

ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAL NO PROCESSO DE
PREPARAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO PARA INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA

CRISTIANO FARIAS COELHO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO – 2013

CRISTIANO FARIAS COELHO

**ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAL NO PROCESSO DE
PREPARAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO PARA INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Professora Gudelia Morales de Arica

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

30/2013

Coelho, Cristiano Farias

Análise de fluxo de material no processo de preparação do minério de ferro para indústria siderúrgica / Cristiano Farias Coelho. – Campos dos Goytacazes, 2013.

xii, 118 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia de Produção. Campos dos Goytacazes, 2013.

Orientador: Gudelia Guillermina Morales de Arica.

Área de concentração: Pesquisa operacional.

Bibliografia: f. 102-118.

1. GESTÃO AMBIENTAL 2. FILTRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO
3. PRODUÇÃO MAIS LIMPA 4. ECOLOGIA INDUSTRIAL 5.
SUSTENTABILIDADE I. Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia
de Produção II. Título.

CDD 658.408

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me conceder a dádiva da vida.

Aos meus pais, que sempre foram minha referência e os pilares da minha formação.

À minha irmã Christine Coelho, por compartilhar experiências da vida acadêmica e por me fazer acreditar que através da pesquisa podemos contribuir para um mundo melhor para todos.

À Juliana Barreto, pelo apoio incondicional e compreensão durante o tempo de dedicação aos estudos.

À professora Gudelia Morales, pela orientação e confiança na minha capacidade em desenvolver um bom trabalho.

Ao amigo Júlio Manhães, com seus conselhos para trilhar uma carreira de sucesso.

À Samarco Mineração e seus colaboradores: os engenheiros Marco Muniz Gamaro e Thiago Lucas da Silva, pela colaboração na apresentação do processo da empresa; à Rafaela Castro, analista de Relações Institucionais, por permitir a pesquisa com o acesso à empresa e indicação daqueles profissionais para me auxiliarem; e ao Thiago Doellinger, chefe do Departamento de Engenharia de Processos da Samarco, pelo suporte fornecido sempre que a ele recorri.

À Anglo American e seus colaboradores: os engenheiros Marcelo Nazaro e Gabriel Ferreira, pela amizade e auxílio no conhecimento técnico do empreendimento planta de filtragem; à analista ambiental Luciana Berta, pelo apoio num dos momentos mais decisivos do curso; e ao Gerente de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Dr. Leonardo Mitre, pela enorme contribuição na avaliação deste trabalho.

Ao Roberto da Rocha Brito, Gerente de Desenvolvimento de Gestão Integrada de Território do Grupo EBX, por atender a todas minhas solicitações de suporte à pesquisa.

À analista de responsabilidade social da LLX Açú, Danielle Viana de Araújo, pela prestatividade em ajudar.

Ao Wanderson Primo de Sousa, coordenador de Relacionamentos com Comunidades e Meio Ambiente da LLX Minas-Rio, por ter buscado entender a pesquisa e me direcionar para o setor apropriado.

Aos professores e funcionários do LEPROD, em particular a Kátia pela assistência e amizade, e à professora Jacqueline Cortes, pela motivação para que eu participasse da seleção para a bolsa de Apoio ao Ensino de Graduação da UENF, durante o mestrado, meu primeiro (e maravilhoso) contato com a docência.

A UENF, pela oportunidade de cursar o mestrado.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Visão geral do problema de pesquisa.....	15
1.3 Objetivos do estudo	15
1.3.1 Objetivos gerais	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Justificativas da pesquisa	16
1.5 Metodologia de pesquisa	17
1.6 Procedimento para alcançar os objetivos específicos da dissertação	19
1.7 Estrutura da dissertação	21
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Ecologia Industrial.....	22
2.2 Ecoeficiência	24
2.3 Produção mais Limpa (P+L)	25
2.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	30
2.5 Análise de Fluxo de Material (AFM).....	33
2.6 Logística Reversa	37
2.7 Relação entre os termos apresentados	42
2.8 Políticas públicas	43
2.9 Usos e destinação dos produtos da mineração de ferro	47
2.10 O processo produtivo do minério de ferro	48
2.11 Reservas mundiais, produção, exportação e importação brasileira de minério de ferro de produtos manufaturados	51
CAPÍTULO 3. OBJETOS DE ESTUDO.....	58
3.1 A cadeia produtiva da Samarco Mineração S.A.	58
3.2 O fluxo do minério de ferro no processo de pelotização da Samarco Mineração S.A.	59
3.3 Contexto industrial onde se localiza a instalação da Planta de Filtragem.....	62
3.3.1 Caracterização da futura atividade da unidade de estudo	63
CAPÍTULO 4. ANÁLISE E RESULTADOS	70
4.1 A Samarco Mineração S/A.	70
4.1.1 Revisão de indicadores de Ecoeficiência da SAMARCO MINERAÇÃO S/A.....	70
4.1.2 Proposta de uma Análise de Fluxo de Material (AFM).....	75
4.1.3 Avaliação de Produção mais Limpa (P+L)	79
4.2 A Anglo American	85
4.2.1 O processo de filtragem	86
4.2.2 Diferentes tecnologias e equipamentos na implantação da planta de filtragem	89
4.2.3 Etapa de embarque do minério para exportação	96
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES	97
LIMITAÇÕES DA PESQUISA	100
SUGESTÕES DE TEMAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAE - Avaliação Ambiental Estratégica
ACV – Avaliação de Ciclo de Vida
AFM – Análise de Fluxo de Material
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CNTL – Conselho Nacional de Tecnologias Limpas
CO₂ - Dióxido de Carbono
CO₂eq - emissões equivalentes a dióxido de carbono
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral
CLIPA - Complexo Logístico-Industrial Porto do Açu
CODIN - Companhia de Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro
CP – Controle de Poluição
CSN - Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD – Companhia Vale do Rio Doce
DISJB - Distrito Industrial de São João da Barra
DMI – *Direct Material Input*
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral
DPO - *Domestic Processed Output*
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
ESP - *Electrostatic Precipitators*
ETA - Estação de Tratamento de Água
ETEI - Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
Fe - Ferro
Fe₂O₃ - Hematita
FOB - *Free on Board* (valor negociado, livre de custos de importação)
GGE - Gases de Efeito Estufa
GWh - GigaWatt hora
HF – Fluoreto de hidrogênio
h/d - horas por dia
IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IPM - Índice de Produção Mineral
ISO - *International Organization for Standardization*
LKAB - Luossavaara Kirunavaara AB
m - metro
m³ - metro cúbico
m³ /h - metros cúbicos por hora
M – Mega (10⁶)
MCT – Ministério das Ciências e Tecnologia
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

mm - milímetros
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério das Minas e Energia
MWh – MegaWatt hora
NBR – Norma Brasileira
NOx – derivados de óxido de nitrogênio
P+L – Produção mais Limpa
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PIB – Produto Interno Bruto
PP - Prevenção de Poluição
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
ROM - *Run of Mining* (minério bruto)
SiO₂ - Quartzo
SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente
SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente
SO₂ - Dióxido de Enxofre
t/H/a – toneladas de produção por homem em um ano
t - tonelada
TDO - *Total Domestic Output*
TMR - *Total Material Required*
tms – tonelada por métrica seca
uH - unidades Hazen de cor
UNEP – *United Nations Environment Programme*
UTE - Usina Termelétrica
WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*
ZIPA - Zona Industrial do Porto do Açú

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática genérica de metodologia de pesquisa.	18
Figura 2. Representação esquemática do procedimento metodológico de pesquisa utilizado.	20
Figura 3. Elementos da Ecologia Industrial.	23
Figura 4. Escopo de atuação da P+L.	27
Figura 5. Rotas para os materiais poluentes para um processo de produção siderúrgica.	29
Figura 6. Ciclo de vida ambiental do produto - Fluxo Geral de Materiais do Berço ao Berço.	31
Figura 7. Fases de um ACV.	32
Figura 8. Cadeia de valor e dos fluxos na indústria mineral em geral.	34
Figura 9. Fluxo de materiais de uma economia ampla.	35
Figura 10. Produção Mineral Mundial e o total de “fluxos ocultos” da commodity de Ferro.	36
Figura 11. Processo Logístico: Direto e Reverso.	37
Figura 12. Atuação da Logística Reversa.	40
Figura 13. Granulado (<i>Lump</i>).	47
Figura 14. Pellet Feed.	47
Figura 15. Sinter.	48
Figura 16. Pellet.	48
Figura 17. Fluxograma geral do processo produtivo da Samarco.	59
Figura 18. Fluxograma do Processo de Pelotização do Minério de Ferro.	61
Figura 19. ZIPA + DISJB = CLIPA.	62
Figura 20. Estrutura societária da LLX Logística e subsidiárias.	63
Figura 21. Esquema prático da planta de filtragem do Porto de Minério do Açu, Sistema Minas-Rio.	65
Figura 22. Esquema do processo de filtragem da Anglo American, Sistema Minas-Rio.	66
Figura 23. Clarificador, à esquerda da foto, e Espessador, à direita da foto. Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio.	67
Figura 24. Tanques de homogeneização. Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio.	68
Figura 25. Canaletas (grades no chão) para recolhimento de efluentes (à esquerda) e Caixa coletora de efluentes e detalhe da bomba para drenagem ao Clarificador (à direita). Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio.	68
Figura 26. Vista aérea mais recente da fase de obras da Planta de Filtragem da Anglo American.	69
Figura 27. Esquema do processo produtivo da Samarco, na Unidade de Ubu.	70
Figura 28. Cadeia de valor e dos fluxos na indústria mineral em geral.	75
Figura 29. Mapeamento de processo. Fluxograma e legenda do processo produtivo da Samarco. ...	78
Figura 30. Análise quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo Samarco.	79
Figura 31. Esquema simplificado das emissões do processo de pelotização.	82
Figura 32. Torre de Transferência enclausurada.	83
Figura 33. Coletor de pó.	83
Figura 34. Precipitador Eletrostático na Samarco.	84
Figura 35. <i>Wind fence</i>	85
Figura 36. Esquema simplificado do processo de filtragem da Anglo.	85

Figura 37. Mapeamento de processo. Fluxograma e legenda do processo produtivo projetado da planta de filtração, da Anglo American.....	87
Figura 38. Análise quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo da Planta de Filtração, da Anglo American.	89
Figura 39. Filtros Ceramec.....	90
Figura 40. Clareza da água após filtração. Na esquerda, utilizando o filtro cerâmico de ação capilar e na direita, o filtro de discos giratórios a vácuo (mais comumente encontrado na indústria).	91
Figura 41. Fluxo da filtração da polpa de minério no projeto original da Planta de Filtração, Sistema Minas-Rio.	93
Figura 42. Alteração do fluxo da filtração da polpa de minério da Planta de Filtração, Sistema Minas-Rio.	94
Figura 43. Modelagem do Moinho da etapa de beneficiamento do minério.	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolução do PIB previsto até o ano de 2035 para as regiões Norte e Noroeste Fluminense.	14
Gráfico 2. Produção de pelotas de ferro no Brasil.	52
Gráfico 3. Distribuição das Exportações por Produtos (2º semestre de 2011).	54
Gráfico 4. Principais Países de Destino das Exportações no segundo semestre de 2011.	54
Gráfico 5. Saldo do Mercado de minério de Ferro.	55
Gráfico 6. Investimento Privado em Pesquisa Mineral em 2009 e 2010.	57
Gráfico 7. Relação entre a capacidade dos filtros (kg/m ² /h) e percentagem de sólido (%) separado..	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparação de características das técnicas e metodologias ambientais.	43
Quadro 2. Saldo do Mercado de minério de Ferro.....	56
Quadro 3. Indicadores de ecoeficiência da Samarco.	74
Quadro 4. Matriz <i>Input-Output</i> do processo produtivo da Samarco, na Unidade de Ubu.	77
Quadro 5. Tabela de matérias-primas, insumos e auxiliares.	80
Quadro 6. Tabela de subprodutos, resíduos, efluentes e emissões.	80
Quadro 7. Matriz Input-Output do processo produtivo projetado da Planta de Filtragem da Anglo American.	86
Quadro 8. Medição de Produtividade em um ano de produção projetada da planta de filtragem, da Anglo American	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tonelagem total de materiais requeridos (incluindo fluxos ocultos) para produzir 1 tonelada da <i>commodity</i> selecionada.....	36
Tabela 2. Comparação entre os Fluxos Logísticos Direto e Reverso.....	38
Tabela 3. Reserva e produção de minério de ferro nacional e mundial	51
Tabela 4. Principais estatísticas dos produtos de minério de ferro – Brasil.....	53
Tabela 5. Água reciclada e reutilizada (m ³)(%) na Samarco entre 2009 e 2011.	71
Tabela 6. Consumo de energia elétrica da Samarco entre 2009 e 2011.....	72
Tabela 7. Evolução da Produção na Samarco entre 2009 e 2011.....	73

RESUMO

O aumento do custo de insumos de produção impele as organizações a readequarem suas práticas operacionais para reaproveitamento de seus resíduos. Quando isso não é possível, a prática de prevenção da poluição ocorre com uma disposição final ecologicamente aceitável dos rejeitos. Essas estratégias, ambientais e competitivas, resultam em contribuições significativas para as empresas, uma vez que elas podem reduzir custos e agregam valor perceptível aos seus clientes e consumidores finais. Com isso, este trabalho se propõe a abordar alguns resíduos e o uso de recursos hídricos no processo de preparação de minério de ferro para exportação/siderurgia, baseado em uma indústria de grande experiência no mercado. A intenção é analisar as melhores práticas desenvolvidas, que possam servir de parâmetro em atividades da mesma natureza, atuais e futuras, a exemplo de um empreendimento de filtragem da polpa de minério de ferro em fase final de construção. Neste contexto, apresenta-se uma revisão bibliográfica de iniciativas em gerenciamento de resíduos e recursos hídricos no setor, sob a perspectiva da Análise de Fluxo de Material, além de outras ferramentas de gestão ambiental. A análise dos dados verificou que ainda há desperdício no aproveitamento de insumos durante o processo produtivo e a ênfase ainda é dada no controle, e não na prevenção, da poluição. Fundamentado nos resultados e experiências de sucesso, reportados pela literatura e através de pesquisa em campo, a contribuição desta pesquisa se baseia na apresentação de oportunidades sustentáveis e competitivas, através de um planejamento de gestão ambiental.

Palavras-chave: Gestão Ambiental, Filtragem de minério de ferro, Produção mais Limpa, Ecologia Industrial, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The rising cost of production inputs impels organizations readapt operating practices for the reuse of waste. This implies prevention of pollution, as they reduce their waste, and when the lead for a final disposition ecologically acceptable. These strategies, competitive environment and result in significant contributions to companies, since they reduce costs and add value to their customers noticeable and consumers. Thus, this paper aims to address some waste and use of water resources in the process of preparation of iron ore for export / steel, based on an industry-wide market experience. The intention is to analyze best practices developed, which may serve as a parameter in activities of the same nature, current and future, like a venture of filtering the pulp iron ore in the final stages of construction. In this context, we present a literature review of initiatives in waste management and water resources in the industry, from the perspective of Material Flow Analysis, and other environmental management tools. Data analysis provides that there is waste in the use of inputs in the production process and the emphasis is still in control, and not on prevention of pollution. Based on the results and experiences of success, reported in the literature and through field research, the contribution of this research is based on the presentation of sustainable and competitive opportunities through an environmental management plan.

Keywords: Environmental management, Iron ore filtering, Cleaner production, Industrial Ecology, Sustainability.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A adição de valor econômico aos materiais brutos por meio de estratégias de diferenciação e de diversificação de produtos permite gerar cadeias produtivas a partir de vantagens competitivas dinâmicas. Uma das contribuições da mineração para o desenvolvimento brasileiro é a de ser um articulador de setores-chave da economia (siderurgia, metalurgia, etc.) que têm a capacidade de potencializar ciclos de expansão para a geração de renda, de emprego, de tributos e de excedentes exportáveis no país (MMA, 2008).

O minério de ferro é o principal componente na fabricação do aço, o metal mais utilizado no mundo, que é empregado desde a construção civil até a fabricação de utensílios domésticos.

As exportações têm sido a grande alavanca da produção interna de minério de ferro no Brasil. A principal justificativa disso são as importações chinesas que assumiram o papel de grande importador do minério de ferro brasileiro a partir de 2002. A China que em 2001, comprava 20,3 Mt (mega toneladas) passou a comprar em 2007 um total de 89,0 Mt, um crescimento surpreendente de 338% nesses 6 anos (MME, 2009b).

Devido à grande e crescente demanda de ferro provocada pela ascensão econômica da China, novos investidores interessados, os chamados *players*, vão surgindo para suprir a necessidade de expansão do mercado de exportação de minérios.

Por conta disso, hoje há em andamento no Brasil, a construção, em São João da Barra, no norte do Estado do Rio de Janeiro, de um empreendimento em consonância com os mais modernos conceitos desenvolvidos pelo *Supply Chain Management* – SCM, ou Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, com o projeto de logística integrada, ao englobar a construção de mineroduto e terminal portuário próprios. Isso implica diretamente na minimização de custos, além de identificar oportunidades de ganho.

A LLX Logística S. A., do Grupo EBX, responsável pela implantação do Complexo Logístico - Industrial Porto do Açu (CLIPA), responde em parceria com o Sistema Minas-Rio, da Anglo American, que é formado pela reserva mineral e as plantas de beneficiamento de minério, sistema de transporte de polpa de minério por meio de

mineroduto e pelo terminal LLX Minas-Rio, o complexo de recepção, filtragem, armazenagem e expedição do minério de ferro (VERAX, 2010).

Os empreendimentos do Complexo estão sendo planejados para operarem de modo autossuficiente e depois de concluídos devem promover alterações na região de grande impacto e em todos os aspectos: social, econômico, ambiental e cultural. Porém, possivelmente, o maior deles será o aspecto econômico.

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN (2009), a projeção do crescimento para o valor adicionado da economia das Regiões, Produto Interno Bruto (PIB), assumindo que as economias regionais cresçam na hipótese média para o Brasil, à época do estudo, a uma taxa constante de 4,5% a.a. pode ser visualizada no gráfico seguinte:

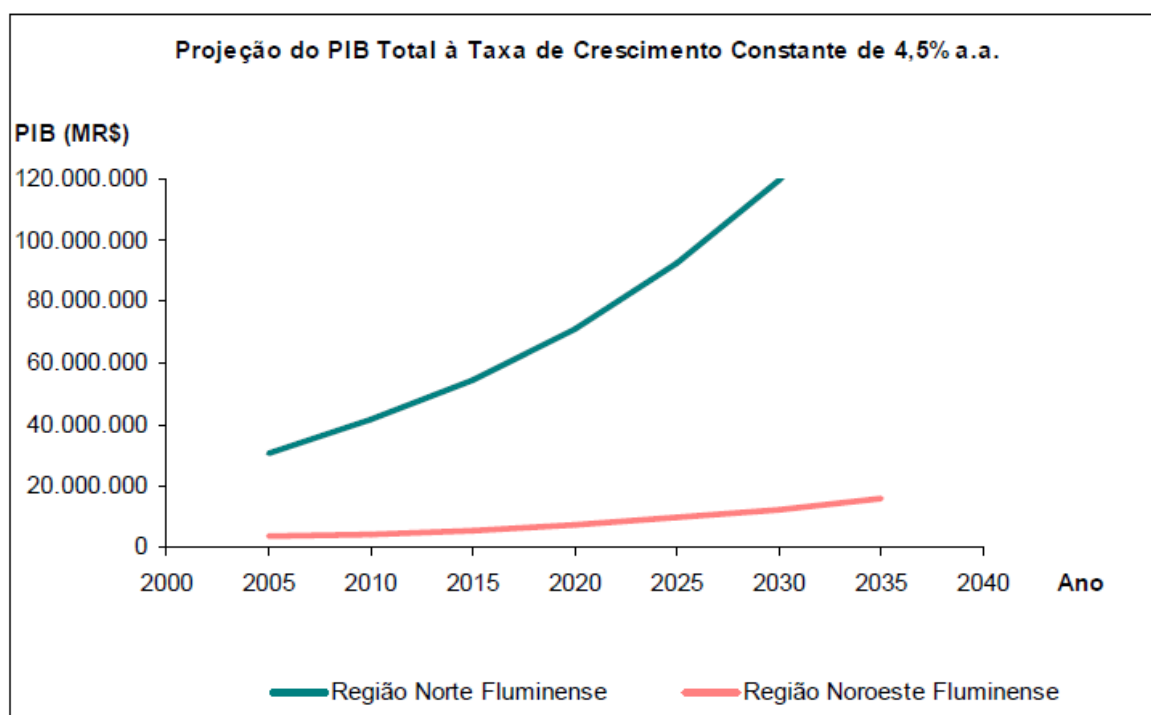


Gráfico 1. Evolução do PIB previsto até o ano de 2035 para as regiões Norte e Noroeste Fluminense.

Fonte: FIRJAN, 2009.

Considerando-se a eficiência na sinergia logística para dar suporte aos novos investimentos, pode-se presumir que é possível uma perspectiva de próspero desenvolvimento na região norte fluminense, desde que seja levada em conta a gestão em sintonia com os princípios de sustentabilidade econômica, social e ambiental.

1.2 Visão geral do problema de pesquisa

Embora haja uma preocupação geral em se evitarem ocorrências de impacto ambiental, essas continuam a aparecer principalmente pelo fato de grande parte dos processos produtivos serem intrinsecamente poluentes.

Somados às pressões da sociedade, cada vez mais conscientes, a nova legislação ambiental, que acompanha as mudanças de uma população melhor informada, as empresas devem criar e incorporar ações voltadas à preservação do meio ambiente. Estas ações, bem identificadas na política do desenvolvimento das empresas, podem virar motivo de *marketing*, por conta da identificação do diferencial, gerando valor sobre as concorrentes.

Desta forma, a principal motivação da presente pesquisa se tornou a perspectiva de utilizar ferramentas ambientais e conceitos de Programação de Produção mais Limpa e Logística Reversa, para responder: **Como minimizar custos e identificar oportunidades sustentáveis no gerenciamento de recursos hídricos e resíduos em um ambiente de preparação mineral do ferro para indústria siderúrgica?**

Para isso, recorre-se neste trabalho aos princípios de Ecologia Industrial e do Programa de Produção mais Limpa (P+L), que servem como base para uma avaliação e comparação dos processos mais importantes de produção de minério de ferro e suas tendências tecnológicas, em uma perspectiva que inclui as plantas de pelotização, baseado em melhores práticas desenvolvidas pela Samarco Mineração S.A., e de filtragem, futura atividade da Anglo American no Complexo Logístico - Industrial do Porto do Açú, e que pode se servir desta pesquisa para suporte na tomada de decisões. Para as primeiras, o foco é direcionado para emissões atmosféricas, enquanto para a segunda, o enfoque é dado no reaproveitamento dos recursos hídricos.

1.3 Objetivos do estudo

1.3.1 Objetivos gerais

Apresentar um estudo descritivo em relação ao que é hoje desenvolvido pela Samarco Mineração S.A. (considerada exclusiva no Brasil quanto à operação integrada que executa utilizando minerodutos) na fase de transformação do minério

de ferro para a indústria siderúrgica, no tocante aos subprodutos gerados e gestão do recurso hídrico, para servir de parâmetro na futura atuação da Planta de Filtragem da Anglo American, que terá início com a operação do Porto de Minério do Açu, com vistas a proporcionar contribuições ambientais e competitivas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Divulgar os conceitos relacionados à Ecologia Industrial e Produção mais Limpa, e disseminar suas importâncias;
- Identificar os resíduos gerados durante a preparação do minério de ferro para indústria siderúrgica e transporte para embarque em navios para exportação;
- Identificar subaproveitamento da matéria-prima no processo, para propor soluções de condicionamento dos aparelhos produtivos;
- Identificar ações quanto à gestão da água doce, principal e maior recurso renovável, porém limitado, utilizado na atividade de transformação do minério de ferro.

1.4 Justificativas da pesquisa

Segundo Farias (2002), todas as universidades brasileiras estudam e desenvolvem trabalhos ligados à questão ambiental, porém são poucas aquelas que tratam de tecnologia ambiental/mineração, dentre essas se destacam: USP, UFRJ, UNESP, UFOP, UFMG, UFRS e UNICAMP. Essas universidades dispõem de profissionais de alta qualificação e de reconhecimento internacional pela qualidade dos trabalhos executados.

O reconhecimento que parte do processo de transformação do minério de ferro será definitivamente incorporada à vocação da região, ao passo que a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF tem se destacado no cenário nacional pela excelência no ensino, faz-se necessário incluir no rol de suas pesquisas este novo tipo de atividade na região e os impactos ambientais que podem provocar.

Na busca de soluções viáveis para disposição final de resíduos ou subprodutos, assim como a reutilização deles, são analisadas as possibilidades de aplicação de algumas ferramentas de gestão ambiental, numa ação conjunta, quando viável, com

a metodologia de logística reversa, na cadeia produtiva do minério de ferro, com ênfase na filtragem do minério de ferro (futura atividade de um porto de minério em fase final de construção, localizado no município de São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro), baseado no processo de pelotização (produção de ferro concentrado em forma de pelotas para exportação) em uma empresa atuante no mercado há mais de 30 anos.

1.5 Metodologia de pesquisa

O desenvolvimento da pesquisa se iniciou com o método da pesquisa exploratória, visando uma melhor compreensão, sob a ótica de ferramentas ambientais, das questões relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos e resíduos em atividades de preparação de minério de ferro para a indústria siderúrgica e do perfil do setor de mineração, por meio de pesquisa bibliográfica e documental e trabalho em campo.

O objeto de estudo deste trabalho foi a Planta de Filtragem do Porto de Minério do Açú, em São João da Barra-RJ, em fase final de construção, e os procedimentos metodológicos utilizados foram baseados nos condicionantes da pesquisa de natureza exploratória, conforme Gil (1999) define a sua presença, quando é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato. Nesse caso, normalmente o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil formular hipóteses precisas e operacionáveis. Uma característica diferenciada da pesquisa exploratória consiste no aprofundamento de conceitos preliminares sobre determinada temática não contemplada anteriormente. Assim, contribui para o esclarecimento de questões superficialmente abordadas sobre o assunto.

Por se tratar de uma pesquisa exploratória, a função do seu objetivo é gerar conhecimento para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos (CERVO; BERVIAN, 2009). Andrade (2002) ressalta ainda algumas finalidades primordiais da pesquisa exploratória, tais como: proporcionar maiores informações sobre o assunto que vai investigar, facilitar a delimitação do tema de pesquisa, orientar a fixação dos objetivos e a formulação de hipóteses, ou descobrir um novo tipo de enfoque sobre o assunto.

A pesquisa descritiva qualitativa se deu pela pesquisa bibliográfica que, de acordo com Lakatos e Marconi (1991), procura explicar um problema a partir de referências

teóricas publicadas em documentos, sendo o meio eletrônico o mais utilizado neste trabalho, e busca conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas existentes sobre um determinado assunto, tema ou problema.

Dane (1990) evidencia a importância da pesquisa de campo como sendo um rótulo que pode ser atribuído a uma coleção de métodos de pesquisa que envolve a observação direta de ocorrências de eventos naturais. A pesquisa de campo, do tipo participante-observador, tem como característica que todos os envolvidos sabem que quem aplica o questionário é um pesquisador e que ele influencia e participa diretamente nas ações do fenômeno.

Este estudo pode ser considerado não experimental, uma vez que os fenômenos foram observados em seu ambiente natural e só depois analisados (SAMPIERI *et al.*, 2006), conforme Manhães (2011) esquematiza na Figura 1.

