



**Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"**

**LYRES MARIANA MONTEQUESE ZANETTI**

**DESENVOLVIMENTO DE PARÂMETROS PARA AVALIAR A  
QUALIDADE DO FERRO GUSA PARA A RECICLAGEM DO CHUMBO**

Assis  
2010

LYRES MARIANA MONTEQUESE ZANETTI

DESENVOLVIMENTO DE PARÂMETROS PARA AVALIAR A  
QUALIDADE DO FERRO GUSA PARA RECICLAGEM DE CHUMBO

Trabalho de conclusão de curso de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação em Química industrial.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Ms. Nilson José dos Santos  
Área de Concentração: Química Industrial

Assis  
2010

## FICHA CATALOGRÁFICA

ZANETTI, Lyres Mariana Montequese

Desenvolvimento de parâmetros para avaliar a qualidade do ferro gusa para reciclagem do chumbo / Lyres Mariana Montequese Zanetti. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2010.

35p.

Orientador: Nilson José dos Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Ferro.2.Chumbo.3.Reciclagem

CDD:660  
Biblioteca da FEMA

# DESENVOLVIMENTO DE PARÂMETROS PARA AVALIAR A QUALIDADE DO FERRO GUSA PARA RECICLAGEM DE CHUMBO

LYRES MARIANA MONTEQUESE ZANETTI

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Municipal  
de Ensino Superior de Assis, como  
requisito do Curso de Graduação,  
analisado pela seguinte comissão  
examinadora:

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Ms. Nilson José dos Santos

Analisador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Idelcio Nogueira da Silva

Assis  
2010

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares que me apoiaram em todos os momentos e me ensinaram a mais bela lição de vida : o respeito, a educação e principalmente o amor ao próximo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me iluminado nas horas mais difíceis, me dando forças e sabedoria para enfrentar as dificuldades, permitindo que eu chegasse até aqui com êxito.

Aos meus queridos pais Leandro e Teresinha, que sempre estiveram do meu lado, acreditando e incentivando para que eu não esmorecesse diante dos obstáculos impostos pela vida.

A minha querida avó Armilinda que sempre acreditou em meu potencial, me dando forças para que eu nunca desistisse de meus sonhos.

Em especial a Eulandison Coelho Marques que foi uma pessoa essencial em minha vida sempre me incentivando a estudar e a nunca desistir dos meus sonhos, me ensinando que mesmo com dificuldades podemos ser felizes.

Aos professores Márcia, Ébano, Bia, Natal, Martinho, Cleiton, Fernando, Mary, Rosangela, Silvia, Idécio, Ilton, Campanatti e Nilson pela amizade e companheirimos.

Em especial meu orientador, Prof. Ms. Nilson José dos Santos, que além de professor e orientador foi um grande amigo, que me entendeu nas horas mais difíceis da minha vida, e sempre acreditou em meu potencial.

A todos os colegas de curso que foram da minha turma Mara, Karina, Naty, Rafa, Murilo, Augusto, e da turma de 2010 em especial Cleiton Dias e Alexandre Mazalli, que sempre me incentivaram a nunca desistir do meu trabalho, e também a todos outros colegas que não estão aqui citados mais estão no meu coração, e serão inesquecíveis na minha vida. Adoro todos vocês.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram comigo para um bom andamento deste trabalho, muito obrigada.

Toda forma de saber nasce  
de um não saber.

Pe. Fabio de Melo

## RESUMO

A reciclagem da bateria ocorre pelo processo pirometalúrgico, onde o ferro é utilizado para redução dos componentes de chumbo a chumbo metálico. A qualidade do ferro utilizado nesta fase influencia a qualidade do chumbo obtido, na quantidade de chumbo perdido na borra, na quantidade de fumaça gerada durante o processo e na facilidade em retirar da borra. O ferro é um metal de transição, encontrado no grupo 8B da Classificação Periódica dos Elementos. É um dos metais mais utilizados. O objetivo deste trabalho foi desenvolver parâmetros para analisar a qualidade do ferro utilizado na reciclagem do chumbo. As amostras testadas foram de ferro denominado resíduo de ferro gusa. Coletou-se 2 amostras de ferro em uso na recicladora de chumbo. A amostra 1 foi considerada boa pelo pessoal da produção. A amostra 2 não estava sendo utilizada por ser considerada empiricamente como ruim. Foram avaliadas: purezas por atração magnética e por densidade. O teor de ferro foi determinado por análise em absorção atômica. A olho nu percebe-se pouca diferença entre os dois produtos. A amostra 1 “ferro bom” apresentou uma cor com tonalidade para o cinza. O “ferro ruim” amostra 2 apresentou tom puxado para o marrom. No resultado da atração magnética a amostra 1 tem 97,9% da massa foi atraída pelo imã, indicando que trata-se de material ferroso. A amostra 2 leva uma pequena desvantagem obtendo 93,7% de material ferroso. A densidade do ferro foi 7,874 g/mL. Na amostra 1 a densidade determinada foi 2,65g/mL e na amostra 2 o valor encontrado foi de 1,86g/mL. As amostras foram dissolvidas em ácido nítrico 54%, filtradas e analisadas em absorção atômica. O resultado de ferro encontrado na amostra 1 foi 9,18% e na amostra 2 foi 7,35% de ferro. Conclui-se que as amostras eram pobres em ferro e portanto não são adequadas ao processo.

**Palavras-chave:** Ferro; Chumbo; Reciclagem.



## ABSTRACT

Battery recycling occurs by the pyrometallurgical process where iron is used for reduction of lead components to metallic lead. The quality of iron used in this phase influences the quality of lead obtained, the amount of lead lost in the dreg, the amount of smoke generated during the process and ease in removing the sludge. Iron is a transition metal, found in the group 8B Periodic Classification of Elements. It is one of the most used metals. The objective of this paper is to develop benchmarks to assess the quality of iron used in the recycling of lead. Samples tested were iron residue called pig iron. 2 samples were collected for iron use in recycling of lead. First sample was considered good by the production crew. Second sample was not being used because it is empirically considered as bad. Were evaluated: purity by magnetic attraction and density. Iron content was determined by atomic absorption analysis. The naked eye perceives little difference between the two products. Sample 1 a "good iron" features a color with hue to the gray. The "bad iron" sample 2 has pulled the brown tone. As a result of magnetic attraction to a sample has 97.9% of the mass was attracted by the magnet, indicating that it is ferrous material. Sample 2 takes a slight disadvantage getting 93.7% of ferrous material. The density of iron is 7.874 g / mL. Sample 1 gave density of 2.65 g / mL and in sample 2 the value found was 1.86 g / mL. The samples were dissolved in nitric acid 54%, filtered and analyzed by atomic absorption. The content of iron found in sample 1 was 9.18% and 7.35% for sample 2. It was concluded that this material are low in iron, and therefore not suitable to process.

