Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Campus Morro do Cruzeiro
Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA METALÚRGICA

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS SIDERÚRGICOS ESTUDO DE CASO: GERDAU AÇOS LONGOS S.A. / UNIDADE BARÃO DE COCAIS MG

Douglas Henrique de Andrade

Ouro Preto, Novembro de 2022

Douglas Henrique de Andrade

Gestão de Resíduos Sólidos Siderúrgicos
Estudo de Caso: Gerdau Aços Longos S.A. / Unidade Barão de Cocais MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Metalúrgico.

Orientador: Prof. Dr. Danton Heleno Gameiro

Ouro Preto, Novembro de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A553g Andrade, Douglas Henrique De.
Gestão de Resíduos Sólidos Siderúrgicos [manuscrito]: estudo de caso Gerdau Aços Longos S.A. Unidade Barão de Cocais MG. / Douglas Henrique De Andrade. - 2022.
46 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Danton Gameiro.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Metalúrgica .

1. Gestão Ambiental. 2. Administração de empresa - Gestão Ambiental. 3. Resíduos industriais - Resíduos Sólidos Siderúrgicos. I. Gameiro, Danton. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 669.01

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALURGICA E DE MATERIAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Douglas Henrique de Andrade

Gestão de resíduos sólidos siderúrgicos - Estudo de caso: Gerdau Aços Longos S/A unidade de Barão de Cocais/MG.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico.

Aprovada em 04 de novembro de 2022.

Membros da banca

Dr. Danton Heleno Gameiro - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Maria Aparecida Pinto - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Johne Jesus Mol Peixoto - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Danton Heleno Gameiro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 08/12/2022.

Documento assinado eletronicamente por **Danton Heleno Gameiro**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/12/2022, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0440490** e o código CRC **9EF40E1B**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591561 - www.ufop.br

RESUMO

As empresas siderúrgicas em seu processo de produção de aço geram um volume significativo de resíduos sólidos, sendo os principais as escórias, pós e lamas de alto-forno e aciaria, carepas, finos de carvão e minério. Com o aumento da geração e a forma inadequada de disposição dos resíduos, no ano de 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em que as empresas geradoras tem a responsabilidade de adotarem um plano de gestão capaz de atender às normas e legislação ambiental proporcionando ganhos econômicos, operacionais, ambientais e sociais e assegurando que todos os resíduos serão gerenciados de forma apropriada e segura, desde a geração até a destinação final. A Gerdau Aços Longos S.A. com a sua Política de Sustentabilidade e Diretriz Corporativa de Meio Ambiente, tem sua gestão focada no desenvolvimento de rotas tecnológicas que permitem o reaproveitamento desses resíduos dentro da usina ou para outros fins produtivos, de maneira a reduzir a necessidade de aterros e depósitos. Neste trabalho está apresentada a Gestão Ambiental da Empresa Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais, identificando os resíduos sólidos gerados e as medidas adotadas para a minimização de seus impactos ambientais.

Palavras-chave: Gestão Ambiental. Gestão Ambiental Empresarial. Resíduos Sólidos Siderúrgicos.

ABSTRACT

Steel companies in their steel production process generate a significant volume of solid waste, classified as the main slag, powder and sludge from blast furnace and steel mill, scale, coal and ore fines. With the increase in the generation and inadequate disposal of waste, in 2010 the National Policy for Solid Waste was created, where the generating companies have the responsibility to adopt a management plan capable of meeting the standards and environmental legislation providing economic, operational, environmental and social gains and ensuring that all waste is managed appropriately and safely from generation to final disposal. Gerdau Aços Longos S.A., with its Sustainability Policy and Corporate Environmental Guidelines, has its management focused on the development of technological routes that allow the reuse of this waste within the mill or for other productive purposes, in order to reduce the need for landfills and dumps. This paper presents the Environmental Management of the Gerdau Aços Longos S.A. Barão de Cocais unit, identifying the solid waste generated and the measures adopted to minimize its environmental impacts.

Keywords: Environmental Management. Corporate Environmental Management. Steel Mill Solid Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Fluxograma de Gerenciamento de resíduos com as etapas do PGRS 9
Figura 3.2: Fluxograma de caracterização e classificação dos resíduos sólidos industriais 11
Figura 3.3: Produção de aço pelas rotas produtivas integradas e semi-integradas 13
Figura 5.1: Planta da Gerdau em Barão de Cocais, adquirida em 1988..... 19
Figura 5.2: Fluxograma de Processo da Gerdau 21
Figura 6.1: Resíduos sólidos gerados no processo do alto-forno..... 24
Figura 6.2: Fluxograma de Gerenciamento da escória bruta de alto-forno..... 26
Figura 6.3: Fluxograma de Gerenciamento da escória granulada de alto-forno 27
Figura 6.4: Fluxograma de Gerenciamento do pó de alto-forno 28
Figura 6.5: Fluxograma de Gerenciamento da lama de alto-forno 29
Figura 6.6: Fluxograma de Gerenciamento de finos de carvão vegetal 30
Figura 6.7: Fluxograma de Gerenciamento de finos de minério..... 31
Figura 6.8: Resíduos sólidos gerados no processo da aciaria 32
Figura 6.9: Fluxograma de Gerenciamento da escória de aciaria 33
Figura 6.10: Fluxograma de Gerenciamento do pó de aciaria 34
Figura 6.11: Fluxograma de Gerenciamento da lama de aciaria..... 35
Figura 6.12: Resíduos sólidos gerados e origem no processo da lingotamento contínuo..... 36
Figura 6.13: Fluxograma de Gerenciamento da carepa..... 37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1: Classificação e Porcentagem de destinação dos resíduos sólidos siderúrgicos ... 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Descrição das etapas do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos da Gerdau 22
Tabela 6.2: Classificação dos resíduos sólidos siderúrgicos 23

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BOF – Blast Oxygen Furnace

CEG – Comitê Executivo Gerdau

EAF – Escória de Alto-Forno

FEA – Forno Elétrico à Arco

FP – Forno Panela

LD – Linz e Donawitz

NBR – Norma Brasileira

OH – Open Heart

PA – Pó de Aciaria

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
2 OBJETIVOS 7
2.1 Objetivo Geral 7
2.2 Objetivos Específicos 7
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
3.1 Gestão Ambiental 8
3.2 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos 8
3.3 Resíduos Sólidos Industriais 10
3.4 Processos Siderúrgicos 12
3.5 Resíduos Sólidos Siderúrgicos 13
3.5.1 Escória de alto-forno 13
3.5.2 Escória de aciaria 14
3.5.3 Pó de alto-forno 15
3.5.4 Pó de aciaria 15
3.5.5 Lama de alto-forno 16
3.5.6 Lama de aciaria 16
3.5.7 Carepa 17
3.5.8 Finos de carvão vegetal 17
3.5.9 Finos de minério 17
4 METODOLOGIA 18
5 ESTUDO DE CASO 19
5.1 A Empresa 19
6 RESULTADOS: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO 22
6.1 Gestão de Resíduos Sólidos 22
6.2 Alto-forno 24
6.2.1 Escória de alto-forno 25
6.2.2 Pó de alto-forno 28
6.2.3 Lama de alto-forno 29
6.2.4 Finos de carvão vegetal 30
6.2.5 Finos de minério 31
6.3 Aciaria 32
6.3.1 Escória de aciaria 32
6.3.2 Pó de aciaria 34
6.3.3 Lama de aciaria 35
6.4 Lingotamento Contínuo 36
6.4.1 Carepa 36
7 CONCLUSÕES 38
REFERÊNCIAS 39

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a gestão dos resíduos passou a ser propriamente abordada somente em meados do século XX, com a elevada geração de resíduos sólidos. No ano de 2010 foi instituída no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), objetivando sobre as diretrizes relativas à gestão integrada para a busca de soluções para os resíduos sólidos, sob premissa do desenvolvimento sustentável e ao gerenciamento, exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada, criando o instrumento de gestão de resíduos: o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) (BRASIL, 2010). Nesse contexto, a adoção de métodos de gerenciamento de resíduos sólidos industriais tem ganhado destaque, porque conseguem, ao mesmo tempo, reduzir o volume de resíduos, atender a legislações específicas e apresentar ganhos econômicos, traduzidos em aumento de receita e/ou redução de custos (RIBEIRO e MORELLI, 2009).

O Brasil ocupa a posição de 9º maior exportador mundial com capacidade de produzir 36,2 milhões de toneladas de aço e o 1º da América Latina com capacidade de produção de 36,174 milhões de toneladas sendo destaque em produção de aço no mundo (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022).

No ano de 2020, os 17 milhões de toneladas de resíduos e coprodutos gerados nas empresas siderúrgicas brasileiras indicaram a seguinte distribuição percentual: 40% agregados de alto-forno, 25% agregados de aciaria, 6% pós e finos, 4% lama, 25 % de outros resíduos, destinando-se 93% para reaproveitamento, 5% disposição final e 2% em estoque (espaço usado no armazenamento de resíduos que serão comercializados) (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021).

Observa-se que os resíduos gerados na indústria siderúrgica são os mais variados. O setor siderúrgico brasileiro vem, há alguns anos, adotando uma política consistente e sistêmica de gestão de resíduos, que consiste na transformação destes em coprodutos reutilizados no próprio setor ou comercializados como insumos para a utilização em outras atividades. A seleção do método mais apropriado normalmente baseia-se em considerações econômicas e nas tecnologias disponíveis, de acordo com as leis ambientais em vigor (CGEE, 2010).

Neste contexto, no presente trabalho objetivou-se identificar os resíduos gerados nas atividades da empresa, no complexo siderúrgico em questão, ressaltando a gestão dos resíduos sólidos.

2 OBJETIVOS

Para a realização do presente trabalho torna-se necessário explicitar seu objetivo geral e os seus objetivos específicos.

2.1 Objetivo Geral

Descrever o processo de gestão de resíduos sólidos da empresa Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar e classificar os resíduos sólidos gerados no processo de produção do aço;
- Apresentar e analisar o fluxograma da gestão de resíduos sólidos da empresa Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais MG.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo enfatizar alguns conceitos que se relacionam diretamente aos resíduos sólidos gerados nos processos siderúrgicos e a gestão em acordo com as legislações ambientais vigentes.

3.1 Gestão Ambiental

Gestão Ambiental é um conjunto de atividades administrativas econômicas e sociais, cujo objetivo é utilizar, de maneira adequada, os recursos naturais, preservando a biodiversidade e reduzindo os impactos ambientais (BELLEN,2013). Segundo Tibor e Feldman (1996), o foco inicial da gestão ambiental estava na conformidade com as regulamentações, mas passou de uma função complementar à parte integral das organizações.

De acordo com Seiffert (2005), a gestão ambiental é um sistema no qual as empresas determinam suas metas e objetivos que sejam relativos à preservação do ambiente e ao bem estar de seus colaboradores, clientes e a localidade onde está situada. Para que esses objetivos sejam alcançados em um dado período de tempo, são necessários mecanismos que possam medir essa influência com o ambiente externo.

Segundo Meneguetti (2012) a gestão ambiental está relacionada com as ações dos gestores perante os problemas ambientais em determinam medidas visando o mínimo impacto na busca pelo desenvolvimento sustentável. Para Tachizawa (2008), há uma crescente preocupação ambiental no ramo empresarial, logo, as empresas que aderem a questão ambiental nas decisões estratégicas, colaborando para o uso coerente dos recursos naturais, respeitando os aspectos socioculturais regionais, ampliando sua credibilidade e as possibilidades de fidelização de clientes, além de abrirem novos nichos de mercado ganham, sem dúvidas, vantagens competitivas, tornando benefícios verdadeiros a médio e longo prazo.