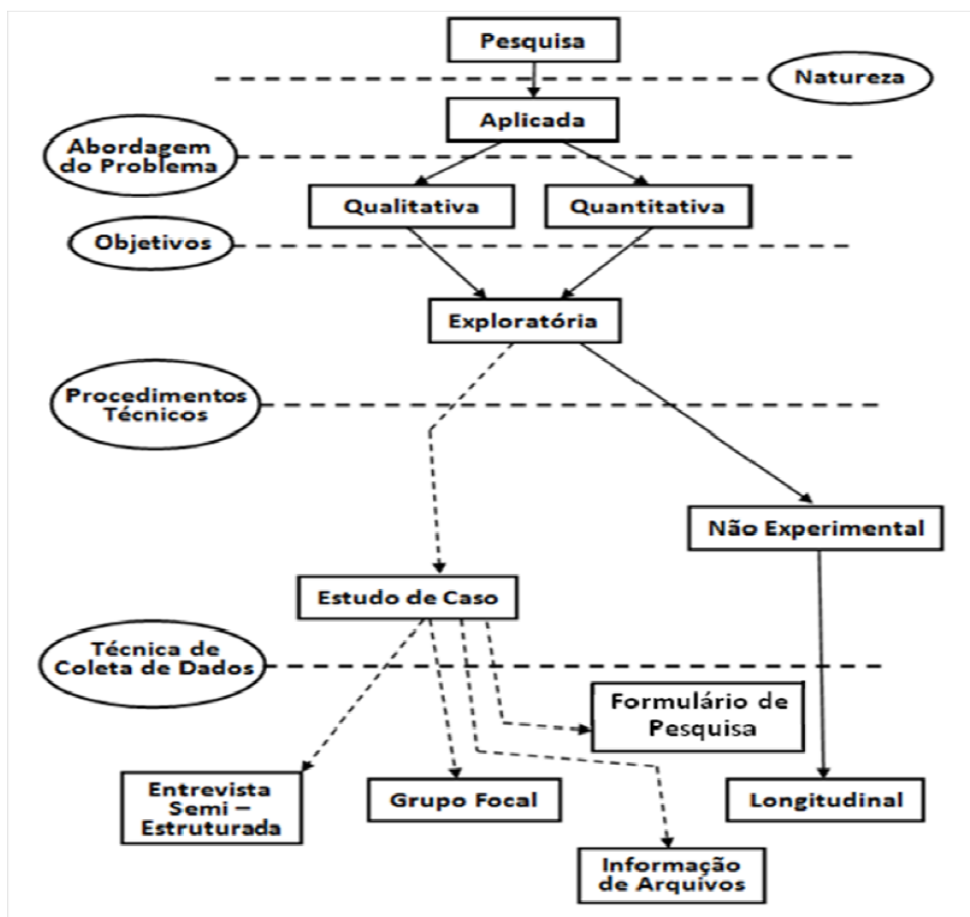


Figura 1. Representação esquemática genérica de metodologia de pesquisa.

Fonte: MANHÃES, 2011.

Dentro da linha não experimental, pode-se dizer que o estudo apresentado nesta dissertação foi longitudinal, categoria cuja principal característica é onde os dados

são coletados em diferentes pontos ao longo do tempo, uma vez que o autor acompanhou os estágios de construção do Porto de Minério do Açú, desde a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de graduação em Engenharia de Produção em 2010, com visita a campo naquele mesmo ano. Foram realizadas mais uma pesquisa em campo no primeiro ano do curso de mestrado, em 2011; quatro visitas no ano de redação deste trabalho (2012), e a última, em janeiro de 2013.

1.6 Procedimento para alcançar os objetivos específicos da dissertação

Devido a empresa Samarco Mineração S.A. ser atualmente a única em produção, tratamento, transporte por minerodutos e exportação de minério de ferro no Brasil (por meio de porto próprio na Ponta de Ubu, Anchieta, no Estado do Espírito Santo), são realizadas análises avaliativas em que pretende atuar o Sistema Minas-Rio da Anglo American, na busca de identificar oportunidades sustentáveis e competitivas que sirvam para este e outros empreendimentos similares que venham a entrar em operação. Este procedimento é defendido por Pagliuso (2005), pois envolve um processo de avaliação dos produtos, serviços e processos de trabalho de uma organização reconhecida como representante das melhores práticas com a finalidade de comparar desempenhos e identificar oportunidades de implementação de melhoria em outras organizações que poderiam se espelhar nela.

Espera-se com isso propor soluções viáveis e criativas, a partir do aprendizado de práticas reconhecidas.

A pesquisa exploratória apoiada por pesquisa em campo, com visita à Unidade Industrial de Ubu onde ocorre a pelotização do ferro e embarque para exportação, em 03/03/2012, foi complementada pela pesquisa descritiva qualitativa, que proporcionou a coleta de dados, por meio de entrevistas com questionário do tipo aberto realizado com os gestores das empresas Samarco e Anglo American. O resultado das entrevistas realizadas com profissionais de destaque e lideranças no setor serviu para esclarecer sobre os principais pontos do processo de preparação do minério de ferro para indústria siderúrgica onde pode haver desperdícios e as providências tomadas no sentido de extingui-los, ao menos, minimizá-los.

Uma vez que a pesquisa descritiva abrange a bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, as principais fontes dos dados quantitativos foram

obtidas através do Relatório Anual de Sustentabilidade 2011 e do Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras 2011 da Samarco. A partir delas foi possível identificar e selecionar oportunidades de cunho ambiental e competitivo no processo na unidade industrial da empresa em Ubu, sob a ótica da Ecologia Industrial e da técnica de Produção mais Limpa.

Depois de fazer o levantamento das principais ferramentas de gestão ambiental, a Análise de Fluxo de Material (AFM) se apresentou como a que melhor se adequava ao tipo de pesquisa a que esse estudo se dedicou realizar.

Então, após a coleta, os dados foram tratados quantitativamente segundo os procedimentos metodológicos da ferramenta AFM, para ser possível se chegar aos resultados da pesquisa.

A Figura 2, a seguir, mostra a representação esquemática do procedimento metodológico adotado nesta pesquisa, com o propósito de alcançar os objetivos específicos da dissertação.

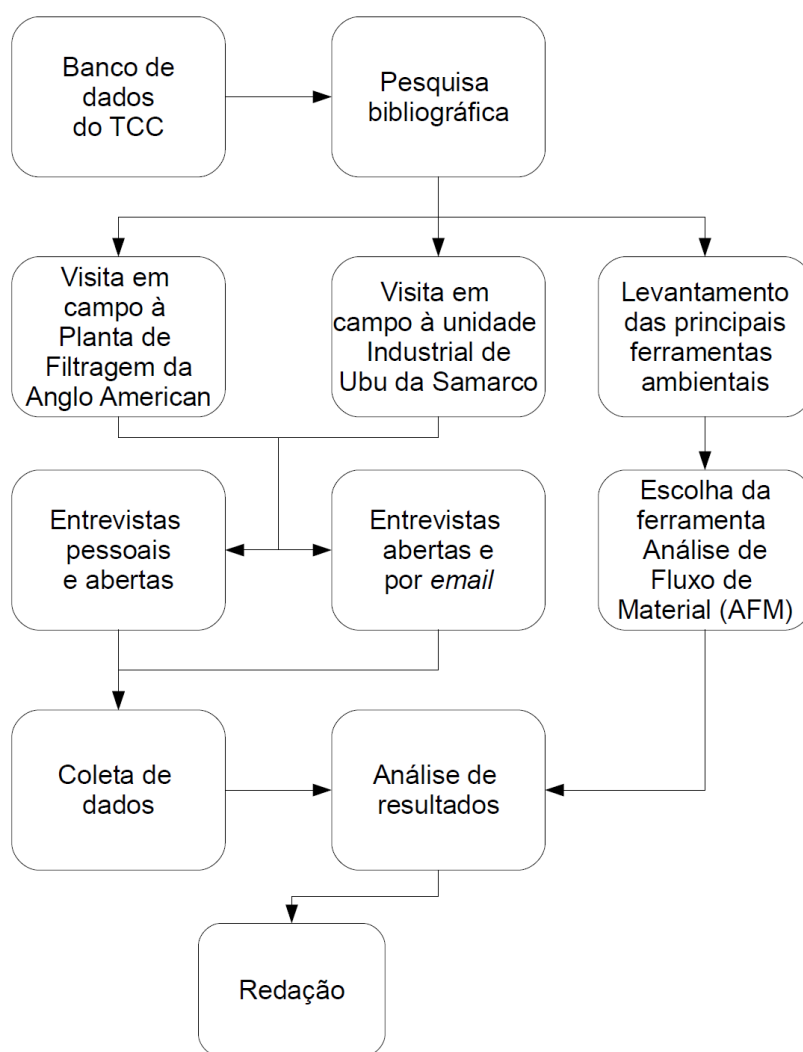


Figura 2. Representação esquemática do procedimento metodológico de pesquisa utilizado.

1.7 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, além das referências bibliográficas. Os próximos capítulos são apresentados sucintamente a seguir.

CAPÍTULO 2 – é apresentada a fundamentação teórica, baseada nas estratégias da Ecologia Industrial e da Produção mais Limpa. São expostas também algumas das legislações ambientais concernentes à atividade sob estudo. São apresentados os usos e a destinação dos produtos da mineração de ferro, e também é levantado o panorama nacional e mundial do setor mineral

CAPÍTULO 3 – é apresentado o processo produtivo da unidade pelletizadora em operação que serve de parâmetro nesse estudo; é explicado o contexto industrial em que se insere a unidade de estudo, para então, por fim, ser possível caracterizá-la.

CAPÍTULO 4 – é feita uma discussão sobre as práticas de Ecologia Industrial e Produção mais Limpa (P+L) desenvolvidas pela Samarco Mineração S/A; são realizadas a análise e a interpretação dos resultados obtidos para a obtenção do objetivo da pesquisa.

CAPÍTULO 5 – são apresentadas as limitações do trabalho, as considerações finais, as conclusões da pesquisa e as perspectivas abertas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo se apresenta a fundamentação teórica no que se sustenta o ponto de vista econômico e ambiental a ser dado na preparação do minério de ferro para indústria siderúrgica. Dentre as estratégias com esse propósito, a Ecologia Industrial e a Produção mais Limpa buscam conciliar as atividades de produção com a capacidade de suporte do planeta. É explicado o processo produtivo do minério de ferro, suas aplicações e destinação, assim como são apresentados os panoramas nacional e mundial deste setor mineral.

2.1 Ecologia Industrial

Uma das primeiras referências a Ecologia Industrial é encontrada em Frosch e Gallopoulos (1989), que definiram o ecossistema industrial como a transformação do modelo tradicional de atividade industrial, no qual cada fábrica, individualmente, demanda matérias-primas e gera produtos a serem vendidos e resíduos a serem depositados, para um sistema mais integrado, no qual o consumo de energia e materiais é otimizado e os efluentes de um processo servem como matéria-prima de outro.

A partir das noções derivadas das Ciências Biológicas, a Ecologia Industrial concebe os ecossistemas industriais como um conjunto de unidades de produção e consumo no qual os fluxos energéticos e materiais perpassam as unidades tal como nos níveis nutricionais de um ecossistema natural (GRAEDEL, 1996).

Para tanto, uma base biofísica para esses sistemas industriais seria formada a partir de um metabolismo industrial, conceito inicialmente proposto por Ayres (1992), e que foi concebido como o conjunto integrado de processos físicos que convertem matérias-primas, energia e trabalho em produtos acabados, energia e resíduos.

De acordo com Allenby (1994), a Ecologia Industrial consiste em uma visão sistêmica das atividades econômicas e suas relações com os sistemas biológicos, químicos e físicos com o objetivo de alcançar e manter a espécie humana em um nível que pode ser sustentado indefinidamente, dadas as evoluções econômica, cultural e tecnológica.

Já os autores Jelinsky *et al.* (1992) são mais precisos ao definirem a Ecologia Industrial como uma nova abordagem para o projeto de produtos e processos e para

a implementação de estratégias de sistemas de produção industrial sustentáveis. Para eles, é um conceito em que os sistemas industriais são vistos em interação com o meio ambiente que o envolve, cujo objetivo é a otimização do ciclo de materiais, desde a extração até a disposição final.

A partir de analogias biológicas com ecossistemas naturais, a Ecologia Industrial identifica e propõe novos arranjos para os fluxos de energia e materiais em sistemas industriais, tendo como princípios básicos a busca de integração das atividades econômicas e a redução da degradação ambiental (COSTA, 2002).

De acordo com Lifset e Graedel (2002), o objetivo da Ecologia Industrial, simplificada, é melhorar e manter a qualidade do meio ambiente, o que implica sustentabilidade (entendida aqui como o uso racional de recursos naturais no atendimento das necessidades atuais da espécie humana, de modo que também sejam garantidos para as gerações futuras). Segundo eles, a Ecologia Industrial apresenta três abordagens ou níveis que são diferenciados pela sua escala de atuação (ver Figura 3): i) Dentro da empresa, exemplos: ecodesign, prevenção da poluição, ecoeficiência e contabilidade “verde”; ii) Entre empresas, exemplos: ecoparques (simbiose industrial) e avaliação do ciclo de vida; e iii) Escala regional, exemplos: análise de fluxo de materiais e energia e desmaterialização.

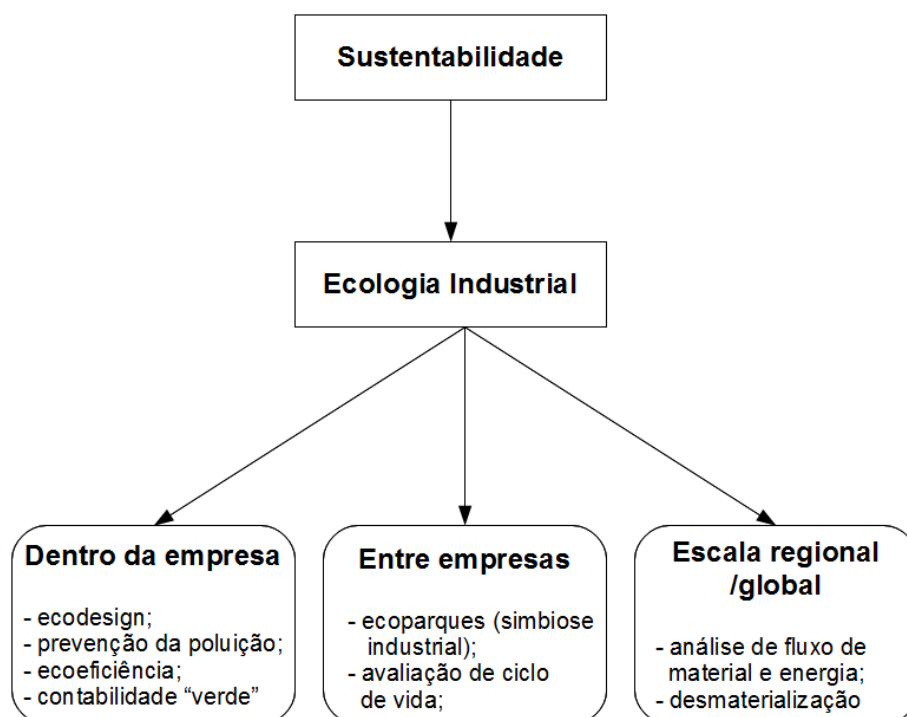


Figura 3. Elementos da Ecologia Industrial. Fonte: Adaptado de LIFSET; GRAEDEL, 2002.

Como pode ser observado, um problema evidente para a Ecologia Industrial é a sua amplitude, o que leva a inúmeros alcances e definições. O que se intenciona aqui é explorar alguns desses conceitos através de suas ferramentas, em cada um dos

níveis operacionais.

Dentro da empresa, apresentam-se a prevenção da poluição (o mesmo que Produção mais Limpa, como será visto adiante na seção 2.3) e a definição de ecoeficiência, que inclui não só os principais insumos (materiais, energia, água), mas também as saídas importantes para o meio ambiente (emissões para o ar, água e resíduo), relacionando-os com os produtos, serviços ou benefícios produzidos (VERFAILLIE *et al.*, 2000).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é apontada por Suh e Huppés (2005) como a ferramenta da Ecologia Industrial responsável pela avaliação e compilação das entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um produto durante seu ciclo de vida.

Para Bringezu e Moriguchi (2002), a Análise de Fluxo de Material se baseia no paradigma comum do metabolismo industrial e usa a metodologia do princípio de equilíbrio de massa. Para os autores, este paradigma forma o conceito de Ecologia Industrial, que se baseia na visão de um sistema industrial sustentável, caracterizada por trocas físicas minimizadas e consistentes entre a sociedade humana e o meio ambiente, com os ciclos de material interno impulsionados por fluxos de energia renovável.

2.2 Ecoeficiência

O conceito de ecoeficiência foi inicialmente introduzido pelo *World Business Council for Sustainable Development* - WBCSD (ou Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável) e se baseia na entrega de produtos e serviços com preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e melhorem a qualidade de vida, enquanto reduzem progressivamente os impactos ecológicos e a intensidade dos recursos ao longo de seu ciclo de vida para no mínimo manterem a capacidade de carga de recursos naturais estimada do Planeta (WBCSD, 1996).

Hoffrén e Apajalahti (2009) observaram que o consumo de recursos estava excedendo o reabastecimento e superando a capacidade do meio ambiente, particularmente em países industrializados, originando assim a ideia de ecoeficiência.

As empresas e indústrias possuem um papel muito relevante na busca do desenvolvimento econômico orientado pelos princípios de sustentabilidade, pois são

grandes consumidoras de matérias-primas em suas atividades, especialmente provenientes de recursos não renováveis extraídos da natureza. Portanto, parte-se do pressuposto que depende da iniciativa delas para que haja uma mudança de paradigma em direção à sustentabilidade, sendo a ecoeficiência uma dessas novas posturas.

Para Barbieri (2007), a ideia da ecoeficiência se baseia no fato de que a redução de materiais e energia por unidade de produto ou serviço aumenta a competitividade da empresa, da mesma forma em que reduz as pressões sobre o meio ambiente, seja como fonte de recurso, seja como depósito de resíduos.

Posto isso, o WBCSD (1996) afirma que uma empresa se tornaria ecoeficiente por meio de práticas voltadas para: redução da intensidade de consumo de materiais; redução da intensidade de consumo de energia; redução da dispersão de substâncias tóxicas; aumento da reciclabilidade dos seus materiais; maximização do uso de recursos renováveis; e extensão da durabilidade dos produtos.

Stock (1998) afirma que a melhor maneira de reduzir o desperdício é não criá-lo, nisso constitui a principal causa de esforços da ecoeficiência.

Posto isso, o WBCSD (1996) propõe o uso de indicadores para acompanhar o desempenho de ecoeficiência em uma organização produtiva, sendo representados genericamente pelo quociente entre o valor do produto ou serviço e a influência ambiental. Nesta razão, para o numerador podem ser utilizados valores em quantidades de bens ou de serviços produzidos (ou fornecidos aos clientes) ou unidades monetárias (venda de bens ou de prestação de serviços), enquanto o denominador pode ser estimado pelo consumo de energia, de materiais, de água, de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) entre outros.

2.3 Produção mais Limpa (P+L)

A Produção mais Limpa (P+L) é uma estratégia ambiental de aplicação contínua, integrada e preventiva para processos, produtos e serviços, para aumentar a eficiência global e reduzir os riscos às pessoas e ao meio ambiente (UNEP, 2002).

Fernandes *et al.* (2001) definem a Produção Mais Limpa como a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um

processo produtivo. Segundo o autor, a Produção Mais Limpa também pode ser chamada de Prevenção da Poluição, já que as técnicas utilizadas são basicamente as mesmas.

Oliveira Filho (2001) define a P + L como uma estratégia tecnológica de caráter permanente que exige ações contínuas e integradas para conservar energia e matéria-prima, substituir recursos não renováveis por renováveis e eliminar substâncias tóxicas, reduzindo desperdícios e a poluição resultante dos produtos e processos produtivos.

A necessidade de reduzir custos de produção, aumentar a eficiência e a competitividade, leva as empresas à adoção e implantação da Produção mais Limpa (P + L), que também contribui para a redução de multas e penalidades por poluição; facilita o acesso às linhas de crédito; melhora as condições de saúde e de segurança do trabalhador; melhora a imagem da empresa junto a consumidores, fornecedores e poder público; melhora o relacionamento com os órgãos ambientais e com a comunidade, além de proporcionar maior satisfação aos clientes (UNEP, 2002).

A prática do uso da Produção mais Limpa leva ao desenvolvimento e implantação de Tecnologias Limpas nos processos produtivos. Para introduzir técnicas de Produção mais Limpa em um processo produtivo, podem ser utilizadas várias estratégias, tendo em vista metas ambientais, econômicas e tecnológicas.

Para a CNTL (2002), a priorização destas metas é definida em cada empresa, através de seus profissionais e baseada em sua política gerencial. Assim, dependendo do caso, podem-se ter os fatores econômicos como ponto de sensibilização para a avaliação e definição de adaptação de um processo produtivo e a minimização de impactos ambientais passando a ser uma consequência, ou inversamente, os fatores ambientais serão prioritários e os aspectos econômicos tornar-se-ão consequência.

De acordo com o conceito proposto por Fernandes (2001), a Produção mais Limpa pressupõe quatro atitudes básicas. A primeira, e a mais importante, é a busca pela não geração de resíduos, através da racionalização das técnicas de produção. Quando o primeiro conceito não pode ser aplicado integralmente, a segunda atitude é a minimização da geração dos resíduos. Já o reaproveitamento dos resíduos no próprio processo de produção é a terceira atitude defendida pela Produção Mais Limpa, enquanto a quarta alternativa para a Produção mais Limpa é a reciclagem, com o aproveitamento das sobras ou do próprio produto para a geração de novos

materiais.

De acordo com a cartilha do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL, 2002), a prioridade da Produção mais Limpa (Figura 4) está no topo (à esquerda) do fluxograma: evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na sua impossibilidade, medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3).

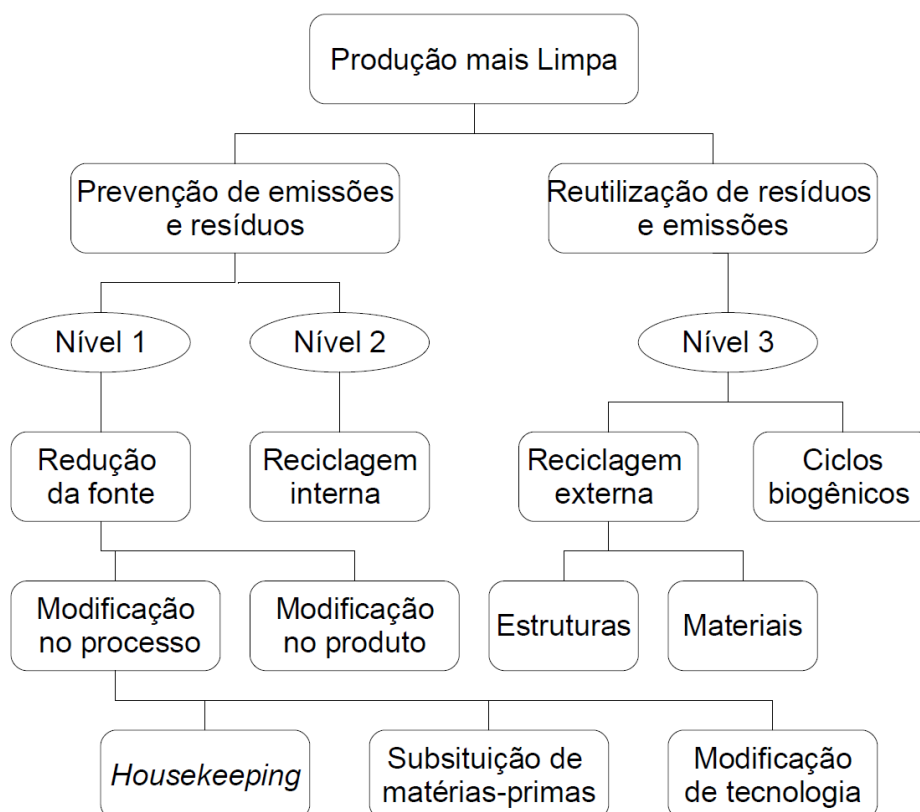


Figura 4. Escopo de atuação da P+L.

Fonte: Adaptado de CNTL, 2012.

Domingues e Paulino (2009) definem *housekeeping* como sendo as alterações nos processos internos usando criatividade, a um baixo custo, sem exigência de alterações tecnológicas significativas e que atendam às práticas de prevenção ou minimização de resíduos, efluentes e emissões; operação adequada de equipamentos e melhor organização interna.

De acordo com a Norma Brasileira - NBR 10004, resíduos sólidos se referem a todo material nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem

como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a). Quanto ao termo rejeito, baseado na mudança conceitual iniciada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), interpreta-se como sendo o resultado ao fim de um gerenciamento de resíduos sólidos, depois de esgotadas todas as alternativas de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento, e que necessita de uma disposição final ambientalmente adequada.

Costa (2002) ressalta que a ideia básica da P+L se apoia no reconhecimento de que o controle de poluentes após estes terem sido gerados (conhecido como *end-of pipe* ou fim de tubo) é mais caro do que a prevenção da poluição. O controle *end-of-pipe* significa a instalação de equipamentos como filtros, precipitadores, *scrubbers*, para o caso das emissões atmosféricas, pois recolhem e limpam os gases de exaustão nas diversas etapas do processo siderúrgico, porém depois exigem o tratamento dos efluentes líquidos oriundos da “lavagem” desses equipamentos, assim como a disposição adequada dos resíduos sólidos. As diversas rotas dos materiais poluentes para um processo de produção siderúrgico estão mostradas na Figura 5. O mesmo autor explica que no controle *end-of-pipe* uma substância poluente (pós de exaustão como emissões atmosféricas, por exemplo) após ter sido gerada pode resultar em uma mudança da substância para um outro meio, sem, no entanto, eliminar o problema (efluente líquido gerado a partir da lavagem dos gases controlados). Portanto, o fato de o controle não ser integralmente eficaz, além de envolver equipamentos e operações de alto custo levou à mudança de enfoque para o combate à poluição. O importante é achar maneiras de prevenir ou minimizar a geração da substância poluente.

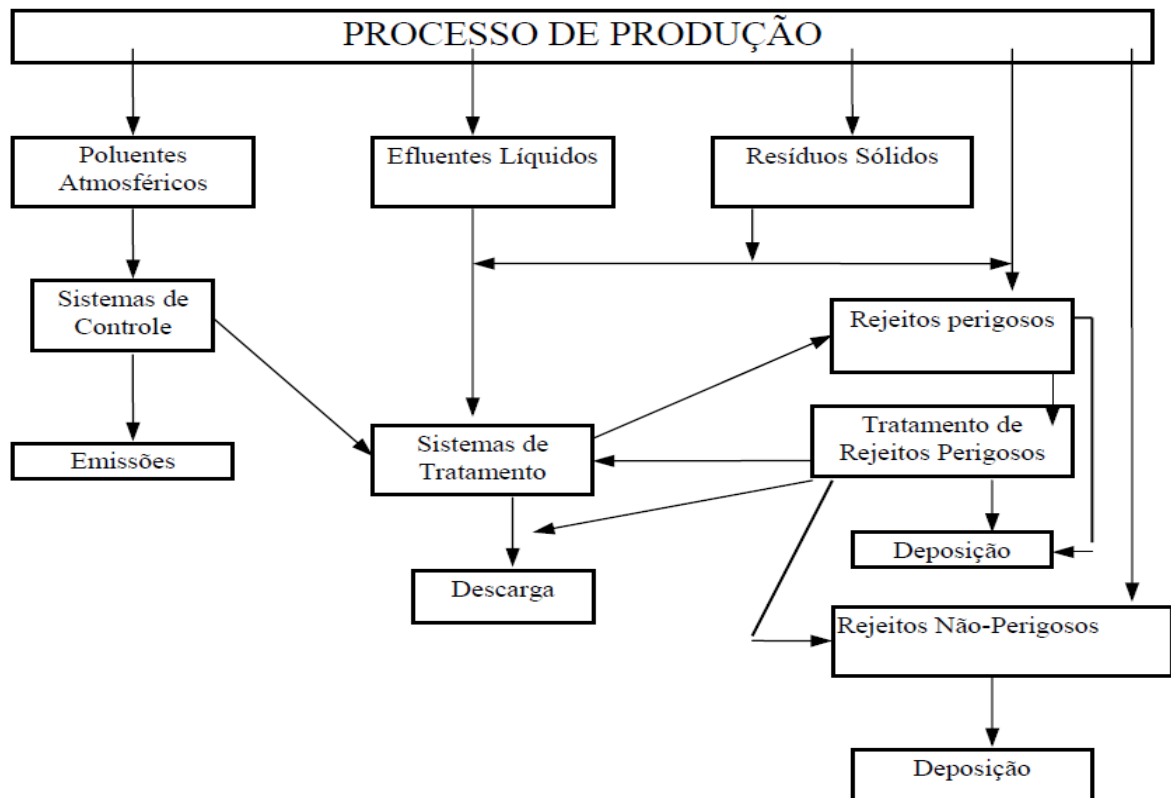


Figura 5. Rotas para os materiais poluentes para um processo de produção siderúrgica.

Fonte: COSTA, 2002.