**Keywords:** Iron; Lead; Recycling

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Minério de ferro .....	16
Figura 2	Alto forno .....	17
Figura 3	Ferro Gusa fundido .....	18
Figura 4	Granulador de silus de alto – forno .....	19
Figura 5	Bateria .....	22
Figura 6	Fluxograma do processo de reciclagem de chumbo .....	24
Figura 7	Pastelo .....	25
Figura 8	Reações químicas da pirometalurgia da recuperação do chumbo	26
Figura 9	Reação química do sulfato de chumbo com ferro metálico .....	26
Figura 10	Esquema de um forno rotativo .....	28
Figura 11	Diagrama esquemático do forno rotativo, com apresentação da seção transversal .....	28
Figura 12	Vista frontal de um forno rotativo .....	29
Figura 13	Amostra 1 ferro bom; amostra 2 ferro ruim.....	32

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>FERRO COMO TEMA PARA O ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA.....</b>	<b>13</b>
2.1	ELEMENTO QUÍMICO FERRO .....	13
2.2	ELEMENTO NA TABELA PERIÓDICA .....	13
2.3	HISTÓRICO DO ELEMENTO.....	14
2.4	CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO.....	14
2.5	APLICAÇÕES DO ELEMENTO FERRO.....	15
2.6	PROCESSO DE OBTENÇÃO DO FERRO.....	16
2.6.1	Escória de alto-forno .....	18
<b>3</b>	<b>USO DO FERRO NA RECICLAGEM DE CHUMBO.....</b>	<b>22</b>
3.1	RECICLAGEM DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO.....	22
3.2	PROCESSO DE RECICLAGEM DE CHUMBO.....	23
3.2.1	Separações dos componentes da bateria.....	24
3.2.2	Fundição de chumbo.....	25
3.2.3	Forno rotativo.....	27
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
4.1	MATERIAIS.....	30
4.2	REAGENTES.....	30
4.3	MÉTODOS.....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

Vários metais são encontrados com frequência no cotidiano, como, por exemplo, ferro, ouro, cobre alumínio e chumbo. Os metais e suas ligas estão sempre presentes nos diversos setores como: construção civil, indústria de veículos automotivos, meios de transporte, de telecomunicações, indústria química, medicina, odontologia dentre outros. (ESPERIDÃO, 2002).

Metais e suas ligas correm praticamente lado a lado com a história da humanidade e tem um efeito duradouro em sua cultura. Por essa razão, certos períodos da história foram nomeados pela utilização de materiais, tais como a Era do Ferro (NETZSCH, 2010).

O ferro é utilizado para a produção de aço e ligas metálicas, é um elemento maleável de coloração prateada, é encontrado na natureza fazendo parte de diversos minerais. Esse elemento desempenha um papel importante nos processos metabólicos dos seres humanos e animais. A função do ferro no organismo é quase que exclusiva do transporte de oxigênio no sangue, através da hemoglobina. No homem os órgãos mais ricos em ferro são fígado e o baço (WIKIPÉDIA, 2010; NAUTILUS, 2010).

Um homem adulto absorve cerca de 5 mg de ferro por dia, a deficiência de ferro no organismo pode causar anemia, anorexia, sensibilidade óssea a temperaturas frias, prisão de ventre, irritabilidade, fadiga e até problemas no crescimento.

Os alimentos mais ricos em ferro são: fígado, peixe e a gema de ovo e de uma maneira geral todos os vegetais de coloração verde são ricos nesse elemento.

O uso industrial do chumbo é muito vasto: utilizado como anti-corrosivo para pintura em ferro, pinturas especiais em rodovias, na galvanoplastia e baterias. A produção de baterias responde pelo maior consumo (ROBERTO, 2005).

A reciclagem da bateria ocorre pelo processo pirometalúrgico onde o ferro é utilizado para redução dos componentes de chumbo a chumbo metálico. A qualidade do ferro utilizado nesta fase influencia a qualidade do chumbo obtido, na quantidade de chumbo perdido na borra, na quantidade de fumaça gerada durante o processo e na retirada da borra.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver parâmetros para analisar a qualidade do ferro utilizado na reciclagem do chumbo.

## 2 – FERRO: TEMA NO ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA

### 2.1- ELEMENTO QUÍMICO FERRO

O elemento químico ferro é um dos metais mais preciosos. O ferro tem sido conhecido e utilizado desde os tempos pré-históricos. É um dos elementos mais abundantes do Universo, o núcleo da Terra é formado principalmente por ferro (Fe) e níquel (Ni). Este ferro está em uma temperatura muito acima da sua temperatura de Curie do ferro (nesta temperatura os materiais perdem suas propriedades ferromagnéticas, esta transição é reversível através do resfriamento do material), dessa forma, o núcleo da Terra não é ferromagnético .

### 2.2 – ELEMENTO NA TABELA PERIÓDICA

O ferro (do latim ferrum) é um elemento químico, símbolo Fe, de número atômico 26 (26 prótons e 26 elétrons) e massa atômica 56 u. À temperatura ambiente, o ferro encontra-se no estado sólido.

Este metal de transição é encontrado no grupo 8B da Classificação Periódica dos Elementos. É o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (aproximadamente 5%) e, entre os metais, somente o alumínio é mais abundante (WIKIPÉDIA, 2010).

## 2.3 - HISTÓRICO DO ELEMENTO

Entre os séculos XII e X antes de Cristo, ocorreu uma rápida transição no Oriente Médio na substituição das armas de bronze para as de ferro. Esta rápida transição talvez tenha ocorrido devido a uma escassez de estanho, e devido a uma melhoria na tecnologia em trabalhar com o ferro. Este período, que ocorreu em diferentes ocasiões segundo o lugar, denominou-se Idade do ferro, substituindo a Idade do bronze. Na Grécia iniciou-se em torno do ano 1000 a.C., e não chegou à Europa ocidental antes do século VII a.C.. A substituição do bronze pelo ferro foi paulatina, pois era difícil produzir peças de ferro: localizar o mineral, extraí-lo, proceder a sua fundição a temperaturas altas e depois forjá-lo. Após a queda do império romano, a produção de ferro sofreu uma evolução considerável em particular na Espanha, sendo famosa as lâminas de aço de Toledo e seus artesãos. Estes iriam para a França e Alemanha, onde foi introduzida a ferraria que se desenvolveu e originou as grandes fornalhas. Os subprodutos da forja catalã eram uma espécie de ferro maleável ou aço; as grandes fornalhas produziam uma variedade de ferro que não podia ser endurecido, mas foi apropriada para outros tipos de fundição e moldagem.