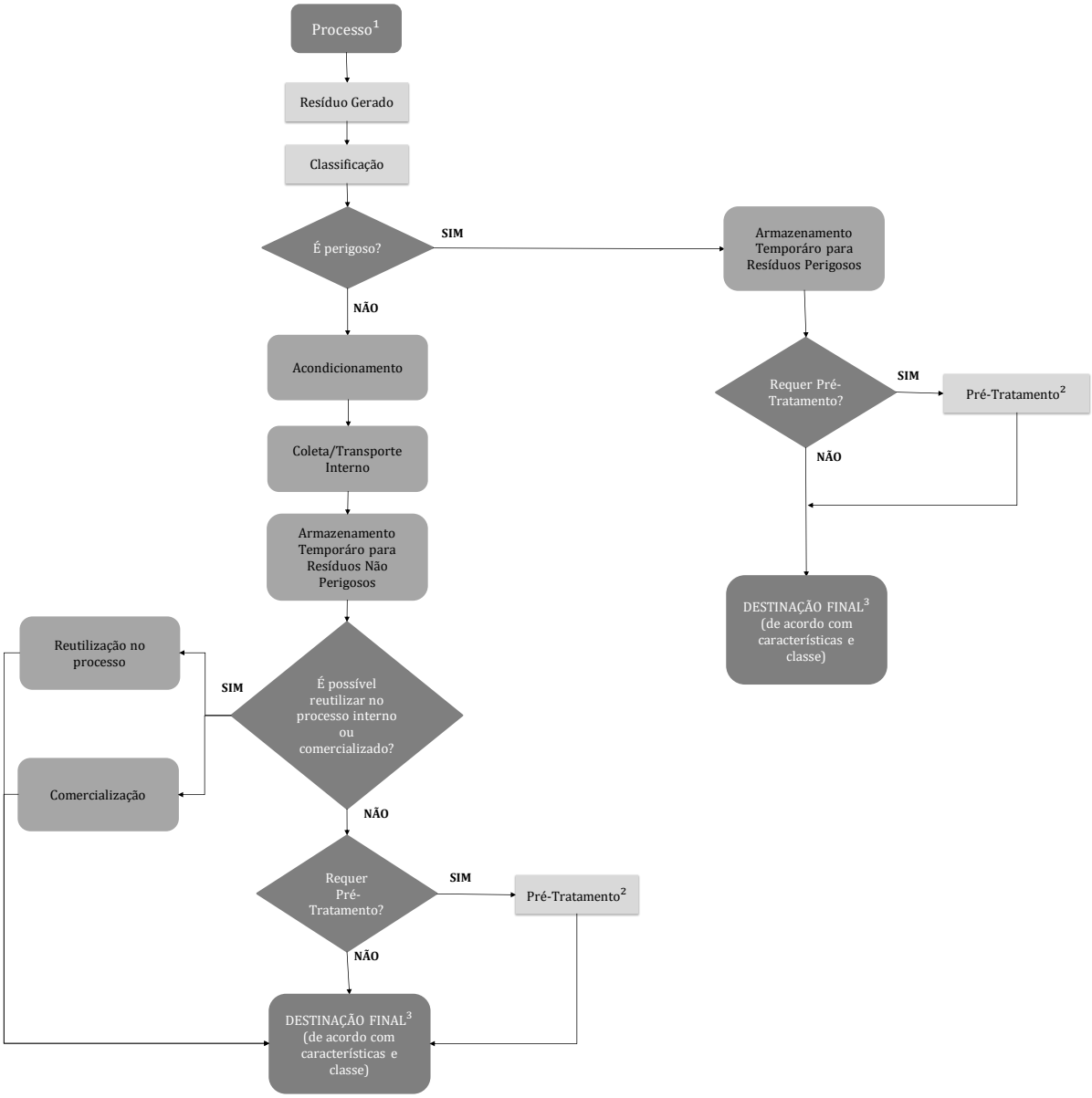
3.2 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL,2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), evidencia as principais responsabilidades do gerador de resíduos e favorece uma visão sistêmica, que abrange diversas variáveis ambientais. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, seguem como ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final

ambientalmente adequada dos rejeitos. E tem como instrumento de gestão de resíduos o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Segundo Maroun (2006) o PGRS deve assegurar que todos os resíduos serão gerenciados de forma apropriada e segura, desde a geração até destinação final, como apresentado no fluxograma da Figura 3.1.

Figura 3.1: Fluxograma de Gerenciamento de resíduos com as etapas do PGRS



1. PROCESSO	2. PRÉ-TRATAMENTO	3. DESTINAÇÃO FINAL
Modificação no processo ou mudança no design dos equipamentos; Eliminação ou substituição de materiais; Controle e gerenciamento de inventário; Melhoria da manutenção, organização e limpeza; Reutilização no processo; Reciclagem.	Centrifugação; Separação Gravitacional; Redução de Partículas; Neutralização; Inertização; Lavagem.	Tratamento Térmico; Tratamento Biológico; Co-processamento; Aterro Industrial.

Fonte: (MAROUN, 2006).

O PGRS é um documento com valor jurídico que comprova a capacidade de uma empresa gerir todos os resíduos que eventualmente venha a gerar (TOCCHETTO, 2022). Nele, é definido o conjunto de informações e estratégias integradas de gestão, voltadas a normatizar os procedimentos operacionais de gerenciamento de resíduos sólidos em conformidade com as legislações sanitária e ambiental (ANVISA, 2003).

Segundo Sanches, Mendonça e Feichas (2013), a adoção do gerenciamento de resíduos apenas para atender às legislações sanitária e ambiental, no que se refere à classificação, ao armazenamento, ao transporte e à destinação final dos resíduos, pode ser falha. De acordo com os autores, o controle de resíduos pode ocorrer somente no fim do processo, comprometendo a eficiência de gestão. Por exemplo, possíveis contaminações de um resíduo por outro fazem com que volumes consideráveis sejam enviados para aterros sanitários e não reciclados, aumentando o custo da disposição final. O resíduo quando reciclado pode trazer ganhos financeiros.

Sendo assim, o PGRS, além de ser um instrumento importante de gestão ambiental, é necessário fazer dele uma forma de retratar um aumento da competitividade da empresa (FERREIRA e TAMBOURGI, 2009). Por isso, a importância em adotar um plano capaz de atender às normas e legislações ambientais e também de proporcionar ganhos operacionais, econômicos e sociais (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2015).

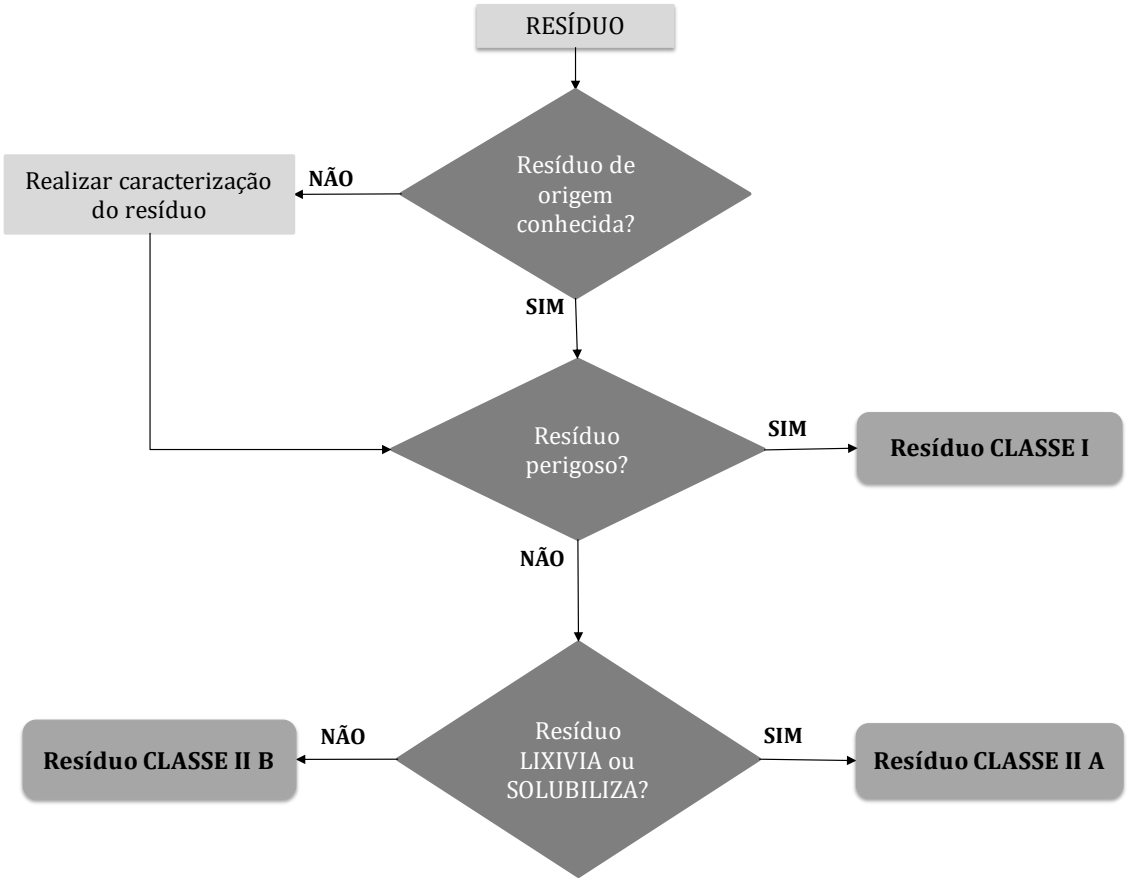
3.3 Resíduos Sólidos Industriais

Segundo Bidone (2001) constituem como resíduos sólidos todos os resíduos nos estados físico sólido e semi-sólido, gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornam inviáveis o lançamento em redes públicas de esgoto ou em corpos de água ou ainda que não esteja disponível tecnologia melhor diante das soluções técnicas e econômicas adotadas.

A classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, conforme apresentado no fluxograma na Figura 3.2, e a comparação destes constituintes com os resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente são conhecidos. Assim, ainda segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos: resíduos que apresentam periculosidade devido à presença de alguma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Resíduos classe II – Não perigosos:
- Resíduos classe II A – Não inertes: são aqueles que possuem propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos classe II B – Inertes: resíduos que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspectos como cor, turbidez, dureza e sabor.

Figura 3.2: Fluxograma de caracterização e classificação dos resíduos sólidos industriais



Fonte: Adaptado de ABNT (2004).

De maneira geral, os resíduos industriais têm sido considerados um dos maiores agressores ao ambiente, porque, neles, estão incluídos produtos químicos (cianureto,

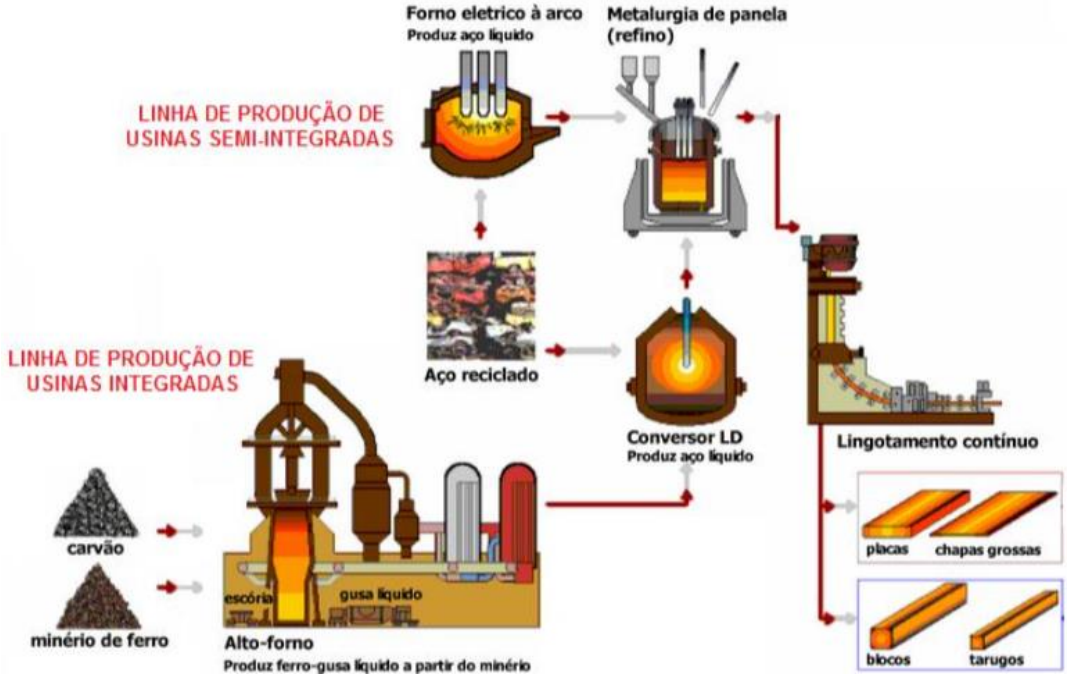
pesticidas e solventes), metais (mercúrio, cádmio e chumbo) e solventes químicos, que ameaçam os ciclos naturais dos locais onde são despejados, contaminando rios, mares, ar e solo (RIBEIRO e MORELLI, 2009).

3.4 Processos Siderúrgicos

De acordo com sua estrutura de produção, as indústrias siderúrgicas podem ser classificadas em três tipos: as usinas integradas, semi-integradas e os produtores independentes (“guseiros”). Nas usinas integradas, são realizados na mesma unidade industrial o processo de transformação do minério de ferro e de produção do aço. As etapas de produção em usinas integradas são formadas por redução (produção de ferro); o refino (produção e resfriamento do aço); e a laminação (conformação mecânica dos produtos siderúrgicos destinados à comercialização). As usinas semi-integradas não incorporam a etapa de redução e são alimentadas principalmente com sucata ferrosa, mas também com ferro-gusa. No Brasil, há ainda os produtores independentes de ferro-gusa (“guseiros”), que utilizam, principalmente, fornos à base de carvão vegetal (CARVALHO, MESQUITA e ARAUJO, 2015).

De acordo com Huppes (2014), a usina integrada, tem como base o minério de ferro e como principais reatores o alto-forno e o conversor a oxigênio. No alto-forno o minério de ferro é carregado juntamente com o coque (ou carvão vegetal) e passa pelas etapas de redução e fusão, dando origem ao ferro-gusa, que é uma liga a base de ferro com teores de carbono entre 4% e 5%. Após ser vazado do alto-forno o ferro-gusa é levado ao conversor da aciaria onde passa pela etapa de refino oxidante, produzindo o aço. E na usina semi-integrada, sua matéria-prima é a sucata e o ferro-gusa sólido e como reatores o forno elétrico a arco (FEA) e o forno panela (FP). Em ambas as rotas, após o refino, o aço é conduzido ao lingotamento onde é solidificado dando origem a produtos semi-acabados como tarugos, lingotes entre outros, os quais serão beneficiados, podendo dar origem a uma vasta gama de produtos, laminados, trefilados e forjados. Apresenta-se na Figura 3.3 as etapas principais de fabricação do aço em linhas de produção de usinas integradas e semi-integradas.

