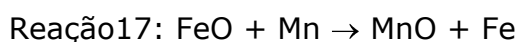
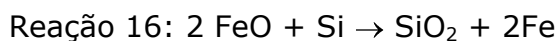
Figura 5: Conversor

Fonte: MALISHEV; 1970

A conversão ácida, chamada método Bessemer se pode tratar ferros fundidos siliciosos que produzam escórias ácidas, neste caso o conversor deve ser revestido por tijolos refratários que contém cerca de 90% a 97% de SiO₂.

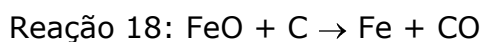
Antes de começar o fornecimento do ar, o conversor é colocado na posição horizontal, esquentado e carregado com o ferro fundido até 1/3 do seu volume. Depois se fornece ar e se bascula o conversor na posição vertical.

Este processo de conversão do ferro fundido é dividido em três períodos. No primeiro período ocorre a oxidação das impurezas do ferro representada pela reação entre o óxido de ferro formado, o silício e o manganês, segundo as reações a seguir:

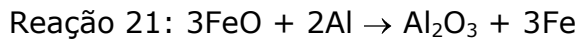
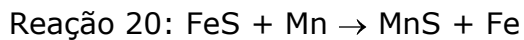
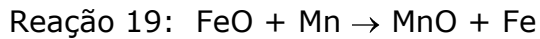


Estas reações descritas são acompanhadas por um desprendimento exorbitante de calor, exotérmicas.

O segundo período inicia quando a temperatura chega até aproximadamente 1500 °C, criando condições para uma combustão intensa do carbono, segundo a reação:



O terceiro período ocorre depois de ter soprado o ar sobre o metal, neste período o metal se encontra com uma grande quantidade de óxido ferroso, comprometendo a qualidade do aço, então ocorre a desoxidação do mesmo utilizando ferro-ligas, como por exemplo, ferro-manganês, segundo as reações:

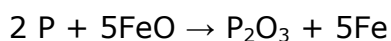


Do aço obtido, se retira uma amostra para análise e a outra parte é despejada em um cadinho para sua utilização.

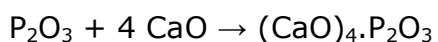
No proceso básico, conhecido como processo Thomas, proposto pelo inglês Thomas em 1873, é utilizado para ferros ricos em fósforo. O revestimento básico do conversor consta da utilização de dolomita, que é um material refratário composto por MgCO_3 e CaCO_3 .

Antes de começar o processo, o conversor é aquecido e carregado com cal em 10 a 15 por cento de peso do metal, depois despeja-se o ferro fundido e se fornece o ar.

Na conversão básica o calor é produzido, como consequência principalmente da combustão do fósforo. A oxidação do fósforo é acompanhada por uma grande liberação de calor e um aumento considerável de temperatura, segundo as reações:



O anidrido fosfórico formado se une com a cal:



Após o sopro com ar, as escórias são despejadas e se introduzem os desoxidantes.

As vantagens oferecidas pelo processo conversor consistem na alta capacidade de produção do conversor, em suas dimensões relativamente pequenas, na simplicidade do processo, e porque não é necessário combustível, pois o calor é gerado da própria oxidação dos elementos. ⁽⁵⁾

3.4.1.2 Método Linz Donawitz (LD)⁽⁹⁾

Este método consiste na utilização de uma carcaça cilíndrica de aço revestido internamente por uma camada de materiais refratários.

O oxigênio é injetado diretamente na superfície do gusa, por meio de vários tubos de aço, esta injeção cria uma reação de oxidação muito exotérmica e a temperatura chega a atingir entre 2500 °C e 3000°C.

A zona de injeção é chamada zona de impacto, e neste método há pouca contaminação por gás nitrogênio devido ao oxigênio utilizado no sopro dos tubos para a superfície apresentar relevante pureza.

A representação deste conversor pode ser vista na figura 6.

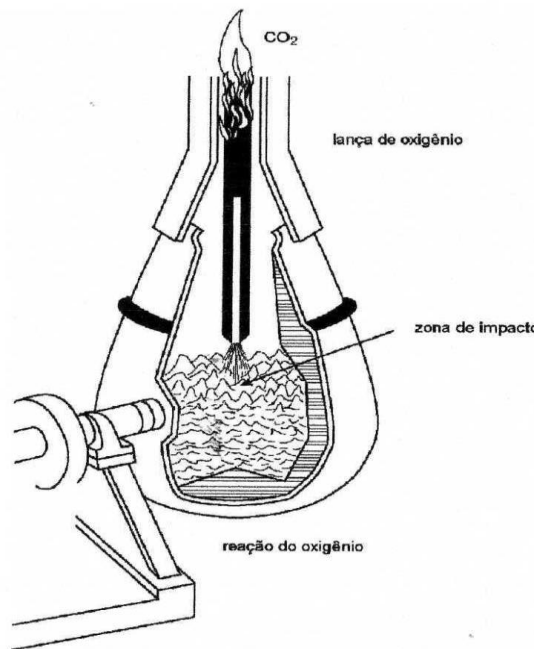


Figura 6: Conversor LD

Fonte: [http <wiki.ifsc.edu.br>](http://wiki.ifsc.edu.br)

3.4.2 Método de produção Martin⁽⁵⁾

Este método, além da possibilidade, de transformar o ferro fundido em aço, pode transformar também a sucata de todo gênero dos metais ferrosos e peças de máquinas inúteis para a indústria.

Os fornos Martin têm um comprimento de até cerca de 25m e uma largura de até 7m. A capacidade de 20 toneladas até 500 toneladas, este forno é representado na figura abaixo.

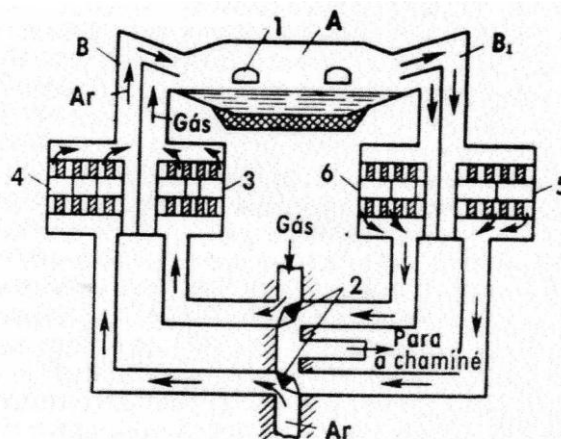


Figura 7: Forno Martin

Fonte: MALISHEV; 1970

Estes fornos se compõem do espaço ativo A, onde se funde a mistura carregada, das portas de carga (1), para carregar os materiais, das cabeças B e B1, que se unem por meio de canais com os regeneradores (3, 4, 5 e 6).