Atualmente o ferro, é utilizado extensivamente para a produção de aço, ligas metálicas para a produção de ferramentas, máquinas, veículos de transporte (automóveis, navios, etc), como elemento estrutural de pontes, edifícios, e uma infinidade de outras aplicações. (Wikipédia , 2010).

## 2.4 – CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO

O ferro é um metal maleável, de coloração cinza prateado apresentando propriedades magnéticas; é ferromagnético à temperatura ambiente. É o elemento mais pesado que se produz exotermicamente por fusão, e o mais leve produzido por fissão, devido ao fato de seu núcleo ter a mais alta energia de ligação por nucleon,

que é a energia necessária para separar do núcleo um nêutron ou um próton. Portanto, o núcleo mais estável é o do ferro.

Este elemento é encontrado na natureza fazendo parte da composição de diversos minerais, entre eles muitos óxidos, como o FeO (óxido de ferro II, ou óxido ferroso) ou como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (óxido de ferro III, ou óxido férrico). Os números que acompanham o íon ferro diz respeito aos estados de oxidação apresentados pelo ferro, que são +2 e +3, e é raramente encontrado livre. Para obter-se ferro no estado elementar, os óxidos são reduzidos com carbono, e imediatamente são submetidos a um processo de refinação para retirar as impurezas presentes.

## 2.5 – APLICAÇÕES DO ELEMENTO FERRO

O ferro é um dos metais mais úteis. Suas aplicações, bem como as de suas ligas, são muito importantes e bem conhecidas. O sulfato ferroso é usado como fungicida, o oxalato de ferro no desenvolvimento fotográfico, limonita como pigmentos e produtos abrasivos. Magnetita é usada na produção industrial de eletrodos, cloreto férrico e nitrato são utilizados como mordentes e reagentes industriais principalmente na indústria de corantes, “azul da Prússia” e “turnbull azul” são utilizados na produção de diversos tipos de tintas. A Carbonila de ferro é usada como catalisador de muitas reações (TRINDADE, 2010).

Este elemento esta na composição de alguns objetos indispensáveis no cotidiano como parafusos, pregos, candeeiros, casquilhos de lâmpadas esferográficas, chaves, fechaduras, tachos, talheres, carros, frigoríficos, caixotes do lixo, pontes e estruturas de edifícios constituem apenas alguns exemplos da lista interminável de utilidades deste metal (IST, 2010).

O ferro tem um desempenho importante no processo metabólico dos seres humanos, sendo um representante vital nas células de todos os mamíferos. A função do ferro no organismo é limitada quase que exclusiva no transporte de



oxigênio no sangue, através da hemoglobina. Também está presente em algumas enzimas que catalisam reações de oxidação celular. No corpo humano, os órgãos ricos em ferro são o fígado e o baço. Embora em menor quantidade, também está presente nos ossos, na medula, nos rins e nos intestinos (BIBLIOMED, 2010).

Um homem adulto absorve cerca de 5 mg de ferro por dia, enquanto a mulher absorve ligeiramente mais para compensar as perdas durante a menstruação ou gravidez. A absorção de ferro é maior em crianças, acima de 10 a 15 mg por dia. Existem vários sais ferrosos, como o sulfato ferroso, que são bastante eficazes no tratamento de anemia, devido à deficiência de ferro. Além da anemia, a deficiência de ferro pode causar anorexia, sensibilidade óssea a temperaturas mais frias, prisão de ventre, irritabilidade, fadiga e problemas no crescimento .

Dos alimentos mais ricos em ferro destacam-se o fígado, o peixe e a gema de ovo. O feijão e as ervilhas e, de uma maneira geral, todos os vegetais verdes são ricos nesse elemento.

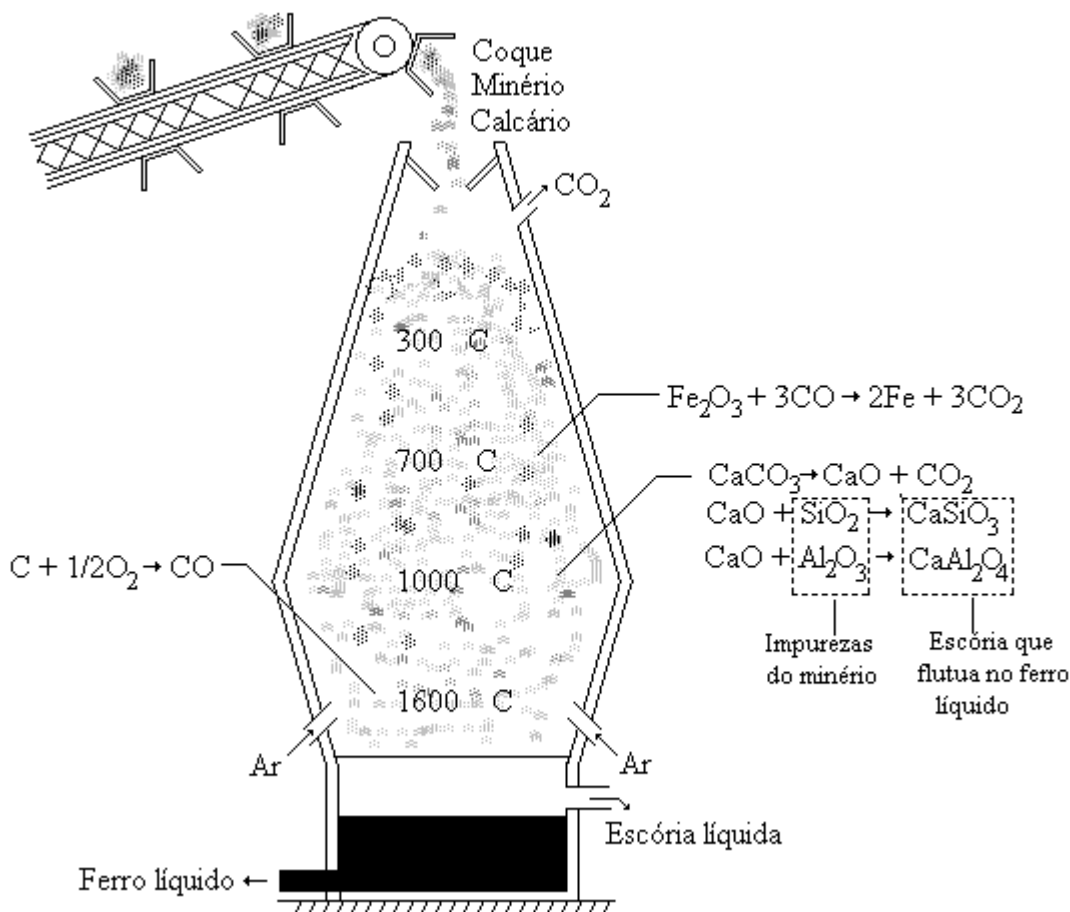
## 2.6 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO FERRO



**Figura 1 - Minério de ferro (In: Guia ferro e aço, 2010).**

A indústria siderúrgica é responsável por transformar o minério de ferro em aço, o minério cuja origem é do óxido de ferro ( $\text{FeO}$ ) é aquecido em fornos especiais, alto fornos, em presença de carbono ocorrendo a redução do minério de ferro, um forno que contém uma mistura do minério com coque e calcário. O minério é reduzido ao metal pelo monóxido de carbono produzido no forno. O calcário que é principalmente

carbonato de cálcio sofre decomposição térmica a óxido de cálcio (cal) e dióxido de carbono. O óxido de cálcio que contém a base de Lewis ( $O_2^-$ ), ajuda a remover as impurezas ácidas e anfotéricas do minério (FELTRE, 2004; ROMEIRO, 1997).