Figura 3.3: Produção de aço pelas rotas produtivas integradas e semi-integradas



Fonte: (BUZIN, 2009).

3.5 Resíduos Sólidos Siderúrgicos

As empresas siderúrgicas são responsáveis por geração de um elevado volume de resíduos sólidos em sua produção. Conforme Quintaneiro (2014), atualmente, as empresas brasileiras estão desenvolvendo sistemas para reciclar os resíduos sólidos gerados nos seus processos produtivos, contribuindo de forma direta na redução de gastos e gerando receita no reaproveitamento ou na venda dos resíduos para outras empresas.

Classificam-se como os principais resíduos sólidos do processo siderúrgico, basicamente, em escórias, pós e lamas de alto-forno e aciaria, carepas, finos de carvão e finos de minério.

3.5.1 Escória de alto-forno

A escória de alto-forno (EAF) é um produto gerado na fabricação do ferro-gusa, sua formação ocorre pela combinação química das impurezas do minério de ferro com calcário e dolomita e as cinzas de carvão mineral. Durante a produção do ferro-gusa a EAF flutua no topo do ferro fundido, onde o ferro fundido e a escória são separados, enquanto o ferro é vazado em moldes de ferro-gusa para fabricação do aço, a escória é direcionada a grandes

recipientes. Durante o despejo da escória é feito o resfriamento da mesma. É nesse processo de resfriamento que são gerados os diferentes tipos de escória (ZEGHICHI, 2006).

A EAF é normalmente produzida de duas formas, que dependem da técnica de resfriamento, podendo ser com a ajuda de jatos de água (resfriada rapidamente) ou ao ar (resfriada lentamente). Após passar pelo processo de resfriamento, já no estado solidificado a EAF mantém sua composição química inalterada, mas suas propriedades físicas e reativa variam amplamente com a mudança no processo de resfriamento (DINA, 2014).

Quando a EAF é resfriada rapidamente de forma brusca com a utilização de jatos de água, ocorre sua solidificação numa forma granular e amorfa. A EAF resfriada rapidamente consiste em um material amorfo de silicatos de Ca-Mg- Al, com uma estrutura celular basicamente não cristalina, que após moída com uma finura adequada, pode ser amplamente utilizada como material complementar na fabricação de cimento (ÖZBAY, ERDEMIR e DUMAS, 2016).

Por outro lado, quando a EAF é resfriada lentamente ao ar em condições ambientes, há sua solidificação em um material cristalino de coloração cinza e rígido. Um sólido basicamente estável que é composto de silicatos cristalizados, especialmente gehlenite (C_2AS) e akermanite (C_2MS_2). Assim, a EAF resfriada lentamente não tem ou possui poucas propriedades pozolânicas.

A escória é um resíduo que varia de Classe II B (não perigoso e inerte) ou classe II A (não perigoso e não inerte), por apresentar concentrações de alumínio superiores ou não aos limites máximos pela legislação (ALMEIDA e MELO, 2001).

3.5.2 Escória de aciaria

A escória de aciaria é obtida no processo de produção do aço pela utilização do ferro gusa, processo que exige menor grau de impureza (PRADO e FERNANDES,2001). Basicamente existem três processos, caracterizados pelo emprego de diferentes tipos de fornos de refino: o Siemens-Martin (Open Heart – OH), em desuso no mundo; o conversor a oxigênio (Linz e Donawitz – LD ou Blast Oxygen Furnace – BOF); e o Forno Elétrico a Arco (FEA). Os dois últimos processos mais utilizados na fabricação do aço (ROHDE, 2002).

A escória de aciaria é um importante coproduto da indústria siderúrgica, com geração na faixa de 100kg a 150kg por tonelada de aço produzido, dependendo das matérias-primas utilizadas e do processo de fabricação de aço empregado, mediante a utilização de fornos elétricos em *"mini mill*" ou conversores a oxigênio (LD) em siderúrgicas integradas (ABM,

2008). A escória de aciaria é classificada, segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) como um resíduo de classe II A (não perigoso e não inerte).

3.5.3 Pó de alto-forno

O pó de alto-forno, ou pó do balão coletor, consiste no material particulado seco, carreado do alto-forno pelos efluentes gasosos e retido em um sistema de limpeza à seco de gases. Sua geração é em torno de 20kg/t a 45kg/t de gusa (JACOMINO et al., 2002; OLIVEIRA e MARTINS, 2003). É composto basicamente de óxidos metálicos e materiais carbonosos.

A presença de altos teores de carbono neste resíduo sólido é resultado da injeção de carvão pulverizado com uma combustibilidade inadequada e de uma operação instável do alto-forno (MACHADO, 2011). O pó de alto-forno é classificado segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) como um resíduo de classe II A (não perigoso e não inerte).

3.5.4 Pó de aciaria

Os pós de aciaria são gerados na produção do aço no forno conversor Linz-Donawitz (LD) e coletados por meio de filtros de mangas ou precipitadores eletrostáticos. A composição química básica dos pós de aciaria são os óxidos de ferro (49%), de zinco (16%), de cálcio (12%), de silício (5%), de manganês (3%), de magnésio (2%), de chumbo (2%) e alumina (1,5%). O pó de aciaria é listado como resíduo II A (não perigoso e não inerte) conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004).

As partículas são formadas devido a fenômenos físico-químicos que pulverizam e liberam óxidos de ferro, silício, cálcio, manganês, etc., e também por vaporização desses materiais, sua oxidação, resfriamento e solidificação na forma de partículas. Além dos materiais citados, são gerados ainda óxidos de nitrogênio e de enxofre e podem ser gerados dioxinas, furanos e compostos orgânicos voláteis, em função das características da sucata ferrosa, principalmente em relação à presença de materiais orgânicos na carga. Estes materiais formados durante a operação do forno são captados pelos sistemas de despoeiramento e tratados nos filtros de manga, gerando os pós de aciaria.

3.5.5 Lama de alto-forno

A lama de alto-forno é o resíduo gerado após a etapa de lavagem do gás de alto-forno e a separação dos particulados sólidos, na forma de lama, da água. Os resíduos têm aparência de um pó escuro depois de desidratados (RENNERT e MANSFELDT, 2002) e são depositados em áreas controladas ou reutilizados.

A lama de alto-forno é classificado segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) na classe II A, como resíduo não perigoso e não inerte.

3.5.6 Lama de aciaria

A lama de aciaria LD é um resíduo resultante do sistema de lavagem dos gases de exaustão da aciaria durante a produção de aço via convertedor LD. Possui elevado teor de espécies ferrosas, cerca de 75% a 80%, normalmente na forma de óxidos. Somente do elemento ferro a porcentagem é por volta de 50% a 60%. Sua produção é da ordem de 18kg a 36kg por tonelada de aço produzido (MACIEL et al., 2006; DAS et al., 2007; VIEIRA et al., 2007).

De acordo com Araújo (1997), a geração das lamas grossas e finas de aciaria LD é atribuída à limpeza dos gases de combustão durante o processo de refino do aço no convertedor LD. Devido à elevada temperatura na área de impacto do jato de oxigênio com a superfície do banho de metal líquido, certa quantidade de ferro se volatiza. O ferro é arrastado com os gases (quase que exclusivamente CO, dependendo do tipo de coifa utilizada no sistema de despoeiramento do convertedor LD), sendo convertido a óxido de ferro (poeira vermelha de Fe_2O_3 e uma parte escura de Fe_3O_4). A partículas têm forma esférica, com mais de 90% abaixo de 1µm e em média representam 1% da carga metálica do convertedor. Outros compostos que também se encontram na composição das lamas de aciaria LD são óxidos de cálcio, de silício, de magnésio, de alumínio, de zinco, etc.

Segundo Pereira (1982), além destes óxidos, verifica-se também a presença de ferrita de zinco (ZnO. Fe_2O_3) e ferro na forma metálica, este último principalmente na fração grossa da lama de aciaria. A porcentagem de ferro metálico varia de acordo com a eficiência da coifa de captação dos gases. Os principais elementos indesejáveis à sua reciclagem ou reutilização, zinco e chumbo, são introduzidos no forno principalmente por meio de sucatas metálicas, sendo volatilizados quando do carregamento do ferro-gusa líquido e durante o início do sopro. A geração de material fino no processo LD é bastante variável e deve-se a diversos fatores

como desenho do vaso, extensão, volume e viscosidade da escória, granulometria dos fundentes, etc.

A lama de aciaria é classificada de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), como resíduo classe II A (não inerte e não perigosa).

3.5.7 Carepa

Para Cunha et al. (2006), a carepa de aço é um resíduo sólido metálico produzido pela oxidação do material aço carbono, em siderúrgicas e metalúrgicas, no processo de lingotamento e laminação, possui coloração preta e é de fácil separação da peça usinada. O metal a alta temperatura reage com o oxigênio formando um óxido de ferro com baixa aderência. A carepa deve ser removida para evitar inclusões que diminuem a qualidade do aço durante sua conformação mecânica por laminação ou outro processo de deformação plástica (PEREIRA, COSSA e PEREIRA, 2008). Este resíduo é classificado como um resíduo classe II (não perigoso) segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004).

3.5.8 Finos de carvão vegetal

O carvão vegetal ou carvão de biomassa, a partir da madeira, é produzido pelos processos de carbonização ou pirólise (SAMI, ANNAMALAI e WOOLDRIDGE, 2001). Um problema associado à característica física do carvão vegetal é a sua friabilidade, ou seja, sua capacidade de se fragmentar em pequenos pedaços. Durante a produção, o transporte e o manuseio do carvão produz-se em torno de 25% de finos, o que dificulta ou, até mesmo, inviabiliza a sua utilização (ROUSSET et al., 2011). Este resíduo é classificado como um resíduo classe II A (não inerte e não perigoso) segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004).

3.5.9 Finos de minério

O minério obtido em uma faixa granulométrica específica (cerca de 6mm a 50mm) é alimentado no alto forno juntamente com o carvão vegetal e fundentes, para que ocorra a sua redução. Durante todo o processo de beneficiamento e obtenção do ferro-gusa, são gerados finos, caracterizados como coprodutos desse processo (FONSECA et al., 2018). Este resíduo é classificado como um resíduo classe II A (não inerte e não perigoso) segundo a norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004).

4 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foram analisados dados fornecidos pela empresa siderúrgica sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos processos de produção de aço. Segundo Marconi e Lakatos (2010), os dados coletados são resultados da pesquisa documental chamados de fontes primárias.

Como estratégia adotada, foi escolhido o estudo de caso. Gil (2010, p.27) define o estudo de caso como um estudo longo e árduo de um ou poucos objetos, permitindo um extenso conhecimento. O estudo de caso foi realizado durante o estágio supervisionado na empresa Gerdau Aços Longos S.A. localizada na cidade de Barão de Cocais MG.

Gil (2010) também relata que para um estudo de caso bem conduzido, a coleta de dados deverá ser realizada por meio de entrevistas, visando obter respostas pertinentes e informações adequadas. Portanto, para o estudo de caso foi utilizado como fonte de evidência, a entrevista estruturada, conforme roteiro abaixo:

1. Quais são os tipos de resíduos sólidos gerados pela empresa Gerdau unidade Barão de Cocais ao longo do processo de produção do aço e qual sua classificação.
2. Com base em cada tipo de resíduo sólido, como é feito sua gestão: acondicionamento, coleta e transporte interno, armazenamento intermediário e destinação final.
3. Ocorre a reutilização dos resíduos sólidos nos processos internos? De que forma?
4. Os resíduos não reutilizados são comercializados? Para qual setor e porcentagem de destinação.

O estudo utilizou também da pesquisa de campo, em que foi observado de modo direto as atividades desenvolvidas na siderúrgica.

A análise dos dados ocorreu de forma qualitativa, realizando uma pesquisa bibliográfica e documental para entender como funciona a gestão de resíduos sólidos no setor siderúrgico, fornecendo embasamento teórico para criação do roteiro da entrevista e posteriormente analisando os resultados obtidos no estudo.

5 ESTUDO DE CASO

Nessa seção serão apresentados o perfil da empresa Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais.

5.1 A Empresa

A Gerdau Aços Longos S.A. é líder no segmento de aços longos nas Américas e um dos maiores fornecedores de aços longos especiais do mundo. A empresa começou a traçar sua rota de expansão há mais de um século e hoje possui presença industrial em 14 países: Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colômbia, Espanha, Estados Unidos, Guatemala, Índia, México, Peru, República Dominicana, Uruguai e Venezuela.

No Brasil, possui operações em quase todos os Estados, que produzem aços longos comuns, especiais e planos. Seus produtos, comercializados nos cinco continentes, atendem os setores da construção civil, indústria e agropecuária. Eles estão presentes no dia a dia das pessoas nas mais diversas formas: integram a estrutura de residências, shopping centers, hospitais, pontes e hidrelétricas, fazem parte de torres de transmissão de energia e telefonia, são matérias-primas de peças de automóveis e participam do trabalho no campo.