Segundo pesquisa realizada por Costa (2002), as tecnologias de abatimento de poluentes atmosféricos são classificadas em dois grupos principais: Controle de Poluição (CP) e Prevenção de Poluição (PP). As tecnologias CP consistem basicamente em sistema de controle de gases. Existem quatro tipos principais:

- Ciclones, no qual as partículas são separadas do gás de exaustão por ação de forças centrífugas. Os ciclones podem apenas separar partículas da faixa superior de diâmetro e por isso apresentam menor eficiência de remoção;
- Precipitadores Eletrostáticos (*ESP-Electrostatic Precipitators*), nos quais uma carga elétrica é aplicada sobre as partículas presentes no gás, que permitem que estas sejam atraídas e capturadas por um eletrodo coletor. Os ESPs geralmente apresentam eficiências de remoção superiores a 90%, baixo consumo de energia, mas são inadequados para partículas de alta resistividade;
- *Scrubbers* Úmidos, que conseguem separar uma ampla faixa de poluentes pela “lavagem” do gás de exaustão com aspersão de água. Apresentam eficiências superiores a 90%, o gasto de energia é maior que para os ESPs e são necessários sistemas de tratamento para o efluente líquido ou lama formado, ou seja, para que a água seja limpa e retornada ao sistema; e
- Filtros, nos quais as partículas são separadas do gás de exaustão por intermédio de um material poroso, permitindo altas eficiências de remoção. O consumo de energia é

elevado e podem operar apenas para uma faixa limitada de temperatura e umidade dos gases (COSTA, 2002).

De modo geral os sistemas de limpeza operam com combinações destes dispositivos, incluindo não apenas a remoção de poluentes, mas também os dispositivos de coleta, necessários ao bom funcionamento dos primeiros. Muitos outros arranjos e técnicas são utilizados tais como a dessulfuração com cal, a desnitrificação por catálise e o processo de carbono ativado (EIPPCB, 1999).

No caso das tecnologias PP, Costa (2002) relaciona uma série disponível para todas as etapas de produção e podem ser classificadas como: i) Modificações tecnológicas, que incluem novos equipamentos, automação e mudança de layout; ii) Mudança ou redução de insumos, que incluem materiais e energéticos (medidas de eficiência energética); iii) Procedimentos operacionais e de manutenção; iv) Reciclagem interna.

As organizações produtivas muitas vezes enfrentam dificuldades na aquisição de tecnologia, na manutenção de equipamentos e nem sempre é economicamente viável a obtenção de matérias-primas e insumos de melhor qualidade, para atender aos princípios estipulados na programação de uma Produção mais Limpa.

2.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) enfoca os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais (por exemplo, uso de recursos e as consequências de liberações para o meio ambiente) ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (isto é, do berço ao túmulo) (ABNT, 2004b).

A Avaliação de Ciclo de Vida de um produto estuda e mede o impacto ambiental gerado pelo produto desde a extração de matérias-primas e outros insumos (energia e água) utilizados em sua fabricação, os impactos causados pelo transporte para sua fabricação e distribuição até o consumidor (distribuição direta) e a coleta pós-consumo (distribuição reversa) até sua disposição final, conhecida como avaliação do berço ao túmulo (LEITE, 2009).

A ACV ou LCA (*Life Cycle Assessment*, como é conhecida na língua inglesa), ganhou notoriedade nas questões relacionadas à gestão ambiental e da prevenção da poluição e sua metodologia foi padronizada a nível mundial pela *International*

Organization for Standardization (ISO), que envolve um estudo detalhado desde a obtenção da matéria-prima do produto, na sua produção, distribuição, uso, possível reuso ou reciclagem, ou ainda, na sua disposição final. Ela permite determinar quanto será usado de energia e de matéria-prima, bem como qual a quantidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos será gerada em cada estágio do ciclo de vida do produto (ABNT, 2004b).

A Figura 6 mostra o fluxo genérico do ciclo de vida de um produto do berço ao túmulo, representado pelas setas contínuas, e do berço ao berço, quando incluem a reciclagem do produto, representado pelas setas tracejadas; os recursos demandados e os resíduos gerados em cada estágio.

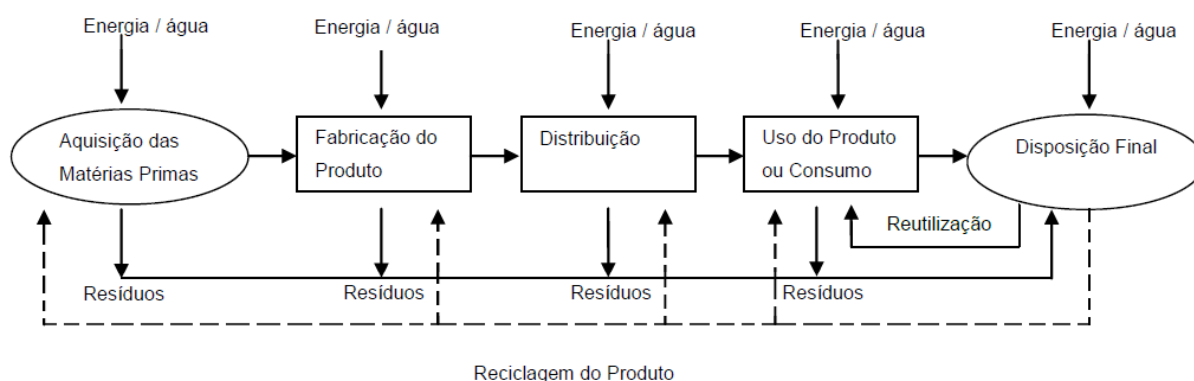


Figura 6. Ciclo de vida ambiental do produto - Fluxo Geral de Materiais do Berço ao Berço

Fonte: Adaptado de CALDEIRA-PIRES, 2006.

A padronização da ACV a nível mundial compõe a série ISO 14000, que inclui as famílias: ISO 14040 (Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura); e ISO 14044 (Gestão ambiental — Avaliação do Ciclo de Vida — Requisitos e orientações).

De acordo com a ABNT (2009), um estudo de ACV é composto por quatro fases: a fase de definição de objetivo e escopo; a fase de análise de inventário; a fase de avaliação de impactos; e a fase de interpretação. Na Figura 7 é possível visualizar a estrutura da ACV e as relações que seus componentes mantêm entre si.

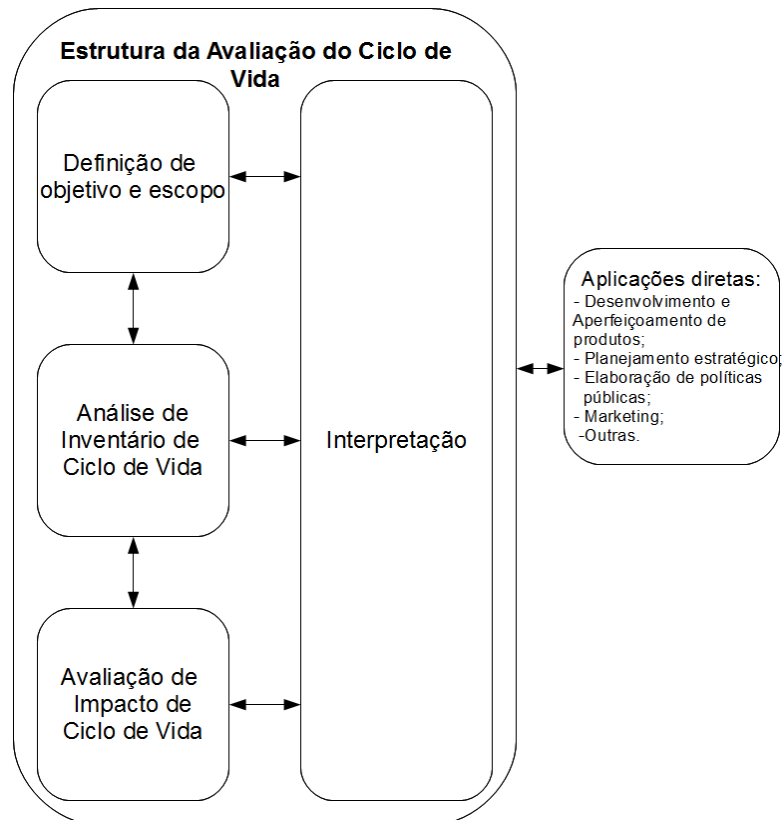


Figura 7. Fases de um ACV

Fonte: ABNT, 2009.

Segundo Gonçalves e Marins (2006), para permitir o planejamento da rede logística de forma a englobar todas as fases do ciclo de vida dos produtos, os custos associados e os impactos ambientais decorrentes, deve-se considerar a situação do ponto de vista holístico em relação a três aspectos relevantes dos produtos e suas respectivas embalagens:

- Do ponto de vista logístico, o ciclo de vida de um produto não se encerra com a sua entrega ao cliente. Produtos que se tornam obsoletos, danificados ou não funcionam devem retornar ao seu ponto de origem para serem adequadamente descartados, reparados ou reaproveitados;
- Do ponto de vista financeiro, existe o custo relacionado ao gerenciamento do fluxo reverso, que se soma aos custos de compra de matéria-prima, de armazenagem, transporte e estocagem e de produção, já tradicionalmente considerados na Logística; e
- Do ponto de vista ambiental, devem ser considerados e avaliados, os impactos do produto sobre o meio ambiente durante toda sua vida (GONÇALVES; MARINS, 2006).

Este tipo de visão sistêmica é importante para que o planejamento da rede logística

envolva todas as etapas do ciclo de vida de um produto, tratadas pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

De acordo com Hinz (2007), a ACV preocupa-se com a preservação ambiental aliada ao desenvolvimento tecnológico e tem como função transformar os fluxos de materiais de forma cíclica e ecológica, em que o processo engloba desde a captação dos recursos naturais até o descarte final, considerando, ainda, aspectos como: reciclagem e reaproveitamento.

Assim, a ACV promove uma quebra de paradigma, pois amplia o foco das preocupações ambientais restrito originalmente aos limites de cada organização, para todos os elos da cadeia produtiva no intuito de buscar a sustentabilidade para a sociedade globalizada (ABCV, 2010).

2.5 Análise de Fluxo de Material (AFM)

Segundo Bartelmus (2002), a Análise de Fluxo de Material (AFM) foi desenvolvida, a princípio para *commodities* específicos, pela *US Bureau of Mines* na década de 70, e generalizado a nível nacional americano pela *Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy*, como uma ferramenta para avaliar a sustentabilidade ambiental do crescimento e desenvolvimento de uma economia.

O propósito de uma Análise de Fluxo de Material é acompanhar e quantificar o fluxo de entrada e saída de materiais (balanço de massa) em um processo produtivo, durante um período definido de tempo (BARRET *et al.*, 2002).

A Figura 8 representa um modelo da cadeia de valor e dos fluxos de materiais na indústria mineral, procura representar genericamente todas as etapas envolvidas no balanço de massa da mineração e transformação mineral. Estão incluídas nela todas as possibilidades de materiais que podem ser objeto de descarte, reciclagem e aproveitamento futuro.

Os materiais que são extraídos por atividades econômicas, mas que normalmente não servem como insumo para a produção ou atividades de consumo (a exemplo da lavra de mineração) são comumente conhecidos como fluxos ocultos ou “mochilas ecológicas” (BRINGEZU; MORIGUCHI, 2002).

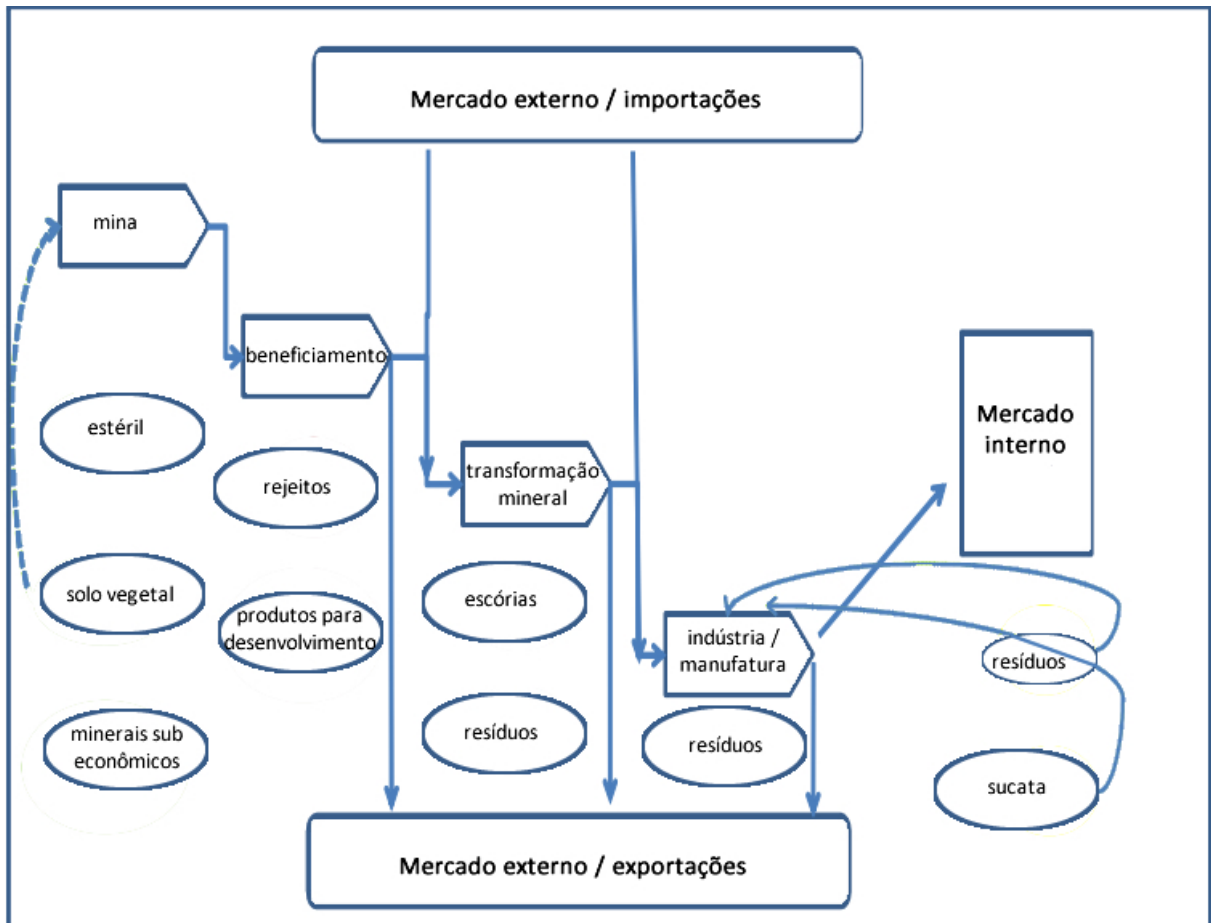


Figura 8. Cadeia de valor e dos fluxos na indústria mineral em geral.

Fonte: Adaptado de MME, 2009b.

Bartelmus (2002) utiliza a AFM com o objetivo de avaliar a utilização e o movimento de materiais por meio de um indicador chave, o TMR (*Total Material Required*) ou total de material demandado e vários indicadores derivados, como: o DMI (*Direct Material Input*) ou entrada direta de material, mede a entrada de materiais usados na economia, de valor econômico e os utilizados na produção e consumo de atividades (equivale a extração doméstica mais importações); os DPOs (*Domestic Processed Outputs*) ou saídas domésticas processadas, representam a massa total de materiais que tenham sido usados na economia interna antes de fluir para o ambiente; e o TDO (*Total Domestic Output*) ou saída doméstica total equivale a soma de DPO e a eliminação de extração doméstica não utilizada. O esquema do fluxo de materiais de uma economia ampla pode ser observado na Figura 9.

Ainda de acordo com Bartelmus, o TMR reflete a utilização total de materiais como um índice de rendimento através da economia, incluindo as suas “mochilas ecológicas”. O alcance da sustentabilidade com tal rendimento de desempenho econômico a longo prazo deve ocorrer em um nível compatível com o “equilíbrio

ecológico” do planeta.

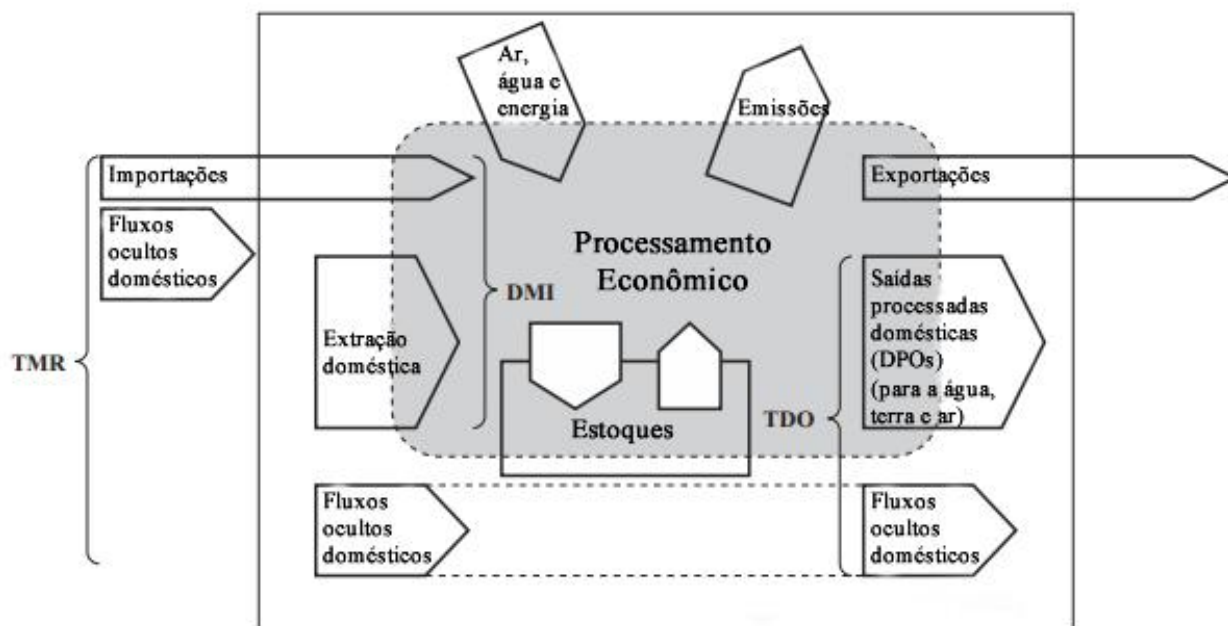


Figura 9. Fluxo de materiais de uma economia ampla.

Fonte: Adaptado de BRINGEZU; MORIGUCHI, 2002.

Para Bringezu e Moriguchi (2002), os serviços prestados ou o desempenho econômico (em termos de valor agregado ou do PIB) podem ser relacionados a indicadores tanto de entrada ou saída para fornecer medidas de eficiência. Por exemplo, a relação do PIB pelo DMI indica a produtividade de materiais diretos. O PIB pelo TDO mede o desempenho econômico em relação a perdas significativas para o meio ambiente. Definir o valor agregado em relação às entradas e saídas mais importantes fornece informações sobre a ecoeficiência de uma economia. A interpretação dessas medidas relativas deve sempre considerar as tendências dos parâmetros absolutos, como os do DMI e TDO, por exemplo. Os últimos são usualmente também fornecidos numa base per capita para apoiar comparações internacionais. Conforme a visão dos mesmos autores, cada vez mais a AFM e seus indicadores serão usados para fornecer a base para medidas políticas e avaliar a eficácia de tais medidas.

Assim, será possível, através da Análise de Fluxo de Material, a monitorização para que o progresso rumo à sustentabilidade possa ser melhorado, tendo uma abordagem gradativa.

É conhecido que há perdas na produção de minérios, e de acordo com Douglas e Lawson (2002), para cada produto mineral, uma dada quantidade adicional de materiais da superfície da terra é removida como sobrecarga ou como desperdício

no tratamento do minério. A relação desta quantidade adicional para o montante de mineral produzido pode ser usado como um multiplicador para obter o total de volume de material removido, como poder ser observado na Tabela 1 a seguir.

Commodity	Multiplicador
Alumínio	15.8
Asbestos	1.5
Carvão	4.87
Cobre	450
Diamante	2.380.000
Ferro	5.2
Níquel	560

Tabela 1. Tonelagem total de materiais requeridos (incluindo fluxos ocultos) para produzir 1 tonelada da commodity selecionada. Fonte: Adaptado de BARRET *et al.*, 2002.

Para o caso específico da *commodity* de Ferro, Douglas e Lawson (2002) determinaram que para obter uma produção líquida de 604 mega toneladas (Mt) seria necessário movimentar uma produção bruta mundial de 3.138 Mt, ou seja, uma remoção de mais de 80% de solo e vegetação local, na produção de ferro, conforme pode ser inferido pela Figura 10.

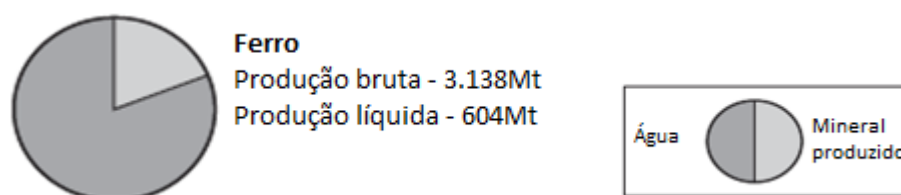


Figura 10. Produção Mineral Mundial e o total de “fluxos ocultos” da *commodity* de Ferro.

Fonte: IAN; LAWSON, 2002.

Apesar do alto índice de desperdício na produção do minério de ferro (representando pela Figura 8), após lavrado, a produção de minério concentrado em pelotas apresenta perdas mínimas, com uma relação praticamente unitária, uma vez que é necessário 1,08 tonelada de minério para produzir uma tonelada do aglomerado (*pellets*), conforme apontam estudos encomendados pelo Ministério das Minas e Energia (MME, 2009a).

2.6 Logística Reversa

Devido a legislações ambientais cada vez mais restritivas e consumidores mais conscientes em relação ao adequado tratamento dado aos resíduos industriais, as empresas estão sendo obrigadas a repensarem novas formas de se estruturarem no mercado, direcionando a atenção para o ciclo de vida total de seus produtos, assim como a sua disposição final.

As operações e atividades que envolvem a disposição final de um produto são tratadas pelo campo de estudo da Logística Reversa, que o *Reverse Logistics Executive Council* - RLEC, ou Conselho Executivo de Logística Reversa, define como sendo o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, *work in process* e produto acabado (e seu fluxo de informação) do ponto de consumo à origem com o fim de recapturar valor ou oferecer um destino ecologicamente adequado (RLEC, 2012).

A Logística Reversa difere da Logística Tradicional (Logística Direta) por seguir os estágios inversos desta, partindo do consumidor (distribuição) e gerando materiais reaproveitados (suprimento), como pode ser verificado na Figura 11, abaixo:

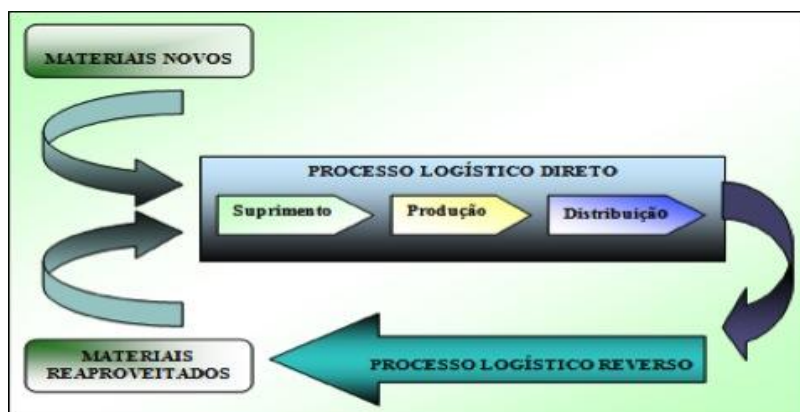


Figura 11. Processo Logístico: Direto e Reverso. Fonte: LEITE, 2003.

De acordo com Serrato *et al.* (2010), a principal diferença entre esses dois contextos aparecem no lado do suprimento. Nos sistemas tradicionais de produção-distribuição, o suprimento é uma variável endógena no sentido que tempo, quantidade e qualidade de entrega de *input* podem ser controladas de acordo com a necessidade dos sistemas. Em contraste, o suprimento é determinado exogenamente em cadeias de Logística Reversa e pode ser difícil prever os materiais disponíveis. Ainda de acordo com os autores, a incerteza do suprimento é

o maior fator de distinção entre a Logística Direta e a Reversa.

Para um maior esclarecimento, Pochampally *et al.* (2008) apresentam de modo prático as diferenças básicas entre as logísticas direta e reversa, como são mostradas na Tabela 2.

Comparação entre os Fluxos Logísticos Direto e Reverso	
Logística Direta	Logística Reversa
Baseado na otimização do lucro e do custo	Baseado em princípios de consciência ambiental e leis, assim como otimização de lucro e custo
Previsão relativamente mais fácil da demanda do produto	Previsão mais difícil de retorno de produtos
Menos variação na qualidade do produto	Qualidade do produto recuperado altamente estocástico
Podem ser aplicadas técnicas tradicionais de marketing	Há fatores complicadores para o marketing
Os passos e o tempo de processamento são bem definidos	Os passos e o tempo de processamento dependem da condição de retorno dos materiais
Os produtos são transportados de um local para diversos outros locais	Os produtos de retorno são coletados de diversos locais e chegam a uma estação de processamento
A velocidade é uma vantagem competitiva	A velocidade não é um fator crítico
O empacotamento de produtos é padrão	O empacotamento, ou sua falta, é altamente variável
A estrutura do produto é padrão	A estrutura do produto é modificada
O custo é mais fácil de ser estimado devido ao sistema de contas	A determinação e visualização dos fatores de custo são complicadas
As alternativas de disposição são claras	As opções de disposição para o produto recuperado dependem de sua condição
Gerenciamento de estoque consistente	Gerenciamento de estoque impreciso
Resultados financeiros claros	Implicações financeiras não-claras
Processos altamente controláveis devido rastreamento do produto em tempo real	Processos menos visíveis devido à falta de um sistema de informação capaz de rastrear produtos recuperados
Relativamente mais determinística	Relativamente mais estocástica
Relevante para manufatura	Relevante para remanufatura e reciclagem

Tabela 2. Comparação entre os Fluxos Logísticos Direto e Reverso.

Fonte: Adaptado de Pochampally *et al.* (2008).

Rogers e Tibben-Lembke (1999) entendem Logística Reserva como sendo o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e as informações correspondentes do consumo para o ponto de origem com o propósito de recapturar o valor ou destinar à apropriada disposição.

De acordo com Leite (2003), a logística reversa tem por objetivo gerenciar os fluxos inversos ao da cadeia produtiva, a partir dos produtos descartados, com o retorno ao

próprio ciclo produtivo ou a outros ciclos, de modo a readquirir valor em mercados secundários. Segundo o autor, os canais reversos de distribuição podem ser divididos em pós-venda e pós-consumo. A primeira categoria ocorre quando os bens, com pouco ou nenhum uso, retornam aos diferentes elos da cadeia de distribuição direta por diversos motivos comerciais, por exemplo: erro no momento da emissão do pedido, troca por conta de garantia, defeitos de fabricação ou de funcionamento, ou até por danos causados durante o transporte.

Enquanto os canais de distribuição reversos de pós-consumo constituem-se pelo fluxo reverso de produtos em final de vida útil, suas embalagens, assim como resíduos industriais, que recebem tratamento diferenciado pela sua grande importância (LEITE, 2003).

Esta diferenciação resulta de sua quantidade e oportunidade econômica para a própria empresa ou outras indústrias, pois em geral é um resíduo “limpo”, além de terem que seguir a legislação pertinente ao descarte destes resíduos.

A categoria de resíduos industriais é a abordagem mais apropriada para se tratar dentro da cadeia produtiva do minério de ferro, tema deste trabalho, como pode ser observada na representação dos diferentes fluxos explicados anteriormente (pós-venda e pós-consumo) na Figura 12, a seguir.

Nesta figura, a reciclagem é um elo da cadeia reversa entendida como o processo que recupera valor aos componentes ou materiais constituintes dos produtos pós-consumo extraídos industrialmente ou não, que serão reincorporados à fabricação de novos produtos (LEITE, 2009).

Um questão importante observada por Fleischmann *et al.* (2001) é que nos últimos anos, a legislação ambiental têm encorajado várias empresas a decidir pela implementação de políticas de Logística Reversa para seus produtos e embalagens, por causa da necessidade de diferenciação entre serviços oferecidos (devido à crescente competição no mercado) e as políticas de continuamente cortar custos.