**Figura 2 – Alto forno (In: FELTRE, 2004).**

O ferro que sai do alto forno é chamado de ferro gusa (ferro bruto ou ferro de 1ª fusão). O ferro gusa contém uma composição de 4% de carbono sob forma de cementita ( $FeC$ ), é um ferro duro e quebradiço com baixa resistência mecânica devido ao excesso de carbono. O minério geralmente utilizado é a hematita ( $Fe_2O_3$ ) e sua ganga é constituída basicamente de sílica ( $SiO_2$ ). O processo tem como início a sinterização ou pelotização do minério que consiste em triturar o minério para

aumentar a superfície de contato do material tornando-o de granulometria controlada, o que determinará um melhor rendimento nos alto-fornos modernos. Junto com o minério são incluídos na carga, calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), carvão mineral ou vegetal (C) e ar quente. O carvão servirá para reduzir o minério e produzir energia, o calcário servirá como fundente (FELTRE, 2004; ROMEIRO, 1997).



**Figura 3 - Ferro gusa fundido (In: Rayal, 2010).**

O ferro fundido é semelhante ao ferro gusa com algumas impurezas removidas e conteúdo de carbono usualmente superior a 2%. O ferro puro é flexível e maleável, mais o ferro fundido é duro e quebradiço devido aos átomos de carbono. O ferro fundido é usado em objetos sujeitos a choques mecânicos e térmicos pequenos, como grades ornamentais, blocos de motor, tambores de freio e caixas de transmissão (ROMEIRO, 1997).

### **2.6.1- Escoria de alto-forno**

As escórias são formadas pelas impurezas do minério de ferro juntamente com a adição de fundente como o calcário e dolomita, e as cinzas do coque. A escória

fundida é uma massa que, por sua insolubilidade e menor densidade, sobrenada no ferro gusa e é conduzida por canais, até o lugar de resfriamento (AcelorMital ,2010).

As Escórias de Alto-Forno podem ser resfriadas de 2 formas:

- Esfriada ao ar ou Cristalizada

São vazadas em estado líquido em pátios apropriados, onde são resfriadas ao ar. Por ser um processo lento, os seus componentes formam distintas fases cristalinas, e com isto não adquirem poder de aglomerante hidráulico. Essa escória recebe o nome de Escória Bruta de Alto-Forno, podendo ser britada ou utilizada como material inerte em diversas aplicações, substituindo materiais pétreos (AcelorMital, 2010).

- Resfriada com Água ou Granulada



**Figura 4 - Granulador de silus de alto forno (In: AcelorMital, 2010).**

A escória líquida é transportada para os granuladores, que são equipamentos onde ela é resfriada bruscamente por meio de jatos de água sob alta pressão. Não havendo tempo suficiente para formação de cristais, essa escória se granula "vitrificando" e recebe o nome de Escória Granulada de Alto Forno. A Escória Granulada de Alto-Forno devido ao seu grande potencial hidráulico (endurecer, depois de moída, quando em contato com a água), tem um mercado amplo para esse produto, principalmente para cimenteiras e concreteiras, onde a Escória Granulada de Alto-Forno pode ser moída e utilizada na fabricação do cimento e concreto. As características da composição química das Escórias de Alto-Forno

produzidas variam dentro de limites relativamente estreitos. Os elementos que participam são os óxidos de: cálcio (Ca), silício (Si), alumínio (Al) e magnésio (Mg). Temos ainda, em quantidades menores, FeO, MnO, TiO<sub>2</sub>, enxofre, etc. É importante ressaltar que essa composição vai depender das matérias primas e do tipo de gusa fabricado. A composição química é de extrema importância e vai determinar as características físico-químicas das Escórias de Alto-Forno (AcelorMital, 2010).

Composição química Escória de Alto-Forno (Valores de Referência)

FeO	0,45%
SiO <sub>2</sub>	33,65%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,42%
Cão	41,60%
MgO	7,95%
TiO	0,73%

**Tabela 1 – Tabela de composição química da escoria de alto forno (In: AcelorMital ,2010).**

Dependendo das características das Escórias de Alto-Forno, resultantes do tipo de resfriamento e composição química, registram-se várias aplicações para elas ao longo de vários países no mundo (AcelorMital 03/06/10), como: bases de estrada; asfalto; aterro/terraplanagem; agregado para concreto; cimento (grande utilização da Escória de Alto-Forno granulada devido a sua hidraulicidade); aplicações especiais (lã mineral, lastro ferroviário, material para cobertura, isolamento, vidro, filtros, condicionamento de solo e produtos de concreto).

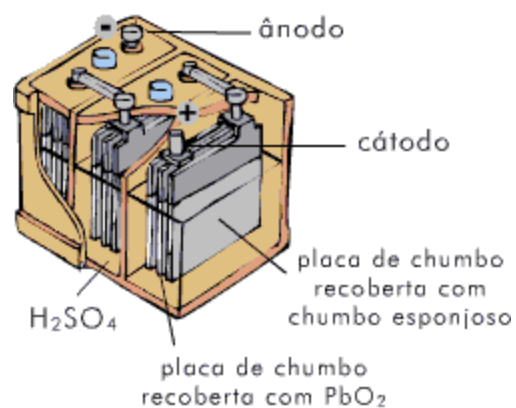
A indústria incentiva pesquisas para novas aplicações com a Escória de Alto-Forno, buscando sempre garantir a qualidade na sua utilização. Vários convênios com instituições de pesquisas são feitos a fim de promover as potencialidades de sua utilização; um exemplo é o NEXES (Núcleo de Excelência de Escórias Siderúrgicas)

na UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), onde são feitos estudos com a aplicação da Escória de Alto-Forno em diversos segmentos (AcelorMital, 2010).