Na cidade de Barão de Cocais, em 21 de novembro de 1988, a empresa Cimetal Siderúrgica S.A. passou para o controle do Grupo Gerdau, quando a empresa venceu o leilão de privatização realizado na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro. A usina de Barão de Cocais, apresentada na Figura 5.1, foi a primeira unidade da Gerdau no Estado de Minas Gerais. Além das instalações da usina, a compra incluiu as fazendas de reflorestamento situadas em áreas próximas à empresa.

Figura 5.1: Planta da Gerdau em Barão de Cocais, adquirida em 1988

Fonte: (FRANCISCO,2001).

Uma das principais diretrizes é a Política Integrada que define o compromisso da empresa e seus colaboradores com a “Saúde, Segurança, Meio Ambiente e Qualidade”. A Política Integrada é corporativa, sendo elaborada por um grupo de trabalho composto por especialistas de diversas unidades, recebendo orientação do Comitê Executivo Gerdau (CEG), sendo revisada sempre objetivando a melhoria contínua e o melhor atendimento às necessidades das partes interessadas envolvidas (acionistas, clientes, colaboradores e comunidade).

A atuação do Grupo Gerdau, de acordo com os mais modernos padrões de qualidade e ferramentas de gestão, garantiu à unidade, em 2003, a certificação ISO 9001:2000 - a Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais foi a primeira unidade do Grupo a receber a certificação e, em março de 2008, a Gerdau unidade Barão de Cocais conseguiu a certificação da ISO 14001 contribuindo desta forma para um desenvolvimento sustentável e processos ambientalmente corretos. Além disso, a unidade investe constantemente na capacitação e no desenvolvimento de seus colaboradores e também apoia uma série de projetos sociais desenvolvidos na comunidade local.

Localizada na Avenida Getúlio Vargas, 1550, Vila Operária, na cidade de Barão de Cocais, Minas Gerais, a Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais possui a capacidade instalada de 320 mil toneladas de aço e 200 mil toneladas de laminados por ano, produzindo os seguintes produtos: barras (redondas, quadradas, chatas, sextavadas), Perfis T, cantoneira e estrela e vergalhão, sendo responsável pela produção e comercialização de aços para atender a construção civil, serralheria e indústria.

A rota utilizada no seu processo é a integrada, apresentada na Figura 5.2, tem como base o minério de ferro e como principais reatores o alto-forno e o conversor a oxigênio. No alto-forno o minério de ferro e fundentes são carregados juntamente com o carvão vegetal e passa pelas etapas de redução e fusão, dando origem ao ferro-gusa. Após ser vazado do alto-forno o ferro-gusa é levado ao conversor da aciaria onde passa pela etapa de refino oxidante, produzindo o aço. O produto semiacabado é levado à laminação, onde ocorre processo de conformação mecânica do material a fim de obter o material acabado.

Figura 5.2: Fluxograma de Processo da Gerdau

Fonte: (GERDAU,2007).

Os objetos de estudo da pesquisa foram os resíduos sólidos resultantes do processo de produção do aço da empresa.

6 RESULTADOS: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos assuntos desenvolvidos em cada etapa estabelecida na metodologia de trabalho obtidos durante a gestão dos resíduos sólidos do processo produtivo da empresa Gerdau Aços Longos S.A. unidade Barão de Cocais.

6.1 Gestão de Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos é conduzida pelas equipes de coprodutos e meio ambiente da unidade e contam com diretrizes da área corporativa de Meio Ambiente e apoio da área de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa, que busca trabalhar em avanços tecnológicos e desenvolvimento de novas alternativas para os resíduos com base nos princípios da economia circular e da sustentabilidade.

O gerenciamento dos resíduos sólidos da empresa inicia-se no processo de classificação e envolve a identificação da atividade que deu origem ao resíduo e de seus constituintes e as características e a comparação destes constituintes com a listagem de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Após sua classificação são definidas as etapas de acondicionamento, coleta e transporte interno, destinação intermediaria e destinação final ambientalmente correta, que devem estar em consonância com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. O processo de gestão da empresa é definido conforme a Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Descrição das etapas do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos da Gerdau

O QUE FAZER	QUEM	DEFINIÇÕES GERAIS
Acondicionamento	Facilitador e Operação	Identificação dos resíduos conforme o padrão de "Gestão de Resíduos"; Resíduos separados em local adequado; Caixas de contenções dos resíduos mantidas com registros fechados; periodicamente serão inspecionadas e limpas, para manter a capacidade de conteção dos resíduos.
Coleta e Transporte interno	Empresa terceirizada contratada	Orientações definidas conforme padrão de coleta e transporte e controle dos resíduos destinados para o pátio de resíduos e central de resíduos: **Central de Resíduos**: área apropriada destinada ao acondicionamento e armazenamento de resíduos classe I e II, antes de sua destinação e disposição final; **Pátio de resíduos**: área apropriada para disposição final de resíduos classe IIA e ou IIB.
Destinação intermediária e armazenamento	Setor Meio Ambiente e Facilitador	Realizada inspeção periódica nos resíduos.
Coleta e transporte para destinação externa.	Setores de Meio Ambiente, Co-produtos e Administrativo	Realizada a retirada de resíduos para empresa de destinação final consultando a lista de fornecedores qualificados e seguindo orientações conforme padrão de Coleta / transporte e controle dos resíduos destinados para o pátio e central de resíduos; Antes de sair da empresa todos os resíduos devem ser pesados na balança da portaria, registrado no Sistema Eletrônico de pesagem da empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é parte integrante do processo de política ambiental da empresa e deve estar em acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos da cidade de Barão de Cocais. Buscando formas de reaproveitamento e destinação ambientalmente viáveis, a Gerdau efetua tanto auditorias internas para controle da gestão ambiental de suas operações industriais, quanto auditorias externas nos receptores de seus resíduos, a fim de garantir o atendimento e cumprimento às normas e legislações ambientais vigentes.

Os processos da empresa que geram resíduos sólidos são: alto-forno, aciaria e lingotamento contínuo. Na tabela 6.2 apresenta-se a classificação dos resíduos sólidos.

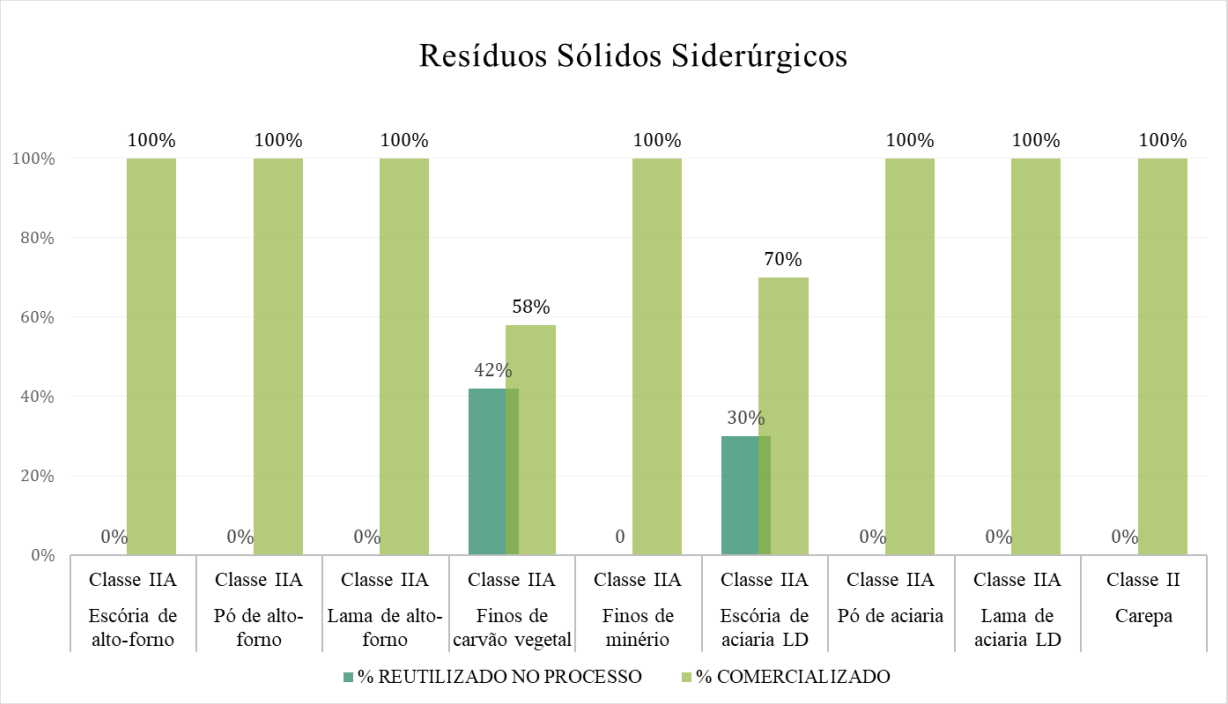
Tabela 6.2: Classificação dos resíduos sólidos siderúrgicos

RESÍDUO SÓLIDO	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO ABNT 10004/2004	% REUTILIZADO NO PROCESSO	% COMERCIALIZADO
Escória de alto-forno	Classe IIA	0%	100%
Pó de alto-forno	Classe IIA	0%	100%
Lama de alto-forno	Classe IIA	0%	100%
Finos de carvão vegetal	Classe IIA	42%	58%
Finos de minério	Classe IIA	0	100%
Escória de aciaria LD	Classe IIA	30%	70%
Pó de aciaria	Classe IIA	0%	100%
Lama de aciaria LD	Classe IIA	0%	0%
Carepa	Classe II	0%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 6.1 apresenta-se a classificação e porcentagem de destinação dos resíduos sólidos siderúrgicos gerados na Gerdau unidade Barão de Cocais.

Gráfico 6.1: Classificação e Porcentagem de destinação dos resíduos sólidos siderúrgicos

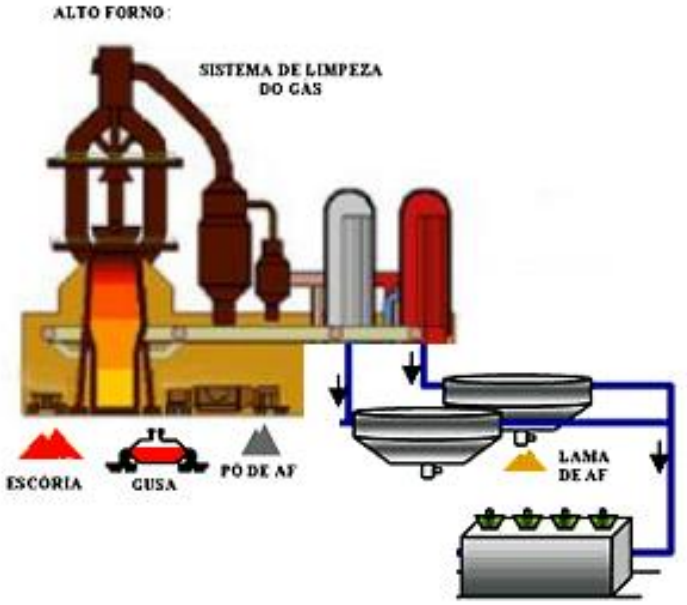


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2 Alto-forno

A área do alto-forno é responsável pela produção de ferro-gusa. Os resíduos gerados neste processo são: escória (granulada e bruta), pó e lama de alto-forno, finos de carvão vegetal e finos de minério apresentados na figura 6.1.

Figura 6.1: Resíduos sólidos gerados no processo do alto-forno



Fonte: Adaptado de BUZIN (2009).

6.2.1 Escória de alto-forno

A escória se forma no interior dos fornos pela fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) e as cinzas do carvão vegetal.