Estes últimos representam em si mesmos, câmaras com grelhas de tijolos refratários postos em forma de células, com o objetivo de usar o calor do processo de fusão. Com as válvulas (2) na posição indicada na figura 6, o gás e o ar chegam por canais isolados às cabeças B, passando o gás pelo regenerador (3), e o ar pelo regenerador (4). Ao sair das cabeças, a mistura incendiada se inflama e dá uma chama comprida e baixa que aquece o espaço ativo do forno até 1200 °C. Os produtos de combustão aquecidos saem através da cabeça B1 para as câmaras regeneradoras (5 e 6), entregando calor para as grelhas de tijolos refratários e se dirigem para o canal horizontal da chaminé. Após aquecimento das câmaras regeneradoras a válvula (2) gira 90 graus, o gás e o ar mudam de direção e passando pelo

grelhado aquecido das câmaras regeneradoras (5 e 6), aquecendo-se até 1100 °C ou 1200 °C. Estes por sua vez vão para o espaço ativo do forno e ao se misturarem se queimam elevando a temperatura do forno até 1800 °C . Os produtos de combustão saem do forno através da cabeça B, para as câmaras regeneradoras (3 e 4) e, aquecendo-se seu grelhado, chegam ao canal horizontal da chaminé. Depois de 20 a 30 minutos as válvulas se encontram na posição anterior e o ciclo se repete. A descarga do aço elaborado ocorre através de uma abertura na traseira do forno que não é representado no esquema. ⁽⁵⁾

Dependendo da matéria prima a ser usada distinguem vários tipos de processo de fusa Martin. Entre eles os mais amplamente empregados são:

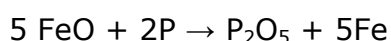
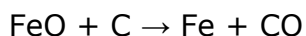
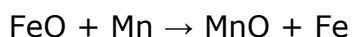
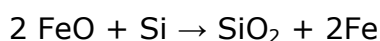
- O processo com minério
- O processo com a sucata

3.4.2.1 O processo com o minério ⁽⁵⁾

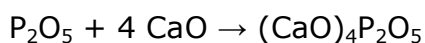
Primeiro lançam-se dolomita calcinada no forno aquecido para a soldagem das soleiras, depois se carrega em uma determinada ordem os materiais sólidos da mistura, assim como a cal para que façam escória de fósforo e enxofre.

Após, aquecidos os materiais sólidos despeja-se o ferro fundido em estado líquido. Durante a fusão a superfície do metal fundido começa a oxidar pelo oxigênio dos gases do forno e se cobre gradualmente com uma camada de escória

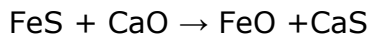
O óxido de ferroso formado se dissolve no banho de metal e reage com as impurezas presentes segundo as reações:



A cal que se encontra nas escórias aglutina o P_2O_5 , contribuindo para a extração do fósforo do metal, segundo reação:



A transformação do enxofre nas escórias é assegurada pela presença de óxido de cálcio:



Observa-se que o óxido ferroso é a única fonte de oxigênio para o banho do metal coberto por escória.

Antes de terminar a fusão, descarregam-se as escórias e se introduzem os desoxidantes. E para obter aços especiais agregam-se o ferro-cromo, ferro-vanádio e outros, formando os ferro-ligas. ⁽⁵⁾

3.4.2.2 Processo com a sucata ⁽⁵⁾

Este processo ocorre em fornos com revestimento ácido, usando materiais misturados que contem uma quantidade mínima de fósforo e de enxofre.

Este processo consiste em oxidar o carbono, silício e manganês sob a proteção de escórias. A marcha do processo é análoga ao do processo com o minério.

3.4.3 Método de produção em forno elétrico ⁽⁵⁾

Este método consiste na utilização da eletricidade para o aquecimento e conseqüente fundição de aço, evitando o uso de chama oxidante.

Este tipo de fundição possui várias vantagens como:

- Possibilidade obter no espaço de fusão uma temperatura alta
- Permite ter escórias muito calcárias, eliminando quase completamente o fósforo, e enxofre.
- Diminuição considerável da queima do metal e dos elementos adicionados.

Estes fornos elétricos industriais podem ser de indução e de arco elétrico.

3.4.3.1 Fornos de indução ⁽⁵⁾

O forno de indução (sem núcleo) que funciona com corrente de frequência de 500 a 2000 Hz (mostrado na figura 8).

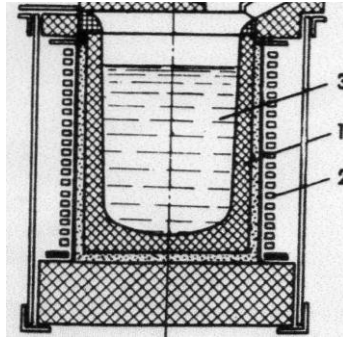


Figura 8: Forno de indução

Fonte: MALISHEV; 1970

O crisol refratário (1) tem um enrolamento de tubo de cobre de seção retangular (2), pelo qual circula a água de refrigeração. Ao passar pelo enrolamento uma corrente de alta frequência obtida por um gerador potencial, excita no metal (3) correntes secundárias que o aquece rapidamente até a sua fusão.

No final da fusão adiciona-se, desoxidantes, a capacidade dos fornos de alta frequência não ultrapassa 8 toneladas e são usados para fabricar aços de alta-liga (aços resistentes a altas temperaturas, inoxidáveis e etc).

3.4.3.2 Os fornos de arco elétrico ⁽⁵⁾

Funcionam utilizando o calor de um arco elétrico. Subdividem-se em fornos de calefação direto e indireto. Nos fornos de calefação indireta, os eletrodos localizam-se acima do espelho do banho e os materiais misturados fundem-se pelo calor do arco excitado. Nos fornos de arcos de calefação direto a fusão se efetua devido ao calor do arco elétrico que surge entre os eletrodos e o banho metálico. ⁽⁵⁾

Na figura 9 se encontra um esquema do forno de arco bifásico.