### 3 – USO DO FERRO NA RECICLAGEM DE CHUMBO

O principal uso do elemento chumbo é na fabricação de baterias automotivas, mas também é usadas na fabricação de tetraetilchumbo ( $C_8H_{20}Pb$ ), forro para cabos, elemento de construção civil, pigmentos, soldas suaves, como manta protetora para aparelhos de raios-X e munições (ROBERTO, 2005).

Numa bateria comum, cerca de 65% de seu peso é chumbo seja em sua forma metálica (Pb), ou sob forma de óxido de chumbo (PbO) (ROBERTO, 2005).



**Figura 5 - Bateria (In: USP, 2010).**

#### 3.1 - RECICLAGEM DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

Dentre os metais recuperados atualmente, o chumbo tem se destacado como um dos metais mais reciclados. A bateria de chumbo-ácido concentra a aplicação de quase toda a produção de chumbo mundial e, por isso a reciclagem do chumbo

passou a ser considerado sinônimo de “reciclagem de baterias chumbo-ácido”. O chumbo é também utilizado em diversos produtos como pigmentos e produtos químicos para laboratório, porém a quantidade empregada é tão pequena que normalmente não é citada, nem passa por processo de recuperação (APOLINÁRIO, 2009).

A bateria chumbo ácido é um produto industrial complexo, composto por vários materiais diferentes. É constituída de componentes metálicos, solução ácida, plásticos e polímeros. A Tabela 2 mostra a composição em massa, de uma bateria.

<b>Componentes</b>	<b>Massa (%)</b>
Chumbo	61,2
Água	13,3
Ácido sulfúrico puro	9,6
Caixa de polipropileno	8,2
Grelha metálica (Sb, Sn, As)	2,1
Polietileno (separadores)	2,0
Outros materiais (plásticos, papel, madeira, PVC)	3,3

**Tabela 2 – Tabela da composição média de uma bateria de chumbo-ácido para automóveis (In: APOLINÁRIO, 2009).**

### 3.2 – PROCESSO DE RECICLAGEM DE CHUMBO

O processo de reciclagem de chumbo é constituído de várias etapas que tem os seguintes objetivos: selecionar o material da bateria passível de reciclagem, separar

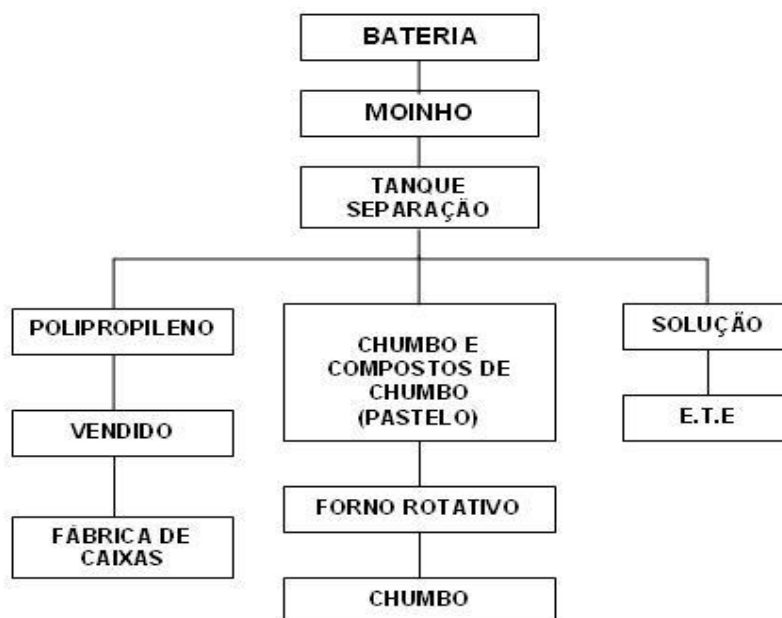


o chumbo de outros metais e contaminantes e minimizar a emissão de poluentes (APOLINÁRIO).

### 3.2.1 – Separações dos componentes da bateria

O primeiro passo para a reciclagem é uma separação efetiva de todos os componentes da bateria. Esta separação pode ser feita por processo mecânico (moinho de martelo) ou manual (serra) (APOLINÁRIO, 2009).

No fluxograma do processo de reciclagem de chumbo, figura 6, verifica-se que na separação mecânica ocorre primeiro a separação dos componentes da bateria, que depois de trituração passa por um hidroseparador que extrai, por densidade, a grelha metálica e o polipropileno. O efluente gerado no hidroseparador é levado para uma peneira, na qual é recolhido o polipropileno, originado dos envelopes separadores.



**Figura 6 – Fluxograma do processo de reciclagem de chumbo**

O pastelo, material interno da bateria, é composto por chumbo metálico e seus derivados tais como  $PbO$ ,  $PbO_2$  e  $PbSO_4$ , como mostra a figura 7.



**Figura 7: Pastelo (material interno) que será reduzido a chumbo metálico**

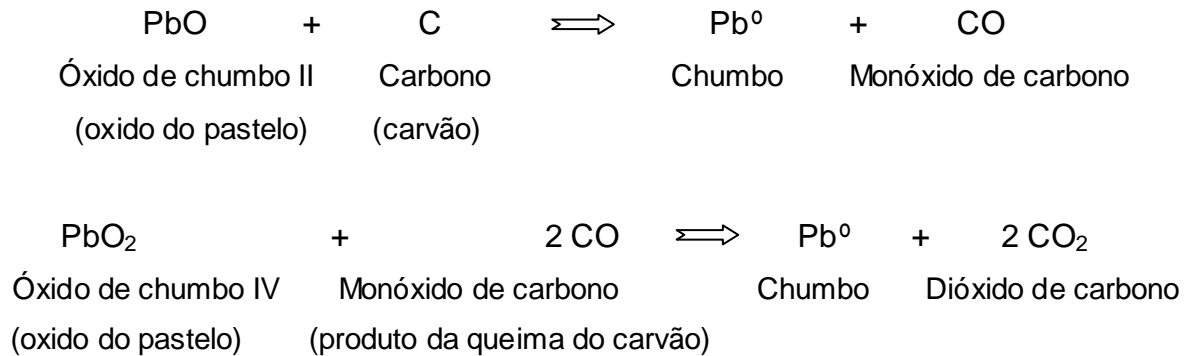
### **3.2.2 – Fundição de chumbo**

A segunda etapa do processo de reciclagem é a obtenção do chumbo secundário, ou seja, a obtenção do chumbo elementar a partir do pastelo previamente separado para reciclagem (APOLINÁRIO, 2009).

A parte metálica da bateria é composta de aproximadamente 40% chumbo na forma de ligas de chumbo e 60% de óxidos de chumbo. Esta sucata é levada ao forno juntamente com ferro e carvão. Através da fundição, os compostos de chumbo são reduzidos a chumbo elementar, em forno que requer alta temperatura (acima de 1000 °C) e atmosfera redutora (MACHADO, 2002; APOLINÁRIO, 2009).