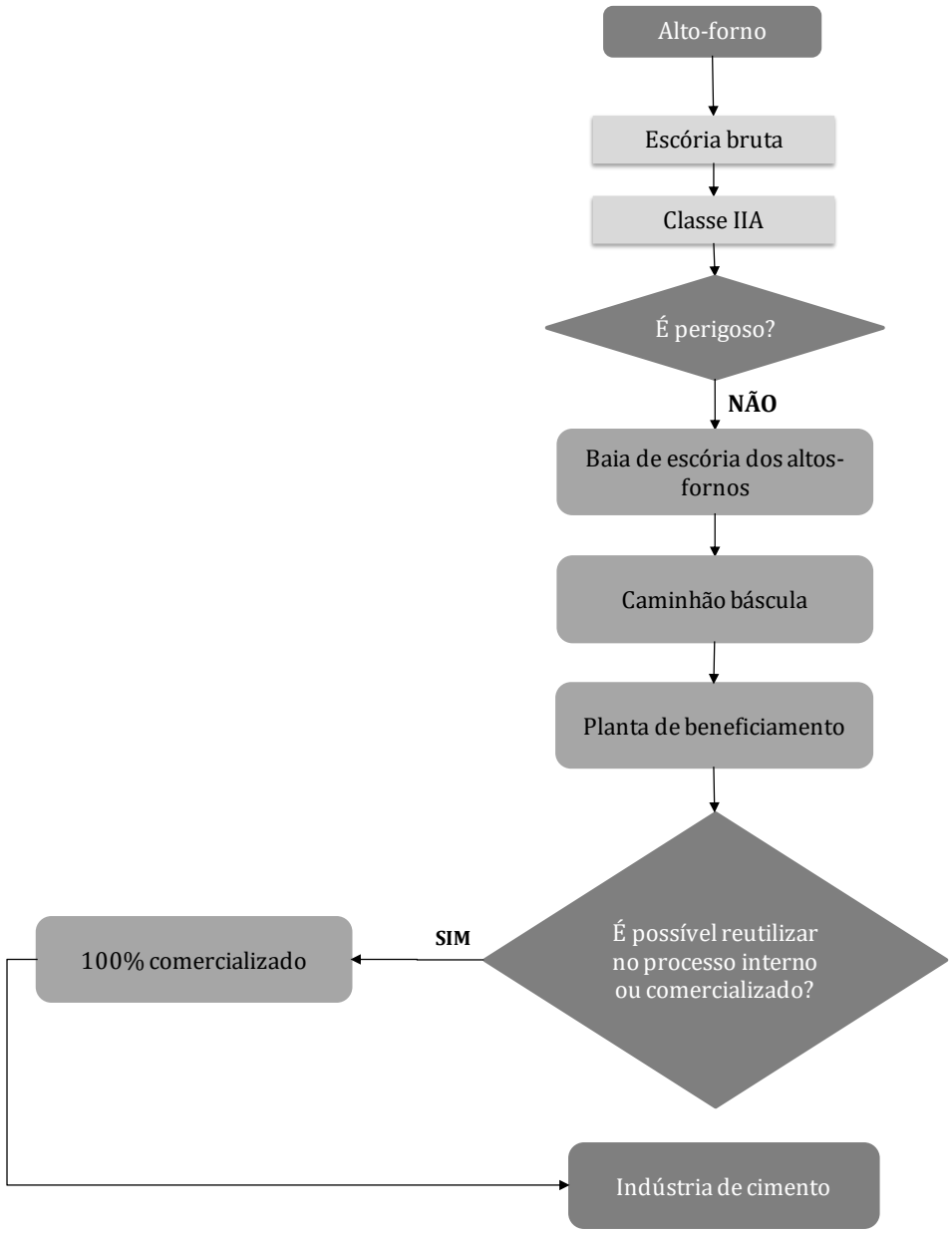
A escória fundida é uma massa que, por sua insolubilidade e menor densidade, sobrenada no ferro-gusa e é conduzida por canais, até o local de resfriamento. A escória de altos-fornos da Gerdau unidade Barão de Cocais tem a composição de 15% Al_2O_3, 45% CaO e 40% SiO_2.

As escórias de alto-forno são classificadas como:

- **Escória bruta**

São vazadas em estado líquido na baia de escória, onde são resfriadas ao ar. Por ser um processo lento, os seus componentes formam distintas fases cristalinas e, com isso, não adquirem poder de aglomerante hidráulico, podendo ser britada ou utilizada como material inerte na aplicação de cimentos. O resíduo é acondicionado na baia e transportado em caminhão báscula para a planta de beneficiamento, permitindo uma destinação ambientalmente correta para ser comercializado para indústria de cimento. O fluxograma de gerenciamento da escória é apresentado no Figura 6.2.

Figura 6.2: Fluxograma de Gerenciamento da escória bruta de alto-forno



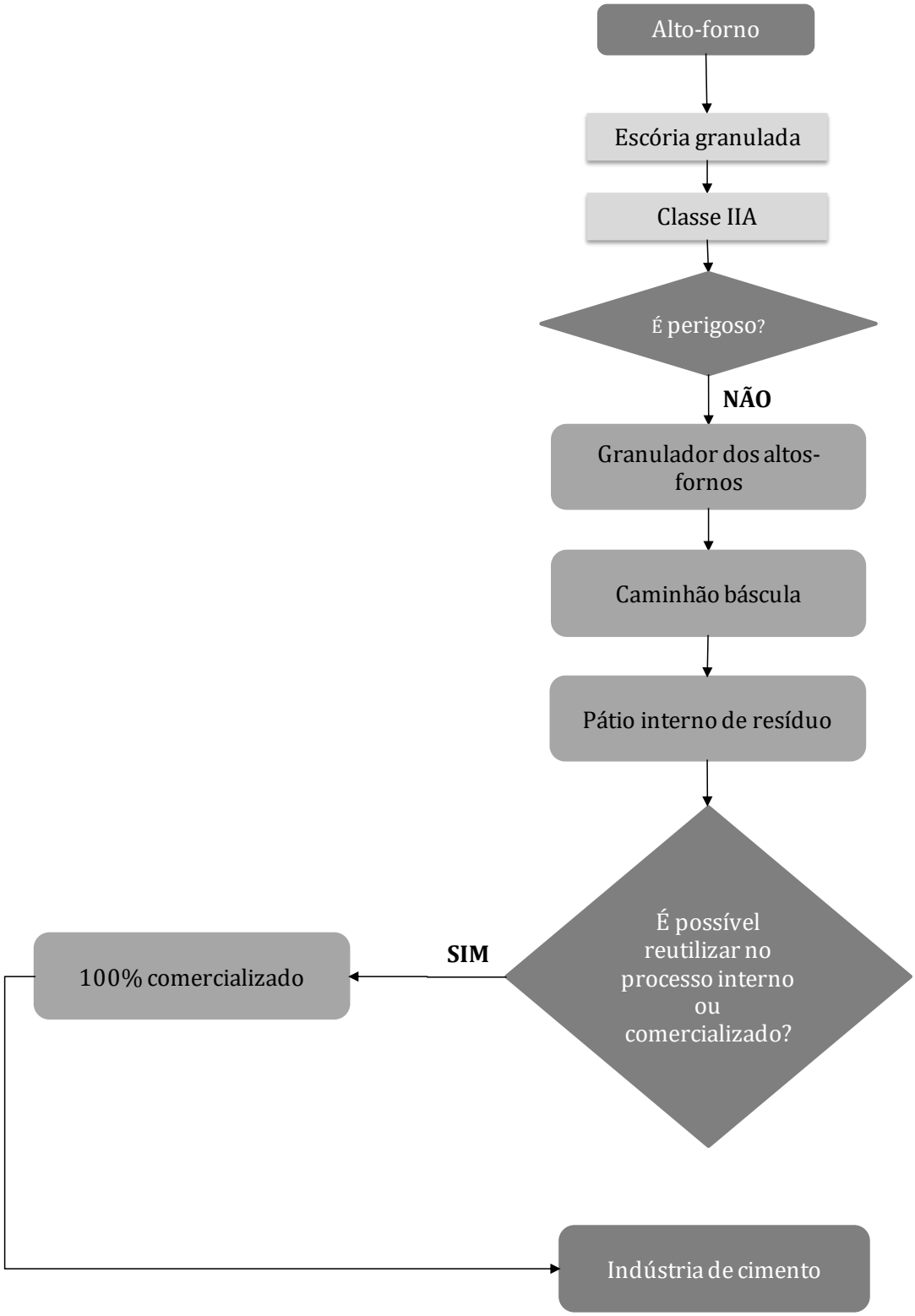
Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

- **Escória granulada**

A escória líquida é transportada para os granuladores nos quais 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". Devido ao seu grande potencial hidráulico (endurecer, após moída, quando em contato com a água), essa escória tem um mercado amplo, principalmente para cimenteiras, nas quais pode ser moída e utilizada na fabricação do cimento. O resíduo é acondicionado na baia e transportado em caminhão báscula para o pátio

interno de resíduo para ser comercializado para indústria de cimento. O fluxograma de gerenciamento da escória granulada é apresentado no Figura 6.3.

Figura 6.3: Fluxograma de Gerenciamento da escória granulada de alto-forno

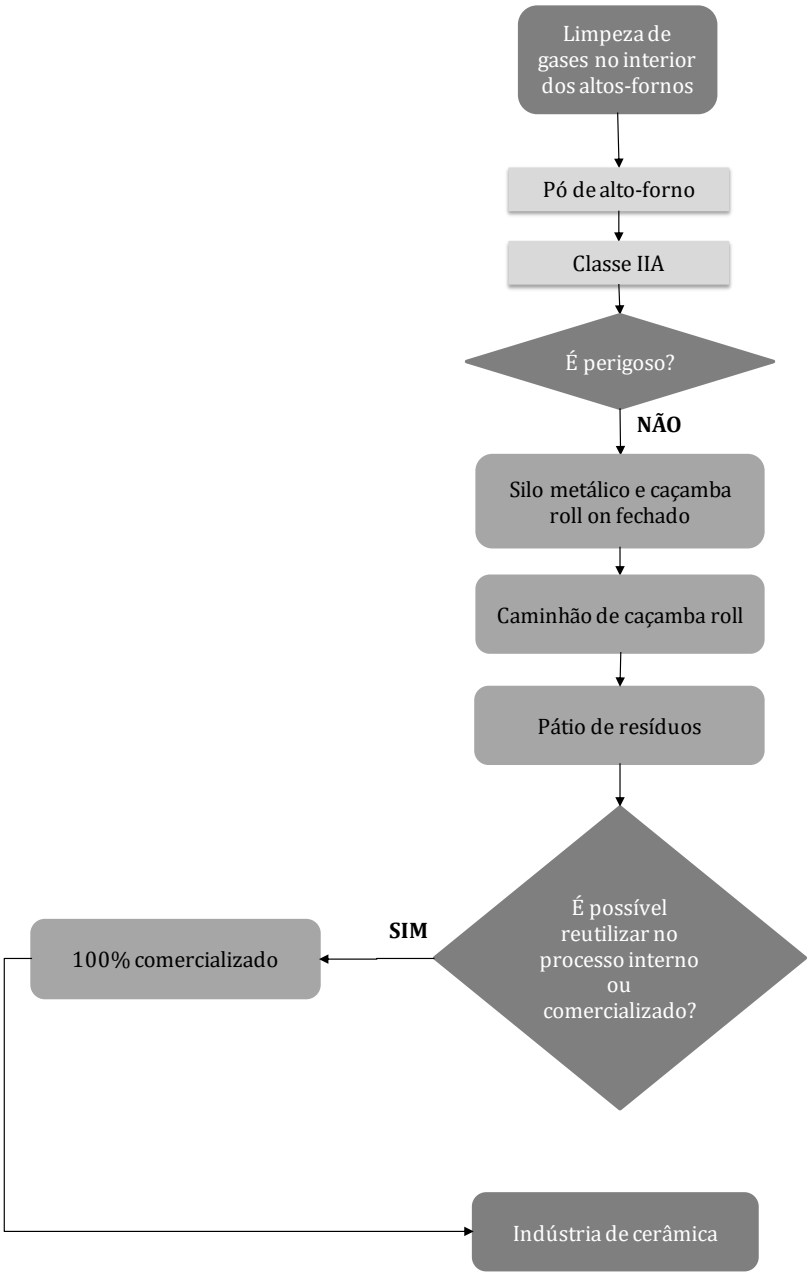


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.2.2 Pó de alto-forno

O resíduo é oriundo da limpeza dos gases gerados no interior dos fornos. Esse resíduo possui em sua composição, principalmente ferro e carbono e, basicamente, o pó de balão é constituído por óxidos metálicos (oriundos do minério, sínter e pelotas) utilizados no processo, finos de carvão vegetal e outros minerais em menor proporção. É acondicionado no silo metálico e caçamba *roll on* fechado e transportado de caminhão *roll on* para o pátio de resíduos e comercializado para indústria de cerâmica. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.4.