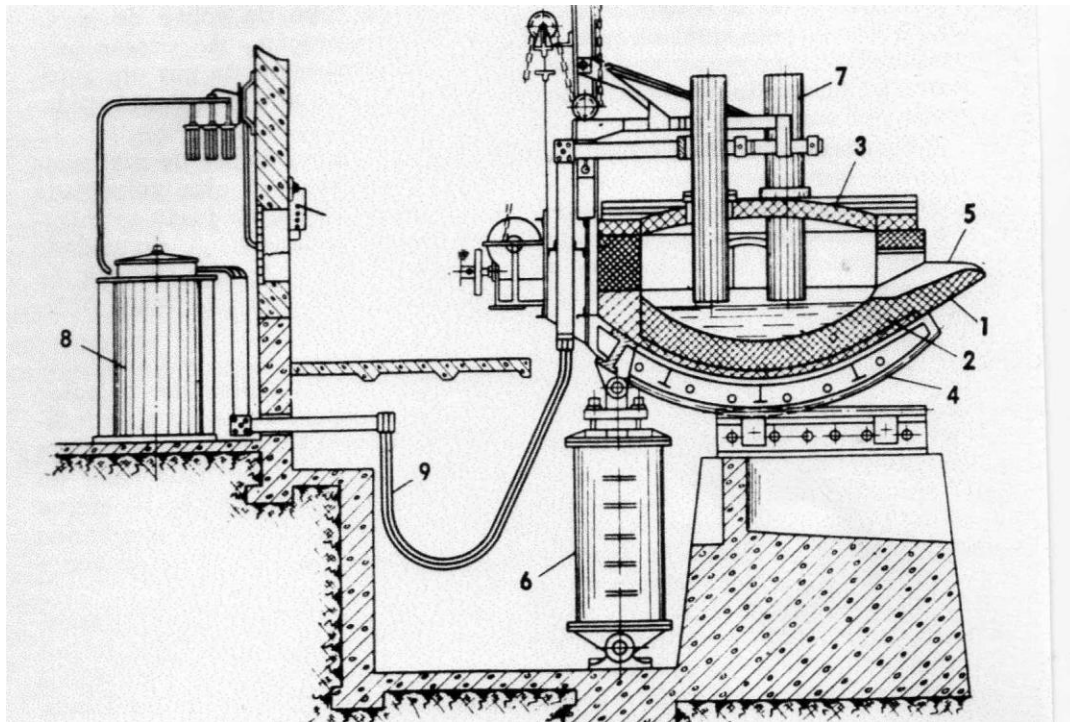


Figura 9: Forno de arco elétrico

Fonte: MALISHEV; 1970

A caixa (1) é feita de chapas grossas de aço, o revestimento (2) dos fornos ácidos é executado com tijolos Dinas que é um material refratário que contém cerca de 90% a 97% de SiO_2 , e o dos fornos básicos são feitos com tijolos de Magnesita. A abóboda móvel (3) do forno também é coberta com tijolos Dinas, este forno é assentado sobre as sapatas (4), que têm uma forma de arco para tornar mais cômoda a descarga do metal, este metal sai fundido pelo canal (5) com ajuda de uma transmissão elétrica ou hidráulica (6), que inclina o forno.

Os eletrodos (7) são feitos móveis, de carbono ou grafite, a corrente, proveniente do transformador (8), é fornecida aos eletrodos através das barras coletoras flexíveis (9). A capacidade útil destes fornos pode chegar até 180 toneladas.

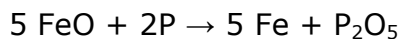
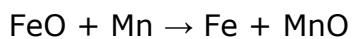
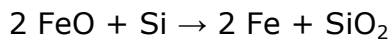
A mistura ao fundir em forno elétrico compõe-se de sucata, ferro fundido, minério de ferro, fundentes, desoxidantes, e ferro-ligas.

Nos fornos de revestimento ácido se obtêm aços de alta qualidade, utilizando como materiais de carga os mais puros em fósforo e enxofre e nos fornos básicos se fundem aços de construção com um conteúdo reduzido de impurezas. ⁽⁵⁾

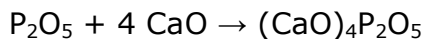
3.4.3.3 Processo de fusão elétrica ⁽⁵⁾

Depois de fundir a mistura, coloca-se cal, minério de ferro ou óxido de ferro e se liga a corrente. O processo de fusão ocorre em duas etapas:

Na primeira etapa devido ao oxigênio do minério ou do óxido de ferro oxidam-se todas as impurezas (exceto enxofre), segundo as reações abaixo:

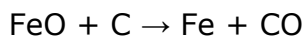


A presença de cal assegura a reação:

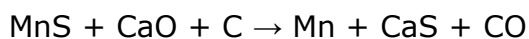
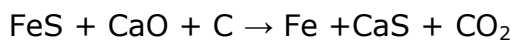


Ao descarregar as escórias, carrega-se de novo o forno com uma pequena quantidade de cal e minério, formando as segundas escórias, toma-se uma amostra da escória e determina-se a quantidade de fósforo e repete-se de novo até a eliminação quase completa do fósforo.

Com um elevado conteúdo de carbono e o suficiente aquecimento do banho torna-se possível que o carbono se queime parcialmente conforme a reação:



Na segunda etapa, sobre a superfície do metal, se coloca as escórias básicas compostas de Al e depois se agrega o coque, a desoxidação do metal e a transformação do enxofre nas escórias são efetuadas, segundo as reações:



Extraem-se as escórias produzidas e se carrega novamente escória básica, repetindo esta operação até a eliminação completa do enxofre. ⁽⁵⁾

3.5 Os resíduos na indústria metalúrgica

Os resíduos gerados em uma indústria metalúrgica podem ser classificados em efluentes atmosféricos, líquidos ou resíduos sólidos.⁽⁴⁾

3.5.1 Efluentes atmosféricos ⁽⁴⁾

Os efluentes atmosféricos em uma indústria podem ser gerados nos principais pontos descritos a seguir:

- No preparo das matérias primas
- Na queima do gás de alto forno
- Processamento da escória
- Vazamento do gusa
- Carregamento do alto forno
- Movimentação de veículos em vias não pavimentadas

Estes efluentes podem formar uma mistura gasosa com o ar e por isso deve-se recorrer a alternativas que promovam a triagem e coleta dos mesmos como:

- Absorção (lavador Venturi), o gás entra em contato com um líquido, no qual o poluente seja solúvel.
- Adsorção (carvão ativado, sílica gel e alumina ativada), o gás é retido devido a capacidade de alguns materiais de alta porosidade em reter os poluentes em sua superfície por meio do processo de atração molecular superficial.
- Incineração de resíduos gasosos usado para casos onde o produto final não seja também poluidor, têm-se os queimadores de chama direta, e os pós queimadores catalíticos.
- Condensadores de vapores, os gases condensam-se após serem submetidos a resfriamento.
- Filtros, para a retenção de materiais particulados.

3.5.1.1 Composição química dos efluentes atmosféricos

Os efluentes atmosféricos liberados possuem gases como monóxido de carbono, gás carbônico, nitrogênio, hidrogênio, vapor de água e óxidos de nitrogênio e enxofre. ⁽⁴⁾

3.6 Efluentes líquidos ⁽⁴⁾

Os efluentes líquidos gerados em processos siderúrgicos geralmente provêm do uso da água em diversas aplicações.

3.6.1 Usos da água pelos produtores de ferro-gusa ⁽⁴⁾

A água utilizada nas siderúrgicas tem sua utilização caracterizada como água de processo, sendo quatro os principais usos que são descritos a seguir.

Refrigeração da carcaça do alto forno: Por esse processo, obtêm-se o resfriamento da carcaça, através de troca térmica entre o refratário do forno e a água, que escorre sob a forma de um filme contínuo na chapa de blindagem externa do forno.

Lavagem dos gases do alto forno: a lavagem tem por objetivo a remoção de material particulado do gás produzido no alto forno, sendo considerado o principal efluente líquido da indústria siderúrgica.

Granulação de escória é feita normalmente em um poço visando, principalmente a sua recuperação para a indústria de cimento. O próprio poço da escória atua como um meio filtrante para a água utilizada, não sendo necessário posterior tratamento para a sua utilização.

Lavagem ou umidificação de pátios: esse é um procedimento adotado para evitar a ressuspensão de material particulado. Nessa operação é gasto um volume restrito de água, visando a umidificação de pátios e vias, não gerando efluentes líquidos.

3.6.2 Parâmetros de poluição nos efluentes líquidos ⁽⁴⁾

Os principais parâmetros químicos de poluição na água de lavagem do alto forno são descritos abaixo.

Sólidos em suspensão: geração decorrente da retenção dos sólidos produzidos no alto forno pelo sistema de lavagem dos gases. A quantidade depende basicamente da operação em alto forno.

Cianetos: originários da atmosfera redutora do alto forno, resultantes da reação do carbono do carvão com o nitrogênio do ar soprado pelas ventaneiras do alto forno, sob temperaturas elevadas.

Fenol: geração devido à parte volátil remanescente no carvão

Amônia: formação devida à reação do hidrogênio contido no gás com o nitrogênio do ar soprado.