O chumbo, tanto na extração quanto na reciclagem, é submetido a processo pirometalúrgico. A pirometalurgia, figura 8, da recuperação de chumbo envolve reações de oxi-redução sob alta temperatura. A sucata metálica é composta de chumbo metálico, óxidos e sulfatos de chumbo. Para que ocorra a redução da sucata metálica a chumbo metálico, são adicionados carbono e ferro como agentes

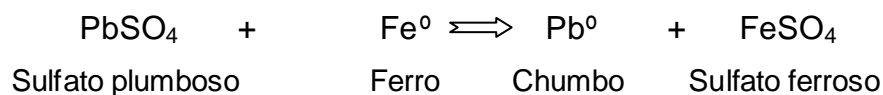
redutores, e todos os componentes submetidos a altas temperaturas. Duas reações ocorrem simultaneamente (APOLINÁRIO, 2009):



**Figura 8: Reações químicas da pirometalurgia da recuperação do chumbo (In: Machado, 2002).**

Neste caso, os óxidos de chumbo ( $\text{PbO}$  e  $\text{PbO}_2$ ) reagem com carbono ( $\text{C}$  – agente redutor presente no carvão) resultando na formação de chumbo metálico ( $\text{Pb}^0$ ) e gases de carbono.

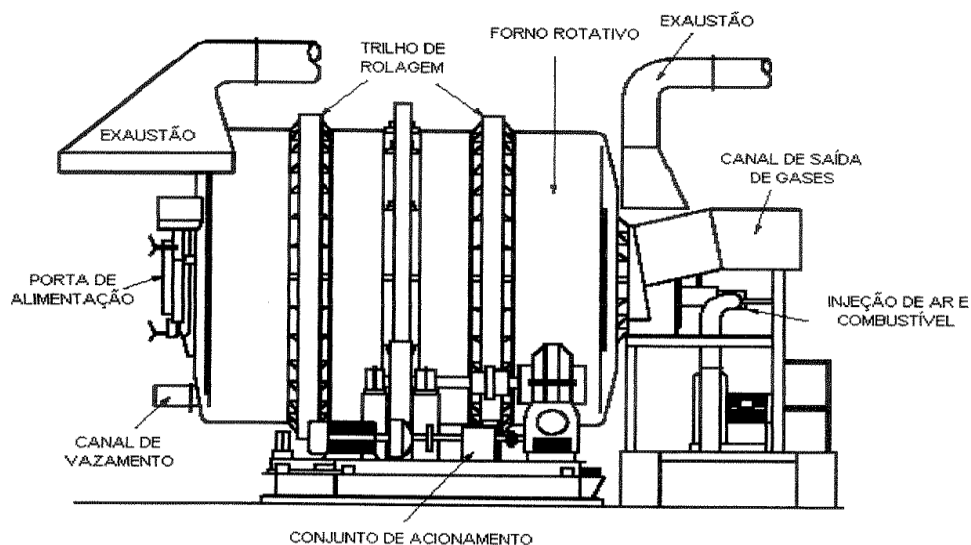
Numa terceira reação, figura 9, o sulfato de chumbo ( $\text{PbSO}_4$ ) reage com ferro metálico ( $\text{Fe}^0$  - agente redutor) formando chumbo metálico ( $\text{Pb}^0$ ) e sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), conforme a reação química abaixo:



**Figura 9 : Reação química do sulfato de chumbo com ferro metálico (In: Poluição atmosférica).**

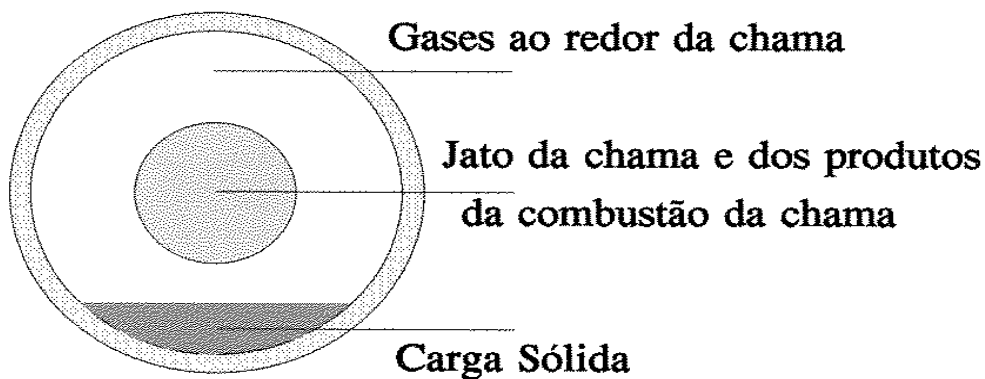
### 3.2.3 – Forno rotativo

O forno rotativo é composto de um cilindro horizontal de aço, com seu contorno interno revestido por refratários, montados sobre rodas com uma leve inclinação e motor para girar o cilindro. A rotação e o atrito com o refratário revolvem o resíduo através do forno, melhorando assim a homogeneização do resíduo sólido a ser processado. O aquecimento da carga, cuja composição típica é apresentada na Tabela 2, é feito por gás ou óleo enriquecido com oxigênio injetado através de um queimador que usualmente se localiza na extremidade oposta à que se destina ao carregamento. Esta disposição do queimador permite a introdução de materiais dentro da câmara do forno mesmo após o início do processo. A alimentação do forno pode ser feita utilizando um alimentador retrátil ou uma bomba de êmbolo e o processo de recuperação de chumbo ocorre por bateladas. A Figura 10 apresenta o esquema de um forno rotativo típico. Este esquema mostra uma vista lateral. Da esquerda para direita está representada a frente do forno, composta por exaustão para captura da fumaça fugitiva; porta ou como é conhecida no chão de fábrica boca de alimentação. Na parte inferior há o canal de vazamento. No centro da figura 10 é possível ver o corpo do forno, onde os trilhos de rolagem são utilizados pelo conjunto de acionamento para dar movimento ao forno, ou seja, fazer o forno rodar. O lado direito da figura, representa a parte traseira do forno. Nesta área estão localizados os equipamentos responsáveis pela combustão, ou seja, injeção de ar combustível e maçarico. A exaustão capta a fumaça fugitiva e o canal de saída de gases recebe a maior parte dos gases e particulados (APOLINÁRIO, 2009; MACHADO, 2002).