Figura 6.4: Fluxograma de Gerenciamento do pó de alto-forno

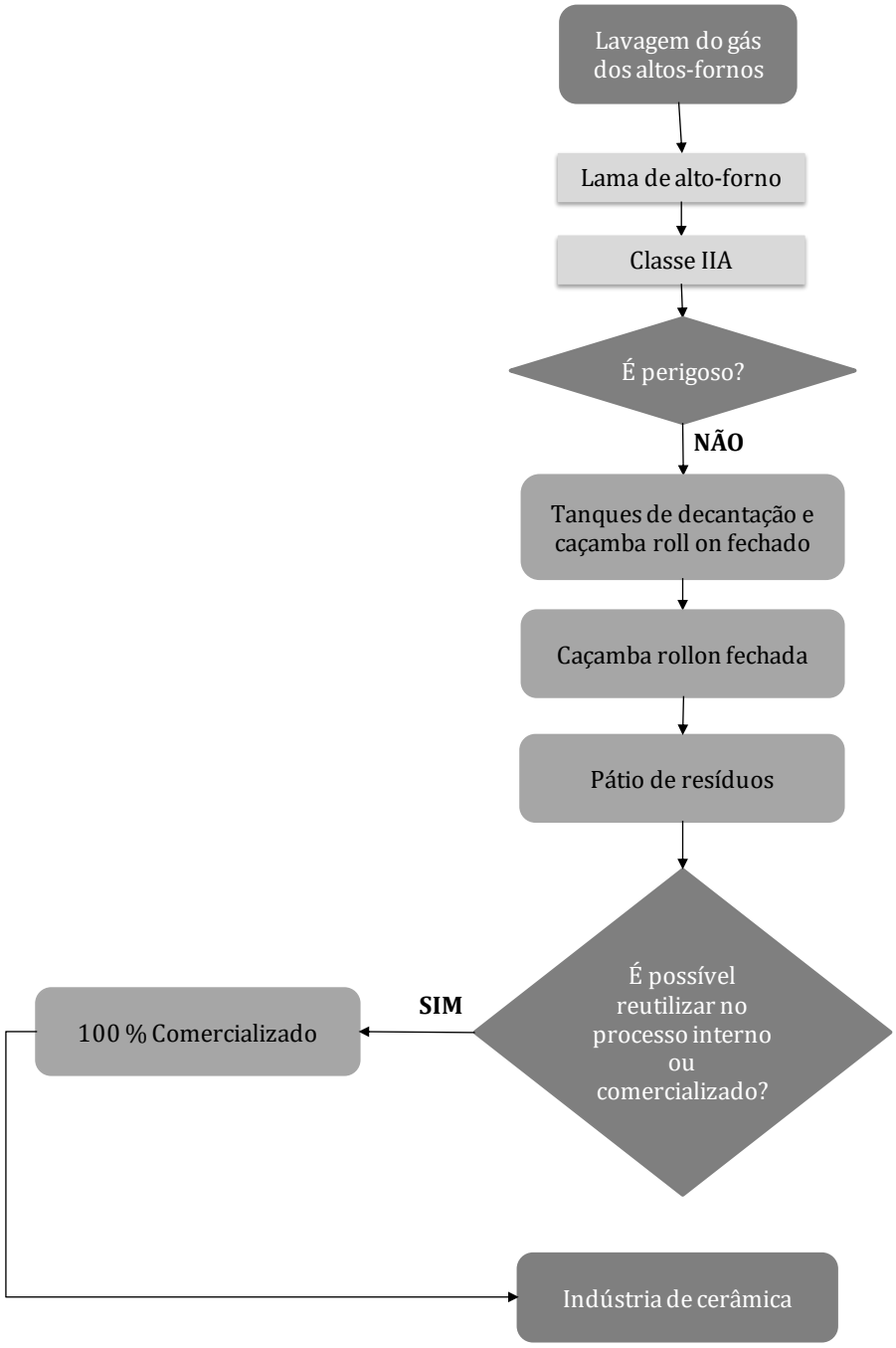


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.2.3 Lama de alto-forno

A lama de alto-forno é gerada após a etapa de lavagem do gás de alto-forno e a separação dos particulados sólidos, na forma de lama. É acondicionado em tanques de decantação e caçamba *roll on* fechado e transportado de caminhão *roll on* para o pátio de resíduos e comercializados para indústria de cerâmica. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.5.

Figura 6.5: Fluxograma de Gerenciamento da lama de alto-forno

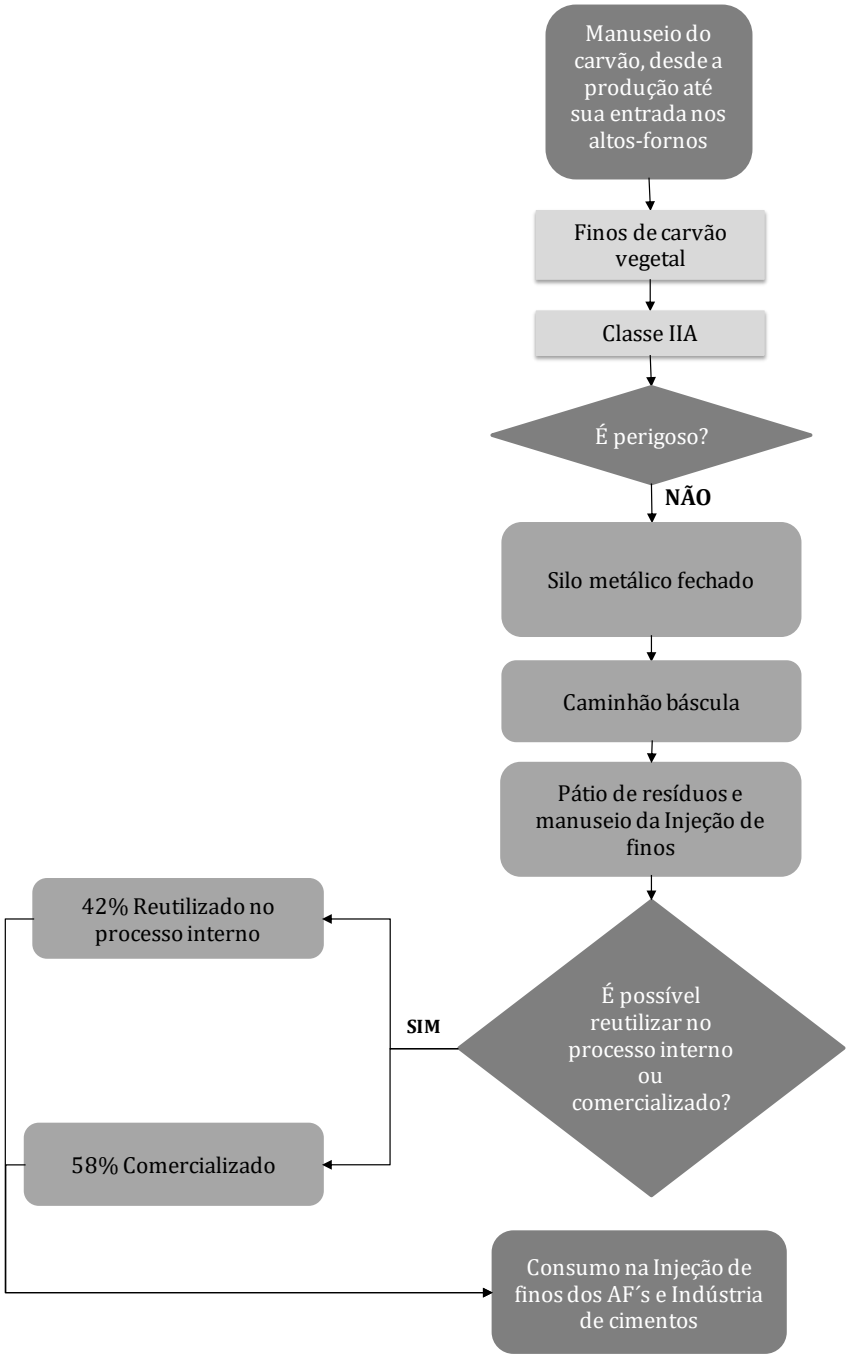


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.2.4 Finos de carvão vegetal

A geração dos finos de carvão vegetal ocorre durante todo o processo de manuseio do carvão até chegar no alto-forno, sendo acondicionado no silo metálico fechado (para evitar foco de incêndio) e transportado por caminhão báscula para o pátio de resíduos e manuseio da injeção de finos onde 42% retorna para o processo na injeção de finos dos altos-fornos e 58% é comercializado para indústria de cimentos. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.6.

Figura 6.6: Fluxograma de Gerenciamento de finos de carvão vegetal

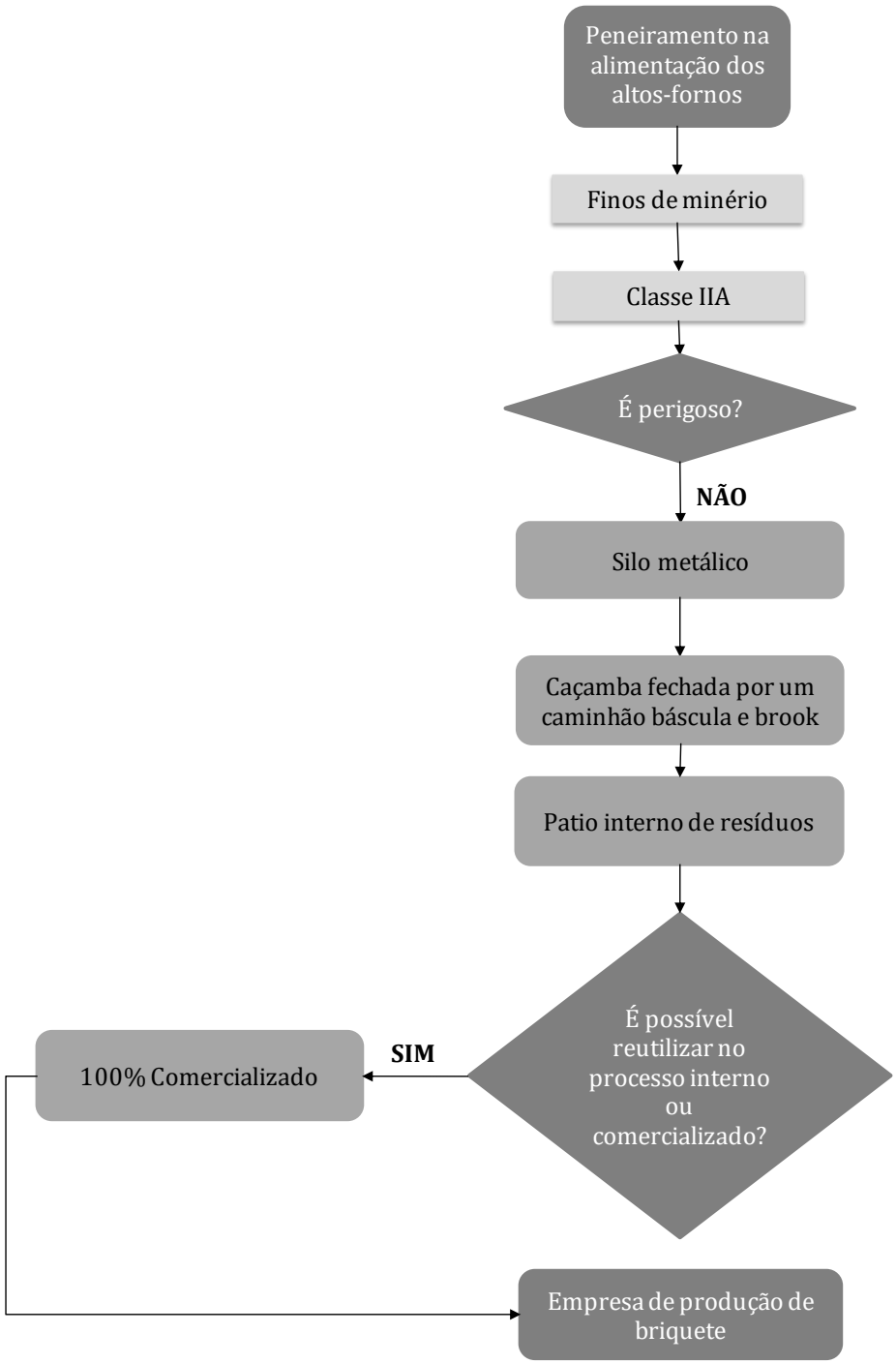


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.2.5 Finos de minério

Os finos de minério são gerados no peneiramento dos minérios na alimentação do alto-forno. O resíduo é acondicionado no silo e transportado direto do silo por caminhão para o pátio interno de resíduos classe II A e comercializado para empresa de produção de briquete. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.7.

Figura 6.7: Fluxograma de Gerenciamento de finos de minério



Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.3 Aciaria

Na aciaria, o ferro-gusa líquido recebido do alto-forno é dirigido a estações de pré-tratamento, que promovem sua dessulfuração e carregado posteriormente em conversores a oxigênio (LD), onde é refinado e transformado em aço líquido. Em seguida, o aço líquido é tratado em equipamentos de metalurgia secundária, processo complementar que promove o ajuste final de sua temperatura, composição química e características físicas, permitindo a fabricação de aços de elevado grau de pureza e qualidade. Os resíduos sólidos gerados neste processo são: escória, pó e lama de aciaria são apresentados na figura 6.8.

Figura 6.8: Resíduos sólidos gerados no processo da aciaria

Fonte: Adaptado de BUZIN (2009).