Óleos e graxas: vaporizados da carga e carregados com gases do alto-forno.

O controle dos efluentes líquidos gerados nas usinas independentes de ferro gusa se faz basicamente por recirculação de água.

Na maioria das unidades independentes do ferro gusa, as águas de lavagem dos gases do alto forno, são conduzidas a decantadores ou a bacias de sedimentação, construídas no próprio terreno ou na forma de barragens, para a remoção dos sólidos suspensão.

E após, sedimentada a lama é retirada com uma frequência que varia de um dia a três meses, enquanto a água clarificada é recirculada para o sistema de limpeza. ⁽⁴⁾

3.6.3 Controle ambiental dos efluentes: aspectos técnicos da sedimentação ⁽⁴⁾

A sedimentação consiste na remoção de partículas sólidas de uma fase líquida pela ação da gravidade.

Esta por sua vez pode ser realizada por duas operações:

Se o produto requerido é a lama, a operação é denominada sedimentação ou espessamento.

Se o produto final é o líquido "límpido", a operação é a clarificação.

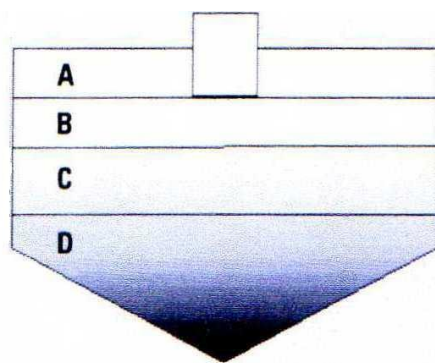
Para obter um líquido sobrenadante o mais puro possível para sua reutilização, deve-se utilizar processos de floculação, que pode ser mecânica que requer uma lenta circulação das partículas, para proporcionar contato e crescimento de flocos, com a utilização de reagentes químicos para acelerar o processo e aumentar a clareza do efluente.

A sedimentação pode ser de três tipos:

- Sedimentação discreta: Sua eficiência se baseia na diferença entre a gravidade e o somatório das forças viscosas e a inércia.

- Sedimentação floculenta: ocorre quando a velocidade da sedimentação aumenta com a profundidade do tanque, resultante da aglomeração com outras partículas.

- Sedimentação por zonas: é característica de suspensão floculada quimicamente, com concentrações de sólidos excedendo a 500mg/L. A representação das fases ou zonas contidas em um sedimentador, estão expressas na figura 10.



Zona A - água ou solução clara

Zona B - lama com a consistência da alimentação

Zona C - transição entre B e D

Zona D - lama comprimida

Figura 10: fases em um sedimentador

Fonte: JACOMINO; 2002

3.7 Resíduos sólidos ⁽⁴⁾

Na norma ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 10004/1987, são considerados resíduos sólidos aqueles materiais, em estado sólido e semi-sólido, resultantes de atividades das comunidades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

A ABNT editou um conjunto de normas para padronizar a nível nacional a classificação dos resíduos, sendo elas:

- NBR 10004- Resíduos Sólidos: Classificação
- NBR10005- Lixiviação de Resíduos: Procedimento
- NBR 10006- Solubilização de Resíduos: Procedimento
- NBR 10007- Amostragem de Resíduos: Procedimento

Esse conjunto de normas é muito complexo e permite a qualquer interessado a classificação de resíduos.

Segundo a NBR 10004, a classificação de resíduos sólidos é feita segundo aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública oferecidos pelos mesmos.

A classificação baseia-se fundamentalmente nas características dos resíduos, em listagem de resíduos reconhecidamente perigosos e em listagens de padrões de concentração de poluentes como:

- Listagem 1- Resíduos perigosos de fontes não específicas;
- Listagem 2- Resíduos perigosos de fontes específicas;
- Listagem 3- Constituintes perigosos- base para a relação dos resíduos e produtos das listagens 1 e 2;
- Listagem 4- Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos;
- Listagem 5- Substâncias agudamente tóxicas;
- Listagem 6- Substâncias tóxicas;
- Listagem 7- Concentração- Limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação;
- Listagem 8- Padrões para o teste de solubilização;
- Listagem 9- Concentrações máximas de poluentes na massa bruta de resíduos utilizados pelo Ministério do Meio Ambiente da França para classificação de resíduos;

- Listagem 10- Concentração mínima de solventes para caracterizar o resíduo como perigoso.

E segundo a NBR 10004 os resíduos são classificados em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas e com base na identificação de contaminantes presentes em sua massa, sendo importante um conhecimento prévio do processo industrial do mesmo.

Então estes resíduos foram agrupados em três classes classificatórias.⁽⁴⁾

3.7.1 Classificação dos resíduos sólidos ⁽⁴⁾

3.7.1.1 Resíduos Classe I: Perigosos

São os resíduos sólidos que apresentam periculosidade em função de características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade e/ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente.

3.7.1.2 Resíduos Classe II: Não inertes

São classificados como não inertes os resíduos sólidos que não se enquadram na classe I e classe III. Estes resíduos podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

3.7.1.3 Resíduos Classe III: Inertes

São classificados como inertes os resíduos que sua solubilização não ultrapasse os padrões de potabilidade da água.

3.7.2 Os resíduos gerados em uma siderúrgica a carvão vegetal ⁽⁴⁾

Os resíduos sólidos gerados do processo de produção de ferro-gusa são:

- Escória de alto forno
- Finos de minério de ferro
- Finos de carvão vegetal (moinha)
- Pó do sistema de limpeza a seco dos gases (pó coletor ou pó do balão)
- Lama do sistema de limpeza a úmido dos gases

3.7.2.1 Escória de alto forno

A escória de alto forno, obtida pela reação entre as impurezas do minério e fundentes, possui elevados teores de sílica e de óxido de cálcio, além de óxido de alumínio, óxido de magnésio e óxido de ferro.

3.7.2.2 Finos de minério de ferro

Os finos de minério de ferro são constituídos pela fração fina, descartada na etapa de peneiramento. A composição química é semelhante à do minério, contendo uma grande porcentagem de ferro e pequenas quantidades de óxidos de alumínio, manganês, silício, fósforo e cálcio.

3.7.2.3 Finos de carvão vegetal (moinha)

A moinha de carvão vegetal consiste nos finos de carvão vegetal resultantes do peneiramento e, eventualmente, do equipamento de controle utilizado na área de beneficiamento do carvão.

Consiste em material particulado de pequena granulometria, com 60% a 75% de carbono fixo, 20% a 30% de material volátil e 3% a 10% de cinzas. Essas, por sua vez são formadas por SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e pequenas quantidades de MgO , P_2O_5 e MnO . Estes finos são produzidos também durante o manuseio e transporte de carvão, desde a região carvoeira até os consumidores.

3.7.2.4 Pó do sistema a seco dos gases (pó coletor ou pó de balão)

O pó de coletor ou pó de balão consiste o material particulado, carregado do forno pelos gases efluentes, removido no coletor de pó via seca, e sua composição é de aproximadamente de óxidos de ferro (45%), carbono (24%), sílica (7-25%), cinzas (75%) e alumina (1,5-12%).