**Figura 10 – Esquema de um forno rotativo (In: APOLINÁRIO, 2009).**

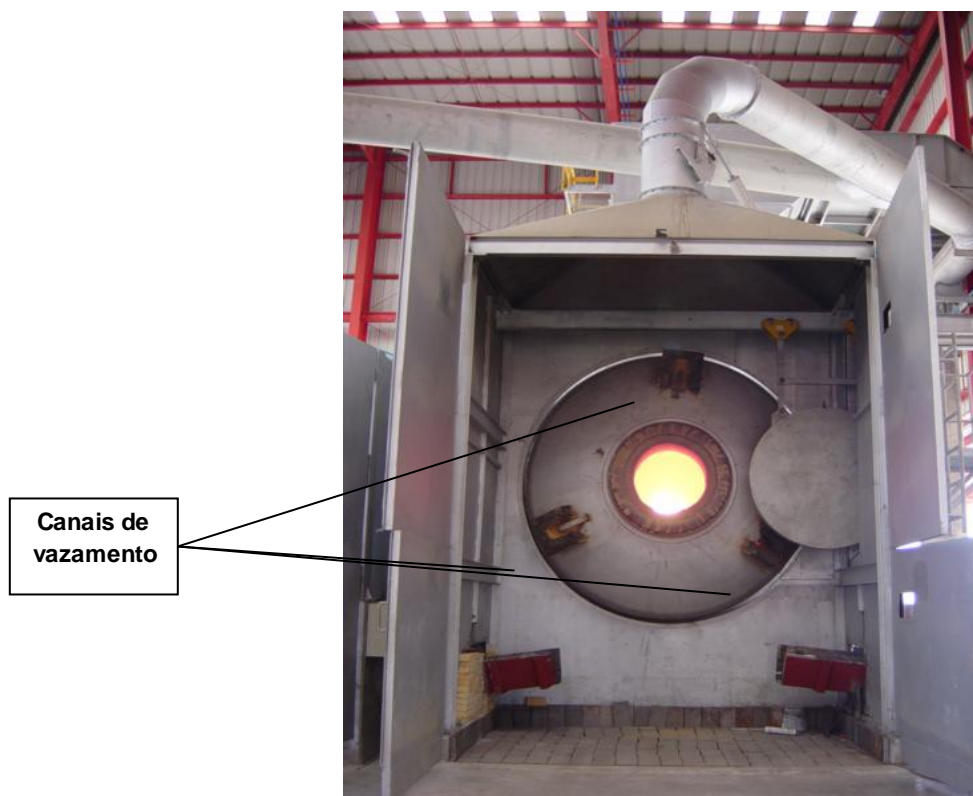
A Figura 11 mostra um desenho esquemático do forno rotativo, com representação da seção transversal. Este diagrama permite visualizar o interior do forno rotativo.



**Figura 11: Diagrama esquemático do forno rotativo, com representação da seção transversal (In: MACHADO, 2002).**

Os gases ao redor da chama deixam o forno na forma de fumaça fugitiva. O jato da chama e dos produtos da combustão é retirado pela exaustão do filtro de manga, através do canal de saída de gases, recebendo o nome de particulado ou simplesmente cinza. A carga sólida é transformada em chumbo metálico ou escória e será retirado do forno pela frente, no canal de vazamento.

A figura 12 mostra a vista frontal de um forno rotativo. Verifica-se a existência de 3 canais de vazamento. É possível ver que o interior está amarelado, portanto o maçarico está ligado.



**Figura 12: Vista frontal de um forno rotativo**

## 4 – METODOLOGIA

### 4.1. MATERIAIS

Balança analítica Gehaka (AG –200), Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Perkin Elmer 2380) e vidrarias em geral.

### 4.2. REAGENTES

Ácido nítrico 54%.

### 4.3. MÉTODOS

- a) Coleta de amostra do ferro: coletou-se 2 amostras de ferro. A amostra 1 estava em uso e foi considerada boa pelo pessoal da produção. A amostra 2 não estava sendo utilizada por ser considerada empiricamente como ruim. As amostra foram colocadas em embalagem plástica e identificadas, não houve necessidade de qualquer procedimento para conservação durante transporte ou armazenamento ate o momento da análise.

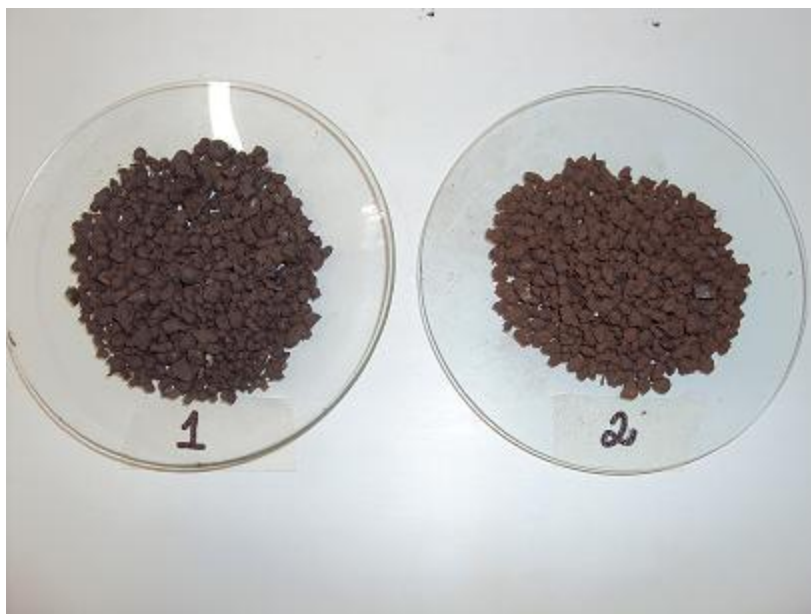
- b) Impurezas por atração magnética: pesou-se 20g de amostras e foi submetida à atração magnética de um ímã. Foi pesado o material atraído pelo ímã do que não foi atraído. Sendo considerado impureza tudo o que não foi atraído.
  
- c) Determinação da densidade: transferiu-se para uma proveta 10mL da amostra e pesou-se a amostra para determinar a densidade.
  
- d) Determinação do teor de ferro: foi pesado 1g de amostra, deixada em ácido nítrico 54% por 48h, filtrado e a solução analisada em absorção atômica.



## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material estudado é denominado ferro gusa e segundo o fornecedor é proveniente do processo de produção do ferro, sendo considerado rejeito de processo. As duas amostras avaliadas foram fornecidas por uma recicladora de bateria para obtenção de chumbo. A amostra 1 era denominada pelo forneiros “ferro bom” e a amostra 2 como “ferro ruim”. Esta classificação foi dada em função do desempenho deste produto no forno.

Na figura 13 temos as duas amostras. A olho nu percebe-se pouca diferença entre os dois produtos. A amostra 1 “ferro bom” apresenta um cor com tonalidade para o cinza. O “ferro ruim” amostra 2 tem tom puxado para o marrom. Em termos de granulometria praticamente não existe diferença.