6.3.1 Escória de aciaria

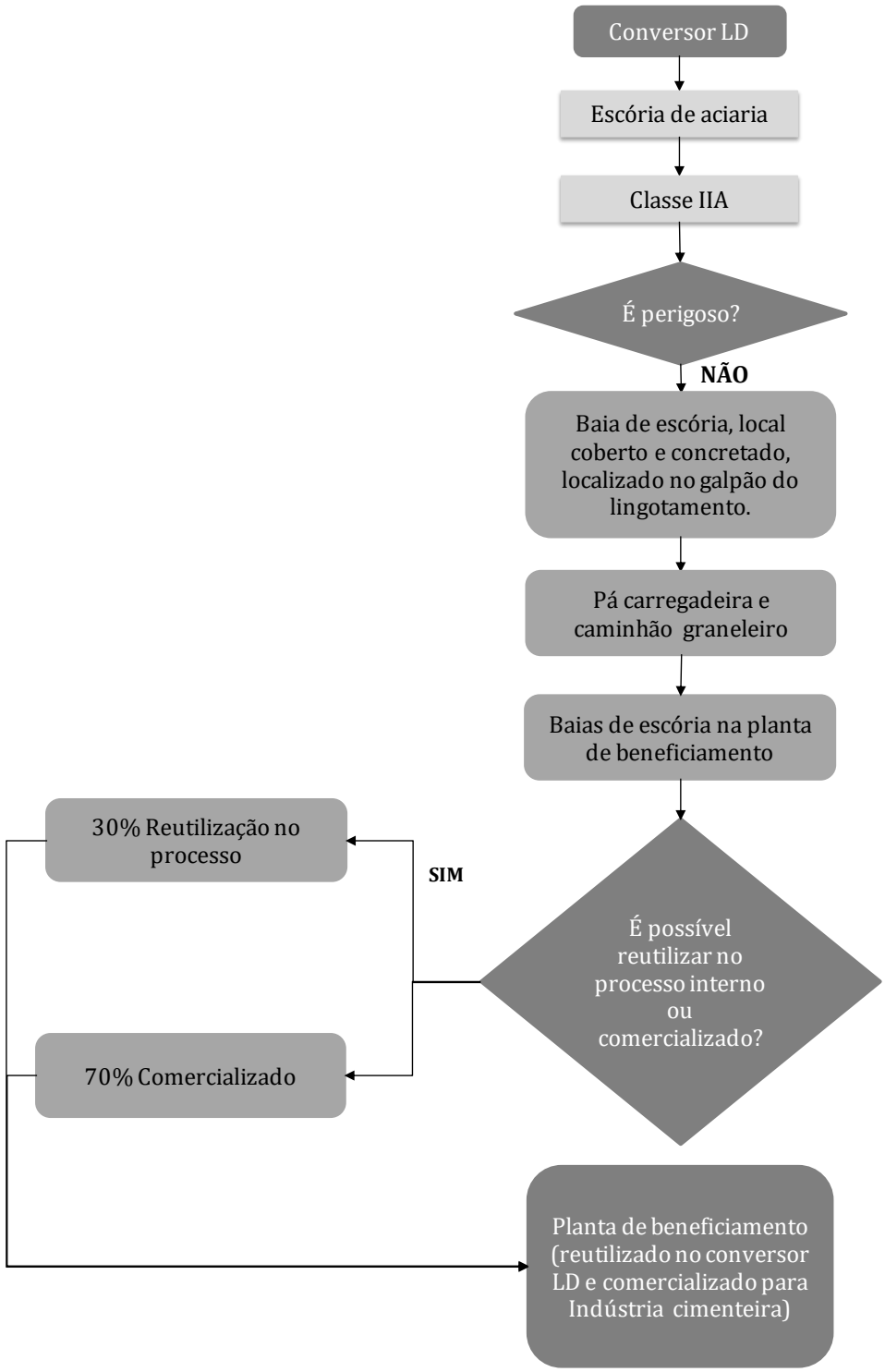
A escória de aciaria é um resíduo sólido gerado no refino do aço no conversor Linz-Donawitz (LD), no processo de refino do ferro-gusa, ou seja, a redução do teor de carbono e das impurezas até os valores desejados para os diferentes tipos de aço.

A escória de aciaria da Gerdau unidade Barão de Cocais tem a composição de 36,2%CaO; 12,5%MgO; 0,9%Al_2O_3; 15,4%SiO_2; 5,8%MnO; 21%Fe; 0,04%S; 1,01% P_2O_5.

Após o seu resfriamento, a escória de aciaria é processada (beneficiada) para obter agregados finos e grossos que serão usados em diferentes tipos de aplicação. O resíduo é acondicionado na baia de escória, local coberto e concretado, localizada no Galpão do Lingotamento, LD e Refratário, posteriormente é transportado da pá carregadeira para o caminhão graneleiro até a baia de escória na planta de beneficiamento. Após britagem e separação granulométrica, o resíduo passa por uma etapa de separação magnética. A fração

metálica é reutilizada no próprio conversor LD e corresponde em média a 30% da escória gerada. Os 70% de fração não metálica é comercializada para indústria cerâmica. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.9.

Figura 6.9: Fluxograma de Gerenciamento da escória de aciaria

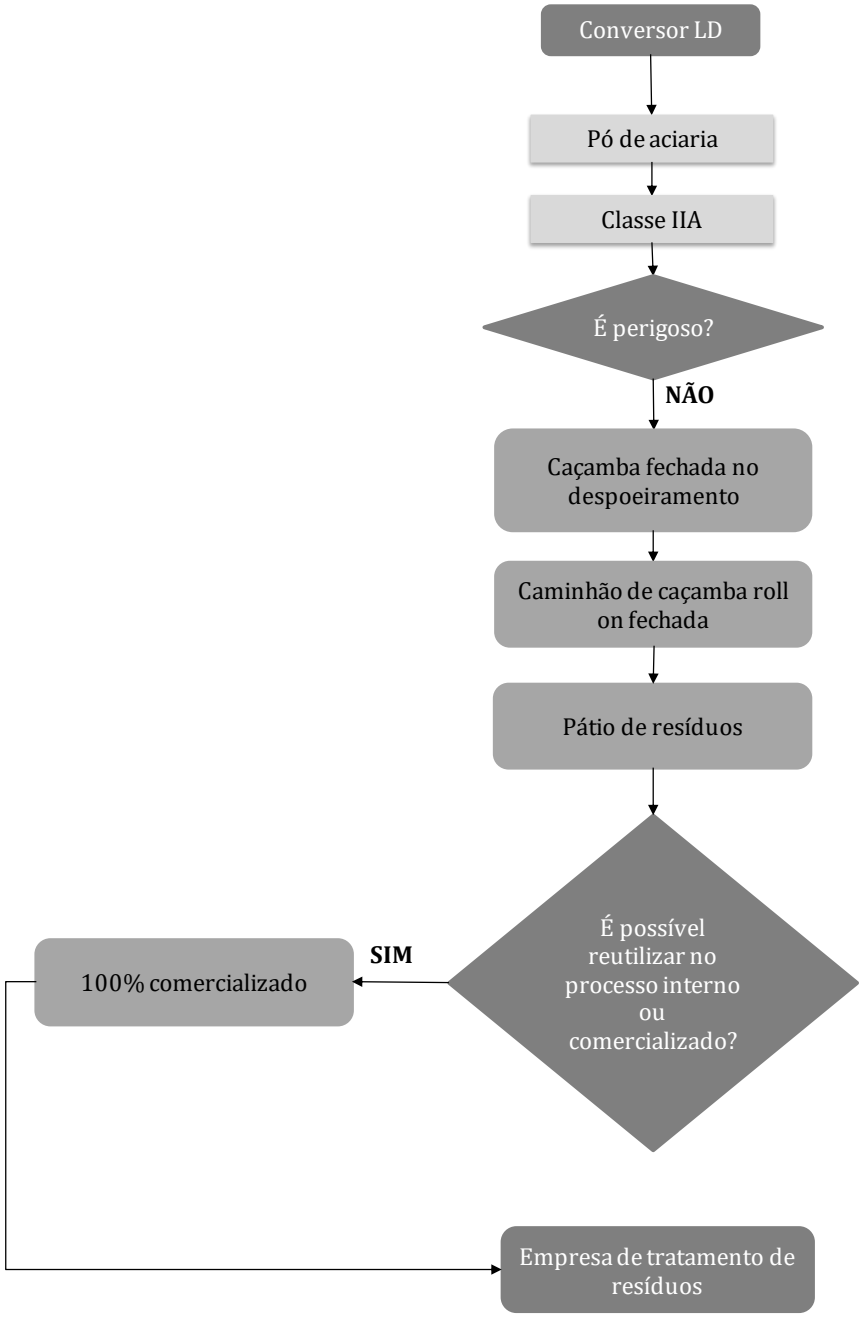


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.3.2 Pó de aciaria

O Pó de Aciaria é um resíduo sólido gerado na produção do aço no forno conversor Linz-Donawitz (LD). O resíduo é acondicionado em caçamba fechada no despoeiramento, posteriormente é transportado de caminhão de caçamba *roll on* fechada até o pátio de resíduo da empresa, onde é comercializado para empresa de tratamento de resíduos. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.10.

Figura 6.10: Fluxograma de Gerenciamento do pó de aciaria

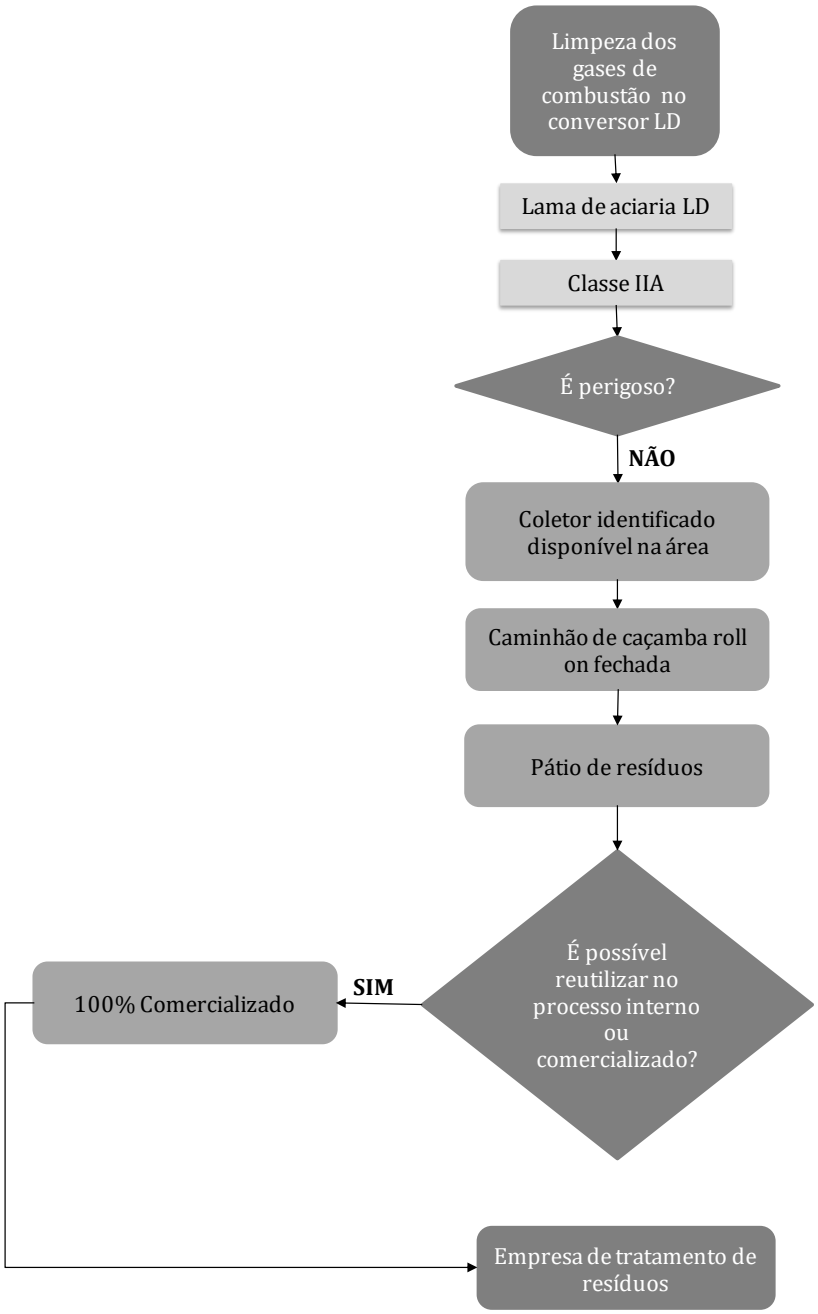


Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.3.3 Lama de aciaria

A lama de aciaria é atribuída à limpeza dos gases de combustão durante o processo de refino do aço no conversor Linz-Donawitz (LD). É acondicionado em um coletor de resíduo identificado disponível na área. Posteriormente é transportado de caminhão de caçamba *roll on* fechada até o pátio de resíduo da empresa, onde é comercializado para empresa de tratamento de resíduos. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.11.

Figura 6.11: Fluxograma de Gerenciamento da lama de aciaria



Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

6.4 Lingotamento Contínuo

O lingotamento Contínuo, etapa final da produção de placas de alta qualidade, é a unidade responsável pela transformação do aço líquido em produtos semiacabados sólidos (placas) nas dimensões especificadas. Este processo consiste na solidificação progressiva do aço líquido ao atravessar moldes refrigerados e câmaras de *spray* de água. O lingotamento contínuo é baseado no vazamento vertical do aço líquido dentro de um molde de cobre refrigerado a água, aberto no topo e na base. O calor é retirado do aço durante a passagem deste material pelo molde, formando-se, assim, uma pele sólida externa ao veio de aço com resistência suficiente para conter o aço líquido. Após a saída do molde, o material passa a sofrer pressão do peso da coluna vertical de aço. Um conjunto de suportes define a espessura e largura da placa. Por fim, há o corte da placa conforme especificação do comprimento do produto final. O resíduo gerado nessa etapa é a carepa, apresentada na figura 6.12.