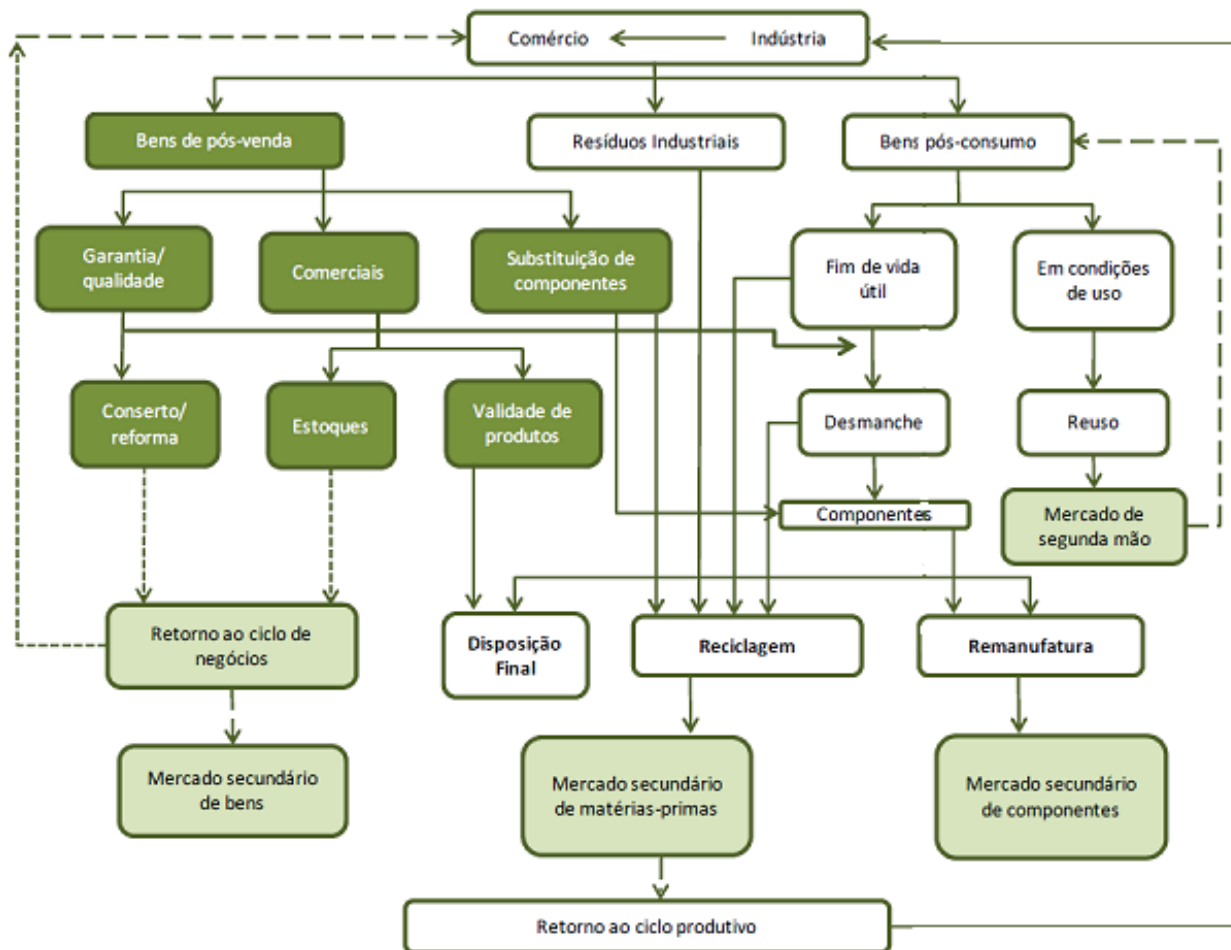


Figura 12. Atuação da Logística Reversa.

Fonte: Adaptado de Leite, 2002.

Para Daher *et al.* (2006), a logística reversa em seu sentido mais amplo, significa todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais. Refere-se, assim, a todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usados a fim de assegurar uma recuperação sustentável do ponto de vista ambiental.

Estas e outras questões passaram a ser encaradas por muitas empresas, não mais como uma alternativa para redução de custo, mas como uma necessidade, de forma a eliminar ou minimizar problemas de cunho ambiental.

Neste sentido, as empresas passam a programar a logística reversa como vantagem competitiva, uma vez que, gerenciando os fluxos inversos ao da cadeia produtiva, a partir dos produtos descartados como resíduos do processo e de pós-consumo, estes readquirem valor em outros mercados com o seu retorno ao ciclo produtivo (LEITE, 2003).

Segundo Stock (1998), a Logística Reversa pode ser analisada sob dois pontos de vista:

- Como negócio, refere-se ao papel da Logística no retorno de produtos, na redução de

uso de matéria-prima virgem, no uso da reciclagem, na substituição de materiais, no reuso de materiais, na disposição de resíduos, no acondicionamento, no reparo e no remanufaturamento de produtos; e

- Como engenharia, refere-se ao gerenciamento dos processos acima e é como um modelo sistemático de negócios que aplica as melhores metodologias de engenharia e administração conhecidas para fechar, com lucratividade, o ciclo em uma Cadeia de Suprimentos (STOCK, 1998).

Alguns estudos já foram realizados na abordagem de resíduos na indústria de mineração, a exemplo de Alves (2004), que apresentou em artigo algumas empresas nacionais que expõem suas experiências em ações de controle ambiental nas operações de lavra e beneficiamento, construção de barragens de contenção de sólidos, disposição de rejeitos, controle de efluentes líquidos, gasosos e sólidos, gerenciamento de resíduos industriais, etc.

Machado e Ferreira (2006) realizaram o levantamento dos dados quantitativos e qualitativos dos resíduos sólidos em quatro das principais mineradoras do Estado de Goiás. Os dados resultantes dessa pesquisa foram separados de acordo com o grau a classificação dos resíduos, onde os autores verificaram que a maioria dos resíduos gerados tinha destinação final adequada.

Em UFES (2006), foi estudada a aplicação e as perspectivas da logística reversa no setor de mármore e granito no município de Cachoeiro de Itapemirim. Foram explicitados os principais impactos ambientais da atividade, as práticas de logística reversa em uso e conclui-se que estas últimas são ainda incipientes e devem ser ampliadas para contribuir para o desenvolvimento sustentável da indústria de mármore e granito em Cachoeiro de Itapemirim.

Silva (2011) trata da gestão dos resíduos da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo, com enfoque principal na lama abrasiva gerada a partir do processo de serragem dos blocos de rochas e polimento das chapas, buscando sua reintrodução como insumo em outra cadeia produtiva.

Assim, a logística reversa se apresenta como o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

2.7 Relação entre os termos apresentados

Há diferenças e similaridades entre Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição, entendida aqui como sinônimo para Produção mais Limpa. Ambas promovem a redução no volume de rejeitos lançados para o meio ambiente e requerem informações sobre os fluxos de materiais para medir eficiências (COSTA, 2002).

Para Oldenburg e Geiser (1997), embora tanto a Produção mais Limpa quanto a Ecologia Industrial tenham foco no conceito de eficiência dos materiais, a Prevenção da Poluição ocupa um papel mais específico dentro de uma estrutura regulamentatória mais bem definida do que a Ecologia Industrial.

Na visão de Costa (2002), a Ecologia Industrial engloba o conceito de Produção Mais Limpa, e cria uma nova agenda de reorganização das atividades industriais, entendidas no seu contexto mais amplo de atividades econômicas, não restrita ao setor industrial propriamente dito.

Sob a ótica de Jackson (2002), à medida que se tentam comparar e contrastar as interpretações mais amplas fica cada vez mais difícil distinguir entre uma Produção mais Limpa e a Ecologia Industrial, dado que ambas reivindicam proporcionar uma estratégia operacional para alcançar o desenvolvimento sustentável, e tende a expandir a sua própria definição para incluir qualquer coisa que se faça necessário para atingir esses fins.

Höjer *et al.* (2008) tratam a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e a Análise do Fluxo de Material (AFM) como ferramentas de análise de sistemas ambientais do tipo analítica, por estarem diretamente associadas aos aspectos técnicos da análise, podendo ser integradas à estrutura de uma ferramenta processual. Esta seria representada, por exemplo, pelo Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e pela Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), classificados assim por estes autores, devido ao foco em procedimentos e conexões com os contextos social e de tomada de decisão.

A estrutura da ACV é composta por quatro etapas interdependentes, sendo uma delas o Inventário de Ciclo de Vida, que estima o consumo de recursos e a quantidade de fluxos de resíduos e emissões causados ou atribuíveis ao ciclo de vida de um produto (ROJAS, 2010).

É justamente essa etapa da ACV que mais guarda semelhanças com a Análise de Fluxo de Material, uma vez que se baseia no registro dos fluxos materiais sobre todo o ciclo de vida de um produto, de um processo ou de um insumo.

Vale mencionar que o conceito de Produção mais Limpa relaciona-se com a

Logística Reversa, ao prever a reciclagem interna e no sentido que ambas podem ser aplicadas a processos, produtos e serviços, e incentiva as empresas a buscarem, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência dos seus processos e reduzir os impactos ao meio ambiente, de forma integrada e preventiva.

O CNTL (2003) vê ainda semelhanças entre os conceitos de Ecoeficiência e o de Produção mais Limpa, sendo que a pequena diferença entre eles reside no fato de que a Ecoeficiência tem origem em questões sobre eficiência econômica que apresentam benefícios ambientais positivos, enquanto a P+L tem origem em questões de eficiência ambiental que apresentam benefícios econômicos positivos.

O Quadro 1, abaixo, apresenta, de forma simplificada, as principais características das técnicas e metodologias que proporcionam resultados ambientais favoráveis, tratadas neste estudo.

	Ecologia Industrial	Ecoeficiência	Produção mais Limpa (P+L)	<i>End of pipe</i>	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	Análise de Fluxo de Material (AFM)	Logística Reversa
Principal objetivo	Melhorar e manter a qualidade ambiental	Aumentar a eficiência global	Reduzir materiais e energia, para prevenir riscos ao meio ambiente	Tratamento de resíduos e efluentes	Identificar impactos ambientais em cada fase do ciclo de vida de um produto	Avaliar a sustentabilidade ambiental de um sistema produtivo	Recuperar valor dos produtos ao final do ciclo de vida do produto
Âmbito de atuação	Regional/global	Interno	Interno	Interno	Local	Regional/global	Regional/global
Reciclagem	Interna/Externa	Interna	Interna/Externa	Interna	Externa	Interna/Externa	Interna/Externa
Principal vantagem	Promoção da sustentabilidade	Reduz demanda de recursos naturais	Prevenção da poluição	Controle da poluição	Visão holística dos impactos ambientais	Balanco de massa e energia	Reduz necessidade de materiais primários
Principal desvantagem	Não encontrada	Prima por resultados econômicos, enquanto os ambientais são consequência	Envolve custos com aquisição de tecnologias e matérias - primas de melhor qualidade	Envolve equipamentos e operações de alto custo	Não encontrada	Não encontrada	Envolve custos com a coleta de produtos reaproveitáveis

Quadro 1. Comparação de características das técnicas e metodologias ambientais.

2.8 Políticas públicas

A legislação ambiental é um poderoso instrumento colocado à disposição da sociedade, a fim de que se faça valer o direito constitucionalmente assegurado a todo o cidadão brasileiro de viver em condições dignas de sobrevivência, num

ambiente saudável e ecologicamente equilibrado (BARROS, 2002).

Para França (2011), onde a legislação de responsabilidade ambiental é mais avançada, as empresas concorrem no sentido de uma política de gestão mais agressiva, enquanto nas regiões com leis menos rigorosas seguem as regras mínimas necessárias e por vezes tentam evitar e/ou adiar novas regulamentações neste âmbito.

A exemplo do que ocorre com a companhia de mineração sueca Luossavaara Kirunavaara AB (LKAB), que está sujeita à lei nacional segundo a qual estabelece que uma empresa de mineração que afeta seu ambiente deve pagar pelo dano e intrusão causada pela operação. A LKAB, cujas operações demandam energia, participa ainda do sistema da União Europeia para o comércio de licenças de emissão de dióxido de carbono, o que implica aumento dos custos diretos e indiretos para a LKAB. A empresa encara tal situação como desvantagem competitiva no mercado global, quando comparada com os seus principais concorrentes no Brasil e na Austrália, onde não são afetados por tais sanções (LKAB, 2012).

Porém, o cenário brasileiro já apresenta algumas adequações conforme modelos de responsabilidade sócio-ambiental a nível internacional, com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

A Lei, que passou mais de 20 anos em tramitação no Congresso Nacional brasileiro, altera o modelo atual de gestão de resíduos, tendo como princípio a prevenção e não geração de resíduos e a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade (CNTL, 2011).

Tais objetivos são evidenciados no Art. 7 do PNRS:

- I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de

resíduos sólidos; [...]

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; [...] (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é importante para impulsionar e criar novas oportunidades para diversas áreas, em especial a logística reversa, porém sua implementação em um país de dimensões continentais como é o Brasil, é um processo complexo. Por isso, espera-se um acompanhamento dos mais diversos setores produtivos pelos órgãos de controle do governo.

No Brasil, o Governo Federal, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelece normas gerais, cabendo aos Estados e Municípios fixarem procedimentos de seu interesse, bem como licenciar, controlar e fiscalizar (FARIAS, 2002).

As ferramentas ambientais, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), também são tratadas no Brasil como instrumentos legais da Política Nacional de Meio Ambiente, através da Resolução 237 do CONAMA, quando regula o licenciamento ambiental das atividades modificadoras do meio ambiente (CONAMA, 1997).

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA), elaborado obrigatoriamente por técnicos habilitados, é exigido para o licenciamento ambiental de qualquer atividade de aproveitamento de recursos minerais e deve estar consubstanciado no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o qual é submetido ao órgão de meio ambiente estadual competente, integrante do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), para análise e aprovação. Nesta fase, o RIMA deve ser tornado público para que a coletividade ou qualquer outro interessado tenha acesso ao projeto e a seus eventuais impactos ambientais e possa conhecê-los e discuti-los livremente, inclusive em audiência pública (FARIAS, 2002).

Por ser a água um dos recursos naturais utilizados na atividade mineradora de maior significância, devido sua característica esgotável, é interessante consultar a legislação específica, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, quais sejam: a Resolução nº 16/2001, que regulamenta a outorga pelo uso dos recursos hídricos; a Resolução nº 37/2004, que define critérios de outorga para reservatórios; e a Resolução nº 29/2002, que define critérios para captação de águas para a mineração (MMA, 2008).

Segundo Rebouças *et al.* (1999), o termo “água” refere-se, regra geral, ao elemento

natural, desvinculado de qualquer uso ou utilização, enquanto o termo “recurso hídrico” é a consideração da água como bem econômico passível de utilização com tal fim.

Mediante isso, a Lei Federal nº 9.433 de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, rege a gestão das águas no Brasil buscando o uso sustentável dos recursos hídricos de forma democrática, descentralizada e participativa, celebrando por meio da implementação de seus instrumentos – principalmente o Plano Nacional de Recursos Hídricos – os princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (MMA, 2008).

O Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM dispõe de Normas Reguladoras – NRM 19 para a Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos. O artigo 19.3.3 dela estabelece que no tratamento dos efluentes líquidos incluindo as águas da mina, da usina e de drenagem, devem ser esgotadas todas as possibilidades técnicas e econômicas de forma a maximizar a quantidade de água a ser recirculada (MME/PORMIN, [s.d.]).

De acordo com a Norma Brasileira - NBR 9800, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (ABNT, 1987).

Castro *et al.* (2007) ressaltam um conceito apresentado na Resolução CNRH nº 29/2002 no que se refere ao Plano de Utilização da Água. Trata-se do documento que deverá ser encaminhado pelo empreendedor como relatório do pedido de outorga e que deve descrever as estruturas destinadas à captação e ao lançamento de efluentes, o manejo da água no empreendimento e as medidas de mitigação ou compensação de eventuais impactos hidrológicos.

Segundo Sánchez (1994), do ponto de vista da empresa, existe uma tendência de ver os impactos causados pela mineração unicamente sob as formas de poluição que são objeto de regulamentação pelo poder público, que estabelece padrões ambientais: poluição do ar e das águas, vibrações e ruídos. De acordo com esse autor, é necessário que o empreendedor informe-se sobre as expectativas, anseios e preocupações da comunidade, do governo – nos três níveis – do corpo técnico e dos funcionários das empresas, isto é das partes envolvidas e não só daquelas do acionista principal.

Farias (2002) explica tal condição devido ao fato de as percepções acerca dos problemas ambientais de cada uma das partes envolvidas, normalmente, serem

diferentes daquela do empresário. As partes envolvidas na mineração, uma vez informadas sobre a atividade, têm condições de interferir no processo de gerenciamento dos impactos sócio-ambientais, para a busca de soluções que minimizem as situações de conflito.

2.9 Usos e destinação dos produtos da mineração de ferro

O minério bruto - ROM (do inglês *Run of Mining*), hematita com teor médio de 60% de Ferro (Fe) e itabirito com teor médio de 50% de Fe, gera após o beneficiamento nas usinas, produtos classificados como granulados (*lump*) e finos (*sinter feed* e *pellet feed*) que são destinados ao mercado interno e à exportação (MME, 2009a).

A utilização do minério é feita normalmente de duas formas: minérios granulados e minérios aglomerados. Os granulados (entre 6mm e 25mm) são adicionados diretamente nos fornos de redução, enquanto os aglomerados são os minérios finos que devido à sua granulometria necessitam de uniformização. Os processos de aglomeração são a sinterização e a pelotização, indicados, respectivamente, para minérios de granulometria entre 0,15mm e 6,35mm (*sinter feed*) e menos de 0,15mm (*pellet feed*) (MME, 2009a). As Figuras 13 a 16 ilustram alguns exemplos delas.

Portanto, o uso do minério de ferro depende das formas de aplicação em função dos aparelhos siderúrgicos: os finos, *sinter feed* e *pellet feed*, são transformados em aglomerados *sinter* e *pellets*, respectivamente. Estes são então utilizados para a produção de ferro-gusa e de ferro-esponja, que posteriormente passam pelo refino para transformá-los em aço, nas siderúrgicas.



Figura 13. Granulado (Lump)

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.



Figura 14. Pellet feed

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.



Figura 15. Sinter

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.



Figura 16. Pellet

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.

De acordo com o relatório encomendado pelo Ministério das Minas e Energia (MME, 2009a), na produção de pelotas (*pellets*), esferas com diâmetro em torno de 10 a 15mm, a utilização pode ser numa verticalização com a mineração, aproveitando os minérios super finos ou em usinas pelletizadoras distantes das atividades de lavra. No Brasil tem-se exemplos de plantas de pelletização junto às minas, como é o caso da antiga Ferteco, hoje da Vale na Mina de Fábrica, em Congonhas do Campo, e da Usina Vargem Grande Usina 8, em Nova Lima, ambas em Minas Gerais. Outras usinas estão juntas aos portos de embarque, visando o mercado externo como as usinas da empresa Vale e suas coligadas no Espírito Santo e em São Luiz no Maranhão, além das usinas da Samarco Mineração S/A, em Ubu, também no Espírito Santo.

2.10 O processo produtivo do minério de ferro

Minério de ferro é um campo de grande interesse no Brasil, não restrito apenas à Vale, antiga Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), principal grupo empresarial privatizado em 1997, e que divide o mercado com novos investidores interessados, os chamados *players*, que surgem para suprir a necessidade de expansão do mercado de exportação de minérios.

Como primeira etapa de qualquer cadeia de atividades industriais, minérios e concentrados precisam ser baratos ou o produto final acabará tornando-se muito caro. Isso justifica o fato de serem manuseados em grandes quantidades de volume, como é o caso da mineração do ferro, em que é evitado qualquer excesso de sofisticação, para não tornar inviável a comercialização de seus produtos. Por

isso a economia e gerenciamento devem ser cuidadosos e eficientes, uma vez que o valor agregado ao produto deve pagar todos os custos de lavra e processamento e ainda trazer lucro.

O objetivo da atividade mineira é a descoberta, a lavra e a concentração de minérios. As atividades executadas pelo setor mineral podem ser simplificadas como aquelas que consistem em:

- descobrir as riquezas minerais escondidas no subsolo;
- trazer esses bens minerais do subsolo até a superfície, e finalmente;
- colocar esse bem mineral em condições de ser utilizado pelas indústrias metalúrgica, cerâmica ou química (CHAVES, 2002).

A terceira atividade caracteriza o tratamento dos minerais, ou seja, o conjunto das operações unitárias de redução de tamanhos, separação de tamanhos, separação de espécies minerais, manuseio e estocagem de materiais e separação de sólidos e líquidos, bem como a arte de combiná-las para obter concentrados e produtos aceitáveis pelo mercado.

Raramente as espécies minerais se encontram puras na natureza. As exceções são conhecidas: calcários e dolomitos, hematita, adubos naturais (guano). Outras se encontram num estado de pureza relativo que permite a sua utilização ou transferência ao processo seguinte - químico ou cerâmico - sem maiores tratamentos: petróleo, sal (cloreto de sódio) e argilas. Em todos os demais casos, as espécies minerais se encontram associadas entre si. Para aproveitar industrialmente alguma delas é necessário separá-la das demais. Nisto consiste a concentração da espécie útil, a exemplo dos minérios de ferro, compostos de hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2). Minérios com teor médio de 52% de Fe têm quase 25% de seu peso em quartzo. Se forem alimentados ao alto forno, será necessário alimentar calcário para escorificar a sílica e uma quantidade significativa de hematita será absorvida nesta escória. Uma quantidade adicional de coque será queimada para fundir toda esta escória e o alto forno perderá produtividade porque está sendo usado para fundir escória e não para reduzir hematita. Por tudo isto o minério deve ser concentrado até 64% de Fe ou mais (CHAVES, 2002).

Seja diretamente como granulado ou na forma de aglomerado (*sinter* ou *pelota*), o minério de ferro, com teores médios de 65% de Fe, sílica e alumínio em torno de 3% cada e baixo fósforo, é utilizado para a produção de ferro-gusa e de ferro-esponja,

que posteriormente passam pelo refino para então serem transformados em aço, nas aciarias (DNPM, 2001).

Até o desenvolvimento dos processos de aglomeração o minério de ferro era utilizado na forma de granulados (*lumps*) nos aparelhos siderúrgicos. O acúmulo de finos em decorrência da exploração dos granulados motivou a pesquisa para o aproveitamento dos rejeitos de finos. A iniciativa da então Companhia Vale do Rio Doce (CVRD, atual Vale) para o aproveitamento dos finos (*sinter feed*) e ultrafinos (*pellet feed*), revela a exportação em 1956 de dois embarques de finos *in natura* em caráter experimental. A sinterização só começa a ser efetivada em fins da segunda guerra mundial. Em 1958 a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) produziu 50 Mt de *sinter feed* e os EUA 35 milhões de toneladas (MME, 2009a).

Exemplos típicos da evolução tecnológica do aproveitamento dos minérios finos foram a transformação de então recursos existentes para jazidas economicamente lavráveis. O minério na granulometria *sinter feed* passa a ser fornecido para as usinas siderúrgicas nacionais e do exterior e o minério com granulometria ultrafina (*pellet-feed*) passa a ser aproveitado na primeira usina de pelletização da CVRD, construída por Arthur G. Mckee dos EUA com tecnologia da VOEST da Áustria (1969).

Os produtos mais procurados são o *sinter feed*, usado na siderurgia após a aglomeração por sinterização e o *pellet feed*, usado após moagem e aglomeração por pelletização. A pelletização, porém, agrega maior valor ao produto, e assim possui maior valor de venda (ver Tabela 4, detalhada na próxima seção).

A empresa sueca Luossavaara Kirunavaara AB (LKAB) é uma companhia de mineração que emprega alta tecnologia no desenvolvimento de produtos de minério de ferro (QUINTEIRO *et al.*, 2001). Com capacidade atual de produção anual de 26Mt de pelotas, a LKAB se configura como uma das maiores produtoras de pelotas no mundo, a VALE ainda é o maior produtor mundial, com capacidade de cerca de 48Mt. Outros grandes produtores são: BHP Billiton (Austrália), Cliffs (EUA), Metalloinvest (Rússia) e a Samarco, no Brasil (LKBA, 2011).

De acordo com a LKAB (2011), no momento a demanda maior do mercado é de *sinter feed*, e existe uma tendência de moê-lo para produzir *pellet feed*. A empresa explica que isso se deve ao fato de que a demanda por pelotas de minério de ferro é mais volátil em comparação com os finos (*sinter feed* e *pellet feed*) em tempos de variações de preços e circunstâncias econômicas. As vendas da LKAB, com um valor aproximado de 82% em proporção de pelotas, são mais sensíveis às condições

econômicas prevalecentes devido ao consumo de finos por siderúrgicas, com suas próprias unidades de sinterização, ser mais estável e, muitas vezes, constituir a base para a sua produção.

2.11 Reservas mundiais, produção, exportação e importação brasileira de minério de ferro de produtos manufaturados

Conforme o Sumário Mineral de 2012, fornecido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), as reservas mundiais de minério de ferro são da ordem de 170 bilhões de toneladas, cuja distribuição obedece à proporção apresentada pela Tabela 3.

As reservas brasileiras totalizam 29,6 bilhões de toneladas (com um teor médio de 52,95% de ferro) e estão localizadas, em sua quase totalidade, nos estados de Minas Gerais (79,7% das reservas e teor médio de 51,4% de Fe), Mato Grosso do Sul (9,9% e teor médio de 55%) e Pará (9,1% e teor médio de 67%). A produção mundial de minério de ferro em 2011 foi de cerca de 2,8 bilhões de toneladas (+8,1% em comparação com 2010). A produção brasileira representou 14,2% da produção mundial, sendo Minas Gerais (69,1%) e Pará (27,7%) os principais estados produtores (DNPM, 2012).

Discriminação	Reservas (10 ⁶ t)	Produção (10 ³ t)		
		Países	2010 ^(e)	2011 ^(e)
Brasil⁽¹⁾	29.604	372.120	398.131	14,2
China	23.000	1.070.000	1.200.000	42,9
Austrália	35.000	433.000	480.000	17,1
Índia	7.000	230.000	240.000	8,6
Rússia	25.000	101.000	100.000	3,6
Ucrânia	6.000	78.000	80.000	2,9
Outros países	44.396	305.880	301.869	10,8
TOTAL	170.000	2.590.000	2.800.000	100

Tabela 3. Reserva e Produção Mundial. Notas: (1) Reservas lavráveis - (e) Dados estimados, exceto Brasil. Fonte: DNPM, 2011

Ainda, segundo o Sumário Mineral de 2012, em 2010 a indústria extrativa de minério de ferro mostrou uma forte recuperação da queda provocada pela recessão mundial de 2008/2009, que refletiu também na queda da produção de pelotas como demonstra o Gráfico 2.

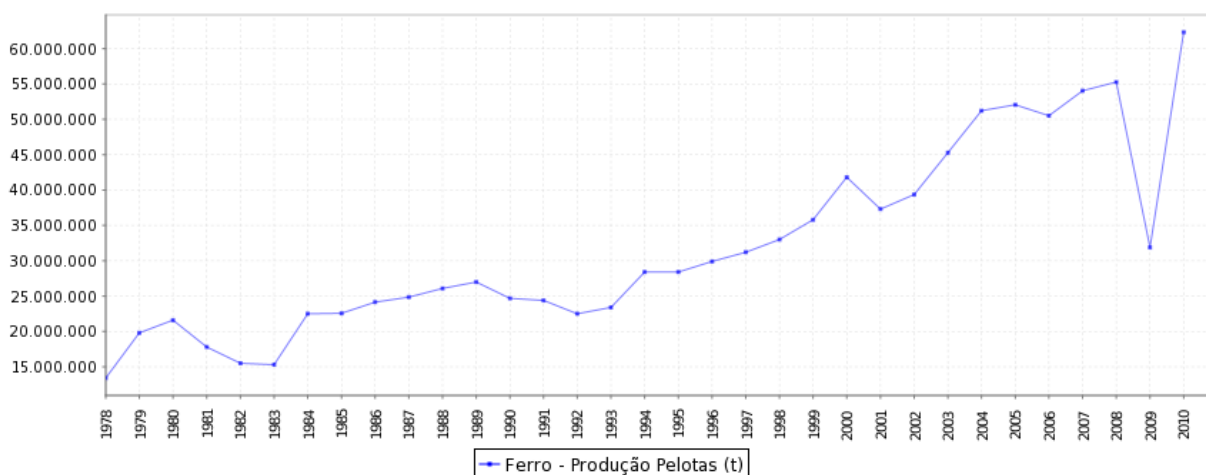


Gráfico 2. Produção de pelotas de ferro no Brasil.

Fonte: MCT/CETEM, 2011.