3.7.2.5 Lama do sistema de limpeza a úmido dos gases (lama de alto-forno)

A lama gerada no sistema de tratamento da água de lavagem dos gases do alto-forno é composta, principalmente, por água, carbono e óxidos de ferro, silício, alumínio, cálcio, e magnésio. Além desses compostos a lama de possui compostos tóxicos como fenóis, cianetos e amônia dissolvidos na água de lavagem residual. ⁽⁴⁾

3.8 O Tratamento de Resíduos ⁽⁴⁾

Sob o nome genérico de tratamento, são reunidas diversas soluções que visam a processar os resíduos, com três objetivos principais: reduzir ou eliminar a sua periculosidade, imobilizar seus componentes perigosos fixando-os em matérias insolúveis, reduzir o volume de resíduos que após tratamento ainda requerem cuidados especiais.

Os tratamentos químicos alteram a constituição do resíduo e são empregados principalmente na eliminação de componentes tóxicos, na substituição dos contaminantes do resíduo por compostos mais estáveis, na produção de compostos com valor comercial e na transformação do resíduo em materiais insolúveis. Entre as operações químicas de tratamento, cabe destacar como principais a neutralização, a oxidação, a redução, e a precipitação.

Algumas soluções de uso tradicional no tratamento de determinadas classes de resíduos facilitam essa escolha:

- A precipitação de metais contidos em efluentes, sob a forma de hidróxidos, podendo ser, fixados como óxidos.
- A descianetação de resíduos gerados por instalações de tratamento térmico, com a oxidação dos cianetos, que são tóxicos em cianatos.
- A quebra de emulsões de óleo, utilizando-se de meio ácido
- Os tratamentos de lodos por secagem, filtração, centrifugação e etc.
- O encapsulamento de certos resíduos perigosos em materiais inertes, permitindo sua disposição segura. ⁽⁴⁾

Para obter uma noção melhor de demonstração prática dos tratamentos existentes, alguns exemplos de estudos de casos realizados em algumas indústrias são dispostos no tópico a seguir.

3.9 Estudo de “casos” de tratamento e reaproveitamento de efluentes líquidos

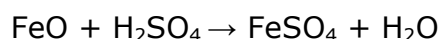
A seguir estão dispostos exemplos de tratamento de efluentes líquidos gerados na metalúrgica e/ou siderúrgica.

3.9.1 Utilização de rejeitos ácidos no tratamento de águas de lavagem de gases de aciaria LD ⁽³⁾

Segundo BURNIER, (BURNIER, H; 1992), com o intuito de combater a poluição hídrica, preservar o meio ambiente e ainda continuar garantindo a qualidade de seus produtos, uma determinada siderúrgica implantou em seu processo a utilização de rejeitos ácidos no tratamento de águas de lavagem de gases e a reciclagem da lama de aciaria via sinterização.

Este rejeito ácido era proveniente das trefilarias que promovem decapagem do fio-máquina, usando o ácido sulfúrico e ácido clorídrico.

Este processo pode ser representado pela equação a seguir:



Onde o teor de ferro no banho ácido aumenta e conseqüentemente o teor de ácido livre abaixa.

O sistema de tratamento para a lama de aciaria era deficiente, resultando em baixa qualidade de água de recirculação. Pois a água de recirculação proveniente do mesmo apresentava altos teores de ferro, alcalinidade, dureza e outros fazendo com que o número de incrustações nas redes e calhas coletoras apresentassem alta taxa de incidência.

O sistema de tratamento de recirculação, originalmente previsto, baseava-se em dosagens de polieletrólitos aniônico removendo sólidos suspensos, e dosagens esporádicas de ácido sulfúrico evitando a formação de incrustações.

Porém este método de tratamento adotado apresentava elevadas taxas de renovação do sistema, com intuito de manter a qualidade da água de recirculação dentro dos padrões aceitáveis.

Além do alto custo desta prática, os efluentes originados deste sistema poderiam poluir recursos hídricos como rios e outros.

Então para obter melhores resultados, ou seja, com objetivo de diminuir a incidência de incrustações e conseguir maior economia no tratamento da água de recirculação, notou-se que os mesmos foram alcançados utilizando rejeitos à base de ácido sulfúrico, sulfato ferroso e polímeros.

Os melhores resultados, demonstrados na tabela 1, foram obtidos com as seguintes dosagens:

- 20 ppm do FeSO_4
- 40 ppm do FeSO_4
- 20 ppm do FeSO_4 e polímero aniônico
- 40ppm do FeSO_4 e polímero aniônico

Os melhores resultados foram obtidos considerando-se os custos envolvidos no final do processo e a qualidade final desejada.

Tabela 1: Resultados obtidos nos testes no sistema de lama de aciaria LD

Parâmetro Analisado	Unidade	Sem dosagem de rejeito	Com dosagem do rejeito ácido (ppm)				
			20	40	80	20 + Polim.	40 + Polim.
Ferro Total	ppm	893	24,6	32,8	36,8	8,3	7,1
		4300	19,0	20,4	27,8	18,1	21,8
		3700	4,3	2,9	1,6	4,7	3,2
		10774	22,7	25,3	53,9	26,2	22,6
		5680	16,4	14,1	16,8	12,8	13,2
		704	60,5	56,0	63,5	44,0	40,0
		619	7,3	4,2	3,3	2,8	2,1
Dureza Total	ppm	150	157	147	153	117	136
		340	116	104	104	112	112
		900	184	208	156	539	436
		600	144	156	140	152	192
		400	36	48	40	40	80
		48	7,5	9,0	9,0	10	14
		1850	1530	1560	1510	1520	1630
pH	-	7,0	6,9	6,8	7,0	9,1	9,1
		8,0	7,0	7,0	6,7	7,1	7,0
		11,6	11,4	11,4	11,4	11,6	116
		7,0	6,9	6,7	6,6	7,2	70
		9,5	9,5	9,2	8,6	9,5	94
		6,0	5,3	5,0	4,8	5,3	5,0
		11,6	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9

Já em relação ao uso da lama de aciaria no processo de sinterização, Tabela 2, os resultados obtidos no estudo, demonstraram um aumento da produtividade no processo, um incremento no poder aglomerante de finos e redução do consumo de calcário. Onde a tabela 2 esta citada no texto?

Tabela 2: Principais resultados dos testes de utilização da lama de aciaria na carga metálica da sinterização:

Parâmetros	Unidade	Básico	Com a lama de aciaria	(%)
Moinha	%	7,85	6,66	-15,28
Densidade de carregamento	T/m ³	1,46	1,53	+4,79
Produção do sínter	%	0,055	0,066	+18,18
Produtividade	T/m ² .24h	3,11	32,68	+8,53
Redutibilidade	%	70,12	73,66	+5,00

3.9.2 Bioadsorção de metais pesados (Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+6} , Ni^{+2} , Fe^{+2}), por células imobilizadas de *S. cerevisiae* ⁽³⁾

Outro exemplo de tratamento de efluentes líquidos segundo BURNIER, (BURNIER, H; 1992), foi a recuperação de sais de metais pesados, originados dos efluentes da indústria minero-metalúrgica.

Utilizando a propriedade da biomassa de microorganismos de adsorver os íons de uma solução, foi possível determinar a cinética de adsorção dos íons de Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+6} , Ni^{+2} , Fe^{+2} pela biomassa morta de *S. cerevisiae*, avaliando também a influência do pH no rendimento da adsorção.

Por meio de análise por absorção atômica foi possível verificar a variação da adsorção de cada íon metálico em função do tempo, ou seja, cinética de adsorção.