Figura 6.12: Resíduos sólidos gerados e origem no processo da lingotamento contínuo

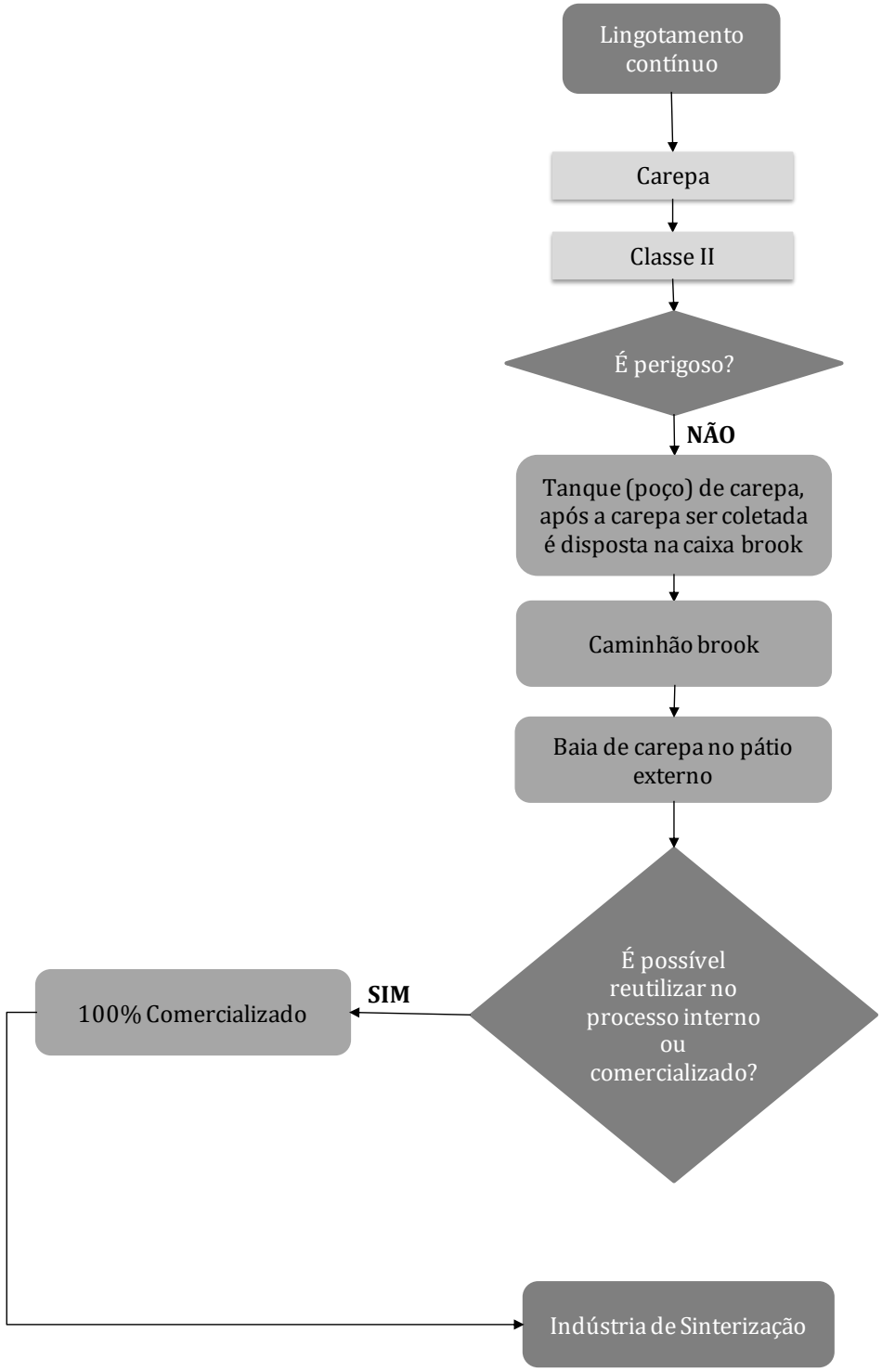
Fonte: Adaptado de BUZIN (2009).

6.4.1 Carepa

A carepa é oriunda do processo de lingotamento contínuo durante o refino do aço, etapa onde o aço é submetido a um aquecimento e, com isso, há a geração de um gradiente de temperatura, que propicia a formação de uma camada de óxidos de ferro na superfície do aço. O resíduo é acondicionado no tanque (poço) de carepa. Após a carepa ser coletada ela é disposta na caixa *brook*, até esgotar a água da caixa no poço de carepa. Posteriormente é transportada de caminhão de caçamba *roll on* fechada até o pátio de resíduo da empresa, onde

é comercializado para indústria de sinterização. O fluxograma de gerenciamento é apresentado no Figura 6.13.

Figura 6.13: Fluxograma de Gerenciamento da carepa



Fonte: Elaborado pelo autor com base em MAROUN (2006).

7 CONCLUSÕES

A Gerdau Aços Longos S.A. busca o desenvolvimento de rotas tecnológicas que permitam o reaproveitamento dos resíduos sólidos, apresentados no trabalho, na sua própria usina ou para outros fins produtivos, de maneira a reduzir a necessidade de aterros e depósitos. Estes desenvolvimentos geram benefícios não apenas ambientais, mas também financeiros, aumentando a utilização do resíduo gerado.

Na unidade de Barão de Cocais já são reaproveitados, no seu processo, os finos de carvão vegetal na injeção de finos pelas ventaneiras dos altos-fornos, sendo o principal meio de redução do custo de produção do gusa, e a escória de aciaria sendo reutilizada no próprio conversor LD. A reutilização dos resíduos contribui para a preservação dos recursos naturais, já que ao invés de serem descartados voltam ao ciclo produtivo. Os resíduos que não são reaproveitados no processo são comercializados para industrias de cerâmica, cimento, tratamento de resíduos, sinterização e empresas que produzem briquetes, evitando ser destinados em aterros.

No sistema de gestão ambiental da Gerdau é previsto tratamento de falhas para os casos de parâmetros em desacordo com a legislação e/ou normas internas. Nesta tratativa, que é gerida pela liderança, causas raízes dos problemas são analisadas e definidos planos de correção e melhoria. Todos os prestadores de serviços da Gerdau para o gerenciamento dos resíduos atendem às normas contratuais ou obrigações legais.

A Gerdau busca expandir o foco no reaproveitamento ambientalmente adequado dos materiais gerados nas operações, alinhados aos princípios internos da empresa, normas e legislações vigentes.

Em virtude dos fatos mencionados, conclui-se que a Gerdau unidade de Barão de Cocais segue criteriosamente as normas propostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e em concordância também com a NBR 10.004, no que se refere a acondicionamento, coleta, transporte, destinação final e classificação dos resíduos. O gerenciamento de resíduos sólidos adotado pela organização já é um processo bem estruturado e sistematizado. A gestão desses coprodutos transformou o que antes era problema e gerava alguns custos, em solução, pois além de dar uma destinação adequada aos resíduos que eram anteriormente dispostos em aterros industriais, a comercialização destes coprodutos gera receita para a siderúrgica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Resolução RDC nº 2, de 8 de janeiro de 2003**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0210_04_08_2003.html. Acesso em: 21 mai. 2022.

ALMEIDA, M. B; MELO, G. C. B. Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABES, 2001, p.1-13.

ARAÚJO, A. L. **Manual de siderurgia – Produção**. São Paulo: Arte & Ciência, 1997. 470p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS - ABM. **Estudo prospectivo do Setor Siderúrgico: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Brasília:ABM, 2008. 64p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

BELLEN, H. M. **Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/ UFSC, 2013. 126p.

BIDONE, F. A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216p.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Presidência da República*, Brasília, 02 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20/05/2022.

BUZIN, P. J. W. K**. Desenvolvimento de Briquetes Autorredutores a partir de Carepas de Processamento Siderúrgico para Utilização em Forno Elétrico a Arco**, 2009. 137f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Metalúrgica - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. **Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade**. BNDES Setorial, n. 41, p. 181-236, 2015.

CGEE. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília: 2010, 116p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Siderurgia_no_Brasil__9567.pdf/893da7ee-8608-4251-adc1-10c2bf95b009?version=1.0. Acesso em: 09 ago. 2022.

CUNHA, A. F.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **Metalurgia & Materiais**, v. 59, n. 1, p. 111-116, 2006.

DAS, B.; PRAKASH, S.; REDDY, P.S.R.; MISRA, V.N. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n.1, p. 40-57. 2007.

DINA, M. S. Effect of cooling technique of blast furnace slag on the termal behavior of solid cement bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, p. 134-141, 2014.

FERREIRA, V. A.; TAMBOURGI, E.B. A importância do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **Exacta**, v. 7, n. 2, p. 157-163. 2009.

FONSECA, D. A.; LOBO, F. A.; SOUZA, F. D.; GARDUCCI, C. G.; BRAGA, S. D.; SILVA, M. G. D. Reutilização de finos de peneiramento de minério de ferro por pelotização. In: 6º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minérios de Ferro, 2018. São Paulo, **Anais [...]**. 2018, p. 140-151.

FRANCISCO, M. P. **Chama empreendedora: a história e a cultura do Grupo Gerdau: 1901-2001**. São Paulo: Prêmio, 2001. 271p.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 208p.

GERDAU. **Relatório Anual 2007**. 2007. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.gerdau.com/upload/pt-BR/Gerdau_ra_2007.pdf > Acesso em 23 out. 2022.

HUPPES, R. M**. Estudo de alternativas para a identificação e controle da desoxidação do aço no forno panela,** 2014. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Aço e sustentabilidade 2021**. Instituto Aço Brasil, Rio de Janeiro: 2021. 12 p. Ano. Número do relatório. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/SUSTENTAB_digital_2021.pdf. Acesso em: 09 ago. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A siderurgia em Números 2022**. Instituto Aço Brasil, Rio de Janeiro: 2022. 12 p. Ano. Número do relatório. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/05/AcoBrasil_Mini_anuario_2022.pdf. Acesso em: 09 ago. 2022.

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 ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302p.

MACHADO, A. S. **Quantificação do teor de char e finos de coque no pó de balão do alto-forno por difração de raios-x**. 2011. 139 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2011.

MACIEL, G.S.; ANDRADE, P.M.; INTORNE, S.C.; VERNILLI JÚNIOR, F.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C.M.F. Alterações microestruturais e inertização de lama fina de aciaria em

cerâmica argilosa. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, **Anais [...]**. 2006, p. 2195-2206.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 368p.

MAROUN, C. A. **Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo.** 2. ed. Rio de Janeiro: GMA, 2006.

MENEGUETTI, C. F. **Gestão ambiental empresarial**. Maringá: CESUMAR, 2012. 133p.

OLIVEIRA, M. R. C.; MARTINS, J. Caracterização e Classificação do Resíduo Sólido "Pó do Balão", Gerado na Indústria Siderúrgica Não Integrada a Carvão Vegetal:- Estudo de um Caso na Região de Sete Lagoas/MG. **Quimica Nova**, v.26, n.1, p. 5-9. 2003.

ÖZBAY, E.; ERDEMIR, M.; DURMUS, H. I. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review**. Construction and Building Materials**, v. 105, p. 423- 434, 2016.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; STOROPOLI, J. H.; DIAS, A. G.; DUARTE, E. B. L. Gerenciamento dos resíduos de demolição gerados nas obras de um edifício localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP. **Desenvolvimento em Questão**, v. 13, n. 30, p. 265-305. 2015.

PEREIRA, E.A.C. **Emprego de rejeitos siderúrgicos pelotizados na sinterização de minério de ferro.** 1982. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 1982.

PEREIRA, G. L.; COSSA, R. J.; PEREIRA, F. M. Estudo da viabilidade da utilização de carepa de aço na produção de concreto. **Revista de Iniciação Cientifica da ULBRA**, v. 1, n. 1, p. 221-230, 2008.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, set. 2001.

QUINTANEIRO, D. A. A. **Contribuições da logística reversa de resíduos na geração de ganhos competitivos: um estudo de caso em uma empresa siderúrgica brasileira**. Belo Horizonte: FNH, 2014. 101p.

RENNERT, T.; MANSFELDT, T. Sorption and desorption of iron-cyanide complexes in deposited blast furnace sludge. **Water Research**, v.36, n.19, p. 4877-4883, 2002.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.136p.

ROHDE, L. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos – estudo laboratorial**. 2002. 101f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2002.

ROUSSET, P.; PIRES, A.C.; SABLOWSKI, A.; RODRIGUES, T. LCA. Of eucalyptus wood charcoal briquettes. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.1647-1653, 2011.

SAMI, M.; ANNAMALAI, K.; WOOLDRIDGE, M. Co-firing of coal and biomass fuel blends. **Progress Energy Combustion Science**, v. 27, n. 2, p.171-214, 2001.

SANCHES, E. S.; MENDONÇA, F.M.; FEICHAS, S.A.Q. Análise de processo de gerenciamento de resíduos do setor de manutenção da área de pintura de montadora de automóveis: estudo de caso. In: ENEGEP, 33., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos**...Salvador,2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_185_056_22198.pdf. Acesso em: 09 ago. 2022.

SEIFFERT, M. B. **ISO 14001 Sistemas de Gestão Ambiental: implantação objetiva e econômica**. São Paulo: Atlas, 2005. 258p.

TACHIZAWA, T. **Gestão Ambiental e Responsabilidade Social Corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

TIBOR, T; FELDMAN, I. **ISO 14000: um guia para as novas normas de gestão ambiental**. São Paulo: Futura, 1996. 302p.

TOCCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais**. Química Industrial Santa Maria: UFSM. Disponível em: Disponível em: http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2012/04/gerenciamento-de-residuos-solidos-industriais.pdf. Acesso em: 9 ago. 2022.

VIEIRA, C.M.F.; INTORNE, S.C.; VERNILLI JR., F.; MONTEIRO, S.N. Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria. **Revista Matéria (UFRJ)**, v. 12, n. 2, p. 269-275. 2007.

ZEGHICHI, L. The effect of replacement of naturals agregates by slag products on the strength of concrete. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 7, p. 27-35, 2006.