A produção brasileira de minério de ferro em 2011 aumentou 7% em relação a 2010, totalizando 398,1Mt (milhões de toneladas), com um teor médio de 64,69% de ferro. O valor da produção somou R\$ 64,7 bilhões. A Vale S/A, que lavra minério de ferro nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Pará, e as empresas nas quais a Vale tem participação (Minerações Brasileiras Reunidas S/A-MBR e Samarco Mineração S/A, ambas em Minas Gerais) foram responsáveis por 81% da produção. O restante está distribuído entre 34 empresas, com destaque para Companhia Siderúrgica Nacional-CSN, USIMINAS, Nacional de Minérios S/A-NAMISA e Companhia de Mineração Serra da Farofa no estado de Minas Gerais e Anglo Ferrous Amapá Mineração no estado do Amapá. Quanto ao tipo de produto a produção se dividiu em: granulados (12%) e finos (88%), estes distribuídos em *sinter feed* (61,4%) e *pellet feed* (26,6%). Da produção de *pellet feed* 63,5% foram destinados à produção de pelotas. A produção brasileira de pelotas em 2011 totalizou 62,4Mt (mesmo patamar do ano anterior), sendo a Vale e a Samarco as empresas produtoras. A Vale opera o complexo de usinas de pelotização instalado no Porto de Tubarão/ES, além das usinas de Fábrica (Ouro Preto/MG), Vargem Grande (Nova Lima/MG) e São Luiz/MA. A Samarco opera três usinas instaladas em Ponta de Ubu/ES (DNPM, 2012).

Ainda de acordo com o DNPM (2012), as exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas em 2011 totalizaram 330,8Mt, com um valor de US\$-FOB 41,8 bilhões, mostrando, em relação a 2010, um aumento de 6,4% na quantidade e 44,6% no valor. Foram exportadas 274,8Mt de minério (+6,2%) com um valor de US\$-FOB 31,9 bilhões (+49,2%). As exportações de pelotas atingiram 56Mt (+7,5%) com um

valor de US\$-FOB 10 bilhões (+31,9%). Os principais países de destino foram: China (51,0%), Japão (11,0%), Alemanha (5,0%), Coreia do Sul (4,0%) e Países Baixos (3,0%). Os preços médios de exportação de minério (115,91US\$-FOB/t) e pelotas (177,85US\$-FOB/t) aumentaram 40,5% e 22,6%, respectivamente, em comparação a 2010. Os altos investimentos chineses na construção de moradias populares, urbanização e infraestrutura indicam que a demanda do país por minério de ferro continuará crescendo nos próximos anos, mantendo o país como o principal destino das exportações brasileiras. O Sumário Mineral de 2012 não apontou registros de importações de minério de ferro em 2011.

Segundo o DNPM (2012), o consumo aparente de minério de ferro (produção + importação - exportação) em 2011 foi de 123,3Mt (+8,9% em relação ao ano anterior). O consumo efetivo (consumo na indústria siderúrgica somado ao consumo nas usinas de pelletização) está estimado em 119,3Mt (+3,3% em comparação com 2010). O consumo efetivo foi estimado com base nos dados de produção de gusa e pelotas (33,2Mt e 62,4Mt, respectivamente) e nos índices médios de consumo pesquisados junto às empresas produtoras (1,56t de minério/tonelada de gusa e 1,08t de minério/tonelada de pelotas). O consumo interno de minério de ferro está concentrado nesses dois setores (gusa e pelotas).

Discriminação		Unidade	2009 ^(r)	2010 ^(r)	2011 ^(p)
Produção	Minério	(t)	298.527.732	372.120.057	398.130.813
	Pelotas	(t)	32.437.818	62.328.484	62.446.077
Importação	Minério	(t)	155.010	-	-
		(10 ³ US\$-FOB)	7.858	-	-
	Pelotas	(t)	-	-	-
		(10 ³ US\$-FOB)	-	-	-
Exportação	Minério	(t)	235.775.461	258.820.293	274.796.904
		(10 ³ US\$-FOB)	10.582.192	21.353.878	31.851.797
	Pelotas	(t)	30.264.162	52.110.616	56.032.943
		(10 ³ US\$-FOB)	2.664.711	7.558.004	9.965.454
Consumo Aparente ⁽¹⁾	Minério	(t)	62.752.271	113.299.764	123.333.909
Consumo Efetivo ⁽²⁾	Minério	(t)	74.243.443	115.515.643	119.300.843
Preços	Minérios ⁽³⁾	(R\$/t)	88,95	150,58	299,76
	Minérios ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	44,88	82,50	115,91
	Pelotas ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	88,05	145,04	177,85
	Lump ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	56,03	81,61	106,28
	Sinter-Feed ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	59,18	88,28	113,61
	Pellet-Feed ⁽⁴⁾	(US\$-FOB/t)	57,70	115,42	164,48

Tabela 4. Principais estatísticas dos produtos de minério de ferro – Brasil.

Notas: (1) Produção + Importação – Exportação; (2) Consumo na indústria siderúrgica mais consumo nas usinas de pelletização (1,56 t minério/t de gusa; 1,08t de minério/t de pelotas); (3) Preço médio FOB-mina, minério beneficiado; (4) Preço médio FOB - Exportação; (p) preliminar; (r) revisado; (-) nulo. Fonte: DNPM, 2012.

No que se refere à pauta de exportações, o segundo semestre de 2011 reforçou a participação do minério de ferro como predominante entre os minerais exportados (85,6%), ou, em valor exportado, US\$ 23,4 bilhões. Os minerais ouro e cobre, que também possuem considerável participação na pauta de exportações (4,8% e 3,3%, respectivamente), apresentaram aumento no valor exportado no segundo semestre em relação ao primeiro (Gráfico 3). Os montantes exportados dos dois minerais foram, respectivamente, US\$ 1,3 bilhão e US\$ 908,5 milhões (DNPM/DIPLAM, 2012).

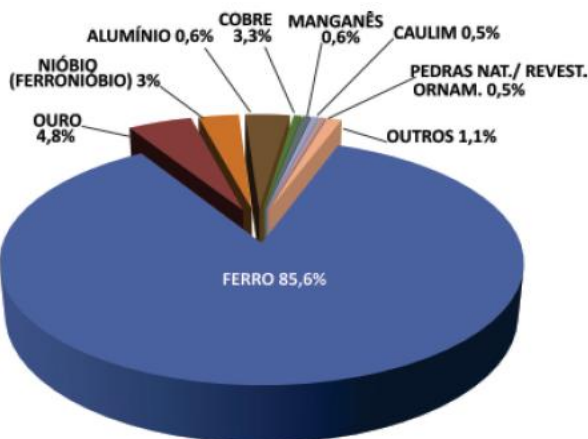


Gráfico 3. Distribuição das Exportações por Produtos (2º semestre de 2011).

Fonte: DNPM/DIPLAM, 2012

Quando considerado o total das exportações da indústria extrativa mineral, os principais países de destino foram a China (destino de 44,6% das exportações), Japão (10%) e Alemanha (4,7%), conforme demonstra o Gráfico 4 (DNPM/DIPLAM, 2012).

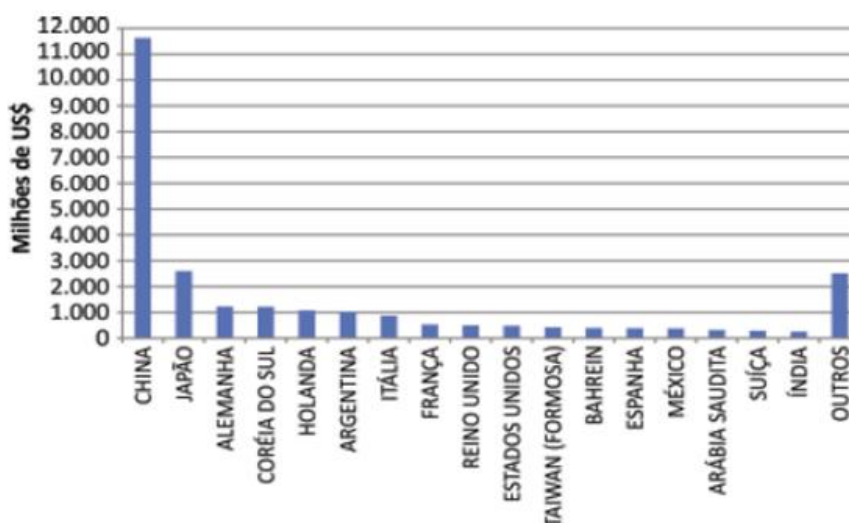


Gráfico 4. Principais Países de Destino das Exportações no segundo semestre de 2011.

Fonte: DNPM/DIPLAM, 2012

De qualquer forma, considerando que até o momento a crise europeia não foi capaz

de afetar substancialmente o crescimento econômico da China, que em 2011 cresceu 9,2% e que, dada a contração monetária chinesa em 2011 com o objetivo de controlar a taxa de inflação oficial, resta espaço para uma política monetária menos conservadora nos semestres seguintes é possível que continue a haver crescimento do valor exportado. As importações devem continuar a crescer a taxas bem mais modestas do que as exportações, visto não existir perspectiva de grandes saltos na taxa de crescimento da demanda interna em relação às taxas observadas nos dois semestres de 2011. Dessa forma, é provável que a indústria extrativa mineral continue a figurar como um dos importantes alicerces dos *superávits* da balança comercial brasileira (DNPM/DIPLAM, 2012).

Estudos do Banco Credit Suisse mostram, via Gráfico 5, que houve um déficit de mais de 40 milhões de toneladas de Minério de Ferro, registrados no ano de 2010. O mercado atingirá equilíbrio entre oferta e demanda somente a partir de 2013. Este estudo não leva em consideração o Plano de Reconstrução das áreas atingidas pelo terremoto e tsunami que atingiram o Japão em 2011. Analistas preveem que serão necessários 200 bilhões de Euros de investimentos em infraestrutura o que aumentará a demanda por minerais (IBRAM, 2011).

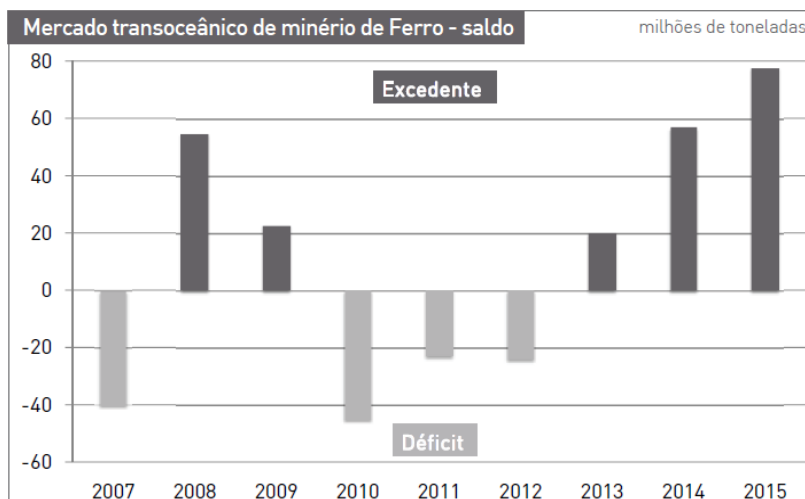


Gráfico 5. Saldo do Mercado de minério de Ferro. Fonte: IBRAM, 2011.

Os reajustes frequentes dos preços de minério de ferro e a concentração de sua produção nas mãos de poucas empresas levaram a indústria siderúrgica, grande consumidora do insumo, a verticalizar a produção e garantir o suprimento de suas usinas a partir de minas próprias. O exemplo da CSN, que sempre adotou essa estratégia, a Usiminas, a Gerdau e a Arcelor Mittal entraram na atividade de mineração, produzindo minério de ferro para atender à demanda de suas usinas. Isto

explica a participação no mercado de produção de minério de ferro no Brasil, cuja perspectiva até 2015 se mostra no Quadro 1 abaixo.

Previsão de produção de minério de Ferro do Brasil até 2015					
EMPRESA/ANO	2011	2012	2013	2014	2015
Mhag	500	1.000	5.000	7.000	12.000
Arcelor Mittal Serra Azul	5.000	5.000	10.000	15.000	15.000
Mineração Corumbaense	4.500	5.000	5.000	10.000	10.000
Usiminas (J. Mendes)	7.000	10.000	12.000	20.000	29.000
V&M Mineração	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
MMX	13.000	13.000	16.500	32.500	42.500
Anglo Ferrous	5.000	5.000	26.500	35.000	35.000
CSN	26.000	40.000	60.000	89.000	89.000
VALE	330.000	400.000	420.000	450.000	460.000
TOTAL	395.000	483.000	559.000	662.500	696.500
Outros	20.000	30.000	40.000	30.000	30.000
Ferrous Resources	1.000	1.000	2.000	15.000	25.000
Bahia Mineração	-	-	15.000	20.000	20.000
TOTAL	416.000	514.000	606.000	727.500	771.500

Quadro 2. Saldo do Mercado de minério de Ferro. Fonte: IBRAM, 2011.

Apesar de todo o investimento em produção/extração, o Brasil ainda investe pouco na pesquisa mineral. Em 2009 e em 2010, o País recebeu, apenas, a fatia de 3% de todo o investimento privado mundial em pesquisa mineral, ficando bem atrás de países territorialmente bem menores como Peru e Chile, como pode ser observado no Gráfico 6 (IBRAM, 2011).

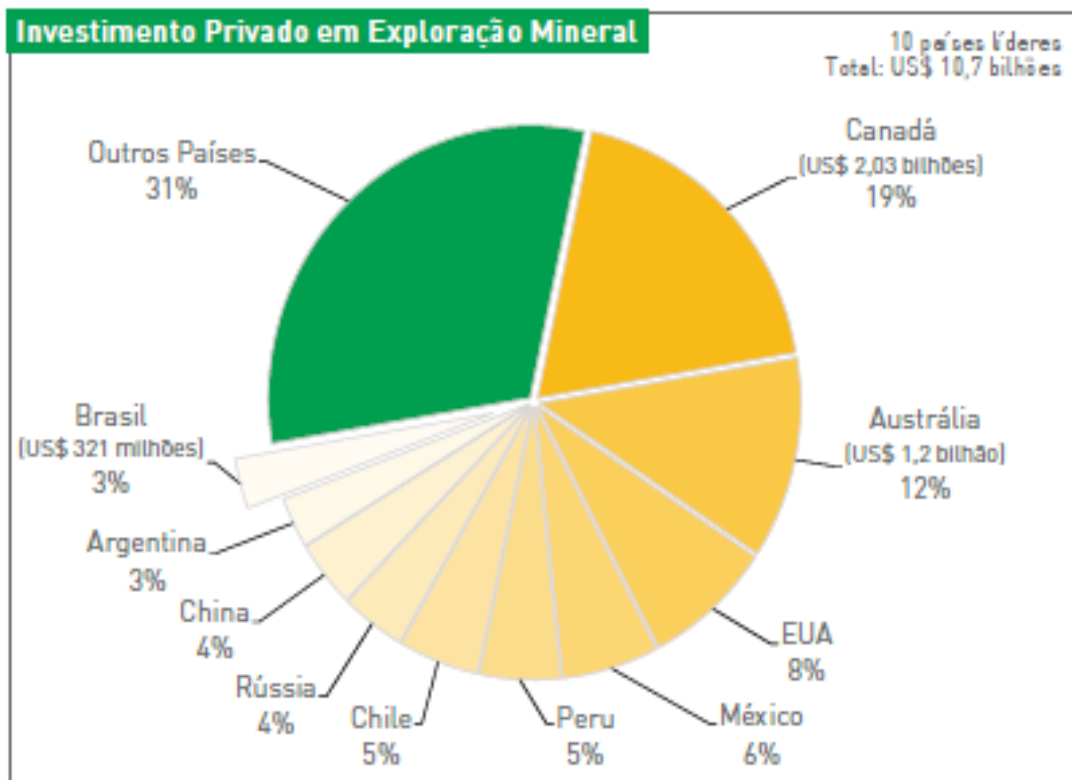


Gráfico 6. Investimento Privado em Pesquisa Mineral em 2009 e 2010.

Fonte: IBRAM, 2011.

Além disso, o Brasil possui menos de 30% de seu território mapeado geologicamente, para fins de avaliação do potencial mineral, de maneira adequada na escala de 1:100.000 (IBRAM, 2011).

De uma forma geral, objetivou-se neste Capítulo a apresentação dos conceitos relacionados ao campo de estudo da Ecologia Industrial que, apesar de alguns autores fazerem a distinção para a técnica de Produção mais Limpa, observou-se que ambas teorias fazem um consenso na busca da melhoria da qualidade ambiental no decorrer da atividade de produção. Foram apresentados o processo produtivo do minério de ferro, as aplicações e destinação dos seus produtos, assim como os panoramas nacional e mundial do comércio e da pesquisa referente a este setor mineral.

CAPÍTULO 3. OBJETOS DE ESTUDO

Esta pesquisa teve como primeiro objetivo acompanhar a operação da planta de filtragem da Anglo American no Complexo Logístico-Industrial Porto do Açú, cujo início estava previsto para o ano de 2012 (ANGLO AMERICAN, 2009), porém ainda se encontra em fase final de construção. Por isso, este Capítulo apresenta o processo produtivo da unidade pelletizadora em operação, da Samarco Mineração S/A, empresa atuante no mercado de mineração há mais de 30 anos, tomada como parâmetro referencial nesta pesquisa com o objetivo de identificar oportunidades de implementação de melhoria ambiental para outras organizações industriais com atividades similares, como a de filtragem da polpa de minério de ferro, da Anglo American, cujo futuro processo é caracterizado no Capítulo.

3.1 A cadeia produtiva da Samarco Mineração S.A.

A Samarco Mineração S.A., empresa de controle acionário exercido igualmente pela Vale e pela BHP-B Brasil (pertencente ao grupo anglo-australiano BHP Billiton), mantém unidades industriais em dois estados brasileiros, com operações realizadas de forma integrada e simultânea e é fornecedora de minério de ferro pelletizado para a indústria siderúrgica mundial (SAMARCO, 2012a)

Em Minas Gerais, localiza-se a unidade industrial de Germano, situada no município de Mariana, onde são feitas as operações de extração do minério, beneficiamento e o início do transporte do minério de ferro concentrado.

O minério de ferro concentrado é transportado, em forma de polpa, por um mineroduto com 396 km de extensão, que interliga as duas unidades industriais.

No Espírito Santo, está instalada a unidade industrial de Ponta Ubu, no município de Anchieta, que possui operações de preparação da polpa, pelletização, estocagem e embarque de pelotas de minério de ferro e *pellet feed* em porto próprio (MAPA, 2006).

A utilização em grande quantidade de finos e concentrados de minério de ferro no alto-forno não é possível devido ao fato de ser prejudicial à permeabilidade do gás da combustão em seu interior, por isso se faz necessário preparar tais frações de minério na forma de pelotas (COSTA, 2002).

Com capacidade instalada de produção de 22,250 milhões de toneladas anuais, a

produção é comercializada substancialmente no mercado externo. Em 2011, a Samarco vendeu 99% da produção para siderúrgicas de 19 países das Américas, Ásia, África e Europa (SAMARCO, 2011a).

Na Figura 17, a seguir, é apresentado um fluxograma simplificado da sequência de operações, desde a extração em Germano até o embarque em Ubu.

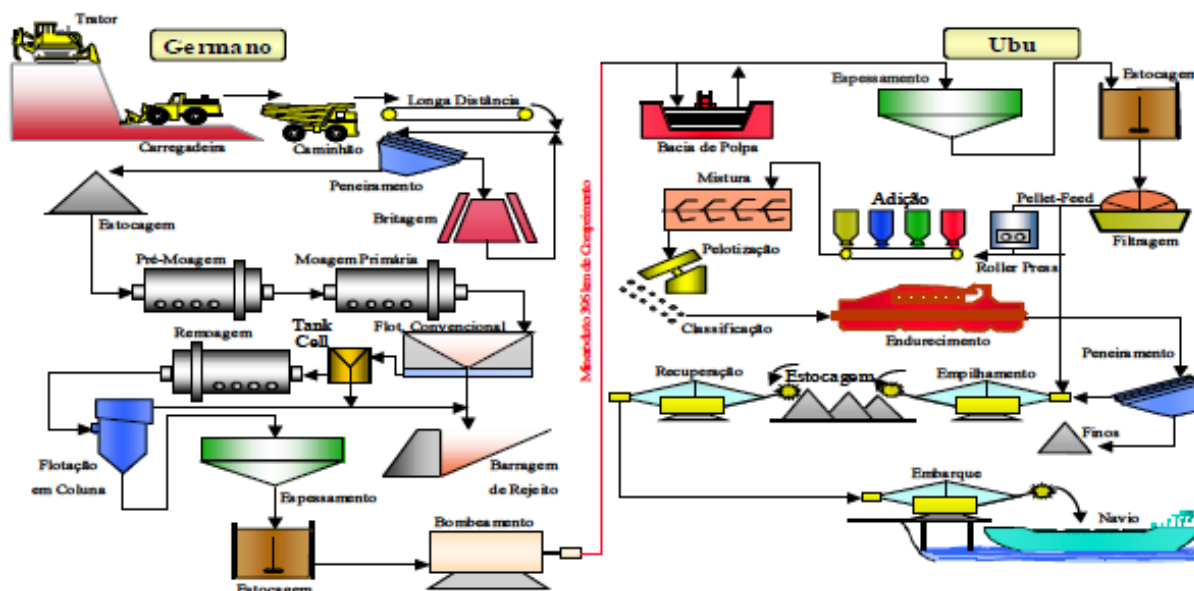


Figura 17. Fluxograma geral do processo produtivo da Samarco.

Fonte: MAPA, 2006.

3.2 O fluxo do minério de ferro no processo de pelotização da Samarco Mineração S.A.

Para facilitar a identificação das etapas do processo de pelotização onde pode haver desperdícios e subaproveitamentos do minério, faz-se necessário compreender todo o processo completo, que é descrito a seguir baseado no projeto da quarta usina pelotizadora da Samarco (CEPEMAR, 2009).

A Unidade Industrial de Ubu possui atualmente três usinas de pelotização e uma quarta está em fase de construção. O empreendimento inclui o recebimento de polpa de concentrado do Mineroduto, espessamento e clarificação, armazenamento e retomada da polpa, filtragem, moagem, mistura, pelotamento, endurecimento, peneiramento de produtos, tratamento de efluentes industriais, preparação de insumos, estocagem e embarque, carregamento de navios e nova Bacia de Polpa com dragagem.

A Usina de Pelotização foi concebida como uma operação versátil, capaz de produzir diversos tipos de produtos, pelo fornecimento de concentrado e/ou pela demanda de mercado e é

alimentada por um mineroduto da mina de Germano em Minas Gerais.

Para que a polpa seja transportada pelo mineroduto há necessidade da mesma estar com mais água do que é necessária para o processo em Ubu portanto, na saída do mineroduto, a polpa de concentrado é levada ao Distribuidor Primário da Torre Gravimétrica, que direciona o fluxo para um Espessador de Concentrado com 42 m de diâmetro, dimensionado para processar todo o fluxo de polpa recebido através do mineroduto. Esse espessador tem as funções de concentrar a polpa, separá-la da água e encaminhar este material para o restante do processo. A água que sai do espessador ainda contém resíduos e é enviada ao clarificador.

No clarificador, os restos de polpa são separados da água gerando dois materiais denominados *Underflow* e *Overflow*. O *underflow* do clarificador é a parte contendo a polpa restante e que segue para o processamento. O *overflow* do clarificador contém a água retirada e que será direcionada para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI), cuja água tratada alimentará por gravidade uma Caixa de Recuperação de Água de Processo. Caso a qualidade da água do *overflow* do clarificador esteja dentro das especificações, ela também poderá ser enviada diretamente para a caixa de recuperação de água. Essa água de processo tratada é reutilizada em toda a Planta de Pelotização. Em casos de emergência, o *overflow* dessa caixa de recirculação de água pode ser enviado para a Bacia de Polpa.

Toda a polpa recebida do Espessador e do Clarificador é encaminhada para Filtros a Vácuo. Após a filtragem, a polpa começa a ser chamada de *pellet feed* e é transportada para o sistema de prensagem *Roller Press* (Prensa de Rolos de Alta Pressão). Este é um sistema de prensagem de estágio único que é empregado para prensar o fino denominado *pellet feed* até o tamanho de partícula desejado para a formação das pelotas cruas. O transportador da descarga da Prensa de Rolos está equipado com um amostrador que atua transversalmente à correia. O *pellet feed* prensado é transportado para um silo no prédio da linha mistura com 2.500 t de capacidade.

Perto do prédio de mistura ficam os materiais que serão misturados ao *pellet feed* para formar as pelotas cruas: dois tipos de aglomerantes (aglomerante orgânico e bentonita), dois tipos de calcário (calcítico ou dolomítico) e combustível sólido (carvão antracítico).

Para a Mistura e Dosagem de Insumos, o silo de *pellet feed* fica disposto em linha com os silos de insumos que alimentarão os Misturadores: calcário (calcítico ou dolomítico) moído, bentonita, carvão moído e aglomerante orgânico.

A alimentação do pelotamento que sai dos dois Misturadores é coletada e transportada para os silos individuais de alimentação dos discos de pelotamento através de correias transportadoras.

As Pelotas Cruas fora de especificação da Mesa de Rolos, que podem ser denominados *oversize* (pelotas cruas maiores que 18 mm) ou *undersize* (pelotas cruas menores que 8 mm), serão encaminhadas através de correias transportadoras ao circuito de retorno de pelotas cruas classificadas como rejeitos. Um transportador de correia reversível poderá enviar este material fora de especificação para uma pilha de emergência ou para o sistema de desaglomeração em circuito fechado com o transportador de correia que recebe o material

dos misturadores e encaminha para a correia de alimentação dos silos dos discos.

O Forno de Endurecimento das pelotas é composto por uma grelha móvel com 4,0 m de largura. A máquina de endurecimento é alimentada continuamente pela Mesa de Rolos Principal, que distribui as pelotas através de toda a seção constituída de carros de grelha do forno, sobre um leito de pelotas queimadas (camadas de fundo e lateral). A altura total do leito de pelotas, incluindo a camada de pelotas queimadas (camada de fundo) poderá atingir o máximo de 450 mm. A velocidade de movimentação da grelha é variável e é automaticamente controlada de forma a manter uma altura total de leito de pelotas constante.

Durante o processo de endurecimento, alguns finos caem através das aberturas entre as barras de grelha e algumas pelotas queimadas ficam presas em aberturas provocadas por desgaste das barras de grelha. Estes finos e as pelotas pequenas eventualmente caem nas caixas de vento e são removidos por um sistema de válvulas para uma correia transportadora coletora de material derramado que ocupa toda a extensão do Forno de Endurecimento. Essa correia descarrega o material recolhido nas correias de produtos para eventual peneiramento com o objetivo de separar as pelotas inteiras dos finos.

Após a descarga do Forno é realizado o peneiramento. A instalação do peneiramento tem duas peneiras vibratórias instaladas em paralelo, as quais separam as pelotas por tamanho.

Após esta separação, as pelotas são transportadas até o pátio ou diretamente para embarque no navio (CEPEMAR, 2009).

Após conhecer com detalhes o processo de pelotização do minério de ferro, chega-se ao fluxograma simplificado abaixo, Figura 18. A maior exploração de cada uma das etapas permite identificar as principais fases de desperdícios, a fim de reduzi-la, senão combatê-la, um dos objetivos específicos deste estudo.

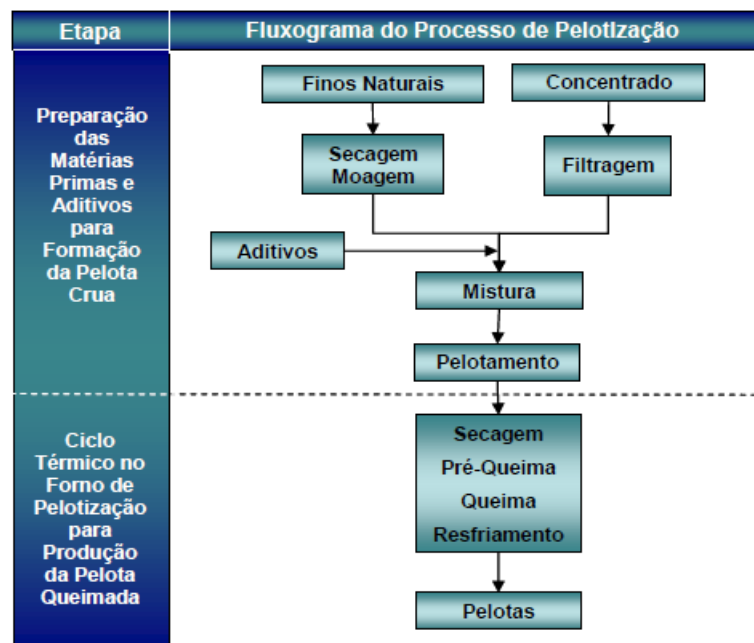


Figura 18. Fluxograma do Processo de Pelotização do Minério de Ferro. Fonte: COSTA, 2008.