Em relação à cinética de adsorção, o resultado obtido, foi que houve um rápido crescimento de adsorção com o tempo para todos os íons, até atingir um limite, onde a adsorção para de aumentar tendendo a um valor constante, demonstrando, portanto, o ponto de saturação do bioadsorvente.

Pôde-se ainda verificar qual pH seria considerado ótimo, ou seja aquele valor de pH onde o íon foi mais adsorvido, esta variação de pH foi feita utilizando NaOH e H_2SO_4 .

E em relação à variável adsorção em função da variação de pH, foram encontrados para cada íon metálico um máximo de adsorção em distintos valores de pH's, permitindo então a possibilidade de uma recuperação seletiva, por meio de eluição do gradiente de pH.

Os resultados obtidos, demonstrados na figura 10, neste estudo demonstraram que o uso da biomassa foi eficaz na recuperação do chumbo, e potencial para a recuperação do mercúrio, cromo, níquel, ferro, cobre.

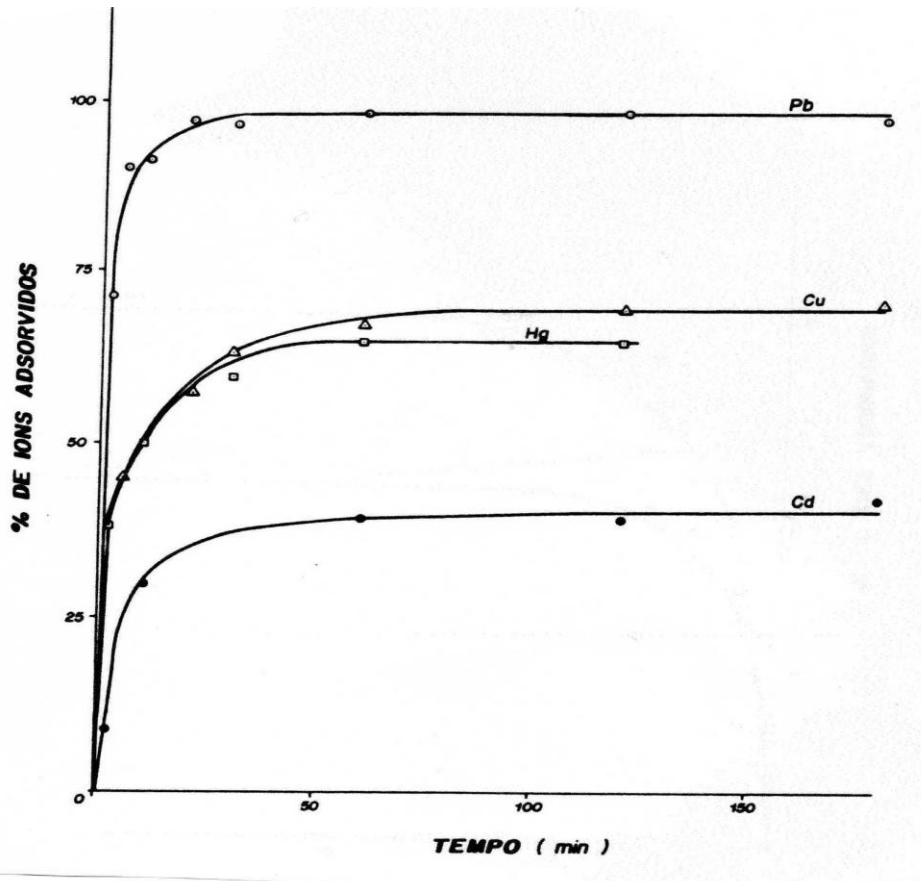


Figura 10: cinética de adsorção de chumbo, cobre, mercúrio e cádmio por biomassa imobilizada de *S. cerevisiae* (pH da solução) ⁽³⁾

Além disso, de forma generalizada o uso da biomassa foi eficaz na recuperação dos íons metálicos, pois esta recuperação aumentou significativamente a adsorção para todos os íons, no pH ótimo encontrado para cada um dos mesmos. ⁽³⁾

3.10 Estudos de casos de aplicação de resíduos da indústria metalúrgica na construção civil

A seguir alguns exemplos de aplicação da escória de indústrias siderúrgicas, para o setor de construção civil, são demonstrados.

3.10.1 Utilização da escória de aciaria do processo Lins-Donawitz como adição em cimentos ⁽¹⁰⁾

Segundo GUMIERI, (GUMIERI, A. G; 2004), as escórias produzidas na aciaria, geralmente apresentam características expansivas devido à hidratação do CaO livre e do MgO não reagido pelo poliformismo do silicato dicálcico e pela oxidação de ferro metálico. E estas escórias devem estabilizar suas capacidades expansivas melhorando suas propriedades cimentícias.

Então no estudo descrito no artigo de GUMIERI, a escória foi utilizada em substituição ao clínquer, avaliando o desempenho mecânico de argamassa segundo a NBR 7215, cimento Portland, determinação à resistência á compressão.

E os teores de substituição do clínquer por escória foram 0%, 6%,20% e 34%,

E nos resultados obtidos, figura 11, neste estudo, verificou-se que todas as resistências estiveram com o valor acima do mínimo permitido NBR 11758 para o cimento Portland composto para as idades 3, 7, 28 dias respectivamente.

Teor de 0% de escória								
Parâmetros avaliados no desvio relativo	3 dias	3 dias	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	91 dias	91 dias
	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)
	66,15	33,7	65,40	33,3	76,50	39,0	109,0	55,5
	61,25	31,2	69,80	35,6	79,10	40,3	91,1	46,4 *
	55,15	28,1 *	63,70	32,5	82,65	42,1	99,1	50,5
66,70	34,0	56,50	28,8 *	96,40	49,1 *	107,5	54,8	
M (MPa)		31,8		32,6		42,6		51,8
DRM (%)		11,6		11,7		15,3		10,4
NM (MPa)		33,0		33,8		40,5		53,6
NDRM (%)		5,5		5,3		4,0		5,8

Teor de 6% de escória								
Parâmetros avaliados no desvio relativo	3 dias	3 dias	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	91 dias	91 dias
	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)
	55,15	28,1	66,0	33,6	79,35	40,4	101,6	51,8
	59,30	30,2	60,65	30,9	78,40	39,9	78,9	40,2 *
	58,05	29,6	63,55	32,4	82,90	42,2	113,0	57,5
45,95	23,4 *	59,40	30,3	97,50	49,7 *	104,7	53,3	
M (MPa)		27,8		31,8		43,1		50,7
DRM (%)		15,8		5,7		15,3		20,7
NM (MPa)		29,3				40,8		54,2
NDRM (%)		4,1				3,4		6,0

Teor de 20% de escória								
Parâmetros avaliados no desvio relativo	3 dias	3 dias	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	91 dias	91 dias
	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)
	34,55	17,6	50,30	25,6	64,15	32,7	86,0	43,8
	36,20	18,4	51,05	26,0	68,50	34,9	93,9	47,8
	35,45	18,1	53,15	27,1	83,30	42,4 *	89,7	45,7
34,80	17,7	51,80	26,4	67,95	34,6	89,5	45,6	
M (MPa)		18,0		26,3		36,2		45,7
DRM (%)		2,2		3,0		17,1		4,6
NM (MPa)						34,1		
NDRM (%)						4,1		

Teor de 34% de escória								
Parâmetros avaliados no desvio relativo	3 dias	3 dias	7 dias	7 dias	28 dias	28 dias	91 dias	91 dias
	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)	Carga (KN)	Tensão (MPa)
	17,30	8,8	44,05	22,4	51,05	26,0 *	89,8	45,8
	16,75	8,5	42,05	21,4	63,25	32,2	86,8	44,2
	19,55	10,0	44,90	22,9	66,20	33,7	84,2	42,9
16,50	8,4	42,05	21,4	63,70	32,5	72,1	36,7 *	
M (MPa)		8,9		22,0		31,1		42,4
DRM (%)		12,4		4,1		16,4		13,4
NM (MPa)		8,6				32,8		44,3
NDRM (%)		2,3				2,9		3,4

Figura 11: Resultados obtidos para a resistência à compressão axial de escórias granuladas.