**FIGURA 13: Amostra 1 “ferro bom” ; amostra 2 “ferro ruim”.**

A fim de determinar a pureza foram realizados os testes de imantação e densidade. Os resultados são apresentados na tabela 3. No resultado da imantação a amostra 1 teve 97,9% da massa atraída pelo imã, indicando que se trata de material ferroso. A amostra 2 leva uma pequena desvantagem obtendo 93,7% de material ferroso.

Amostra	material imantado		material não imantado		densidade (g/mL)
	massa (g)	%	massa (g)	%	
1 (ferro bom)	19,58	97,9	0,42	2,1	2,65
2 (ferro ruim)	18,73	93,7	1,27	6,3	1,86

**Tabela 3 : Determinação da pureza por imantação e densidade.**

A densidade do ferro é 7,874 g/mL ( TABELA PERIÓDICA ONLINE) e na amostra 1 a densidade determinada foi 2,65g/mL e na amostra 2 o valor encontrado foi de 1,86g/mL.

Visualmente e por imantação as amostras são bastante parecidas mas a densidade permite mostrar que existe diferença entre ambas. Embora as duas amostras apresentem densidades diferentes do ferro, a amostra 1 parece ter mais ferro que a amostra 2.

As amostras foram dissolvidas em ácido nítrico 54%, filtradas e analisadas em absorção atômica. O teor de ferro encontrado na amostra 1 foi 9,18% e da amostra 2 7,35% de ferro.

## **6 – CONCLUSÃO**

Os testes preliminares aqui relatados indicam que a quantidade de ferro nas amostras é pequena. Portanto, conclui-se que este material não é indicado para este processo.

## 7 - REFERÊNCIAS

AcelorMital – **Escoria de alto forno** - Disponível em <[http://www.cst.com.br/produtos/co\\_produtos/catalogo\\_produtos/escoria\\_forno/index.asp](http://www.cst.com.br/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_forno/index.asp)> Acesso em 03 jun. 2010.

**Aços ligas** - Disponível em <[http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/ligas\\_ferrosas\\_acos\\_ligas.htm](http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/ligas_ferrosas_acos_ligas.htm)> Acesso em : 18 mai. 2010.

APOLINÁRIO, Karina Mariane. RECICLAGEM DE CHUMBO – Utilização do lavador de gases no processo industrial de reciclagem de chumbo. 2009, 48p. Trabalho de conclusão de curso ( Química industrial)- Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/ Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis- IMESA.

BIBLIOMED – **A importância do ferro na nossa alimentação** - Disponível em: <<http://boasaude.uol.com.br/lib/ShowDoc.cfm?LibDocID=3608&ReturnCatID=1775>> Acesso em: 10 mai. 2010.

ESPERIDÃO, Yvone Mussa; NÓBREGA, Olímpio. Os metais e o homem. São Paulo : Ática, 2002 [http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/introducao\\_aos\\_metais.htm](http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/introducao_aos_metais.htm) acesso em 14 jul. 2010.

**FELTRE**, Ricardo. Química Geral 6. ed. São Paulo : editora moderna , 2004.

**FERRO** - Disponível em: <[www.suplementos-vitaminas.com.br/artigo.php?a=ferro](http://www.suplementos-vitaminas.com.br/artigo.php?a=ferro)>  
Acesso em 01 mai. 2010.

Guia ferro e aço – **Figura da hematita**- Disponível em  
<<http://ferroeaco.etc.br/conteudo/24/qual-a-diferenca-entre-ferro-e-aco/>> Acesso em  
: 10 mai. 2010.

IAB, Instituto Aço Brasil - **Aços** – Disponível em  
<<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/aplicacoes--introducao.asp>> Acesso  
em: 30 mai. 2010.

IST, Instituto Superior Técnico - **Ferro básico** – Disponível em <<http://www.e-escola.pt/topico.asp?id=466&ordem=6>> Acesso em 05 abr. 2010

LUZ, Luis Molina - Infoescola- **Ligas metálicas** – Disponível em  
<<http://www.infoescola.com/quimica/ligas-metalicas/>> Acesso em: 10 mai. 2010.

MACHADO, P. I. Avaliação Ambiental do Processo de Reciclagem de Chumbo. 2002, 144p. Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Na medida do possível – **Chumbo** – Disponível em  
<<http://namedidadopossivel.br.tripod.com/trabalhosnamedidadopossivel/id1.html>>  
Acesso em : 14 jul. 2010.

NAUTILUS - **Ferro** – Disponível em <<http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-p/elem/e02610.html>> Acesso em: 03 mai. 2010.

NETZSCH - **Metais**. Disponível em: <<http://www.netzsch-grinding.com/pt/industria-aplicacoes/minerios-minerais-e-metais/metais.html>> Acesso em: 15 jul. 2010.

Poluição atmosférica – Disponível em <[http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/poluição\\_atmosferica.htm](http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/polui%C3%A7%C3%A3o_atmosferica.htm)> Acesso em 10 jul. 2010.

Rayal- **Ferro gusa** - Disponível em <<http://rayil.com/Ferrogusa/Br/img/img4.jpg>> Acesso em: 03 mai. 2010.

ROBERTO, Milena Cristina. **CHUMBO**- Risco Ocupacional. 2005. 61p. Trabalho de conclusão de curso ( Química industrial)- Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/ Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis- IMESA.

ROMEIRO, Solange Bianco Borges. Química na Siderurgia. 1997. 39p . Porto Alegre: Área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS,

SANHUEZA, Abel Edmundo Chocon. Desenvolvimento na indústria de acumulação de energia em baterias chumbo - acido: processo alternativo de recuperação de chumbo. 2007. 140p. Tese de doutorado – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Bauru, 2007.

Tabela periódica on-line – **Matais de transição** – Disponível em <[http://www.tabela.oxigenio.com/metais\\_de\\_transicao/elemento\\_quimico\\_ferro.htm](http://www.tabela.oxigenio.com/metais_de_transicao/elemento_quimico_ferro.htm)> Acesso em 15 out. 2010.

TRINDADE, Alexandre. **Ferro** –disponível em <[www.metalmundi.com.br/si/site/1265?idioma=portugues](http://www.metalmundi.com.br/si/site/1265?idioma=portugues)> Acesso em: 05 abr. 2010.

USP, Universidade de São Paulo – **Bateria de chumbo** - Disponível em <[http://www.encia.usp.br/arquivoEC/exp\\_antigas/bateria.gif](http://www.encia.usp.br/arquivoEC/exp_antigas/bateria.gif)> Acesso em: 17 jul. 2010.

WIKIPÉDIA - **Ferro** - Disponível em: <[www.wikipedia.org/wiki/ferro](http://www.wikipedia.org/wiki/ferro)> Acesso em 03 mai. 2010.

WIKIPÉDIA- **Chumbo** - Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Chumbo>> Acesso em 14 jul. 2010.