3.3 Contexto industrial onde se localiza a instalação da Planta de Filtragem

Do ponto de vista econômico, os portos constituem-se em infraestruturas essenciais para o desenvolvimento regional e nacional, uma vez que eles constituem as vias essenciais de escoamento de mercadorias, tanto para exportação como para importação.

Com o objetivo de alterar a presente configuração deficitária de infraestrutura portuária existente no Brasil, a LLX, empresa de logística do grupo empresarial brasileiro EBX, nasceu em 2007 com o projeto de implantação do Complexo Logístico Industrial Porto do Açú (CLIPA), com intenção de contribuir para o crescimento do Brasil por meio de terminais portuários privativos de uso misto. (LLX, 2011).

Atualmente, o CLIPA é o maior projeto de complexo porto-indústria da América Latina, com capacidade prevista para movimentar até 350 milhões de toneladas por ano entre exportações e importações (LLX, 2011).

O complexo industrial se dividirá conforme definido a seguir e ilustrado na Figura 19:

- Zona Industrial do Porto do Açú (ZIPA): engloba Pátio logístico e suas unidades, usina Termelétrica (UTE) e pátio de minério (ECOLOGUS, 2010a);
- Distrito Industrial de São João da Barra (DISJB): reunirá as empresas atraídas pelo Porto do Açú. Responsabilidade da LLX Açú e da Companhia de Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro - CODIN (ECOLOGUS; AGRAR, 2011).

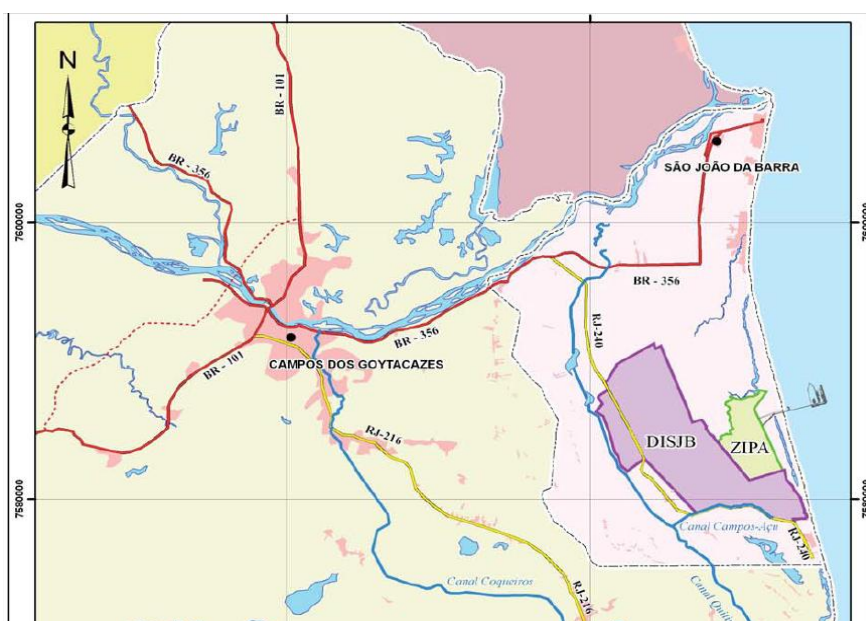


Figura 19. ZIPA + DISJB = CLIPA. Fonte: ECOLOGUS; AGRAR, 2011.

Quanto à divisão de atribuições compartilhadas pela LLX Logística S.A. e a Anglo American, Verax (2010) define assim:

A LLX Logística S.A. é dividida em LLX Açu, responsável pelo pátio logístico e operações portuárias, e a LLX Minas-Rio, que age em conjunto com o Sistema Minas-Rio, da Anglo American, que é formado pela reserva mineral e as plantas de beneficiamento de minério, sistema de transporte de mineroduto e pelo terminal LLX Minas-Rio, o complexo de recepção, armazenagem e expedição do minério de ferro (VERAX, 2010).

A estrutura societária da LLX Logística S.A. apresenta hoje a participação da Anglo American em 49% das ações da LLX Minas-Rio e detém 51% das ações da mesma empresa, conforme mostra a Figura 20 abaixo.

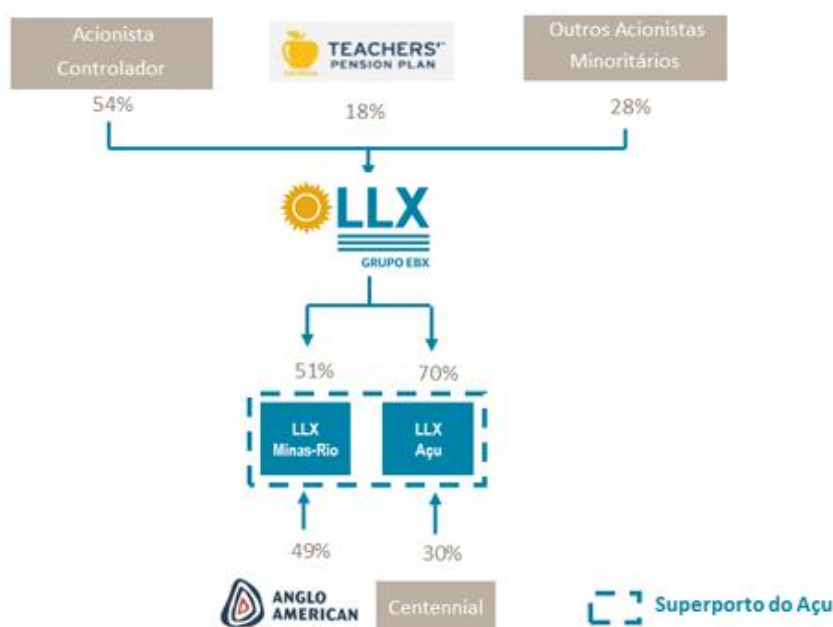


Figura 20. Estrutura societária da LLX Logística e subsidiárias.

Fonte: LLX, 2011.

3.3.1 Caracterização da futura atividade da unidade de estudo

A Anglo American é um dos maiores grupos em mineração e recursos naturais do mundo, com operações na África, Europa, América do Sul e do Norte, Austrália e Ásia (ANGLO AMERICAN, 2012).

Atualmente em fase de obras, o projeto Minas-Rio representa a Unidade de Negócio Minério de Ferro Brasil e terá capacidade inicial de produção de 26,5 milhões de toneladas anuais de minério de ferro com qualidade *premium* (teor de ferro acima de

67%) para abastecer o mercado externo (ANGLO AMERICAN, 2012).

Dentre as etapas produtivas do Sistema Minas-Rio está a filtragem, que compõe o escopo deste estudo e é definida por Valadão (2008) como uma operação unitária de separação dos sólidos contidos em uma suspensão aquosa mediante a passagem da polpa através de um meio filtrante, que retém as partículas sólidas e permite a passagem do líquido.

De acordo com Guimarães (2011), as operações de separação sólido-líquido estão usualmente relacionadas com:

- recuperação de água para reutilização no processo;
- adequação do percentual de sólidos da polpa exigida pelas operações unitárias subsequentes;
- redução da umidade dos produtos para transporte e comercialização;
- preparação de rejeitos visando transporte e disposição (GUIMARÃES, 2011).

De acordo com Lage (2011), a planta de filtragem da Anglo American receberá a polpa de minério de ferro e, através de um processo de separação de sólido/líquido, boa parte da água será removida pelo processo denominado filtração. Parte da água será reutilizada internamente e parte será descartada via emissário submarino. O minério de ferro extraído e beneficiado em Minas Gerais, sob a forma de *pellet feed*, será exportado. O esquema prático da planta de filtragem do Sistema Minas-Rio pode ser visualizado na Figura 21.

Dentre as atividades da Anglo American no Porto de Minério do Açu não está previsto o processo de pelletização, a transformação do minério de ferro filtrado em pelotas. Prevê-se que, futuramente, essa atividade possa ficar a cargo de uma siderúrgica, que também será instalada na retroárea do Porto, e consumirá parte do minério de ferro produzido pela Anglo American.

A siderúrgica, que além de pelotas de ferro produzirá também aço em forma de placas, chapas, laminados e bobinas, deve receber o *pellet feed* da Anglo American por meio de uma correia transportadora, até os pátios de estocagem da planta de pelletização (ECOLOGUS, 2010b).

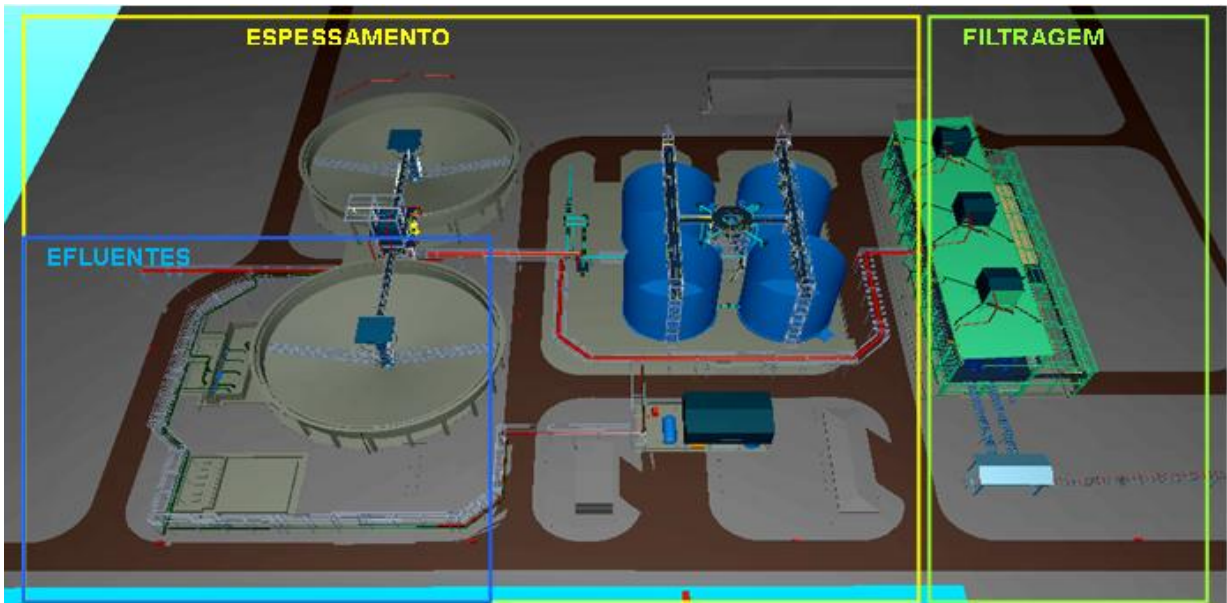


Figura 21. Esquema prático da planta de filtração do Porto de Minério do Açú, Sistema Minas-Rio.

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.

A seguir é feita a descrição do fluxo de processo da planta de filtração, da Anglo American, baseada em grande parte, em comunicações escritas em entrevistas a alguns dos responsáveis técnicos da futura operação do empreendimento.

O número 1 na Figura 22, a seguir, indica a operação normal da planta de filtração. A polpa de concentrado que chega do mineroduto será levada ao Distribuidor Primário da Torre Gravimétrica, que direciona o fluxo para um Espessador de Concentrado, este tem as funções de aumentar o percentual de sólidos da polpa e encaminhar este material para o restante do processo (CEPEMAR, 2009).

No Espessador (Figura 23) a polpa é separada em dois materiais: *Underflow* e *Overflow*. O *underflow* é a parte que sai por baixo do cone do Espessador com um percentual de sólidos maior do material que chega pelo mineroduto. O *overflow* é a parte que sai por cima do Espessador e é constituída basicamente de água, com um teor de sólido muito baixo (em torno de 15%). O *underflow* que sai do Espessador segue para os Tanques de Homogeneização e o seu *overflow* é enviado ao Clarificador (Figura 23) (FERREIRA, 2013).

O efluente que alimenta o Clarificador é constituído do *overflow* do espessador, efluentes provenientes da drenagem de piso e água que recircula no processo. Todo esse efluente passa por um processo de tratamento e no clarificador também são gerados *underflow* e *overflow* (FERREIRA, 2013).

O *underflow* do Clarificador contém um percentual elevado de sólidos, mas não é o suficiente para ser direcionado para os Tanques de Homogeneização, então ele é

bombeado de volta para o Espessador de Concentrado (FERREIRA, 2013).

O *overflow* do clarificador, composto de água já bastante separada de particulados sólidos, é direcionado para a Estação de Tratamento de Água (ETA), que será responsável por prover uma água isenta de material para preparação de reagentes e para selagem de bombas a vácuo e de centrífugas (SILVA, 2012; FERREIRA, 2013). Caso a qualidade da água do *overflow* do clarificador esteja dentro das especificações para fins industriais, ela poderá ser usada como água de processo, reutilizada em toda a Planta de Filtragem e o excedente enviado para o emissário submarino. Se não, deverá ser enviada para a ETA, onde receberá tratamento (FERREIRA, 2013).

Toda a polpa recebida nos Tanques de Homogeneização (Figura 24) é encaminhada para os Filtros Cerâmicos. O líquido que atravessa o meio filtrante é denominado filtrado e os sólidos retidos constituem a torta (VALADÃO, 2008).

Após a filtragem, a torta, composta de *pellet feed*, é transportada para o pátio de estocagem por correias, e o filtrado contém uma água isenta de particulados sólidos, que poderá ser reutilizado no processo ou direcionado para o emissário submarino (FERREIRA, 2013).

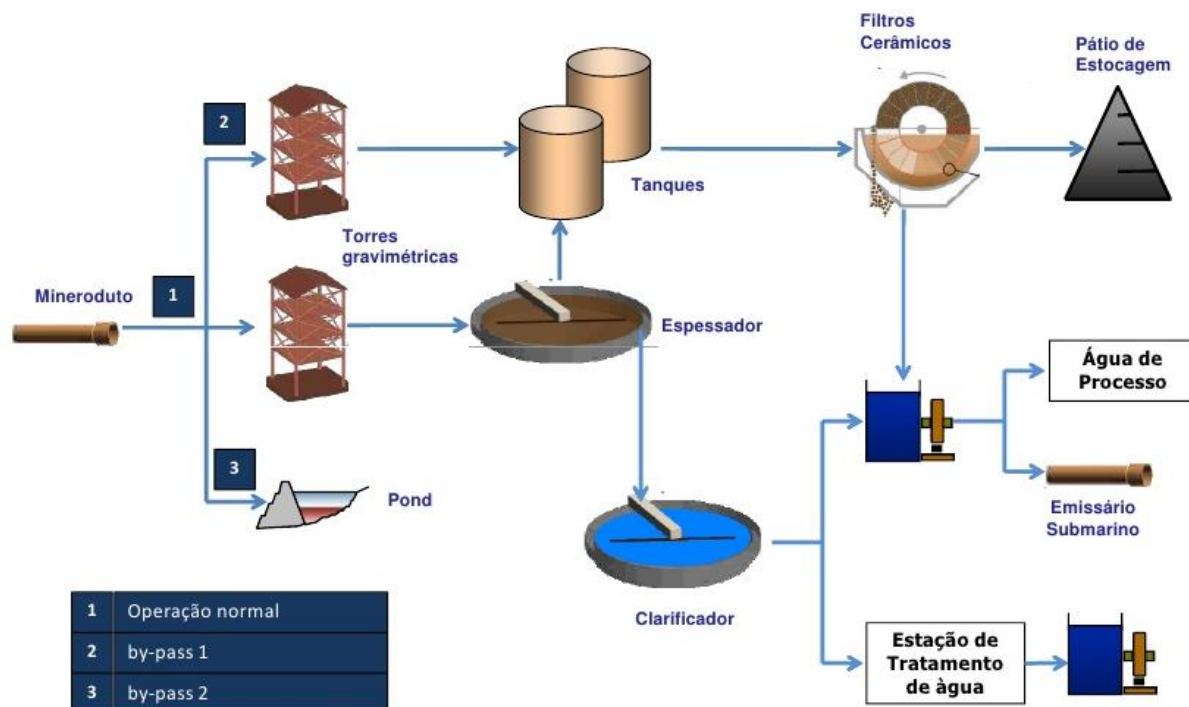


Figura 22. Esquema do processo de filtragem da Anglo American, Sistema Minas-Rio

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2011a.

Para a situação hipotética da operação *by-pass 1* (passagem secundária 1), no caso de parada no espessador, a polpa de minério é enviada diretamente para os tanques

que alimentam os filtros (ANGLO AMERICAN, 2011a).

Já na possibilidade de ocorrência da operação *by-pass* 2 (passagem secundária 2), para o caso de enchimento completo dos tanques de armazenamento de polpa, o fluxo do mineroduto é enviado para a bacia chamada *pond* (tanque), de onde posteriormente todo material será bombeado de volta, com o auxílio de uma draga, para o espessador, quando este estiver com a capacidade ociosa (ANGLO AMERICAN, 2011a; SILVA, 2012; FERREIRA, 2013).

O *pond* é um reservatório utilizado para emergências tanto para polpa quanto para parte da água que é separada na filtragem, quando seja detectada automaticamente qualidade ruim para descarte no mar. Isso representa um circuito de segurança para evitar impactos ambientais (SILVA, 2012).



Figura 23. Clarificador, à esquerda da foto, e Espessador, à direita da foto. Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio (foto de visita em campo do autor).

O Espessador de Concentrado pode ser visto na Figura 23 acima, tem 50m de diâmetro e foi dimensionado para processar todo o fluxo de polpa recebido através do mineroduto. Sua construção elevada 16,4m a partir do solo serve para evitar ambientes confinados, assim facilita-se a manutenção e pode-se oferecer mais segurança aos funcionários (SILVA, 2012).



Figura 24. Tanques de homogeneização. Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio (foto de visita em campo do autor).

Os efluentes provenientes da drenagem de piso serão recuperados nas mediações da planta de filtragem, através de canaletas (Figura 25, esquerda), que são conduzidos para uma caixa coletora de efluentes (Figura 25, direita).



Figura 25. Canaletas (grades no chão) para recolhimento de efluentes (à esquerda) e Caixa coletora de efluentes e detalhe da bomba para drenagem ao Clarificador (à direita). Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio (foto de visita em campo do autor).

A água recuperada, contida na caixa coletora de efluentes, será drenada por uma bomba, para alimentar o Clarificador, e enviada para o processo de tratamento do efluente (FERREIRA, 2013).

De uma forma geral, objetivou-se com este Capítulo a apresentação do processo

produtivo de minério de ferro na etapa de pelotização da Samarco, assim como foi descrita a futura operação da unidade de filtragem da Anglo American (Figura 26).



Figura 26. Vista aérea mais recente da fase de obras da Planta de Filtragem da Anglo American.

Fonte: FERREIRA, 2013.

CAPÍTULO 4. ANÁLISE E RESULTADOS

Este Capítulo pretende promover uma discussão sobre as práticas gerenciais desenvolvidas pela Samarco Mineração S. A., sob a ótica de algumas das ferramentas da Ecologia Industrial (Ecoeficiência e Análise de Fluxo de Material) e da Produção Mais Limpa (P+L), com ênfase especial à operação de filtragem e emissão de particulado no ar. É feita a análise dos dados e são apresentados os resultados, para então ser possível analisar as projeções de produção da planta de filtragem da Anglo American.

4.1 A Samarco Mineração S/A.

Os processos da unidade industrial de Ubu da Samarco Mineração S/A são identificados simplificadaamente na Figura 27 e servem de parâmetro para identificação de oportunidades em minimização de custos e redução e impacto ambiental.

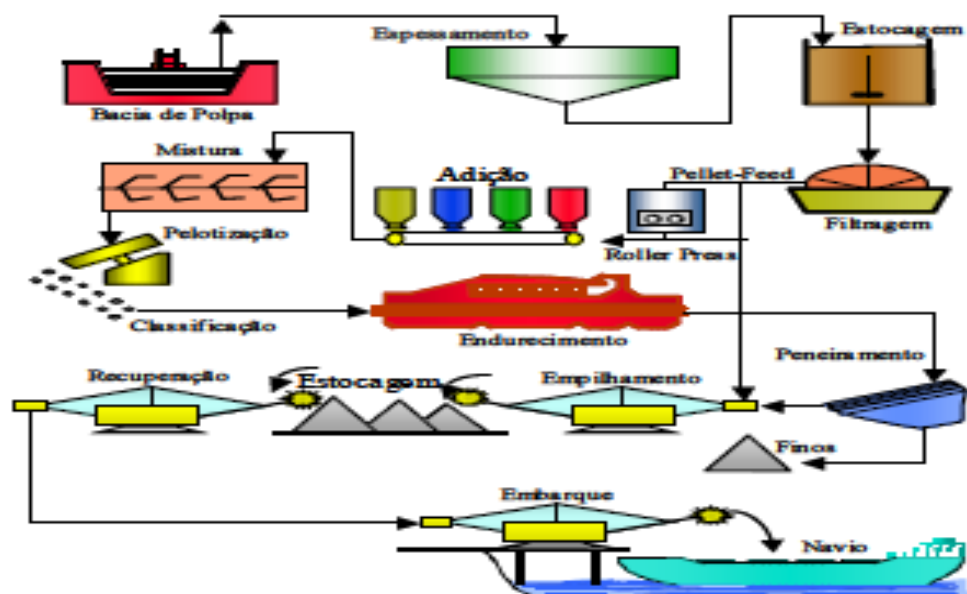


Figura 27. Esquema do processo produtivo da Samarco, na Unidade de Ubu.

Fonte: Adaptado de MAPA, 2006.

4.1.1 Revisão de indicadores de Ecoeficiência da SAMARCO MINERAÇÃO S/A.

A água é o recurso renovável, porém limitado, mais utilizado pela Samarco, cujo consumo corresponde a 1,26m³/t de minério tratado com 70% da água de

recirculação (MME, 2009a).

O uso da água no processo produtivo da Samarco é estruturado de maneira integrada, considerando toda a operação, de Minas Gerais ao Espírito Santo. A polpa de minério que chega à unidade de Ubu (Anchieta-ES) pelos minerodutos é submetida a um processo para separar o sólido da água. A fração sólida é direcionada ao processo produtivo, enquanto a água é conduzida ao Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais da Samarco e, posteriormente, à Barragem Norte, de onde se capta toda a água consumida nas operações. Essa prática de reaproveitamento elimina a necessidade de captação de água nos mananciais hídricos próximos às usinas de pelotização (SAMARCO, 2012a).

No relatório de Sustentabilidade de 2011, a empresa informa consumo anual entre 2009 e 2011, a média de 16,4 milhões de m³ de água captada em rios da região das minas, para tratamento e escoamento pelo mineroduto, sendo parte dessa água aproveitada na pelotização. O mesmo documento declara que em 2011 o total de água reciclada/reutilizada representou 90,40% em relação ao total consumido, conforme pode ser observado na tabela abaixo (SAMARCO, 2012a).

Água reciclada e reutilizada (m ³)(%)	2009	2010	2011
Total de água reciclada/reutilizada (em milhares m ³)	133.920	158.456	153.968
(%) de água reciclada/reutilizada em relação ao total consumido	90,68	90,65	90,40

Tabela 5. Água reciclada e reutilizada (m³)(%) na Samarco entre 2009 e 2011.

Fonte: SAMARCO, 2012a.

Todavia, o mesmo relatório assume que, mesmo com o reaproveitamento da água no processo produtivo, as usinas de pelotização não utilizam todo o volume, e o excedente tratado é enviado para a lagoa de Mãe-Bá (Anchieta-ES), em condições controladas de monitoramento, e devidamente fiscalizadas pelo órgão ambiental do Estado do Espírito Santo (IEMA).

Para compensar o transtorno ambiental causado pelo deságue na lagoa de Mãe-Bá, a Samarco iniciou em 2011 a elaboração do Plano de Conservação e Recuperação das Lagoas de Mãe-Bá e Ubu. Na Lagoa de Mãe-Bá, foi dado prosseguimento na implementação de dois outros Programas, que tratam de aspectos ambientais específicos: o Programa de Recomposição das Nascentes, com o plantio e manutenção da vegetação, e o Programa de Reforço e Estoque Pesqueiro,

desenvolvido desde 2008, que promove a criação e posterior soltura de alevinos de espécies nativas da lagoa (SAMARCO, 2012a).

A pelotização que consiste na queima do minério *pellet feed*, por queimadores alimentados por combustíveis fósseis tem nesta etapa um consumo energético de 40 kilowatt hora por tonelada (kWh/t) (MCT/CETEM, 2001).

A energia é um recurso crítico para qualquer empresa do setor de mineração, e a sua gestão é foco de permanente atenção. A Samarco é proprietária da Usina Hidrelétrica de Muniz Freire, no Espírito Santo, e tem participação na Usina Hidrelétrica de Guilman-Amorim, em Minas Gerais, responsáveis por cerca de 20% do seu consumo. O restante é adquirido em contratos de longo prazo com empresas geradoras de energia por meio de empreendimentos hidrelétricos. Portanto, 100% da energia elétrica consumida pela Samarco procede de fontes renováveis (SAMARCO, 2012a). Na Tabela 6, mostra-se a participação do consumo elétrico da empresa.

Energia elétrica adquirida (MWh)	2009	2010	2011
Consumo próprio	1.537.616	1.957.295	1.946.590
Geração própria	402.830	392.482	423.546
% sobre o consumo total	26,20%	20,05%	21,76%

Tabela 6. Consumo de energia elétrica da Samarco entre 2009 e 2011.

Fonte: SAMARCO, 2012a.

O consumo energético na mineração, lavra e beneficiamento não representa emissões de gases de efeito estufa (GEE) representativas. A etapa mais intensiva de emissão de GEE é a de preparação do minério para utilização nos aparelhos siderúrgicos na pelotização e na sinterização (MME, 2009a).

As usinas de pelotas no Brasil são instaladas fora das áreas das minas, exceto a Usina de Fábrica (Vale) que é junto às atividades de mineração, e os queimadores são as principais fontes de emissão de GEE (BRASIL, 2009a).

Sobre emissões de GEE, a Samarco (2012a) declara que:

A Samarco registrou emissões de GEE (CO₂) na média de 100 kg CO₂ / t de pelotas entre 2006 e 2008. O projeto da Samarco de redução de emissões de GEE, com a substituição do óleo combustível pelo gás natural no processo de pelotização, permitiu uma diminuição significativa das emissões. Por esse resultado, o projeto obteve o registro de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) pela Convenção-Quadro da ONU sobre Mudanças Climáticas.

A Empresa deixou de emitir, com a mudança realizada no segundo semestre de 2010, aproximadamente 57 mil toneladas de emissões equivalentes a dióxido de carbono (CO₂eq*) naquele ano e cerca de 207 mil toneladas de CO₂eq em 2011. Essas reduções superaram a expectativa projetada, de 158 mil toneladas de CO₂eq, e correspondem a uma redução de 9,8% das emissões totais da Samarco (SAMARCO, 2012a).

Na unidade industrial de Ubu, apesar das concentrações de emissões de gases e de particulados atenderem tanto a Legislação Federal quanto as condicionantes de Licença de Operação das usinas de pelotização, observa-se um aumento de material particulado de 1.128,9 t em 2009 para 1.815,4 t em 2011, um incremento de 60,81% que é causado em parte pelo aumento da produção de finos e pelotas em 8,26% no mesmo período, conforme mostrado na Tabela 7 a seguir (SAMARCO, 2012a):

Ano	Pelotas (**)	Finos (**)	Total (**)
2009	16,051	1,571	17,622
2010	21,508	1,941	23,449
2011	21,452	1,771	23,223

Tabela 7. Evolução da Produção na Samarco entre 2009 e 2011.

*Valores arredondados em milhões de toneladas métricas secas.
Fonte: SAMARCO, 2012a.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Samarco (2012a), a geração de resíduos domésticos e industriais em 2011 foi contabilizada em 19.138,12 t em sua totalidade, um incremento de 99,42% em relação ao contabilizado no ano de 2009.

Ainda em relação ao ano de 2011, do total de resíduos gerados 87,99% receberam destinação apropriada, sendo as mais significativas: 37,32% (metálicos, correias, madeira) para reciclagem e reaproveitamento e 38,81% (lã de rocha, lã de vidro, refratário) foram dispostos em aterro industrial.