Logo a substituição do clínquer pela escória é viável, pois as resistências obtidas estão dentro dos padrões mínimos exigidos pela NBR 11578 para o cimento Portland.

3.10.2 Solidificação e estabilização do Pó de Aciaria Elétrica (PAE) em blocos de concreto para pavimentação ⁽¹¹⁾

Outro trabalho desenvolvido que demonstra a aplicação de escória siderúrgica foi descrito no artigo do MASUERO, (MASUERO, A. B; 2005).

No estudo descrito no artigo, pós de aciaria elétrica foram utilizados em diferentes teores em blocos de concreto para pavimentação, e submetidos a ensaios de lixiviação, solubilização em diferentes idades.

E como resultado dos ensaios de lixiviação, demonstrados na figura 12, os valores obtidos, para as concentrações de diversos metais estão dentro dos padrões permitidos pela NBR 10004, em todas as idades analisadas, então a matriz cimentante foi capaz de englobar elementos tóxicos, devido a sua alta basicidade e segundo a norma não foi considerado perigoso.

Idade (dias)	Teor (%) de adição do PAE em relação à massa de cimento																
	0				5				15				25				
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	
F- mg/L*	2,10	1,80	2,60	2,60	2,90	2,50	2,80	2,10	3,40	3,10	3,80	4,20	4,30	4,20	4,20	4,10	150
Cd mg/L*	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,02	0,01	0,02	0,08	0,06	0,20	0,07	0,14	0,12	0,10	0,06	0,50
Pb mg/L*	0,22	<0,05	<0,05	<0,07	0,22	<0,05	0,06	0,07	0,53	0,14	0,33	0,36	<0,05	0,14	0,50	0,40	5,00
Cr mg/L*	0,11	0,03	0,09	0,17	0,15	0,10	0,10	0,21	0,22	0,11	0,13	0,24	0,20	0,17	0,17	0,24	5,00
Cr+6 mg/L	0,06	0,03	0,02	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,01	0,12	0,20	0,17	0,17	0,11	NN
Ba mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	100
Ag mg/L	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	5,00
Hg -µg/L*	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	100

* Substância considerada tóxica / NN Não Normalizado / PAE- pó de aciaria elétrica

Figura 12: Lixiviação dos extratos das amostras dos blocos contendo adições do PAE com teores de 5%, 15% e 25% e das amostras de referência (0%).

Já os resultados obtidos no teste de solubilização, representados na figura 13, os valores de concentração para o Al e CaCO₃ estão acima do valor permitido pela NBR 10004, devido a presença do mesmo na matéria prima do cimento, como as argilas.

Amostras	Teor (%) de adição de PAE em relação à massa de cimento																Limites máximos NBR 10004
	0				5				15				25				
Idade (dias)	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	
Cu-mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,00
Zn-mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5,00
Fe-mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,30
Mn-mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10
SO ₄ ⁻ -mg/L	13,0	22,0	66,0	132,0	91,0	52,0	42,0	136,0	155,0	86,0	94,00	151,0	228,0	92,00	164,0	226,0	400,0
Na-mg/L	33,0	35,0	32,0	5,0	47,0	47,0	50,0	44,0	69,0	79,0	89,0	72,0	82,0	70,0	91,0	57,0	200,0
Al-mg/L	<0,20	1,20	1,00	0,50	0,50	0,50	0,70	0,30	<0,20	0,70	0,70	0,30	0,50	0,70	1,00	0,50	0,20
F ⁻ -mg/L*	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,50	0,72	0,04	0,03	0,63	0,39	0,22	0,26	0,81	0,35	0,28	0,05	1,50
Pb-mg/L*	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Cr-mg/L*	0,02	0,02	0,03	<0,02	0,04	0,03	<0,02	0,04	0,15	0,08	0,07	0,05	0,17	0,08	0,05	0,03	0,05
Cr ⁺⁶ -mg/L	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,03	0,03	<0,02	0,03	0,11	0,08	0,07	0,05	0,13	0,08	0,05	0,03	NN
Ba-mg/L*	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,00
Ag-mg/L*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Cl ⁻ -mg/L*	1,10	0,72	0,71	0,92	9,90	7,80	7,00	8,30	30,00	32,00	36,00	28,00	61,00	44,00	41,00	17,00	250,0
Hg-μg/L*	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,90	<0,10	<0,10	1,00
NNO ₃ -mg/L	0,20	<0,10	<0,10	<0,10	0,20	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	10,00
Dureza mg CaCO ₃ /L	308,0	182,0	871,0	1036	1055	964,0	679,0	536,0	833,0	365,0	897,0	787,0	478,0	666,0	933,0	516,0	500,0
CN-mg/L*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,10
Cd-mg/L*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05

NN - Não Normalizado / PAE- pó de aciaria elétrica / Substância considerada tóxica

Figura 13: Solubilização dos extratos as amostras dos blocos com adições de PAE em teores de de 5%, 15% e 25% e das amostras dos blocos de referência (0%).

O carbonato de cálcio apresentou elevada concentração devido ao fato do cimento utilizado para confecção dos blocos, ter aumento de 10% de CaCO₃ conforme a NBR 11578.

Observa-se também que a concentração do Pb e Cr foram ultrapassados, entretanto nota-se que a tendência de encapsulamento dos metais pesados ao longo do tempo, sendo portanto necessário mais estudo sobre a aplicação em questão.

Logo as amostras contendo 5% de PAE (pó de aciaria elétrica) não encapsularam nenhum composto tóxico acima do permitido, entretanto os teores de 15% e 25% de PAE, apresentavam teores acima do permitido pela NBR 10004, sendo portanto necessário mais pesquisas voltadas para a utilização de PAE em compostos cimentantes.

3.11 Estudo de caso de aplicação de resíduos da indústria metalúrgica no solo

Para demonstração de exemplos da aplicação dos resíduos siderúrgicos no solo coloca-se resumidamente um estudo de caso.