Segundo relatório técnico encomendado pelo MME (2009a), em termos médios, a produtividade medida em relação à produção mostra que para uma produção de 285Mt em 2005 a mão de obra utilizada nas minas e usinas segundo o DNPM foi de 18.207 operários, dando uma relação de 15.660 toneladas/homem/ano (t/H/a).

*Medida métrica que equivale ao resultado da multiplicação das toneladas emitidas de Gases de Efeito Estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂, então se pode dizer que o CO₂

equivalente do metano é igual a 21 (IPAM, 2013).

O uso eficiente dos recursos naturais é tratado como premissa para o negócio da Samarco, empresa criada há 35 anos, com o objetivo de viabilizar a exploração de um minério com baixo teor de ferro, se comparado ao utilizado naquela época pelas demais empresas do setor.

A eficiência de suas operações e a introdução de novas tecnologias têm-lhes permitido utilizar o minério de ferro com teores cada vez mais baixos e que antes era considerado rejeito. Quando a Samarco iniciou suas operações, o minério apresentava teor de 55% de ferro para que seu uso fosse viável. Nos dias atuais, o patamar do teor é em torno de 45% (SAMARCO, 2012a).

O total produzido pela Samarco em 2011 foi de 23,223 milhões de toneladas, sendo 21,452 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro e 1,771 milhões de toneladas de finos (*pellet feed + sinter feed*) (SAMARCO, 2011a).

Conforme visto na seção 2.2, o WBCSD (1996) recomenda o indicador de ecoeficiência dado pelo quociente entre o valor do produto ou serviço e a influência ambiental, pois uma vez que os termos são inversamente proporcionais, um aumento no valor do resultado reflete uma melhoria positiva no desempenho, ou seja, a influência ambiental é diminuída e seu resultado representa eficiência.

Assim sendo, é possível elaborar o Quadro 3 abaixo, onde são representados os principais indicadores de ecoeficiência, tratados nesta seção.

Indicador	Fórmula do cálculo	Resultado	Unidade de medida
Consumo de água	$\frac{\sum (\text{massa de minério de ferro produzido})}{\sum (\text{volume de água consumida})}$	$\frac{23.223.000}{16.357.971} = 1,4$	t/m ³
Consumo energético	$\frac{\sum (\text{massa de minério de ferro produzido})}{\sum (\text{quantidade de energia consumida})}$	$\frac{23.223.000}{1.946.590} = 11,9$	t/KWh
Emissão de GEE	$\frac{\sum (\text{massa de minério de ferro produzido})}{\sum (\text{massa de CO2 eq produzido})}$	$\frac{23.223.000}{207.000} = 112,2$	t/t de CO2 eq
Material particulado	$\frac{\sum (\text{massa de minério de ferro produzido})}{\sum (\text{massa de material particulado no ar})}$	$\frac{23.223.000}{1.815,4} = 12.792,2$	t/t
Resíduos	$\frac{\sum (\text{massa de minério de ferro produzido})}{\sum (\text{massa de resíduos domésticos e industriais})}$	$\frac{23.223.000}{19.138,12} = 1.213,4$	t/t

Quadro 3. Indicadores de ecoeficiência da Samarco.

4.1.2 Proposta de uma Análise de Fluxo de Material (AFM)

A Análise de Fluxo de Material é a ferramenta mais apropriada para o estudo a que o presente trabalho se dedica, cujo escopo de pesquisa contempla somente a transformação mineral do ferro (até o embarque para exportação), destacada em círculo na Figura 28.

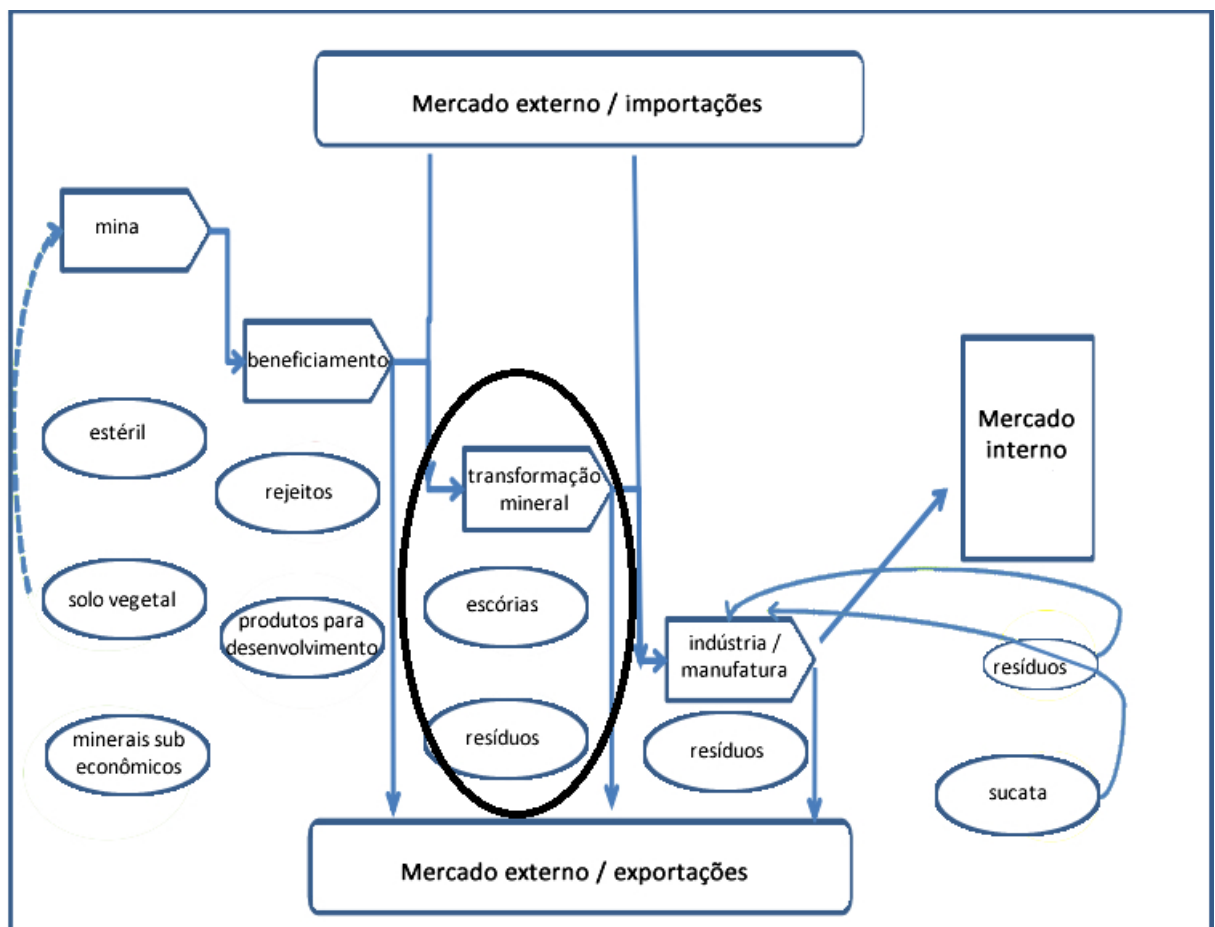


Figura 28. Cadeia de valor e dos fluxos na indústria mineral em geral. Fonte: Adaptado de MME, 2009b.

Com o auxílio desse esquema e a partir do reconhecimento inicial da área sob análise nesta pesquisa, através de visita *in loco*, foi possível entender melhor o processo produtivo da Samarco em Ubu, o que possibilitou compor um mapeamento deste processo.

Para Rother e Shook (2000), o mapeamento é uma ferramenta que fornece uma visão de todo o processo de produção, incluindo atividades agregadoras, ou não, de valor¹ ao produto ou serviço.

Há diferentes técnicas para se elaborar um mapeamento de processos dependendo do enfoque que se queira dar, por isso é importante a correta interpretação do processo² para refletir a realidade do que está sendo mapeado.

Para levantar as tarefas e atividades desenvolvidas neste tipo de operação industrial, foram primordiais a coleta de dados no local de estudo e as entrevistas a alguns gestores, que a pedido terão os seus nomes preservados.

Assim, para a Análise de Fluxo de Material, os produtos finais do processo de pelletização do minério de ferro da Samarco têm *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas) detalhados que mostram o fluxo de todos os materiais em cada etapa produtiva, como mostra o Quadro 4, onde são associados a materiais denominados fluxos ocultos, já definidos no Capítulo 3.

Após o levantamento das tarefas e atividades do processo produtivo em questão, e a confecção da Matriz *Input-Output*, foi possível realizar o mapeamento do processo, do tipo fluxograma, ver Figura 29. Nela se utilizaram os símbolos recomendados por Slack *et al.* (2009).

A partir do mapeamento de processo, do tipo fluxograma, é possível identificar as atividades onde estejam ocorrendo desperdícios ou subaproveitamentos, assim pode-se identificar oportunidades de melhoria no processo, além de oportunidade de negócio com outras empresas, a exemplo do que ocorre com a comercialização do subproduto gerado, o *pellet screening*, pelotas já queimadas e sinterizadas, porém, degradadas, e que são classificadas na etapa de peneiramento como menor que 6,3mm.

Costa (2002) ressalta ainda o fato de que não é possível a utilização em grande quantidade de finos e concentrados de minério de ferro nos fornos da pelletização, devido aos efeitos prejudiciais à permeabilidade de gás em seu interior, o que justifica o uso de tais frações de minério em forma de pelotas.

¹Uma atividade agrega valor quando ela é importante para o processo e implica em resultados econômicos positivos para um produto ou serviço (RADOS *et al.*, 1999).

²Garvin (1998) define processo, no sentido amplo, como um conjunto de tarefas e atividades interligadas que juntas transformam entradas (*inputs*) em saídas (*outputs*).

<i>Input</i>	<i>Etapa</i>	<i>Output</i>
Polpa de minério recebido pelo mineroduto	Bacia de Polpa	Minério decantado; Água resultante da decantação
Minério de ferro misturado à água	Espessamento	Polpa concentrada (1); Água contendo restos de polpa
Água contendo restos de polpa	Clarificador	<i>Under flow</i> (2); <i>Over flow</i> contendo água apropriada; <i>Over flow</i> contendo água inapropriada
<i>Over flow</i> contendo água fora das especificações	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI)	Água tratada
<i>Over flow</i> contendo água apropriada; Água tratada do ETEI	Caixa de Recuperação de Água de Processo	Água reutilizada em toda a Planta de Pelotização
Polpa concentrada (1); <i>Under flow</i> (2);	Estocagem	Polpa recebida do espessador; Polpa recebida do clarificador
Polpa recebida do espessador e do clarificador	Filtragem	<i>Pellet Feed</i>
<i>Pellet Feed</i>	<i>Roller Press</i>	<i>Pellet Feed</i> com tamanho ideal <i>Pellet Feed</i> fora do tamanho ideal Pó (atrito entre <i>Pellet feed</i>)
<i>Pellet Feed</i> com tamanho dentro da especificação	Adição	<i>Pellet Feed</i> adicionado de aglomerantes, calcário e carvão antracítico
<i>Pellet feed</i> com os aglomerantes, calcário e carvão antracítico	Mistura	Pelotas cruas
Pelotas cruas	Pelotização (Mesa de Rolos)	Pelotas cruas de diâmetro entre 8 e 18 mm
		Pelotas cruas <i>Undersize</i> (< 8mm) Pelotas cruas <i>Oversize</i> (> 18mm)
<i>Undersize</i> ; <i>Oversize</i>	Sistema de desaglomeração	Pelotas retornam para pelotamento.
Pelotas cruas de diâmetro entre 8 e 18 mm (dentro das especificações)	Forno de Endurecimento	Pelotas queimadas dentro da especificação Pelotas queimadas degradadas <i>Pellet feed</i>
Pelotas queimadas degradadas; Finos	Caixas de vento	Material recolhido para eventual peneiramento
Pelotas queimadas; Material recolhido nas caixas de vento	Peneiramento	Pelotas separadas por tamanho <i>Pellet feed</i>
Pelotas dentro das especificações	Empilhamento	Pilhas de minério para exportação
Pelotas degradadas menores que 6,3mm		<i>Pellet Screening</i> (subproduto comercializável)
Pelotas coletadas das pilhas	Estocagem no Pátio de Minérios (a céu aberto)	<i>Pellets</i> (pelotas)
<i>Pellets</i>	Embarque	Arraste de pelotas e pó pela ação do vento Abastecimento de minério de ferro no navio

Quadro 4. Matriz *Input-Output* do processo produtivo da Samarco, na Unidade de Ubu).

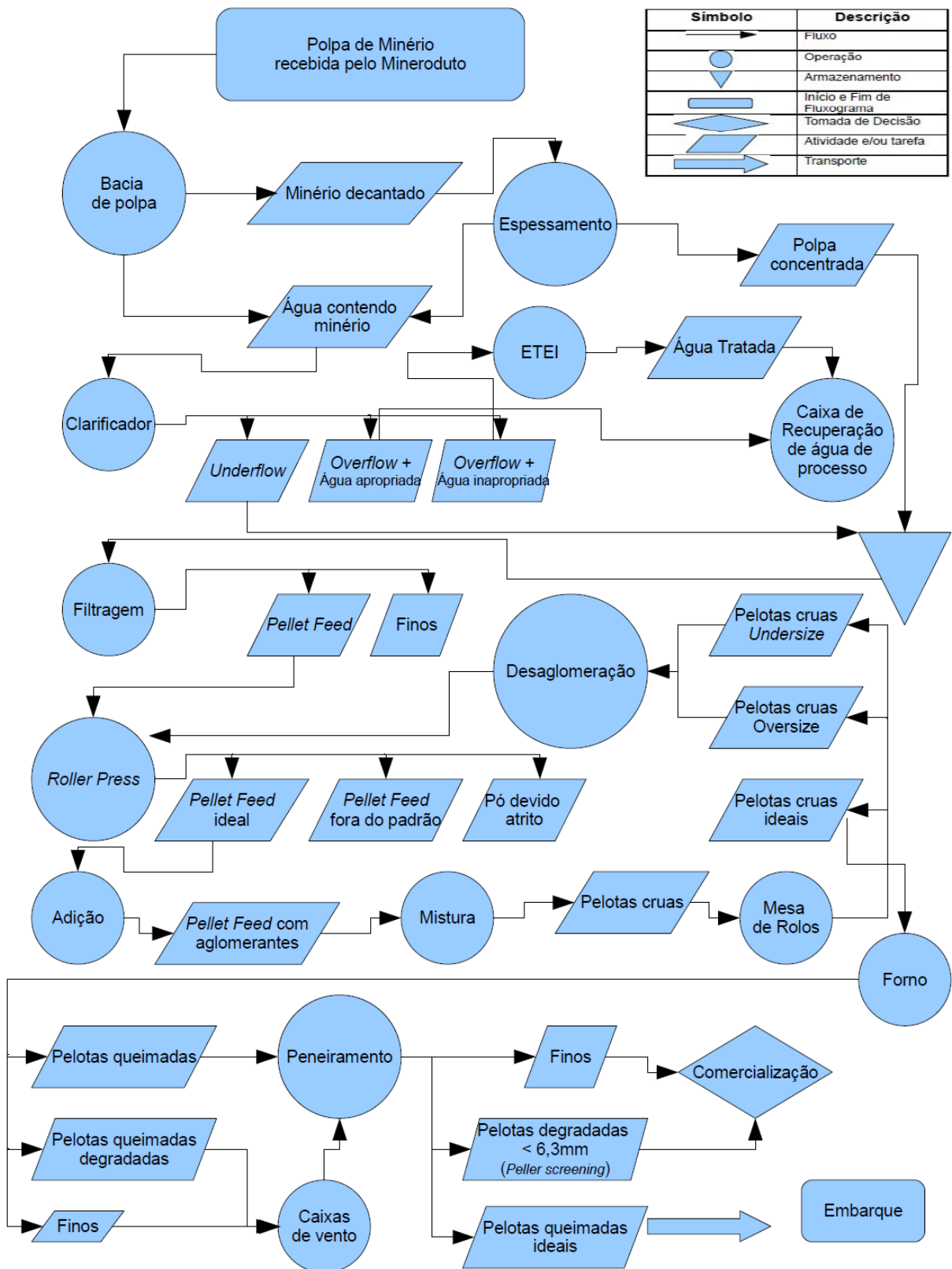


Figura 29. Mapeamento de processo. Fluxograma e legenda do processo produtivo da Samarco.

Utilizando os indicadores de ecoeficiência da Samarco, tratados na subseção 4.1.1 deste trabalho, é possível chegar à Análise de Fluxo de Material, na qual as entradas e saídas em processo produtivo são qualificadas e quantificadas, como pode ser observado na Figura 30, a seguir.

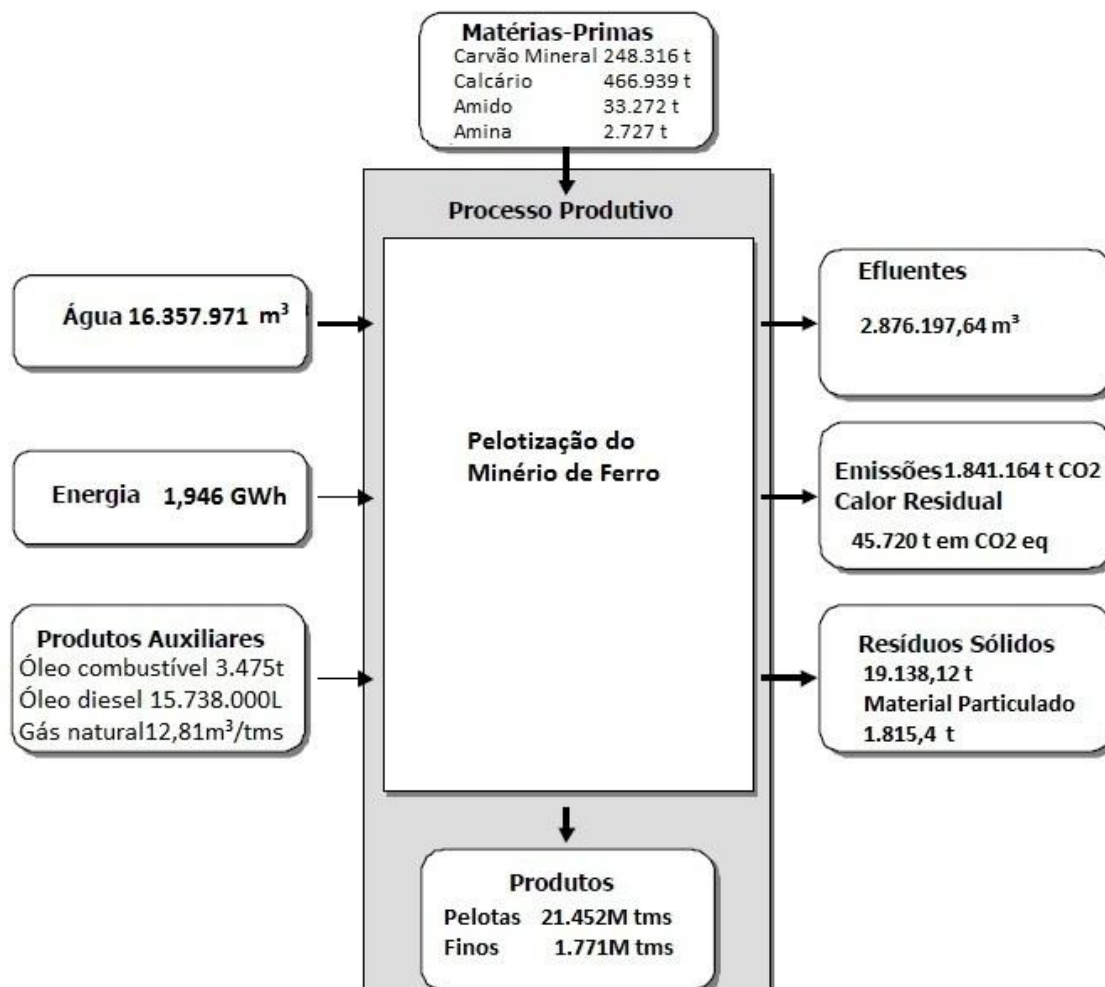


Figura 30. Análise quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo Samarco.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNTL, 2003.

4.1.3 Avaliação de Produção mais Limpa (P+L)

A análise quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo, apresentada no tópico anterior, é fundamental na elaboração dos Quadros 5 e 6 a seguir, para então compor o diagnóstico que vai embasar uma avaliação de Produção mais Limpa.

No Quadro 5, o custo que se apresenta relacionado às matérias-primas, considerou-se o valor (mais significativo) de aquisição de minério de ferro de terceiros, uma vez que a empresa possui mina própria de exploração do minério, e a compra se dá em ocasiões eventuais. O custo com a água é desconhecido por não constar o valor com a captação do recurso hídrico em nenhum dos relatórios da empresa que serviram de base para a presente pesquisa.

	Quantidade	Custo
Energia	1,946GWh	R\$ 23, 2 milhões
Matérias-primas	751.254t	R\$ 173,5 milhões
Água	16.357.971m ³	desconhecido
Auxiliares	297,5M m ³ (Gás Natural) 15,74M l (Óleo diesel) 3.475t (Óleo combustível)	R\$ 2,6 milhões

Quadro 5. Tabela de matérias-primas, insumos e auxiliares.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNTL, 2003.

Ainda no Quadro 5, o custo referente a “auxiliares”, foi considerado o total de matérias-primas, materiais de consumo e alterações em produtos acabados e estoques em processo, reconhecidos nos custos de venda da Empresa. Dentre os materiais auxiliares, para fins de cálculo do total demandado de gás natural, recorreu-se ao dado do volume total produzido de minério de ferro (incluindo os finos) no ano exercício 2011 da Samarco, que foi no total de 23,223 milhões de toneladas de métricas secas (tms). Assim, baseado na análise qualitativa e quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo da empresa (Figura 30), chegou-se ao total de 297,5 milhões de metros cúbicos de gás natural exigido na operação de pelotização (a quantidade utilizada na produção de óleo diesel e de óleo combustível estão também apresentadas no Quadro 5).

	Quantidade	Custo
Subprodutos	1.771M tms	Não Apresenta
Resíduos	19.138,12t	Σ = R\$ 250 milhões
Efluentes	2.876.197,64m ³	
Emissões	1.841.164t em CO ₂ eq	

Quadro 6. Tabela de subprodutos, resíduos, efluentes e emissões.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNTL, 2003.

No Quadro 6, o custo com subprodutos (*pellet feed* e *sinter feed*) não é considerado, uma vez que eles são comercializados como excedente da produção (que se baseia essencialmente em *pellets*) e são revertidos em lucro para a Empresa. Na quantidade de efluentes, aproximadamente 2,9M m³, estão sendo considerados somente os efluentes decorrentes da operação de pelotização, na Unidade Industrial de Ubu (não se pode ignorar a relevância da geração de efluentes na fase de beneficiamento do minério de ferro, porém esta fase não pertence ao

escopo deste trabalho).

Ainda no Quadro 6, o custo referente a resíduos, efluentes e emissões, foi o considerado no orçamento do investimento total previsto para o ano exercício 2012 no tratamento desses componentes, conforme apresentado no Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras da Samarco (SAMARCO, 2011a).

De posse das informações do diagnóstico ambiental, o próximo passo para continuar um programa de P+L, de acordo com o CNTL (2003), é selecionar entre todas as atividades e operações da empresa o foco de trabalho. Estas informações são analisadas considerando os regulamentos legais, a quantidade de resíduos gerados, a toxicidade dos resíduos, e os custos envolvidos.

A partir do mapeamento de processo de pelotização de minério de ferro da Samarco, levantado no tópico anterior, é possível fazer o levantamento das emissões em cada uma das etapas do processo, conforme pode ser visualizado no esquema simplificado da Figura 31, o que pode auxiliar no ataque aos focos de poluição.

Como enfoque deste trabalho, decidiu-se privilegiar as questões que se referem a emissões atmosféricas na unidade industrial da Samarco sob análise, em especial a emissão de gases de efeito estufa, pela capacidade de provocar o aquecimento do globo terrestre, o que implica várias consequências danosas ao planeta, principalmente a ocorrência de alterações climáticas.

A Resolução CONAMA n. 436/2011, Anexo XIII, estabelece os limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados nas usinas de pelotização de minério de ferro, cujo sistema de exaustão do forno é apontado como fonte de emissão pontual, sendo permitidos até 70 mg/Nm³ para Material Particulado, 700 mg/Nm³ para SO₂ e 700 mg/Nm³ para NO_x (MMA, 2011b).

Buscando atender o que exige a lei anterior, como principal medida do tipo Prevenção de Poluição (PP), para reduzir a emissão desses gases, a Samarco promoveu a substituição do óleo combustível pelo gás natural como fonte de energia nos fornos de pelotização, a iniciativa implicou também na redução de custos (CEPEMAR, 2009).

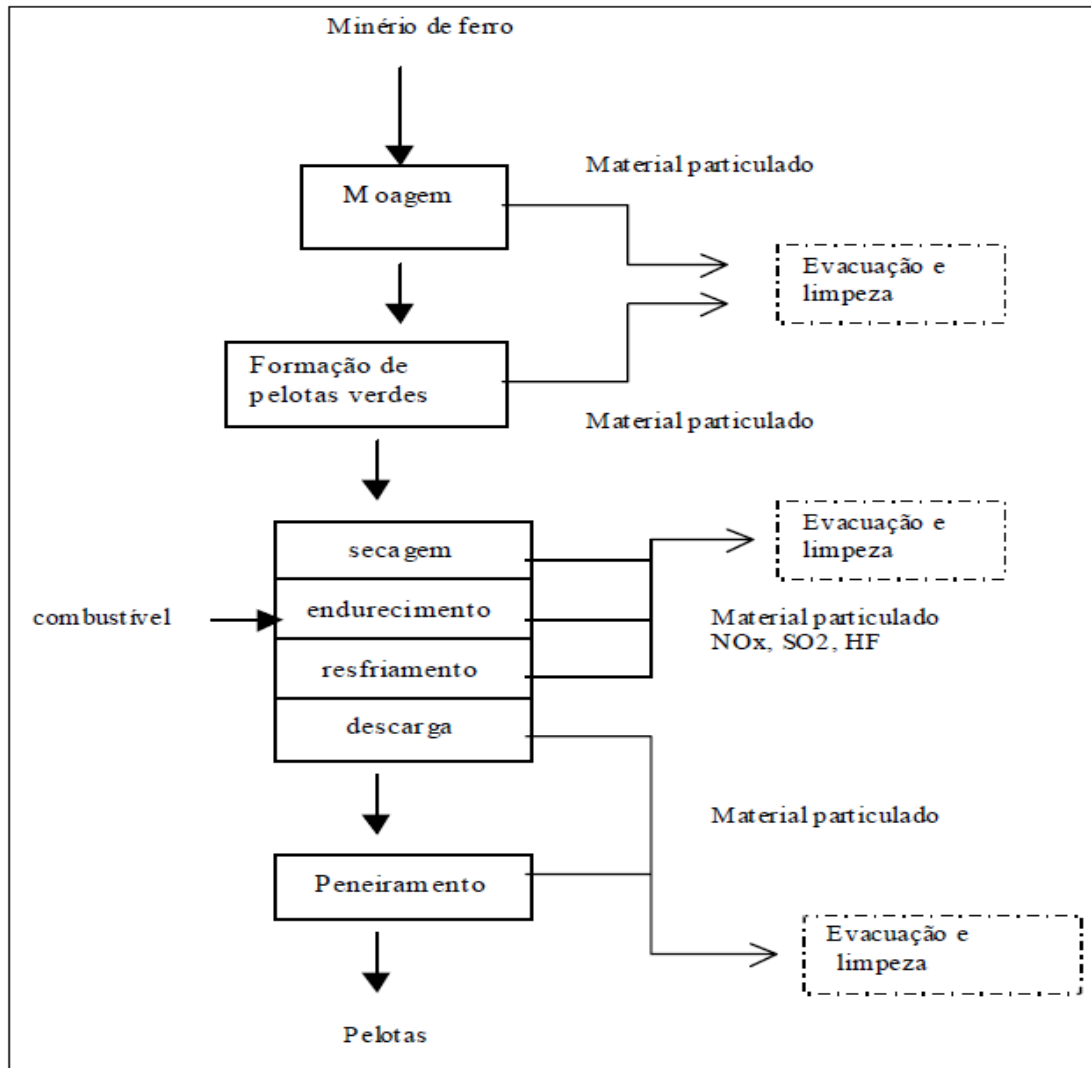


Figura 31. Esquema simplificado das emissões do processo de pelotização.

Fonte: COSTA, 2002.