3.11.1 Aplicação de escória siderúrgica no solo: efeito sobre o fósforo solúvel

Segundo o ALMEIDA (ALMEIDA, G. M; 2008) uma técnica alternativa para a correção da acidez do solo é a substituição total ou parcial do carbonato de cálcio (CaCO_3) e, ou, carbonato de magnésio (MgCO_3) pelo silicato de cálcio (CaSiO_3) e, ou, silicato de magnésio (MgSiO_3), que também conseguem elevar o pH, disponibilizando o ânion silicato (H_3SiO_4^-), que, por sua vez, pode concorrer com o ânion fosfato diácido pelos mesmos sítios de adsorção. ⁽¹²⁾

E de acordo com Souza (2008) a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH^-), neutralizando os H^+ e elevando o pH do solo. Com o aumento do pH, ocorre a precipitação do Al^{3+} na forma de hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), de baixa solubilidade e, portanto, não tóxica para as plantas. Após a ação alcalinizante do solo pelo CaSiO_3 , há a formação do H_4SiO_4 , que se transforma em H_3SiO_4^- em pH próximo de 7, e pode ser adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, competindo com o H_2PO_4^- pelos mesmos sítios de adsorção, aumentando então a o teor de fósforo disponível, solúvel, para os vegetais. ⁽¹³⁾

No artigo de ALMEIDA (2008) verifica a influência do silício presente na escória siderúrgica de alto forno sobre a disponibilidade do fósforo solúvel em um solo franco-arenoso cultivado com cana de açúcar.

E nesta pesquisa, os resultados encontrados representados na tabela 3, demonstraram um efeito significativo do resíduo de siderúrgica sobre as concentrações de silício e fósforo, ou seja, a aplicação do silício na forma de escória siderúrgica pode contribuir para a maior disponibilidade do fósforo e resultando numa economia na aplicação desse elemento na agricultura, além de ser uma alternativa para a disposição desse resíduo industrial. ⁽¹²⁾

Tabela 3: Médias das concentrações de silício e fósforo no solo submetido à aplicação de escória de siderurgia de alto forno

Variáveis	Solo com cultivo RB	
Tratamentos (g SiO ₂ por vaso)	Si Total (mg.Kg ⁻¹)	P (mg.Kg ⁻¹)
0,000	6,49	110,00
0,275	6,56	95,50
0,550	7,39	101,75
1,100	7,01	114,75
1,650	10,41	135,50
Média	7,57	111,50
Solo com cultivo SP		
Tratamentos (g SiO ₂ por vaso)	Si Total (mg.Kg ⁻¹)	P (mg.Kg ⁻¹)
0,000	5,75	122,50
0,275	6,04	95,25
0,550	7,96	104,00
1,100	8,30	113,50
1,650	9,33	92,25
Média	7,48	105,50

4. Conclusão da monografia

O trabalho desenvolvido possui relevância principalmente para a sociedade industrial, pois abrange desde a produção do ferro gusa e aço até os processos de aplicação dos resíduos gerados, apresentando possíveis soluções que incrementam ações em prol da alto-sustentabilidade. Como conclusão geral, este trabalho atingiu seus objetivos, demonstrando uma introdução teórico-científica, no formato de revisão bibliográfica que poderá ser então uma nova fonte de consulta para diversos afins.

As aplicações dos resíduos gerados foram, demonstrados e avaliados em estudos de casos, dos quais puderam-se obter as seguintes conclusões:

No estudo de caso "Utilização de rejeitos ácidos no tratamento de águas de lavagem de gases de aciaria", foi satisfatório, pois após a utilização dos rejeitos ácidos, observou-se redução de dureza total da água de recirculação, redução significativa da taxa de incrustações na tubulação além de ser mais econômico em relação ao tratamento inicial do sistema.

Já no "Bioadsorção de metais pesados, por células imobilizadas de *S.cerevisae*", conclui-se que a utilização de biomassa foi eficaz no processo de adsorção de metais pesados, este estudo então por sua vez apresenta boas idéias para as indústrias siderúrgicas e/ou metalúrgicas para o tratamento de seus efluentes, que possuem íons metálicos, inclusive alguns possíveis metais pesados.

Na "Utilização da escória de aciaria do processo Lins-Donawitz como adição em cimentos", conclui-se que a substituição do clínquer pela escória é viável, pois as resistências obtidas estão dentro dos padrões mínimos exigidos pela NBR 11578 para o cimento Portland.

Na "Solidificação e estabilização do Pó de aciaria elétrica em blocos de concreto para pavimentação", os resultados encontrados não foram satisfatórios, pois, no teste de solubilização dos extratos, algumas amostras apresentaram teores de alguns metais acima do permitido pela NBR 10004, sendo entanto necessário mais pesquisas.

E por fim no estudo "Aplicação de escória siderúrgica no solo: efeito sobre o fósforo solúvel", conclui-se que a aplicação do silício na forma de escória siderúrgica pode contribuir para a maior disponibilidade do fósforo e

com isso pode resultar em uma economia na aplicação deste elemento na agricultura, além de ser uma alternativa para a disposição desse resíduo industrial.

5. Referências bibliográficas

1- FREIRE, Renato Sanches et al . Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 23, n. 4, Aug. 2000 .

2- CUNHA, Adriano Ferreira da et al . Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. *Rem: Rev. Esc. Minas*, Ouro Preto, v. 59, n. 1, Mar. 2006

3- BURNIER, H; CHAVES, A. P; FILHO, A. C. B; GOUVEIA, A. M. C; JUNQUEIRA, S. A; MARTINS, A. M; TARCIA, S. F. Seminário: Reciclagem de rejeitos da indústria minero -metalúrgica, São Paulo: ABM, 1992. 535p.

4- JACOMINO, V. M. F; CASTRO, L. F. A; RIBEIRO, E. D. L; LEÃO, M. M. D; SOUZA, C. M.; GOMES, A. M; ALMEIDA, M. L. B; LOPES, L. E. F. Controle ambiental das indústrias de produção do ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal: Projeto Minas Ambiente. Belo Horizonte: Segrac, 2002. 302p.

5- MALISHEV, A; NIKOLAIEV, G; SHUKALOV, Y; Tecnologia dos metais, São Paulo: Mestre Jou, 1970. 439p.

6- ROSA, Adalberto Luiz; SHAREEF, Mohammed Youssef; VAN NOORT, Richard. Efeito das condições de preparação e sinterização sobre a porosidade da hidroxiapatita. *Pesqui. Odontol. Bras.*, São Paulo, v. 14, n. 3, Setembro 2000 .

7- LÉON, A. B. T. Estudo da pelotização e briquetagem de finos de carvão mineral, 1985. 121 f. tese (Mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Dezembro 1985.

8- DZIERVA, F. Obtenção do aço. Paraná, Universidade Federal do Paraná

9- Produção do aço, artigo On-line. Disponível em < <http://wiki.ifsc.edu.br>>. Acesso em 3 de dezembro. 2010.

10- GUMIERI, A. G; MOLIN, D. C. C. D; VILELA, A. C. F. Utilização de escória de aciaria do processo Linz-Donawitz como adição em cimentos. *Revista ABM*, São Paulo, vol. 1, nº 1, p.69-74, Julho 2004.

11- MASUERO, A. B; VARGAS, A. S; VILELA, A. C. F. Solidificação/estabilização (s/s) do pó de aciaria elétrica em blocos de concreto para pavimentação. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, vol. 2, p. 30-34, jul.-set. 2005.

12- ALMEIDA, G. M; AQUINO, B. F; MADEIROS, L. B. Aplicação de escórias siderúrgicas no solo: Efeito sobre o fósforo solúvel. Espírito Santo do Pinhal, vol.5, n.2, p. 005-013, maio/agosto 2008.

13- Souza, Renato Ferreira de et al. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Ago 2008, vol.32, no.4, p.1563-1572. ISSN 0100-0683