Ainda no que concerne a emissões atmosféricas, é acentuada a geração de material particulado, como pode ser observado no esquema da Figura 31 e corroborado pela análise qualitativa e quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo de pelotização da empresa em questão (Figura 30).

Porém, nesse quesito, são observadas medidas mais voltadas para o Controle da Poluição (CP), uma delas é o enclausuramento das torres de transferências no pátio de pelotas (Figura 32), devido desprendimento de pó nos chutes (transferência entre as correias transportadoras), no sentido de melhorar a qualidade ambiental do complexo de Ubu.



Figura 32. Torre de Transferência enclausurada (foto de visita em campo do autor).

O coletor de pó (Figura 33), do tipo venturi, também é um dispositivo de captação de poeira instalado nas torres de transferência, que são os locais onde há queda de pelotas na transposição de direção de escoamento do produto. Há pontos de sucção nos chutes (locais onde há desprendimento de pó das pelotas), e o ar com pó em suspensão é coletado e é direcionado ao lavador de gás, que asperge água para a limpeza do coletor. O pó é separado então no sistema de efluentes e que, posteriormente, segue para o clarificador.



Figura 33. Coletor de pó (foto de visita em campo do autor).

Quanto a ações tecnológicas no âmbito do Controle de Poluição, a Samarco realizou investimentos com a instalação de Precipitadores Eletrostáticos, iguais ao mostrado na Figura 34, que substituem os antigos lavadores de gás das áreas de alimentação do forno, descarga e peneiramento, e serão responsáveis por reduzir a emissão de

particulados durante o processo de manuseio das pelotas nos fornos (SAMARCO, 2012b).

Simplificadamente, o equipamento pode ser comparado a um grande filtro, que impede a saída da poeira enquanto libera a passagem do ar. O princípio de funcionamento ocorre por meio de cargas elétricas, à medida que o material particulado passa pelos eletrodos, ele adquire carga elétrica negativa e adere às placas coletoras que apresentam carga oposta. O acúmulo retido nas placas é retirado e incorporado no processo produtivo (SAMARCO, 2012b).



Figura 34. Precipitador Eletrostático na Samarco. Fonte: BEMA, 2012.

Outro recurso tecnológico no controle à poluição atmosférica provocada pela dispersão de material particulado no ar são os filtros de manga que funcionam, conforme explicado por Cavalcanti (2012), separando as partículas do gás de exaustão por intermédio de um material poroso, permitindo altas eficiências de remoção, porém seu consumo de energia é elevado e podem operar apenas para uma faixa limitada de temperatura e umidade dos gases. Na entrevista, os profissionais da empresa informaram também que alguns filtros de manga são utilizados em outras áreas do processo produtivo, porém, em menor dimensão.

Depois de queimadas, as pelotas precisam ser transportadas para embarque no porto de Ubu, podendo ir diretamente para o navio ou ficar por um tempo no pátio de estocagem. Nesse local, com a incidência do vento, a poeira pode se espalhar no ambiente. Hoje, o pátio da Samarco é rodeado por diversas árvores que formam um cinturão verde, que retém grande parte dos particulados (SAMARCO, 2011b).

Outra medida adotada no âmbito de Controle da Poluição é a utilização de Barreiras de Proteção de Vento (Figura 35), ou *Wind Fence* (cerca de vento), que funcionam como grandes peneiras e reduzem a velocidade do vento, impedindo a

movimentação de material particulado no ar (SAMARCO, 2011b).



Figura 35. *Wind fence* (foto de visita em campo do autor).

Ocorre ainda no pátio de estocagem, a aplicação de um polímero sobre a pilha de minérios, o supressor de pó que, diluído em água, se adere à superfície da pelota formando uma película que impede que as partículas de pó se desprendam e sejam emitidas ao ambiente pela ação do vento.

Mesmo com a aplicação das medidas acima mencionadas, para abatimento de material particulado no ar ainda são utilizados caminhões pipa para a umectação das vias e assim reduzir o levante de poeira que fica no chão, pelo tráfego de veículos.

4.2 A Anglo American

As análises a seguir se baseiam em projeções para o futuro funcionamento da Planta de Filtragem, cujas etapas são identificadas simplificadaamente na Figura 36, ao lado. A Anglo American prevê a conclusão das obras para junho de 2013 e a data de primeiro embarque de minério de ferro do empreendimento para o final do ano de 2014 (ANGLO AMERICAN, 2013).

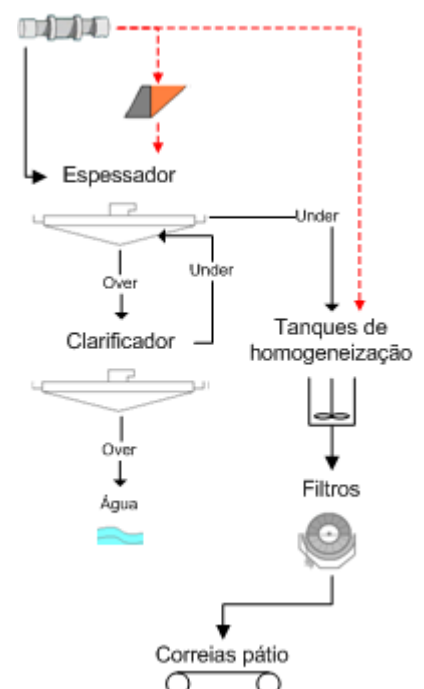


Figura 36. Esquema simplificado do processo de filtragem da Anglo American. Fonte: ANGLO AMERICAN, 2011a.

4.2.1 O processo de filtração

Para a Análise de Fluxo de Material do processo de filtração da Anglo American, foi realizado o mapeamento do referido processo (ver Quadro 7), baseado no planejamento de tarefas e atividades futuras da Planta de Filtração (descrição vista no Capítulo 3) por meio de entrevistas com os profissionais da empresa envolvidos na operação esperada e também através de observação direta por meio de visitas em campo.

<i>Input</i>	<i>Etapa</i>	<i>Output</i>
	Espessamento	- <i>Under flow (1)</i> ; - <i>Over flow (1)</i>
Polpa de minério recebido pelo mineroduto	<i>Pond</i>	Polpa de minério (1)
	Tanques de homogeneização	Material para os filtros cerâmicos
Polpa de minério (1)	Espessamento	- <i>Under flow (1)</i> ; - <i>Over flow (1)</i>
<i>Under flow(1)</i>	Tanques de homogeneização	Material para os filtros cerâmicos
<i>Over flow (1)</i>	Clarificador	- <i>Under flow (2)</i> ; - <i>Over flow (2)</i> ; - <i>Over flow</i> contendo água dentro das especificações de qualidade
<i>Under flow (2)</i>	Espessamento	- <i>Under flow (1)</i> ; - <i>Over flow(1)</i>
<i>Over flow (2)</i>	Estação de Tratamento de Água (ETA)	Água tratada
Água tratada da ETA	Reservatório com turbidímetro	Água tratada livre de turbidez
Material dos filtros cerâmicos	Filtração	- <i>Pellet Feed</i> ; - Filtrado (água isenta de sólidos)
Filtrado	Reservatório com turbidímetro	- Filtrado e livre de turbidez; - Filtrado, porém com turbidez
- <i>Over flow</i> contendo água dentro das especificações de qualidade; - Filtrado e livre de turbidez;	Caixa de Recuperação de Água de Processo	Reaproveitamento como água de processo
	Emissário submarino	Água lançada no mar
Água tratada na ETA e livre de turbidez	Água de processo	Água para preparo de reagentes e selagem de bombas
Filtrado, porém com turbidez	<i>Pond</i>	Retorna ao processo
<i>Pellet Feed</i>	Estocagem no Pátio de Minérios (a céu aberto)	Cliente interno do Porto do Açu
		Mercado externo
<i>Pellet Feed</i> para cliente interno	Correias transportadoras	Matéria-prima para siderurgia
<i>Pellet Feed</i> para exportação	Embarque	Abastecimento de minério de ferro no navio

Quadro 7. Matriz Input-Output do processo produtivo projetado da Planta de Filtração da Anglo American.

A partir da Matriz *Input-Output* anterior (Quadro 7), foi possível realizar o mapeamento do processo da Planta de Filtragem da Anglo, que apresenta um fluxograma menos complexo quando comparado ao da Samarco (Figura 29), como pode ser observado na Figura 37.

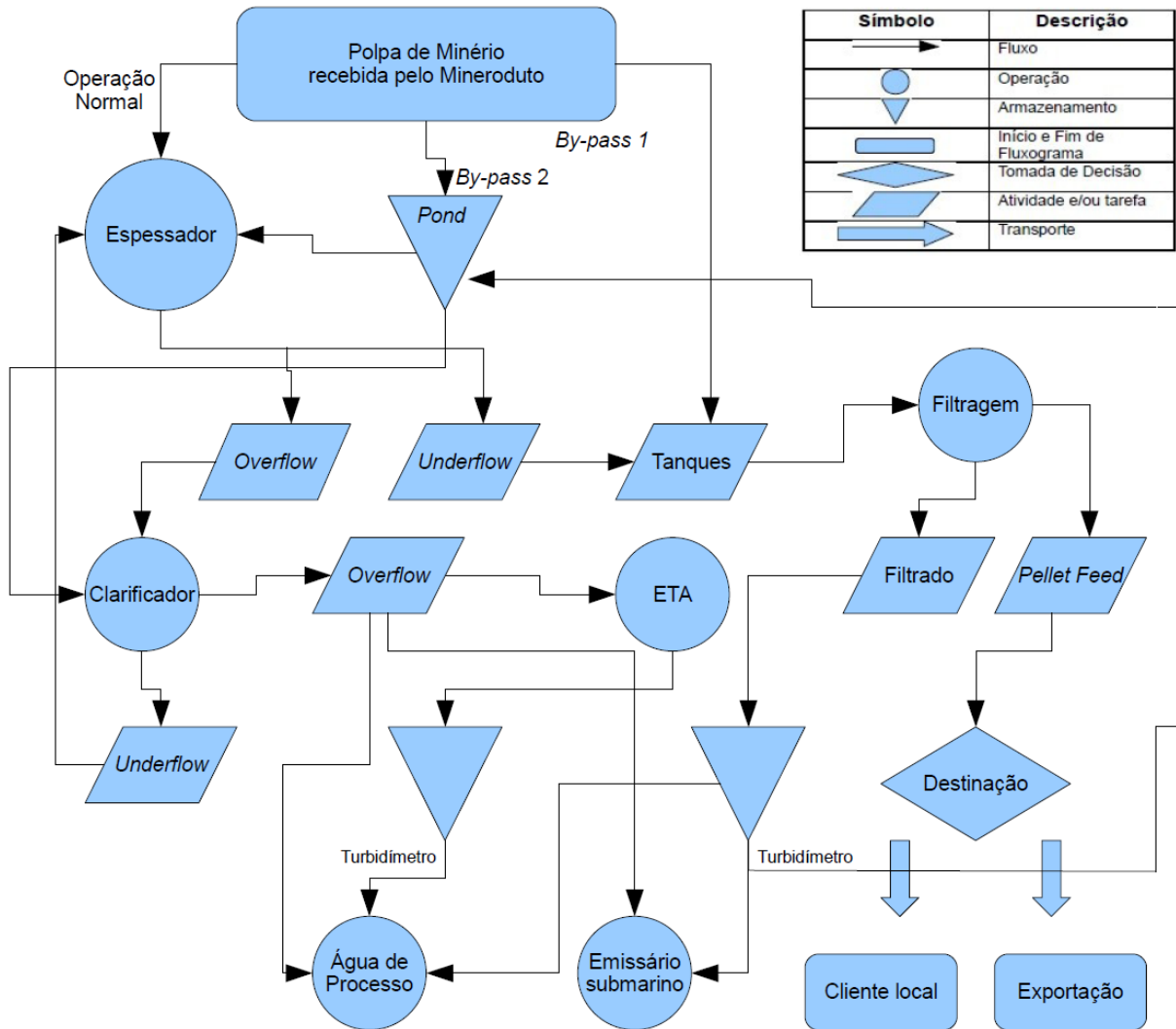


Figura 37. Mapeamento de processo. Fluxograma e legenda do processo produtivo projetado da planta de filtragem, da Anglo American.

Pela etapa de construção em que se encontra, não há informação exata por parte da empresa quanto ao volume de água demandado para a formação da polpa de minério, que será recebida pelo mineroduto na Planta de Filtragem. Para isso, os dados utilizados neste trabalho foram os baseados no parecer do Sistema Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (SISEMA), para a atividade de lavra a céu aberto com tratamento a úmido de minério de ferro, quando ainda estava sob responsabilidade absoluta da empresa, à época intitulada MMX - Minas Rio Mineração e Logística Ltda, no ano de 2008.

Para fornecimento de água nova para abastecer o processo industrial do Sistema Minas-Rio, inclusive para o mineroduto, a captação será feita no Rio do Peixe, bacia do Rio Doce, no município de Dom Joaquim, Minas Gerais. Para a condução da polpa de minério no mineroduto estima-se um consumo de aproximadamente 1.717m³/h, o que corresponde a 68,7% da vazão solicitada para o empreendimento como um todo (SISEMA, 2008).

Uma vez que se espera que a operação do mineroduto seja 24 horas por dia (h/d), e considerando que a demanda de água para alimentar o sistema também seja de 24h/dia, ao final de um ano, baseado na informação anterior, serão necessários 15.040.929m³ de água captada.

O Quadro 8, a seguir, apresenta a expectativa de produção da Planta de Filtragem da Anglo American e a medição de produtividade. Os valores estão quantificados para um período equivalente a um ano de produção.

Parâmetro	Valor	Unidade
Minério		
Massa de minério recebida pelo mineroduto	23,407,819.52	t
Massa de minério enviada da filtragem ao pátio	23,043,902.82	t
Massa de minério enviada do mineroduto ao Pond	384,122.31	t
Massa de minério enviada da filtragem ao pátio (Base Úmida)	25,047,720.46	t
Massa enviada do Pond ao patio	78,392.31	t
Massa de minério total transportada ao pátio	23,043,902.82	t
Água		
Água enviada ao Pond	205,202.95	m ³
Volume de água saída de ETA	576,345.00	m ³
Volume de água enviado ao processo	1,459,899.75	m ³
Volume de água enviado ao emissário submarino	6,184,975.33	m ³
Água contida no pellet feed enviada ao pátio	2,103,955.03	m ³
Volume total de água transportada	10,530,378.07	m³

Quadro 8. Medição de Produtividade em um ano de produção projetada da planta de filtragem, da Anglo American (ANGLO, 2011a).

Baseado nas informações acima foi possível elaborar a Análise de Fluxo de Material, na qual as entradas e saídas no processo produtivo filtragem são qualificadas e quantificadas, como pode ser observado na Figura 38, a seguir.

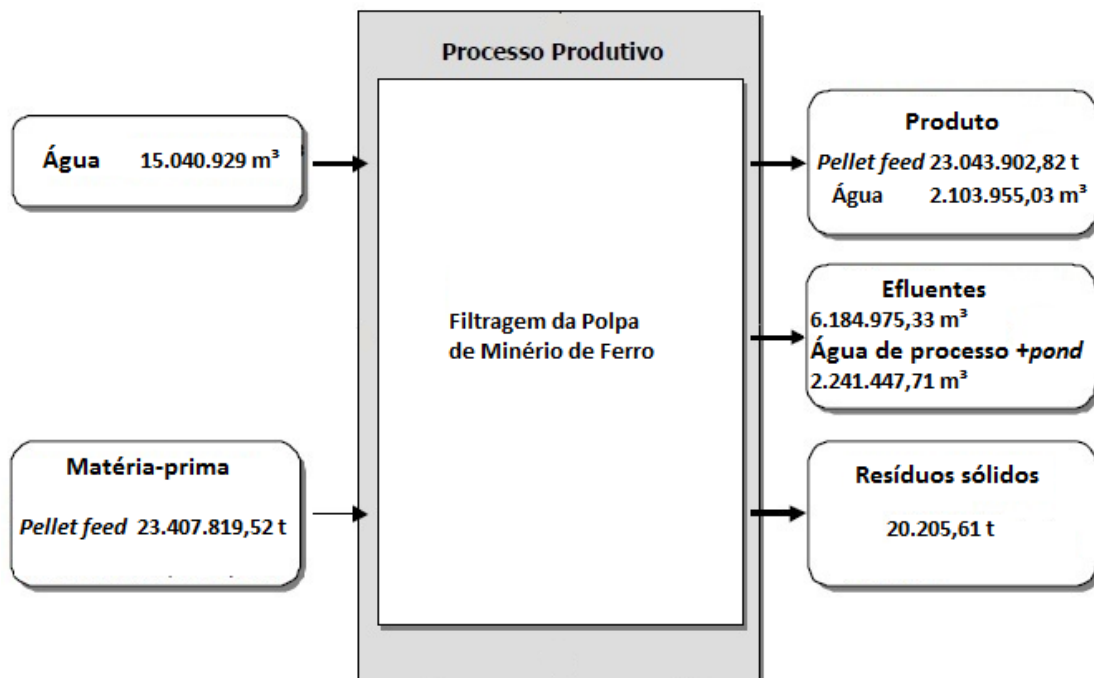


Figura 38. Análise quantitativa de entradas e saídas do processo produtivo da Planta de Filtragem, da Anglo American. Fonte: Elaborado pelo autor baseado em CNTL, 2003.

O valor da análise quantitativa na figura para resíduos sólidos representa o montante de *pellet feed* que não foi totalmente extraído no processo de filtragem e que é direcionado para o *pond*, para futura recuperação do material ao enviá-lo novamente para o espessador, e assim começar novamente todo o processo (FERREIRA, 2013).

Ou seja, embora seja resultado ao fim do processo, essa parcela de minério de ferro que não chega a ser extraída da polpa de minério, não representa um rejeito, uma vez que não será encaminhada para uma das possibilidades de disposição final (emissário submarino ou junto com a água que será reaproveitada no processo). Ela retorna ao ciclo produtivo, para posterior absorção no processo de filtragem.

4.2.2 Diferentes tecnologias e equipamentos na implantação da planta de filtragem

Como todo recurso natural renovável e limitado, é esperado que as fontes existentes e já conhecidas de minério de alto teor diminuam e se esgotem, e que a indústria de minério de ferro será forçada a implementar técnicas cada vez mais avançadas de beneficiamento. Como consequência, há a necessidade de soluções mais modernas para o desaguamento do minério de ferro que sejam mecanicamente confiáveis e

que apresentem simultaneamente custos compatíveis e alta capacidade por unidade extraída (GÖRRES *et al.*, 2008).

De acordo com os mesmos autores, ao selecionar os equipamentos mais adequados e flexíveis, os efeitos da variação do material alimentado nos processos subsequentes podem ser reduzidos e as possibilidades de processamento de materiais mais complexos resultando em produtos de alta qualidade são melhores.

Atento a essa tendência, o projeto do Sistema Minas-Rio prevê a utilização de filtros do tipo cerâmico de ação capilar (Figura 39), de aplicação inédita no Brasil, que apresenta como vantagens o baixo custo operacional, filtrados praticamente isentos de sólidos, menores custos de investimento e principalmente a vantagem operacional de maior economia de energia, estimada em 15% do consumo de um filtro de discos giratórios a vácuo, convencional na mesma aplicação (CEPEMAR, 2010).



Figura 39. Filtros Ceramec. Fonte: ANGLO, 2011b.

A grande vantagem do uso de filtros do tipo cerâmico, em questões ambientais, certamente é a condição da água que processa, mais conforme aos padrões de reaproveitamento, como pode ser observado o grau de turbidez da água comparada à utilização do filtro tradicional a vácuo, segundo testes simulados realizados por Görres *et al.* (2008), na Figura 40.

Outro ganho que o filtro de cerâmica apresenta é o fato de absorver parte da água presente na polpa por causa de sua capilaridade e, assim, necessitar menos energia para a separação dos dois elementos. Nos estudos comparativos, o filtro a disco consome energia suficiente para iluminar cinco mil residências com quatro moradores, já o filtro de cerâmica demanda um volume 18 vezes menor, segundo a Anglo American (2008). O resultado direto disso é a economia significativa de

energia.



Figura 40. Claridade da água após filtragem. Na esquerda, utilizando o filtro cerâmico de ação capilar e na direita, o filtro de discos giratórios a vácuo (mais comumente encontrado na indústria).

Fonte: GÖRRES *et al.*, 2008.

Por meio de estudos realizados pela Paragon (ANGLO AMERICAN, 2011a), encomendados pela Anglo American, no sentido de dispor de soluções baseadas em simulações computacionais e modelos matemáticos, é possível planejar as condições operacionais ainda na fase de projeto.

Para determinar a concentração de sólidos, a Anglo American (2011a) apresenta o seguinte modelo matemático, que deverá ser utilizado apenas no limite de trabalho do mineroduto:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c, \text{ onde:}$$

y = percentual de sólidos que será enviado aos filtros

x = percentual de sólidos recebido do minerodutos

a , b e c = constantes estimadas após simulações, chegando-se à equação:

$$y = 0,0712x^2 - 9,4674x + 384,64$$

A produtividade dos filtros é determinada pela porcentagem de sólidos na polpa e pelo tempo de operação dos filtros e a taxa projetada é de 1,9 toneladas por metro quadrado por hora ($t/m^2/h$) (IBRAM, 2012). Foram realizados testes em planta piloto para encontrar equações matemáticas que determinassem esse comportamento, e o resultado pode ser verificado no Gráfico 7 a seguir:

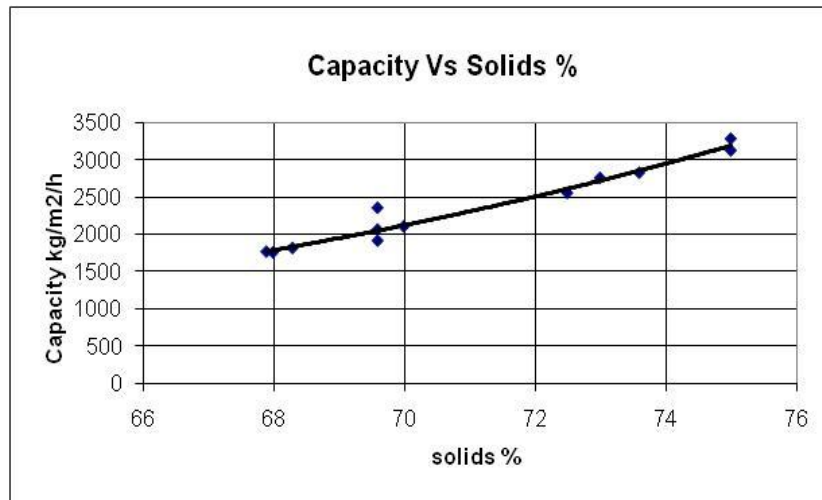


Gráfico 7. Relação entre a capacidade dos filtros (kg/m²/h) e percentagem de sólido (%) separado.

Fonte: ANGLO, 2011a.

Para chegar ao modelo matemático da produtividade do filtro, foram combinados os dois comportamentos dos processos anteriores, resultando na função composta descrita abaixo (ANGLO AMERICAN, 2011a):

$$P = c_1 * x + c_2 - c_3 * t_1, \text{ sendo:}$$

$$P = \text{Produtividade do filtro (em tonelada por hora - tph)}$$

$$c_1, c_2 \text{ e } c_3 = \text{constantes}$$

$$x = \text{percentual de sólidos nos filtros}$$

$$t = \text{tempo de operação após a última lavagem.}$$

Oliveira *et al.* (2011) afirmam que o gerenciamento de recursos hídricos trata de um conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a sua proteção, em conformidade com a legislação e normas pertinentes. De acordo com os mesmos autores, os empreendimentos industriais de mineração de grande porte apresentam demandas importantes pelo uso da água, principalmente na formação de polpa a ser enviada em um mineroduto, como se aplica ao caso em estudo.

Pensando nisso, os estudos encomendados pela Anglo American no sentido de buscar soluções para o reaproveitamento de recursos hídricos foram apoiados por simulações computacionais. Isso tornou possível uma melhor visualização do sistema, o que apontou pela necessidade na mudança do *layout* no projeto do processo de filtragem do minério de ferro recebido pelo mineroduto em forma de polpa.

A configuração antiga permitia a mistura de águas de diferentes índices de turbidez

no clarificador, vindas de diferentes equipamentos: o *overflow* a uma vazão de 501 m³/h e cor acima de 500uH (unidades Hazen de cor), proveniente do espessador e o *underflow* proveniente dos tanques, que após passar pelos filtros Ceramec saem a uma vazão 1063m³/h e cor inferior a 30uH.

Após a mistura dessas águas no clarificador, a água com uma vazão de 1564m³/h sairia com cor inferior a 80uH, como pode ser observado no esquema da Figura 41, abaixo:

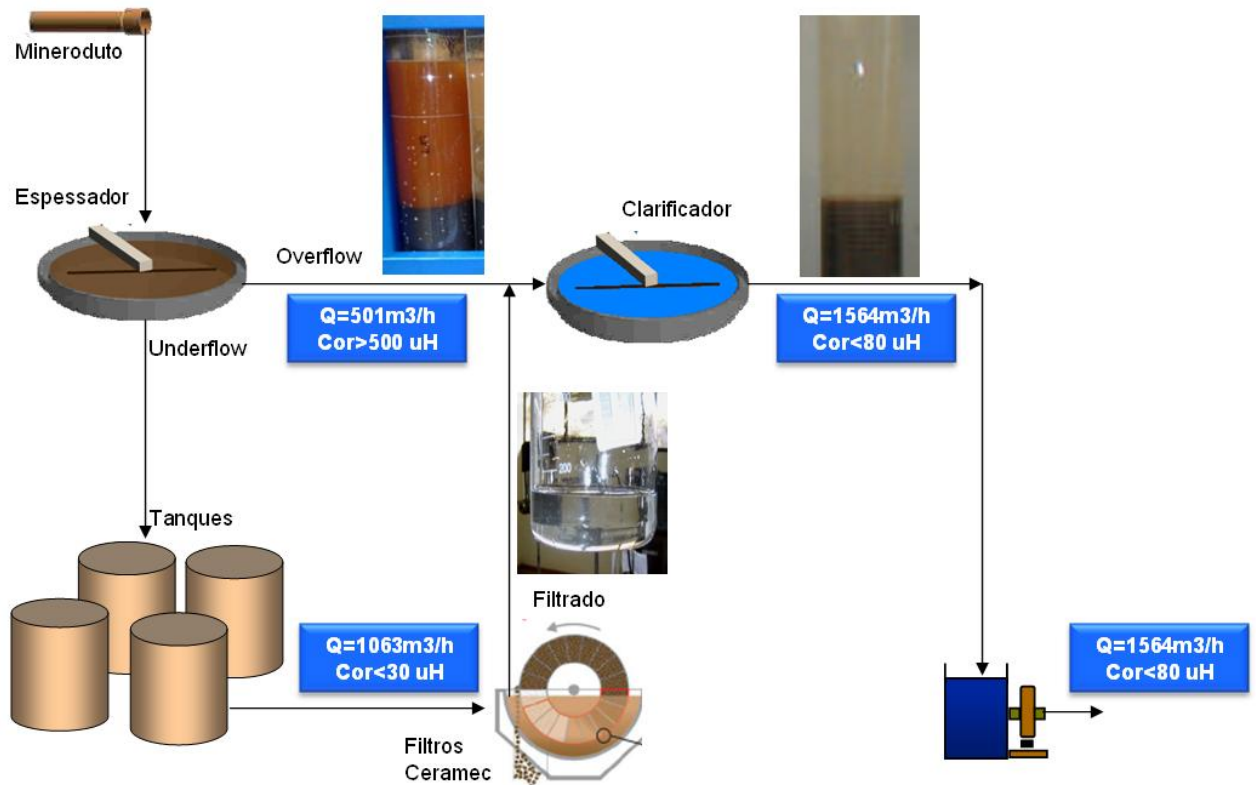


Figura 41. Fluxo da filtragem da polpa de minério no projeto original da Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio.

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.

Após sugestões de Silva (2012) de alteração da rota no processo de filtragem, somente o *overflow* iria para o clarificador, que manteria a vazão de 501m³/h, porém com cor inferior a 60uH e somente então a partir daí seria misturada à água processada pelos filtros Ceramec, da fabricante Larox (de vazão 1063m³/h e cor inferior a 30uH), resultando em uma mistura de cor inferior a 36uH com vazão 1564m³/h.

Além de provocar a diminuição na cor da água final, isso permite evitar a sobrecarga na operação do clarificador e utilização de menos reagente para clarificar a água, que no projeto inicial entrava com maior grau de turbidez. Observar na Figura 42

adiante, a proposta da nova configuração do fluxo da polpa de minério de ferro no projeto da Anglo American.

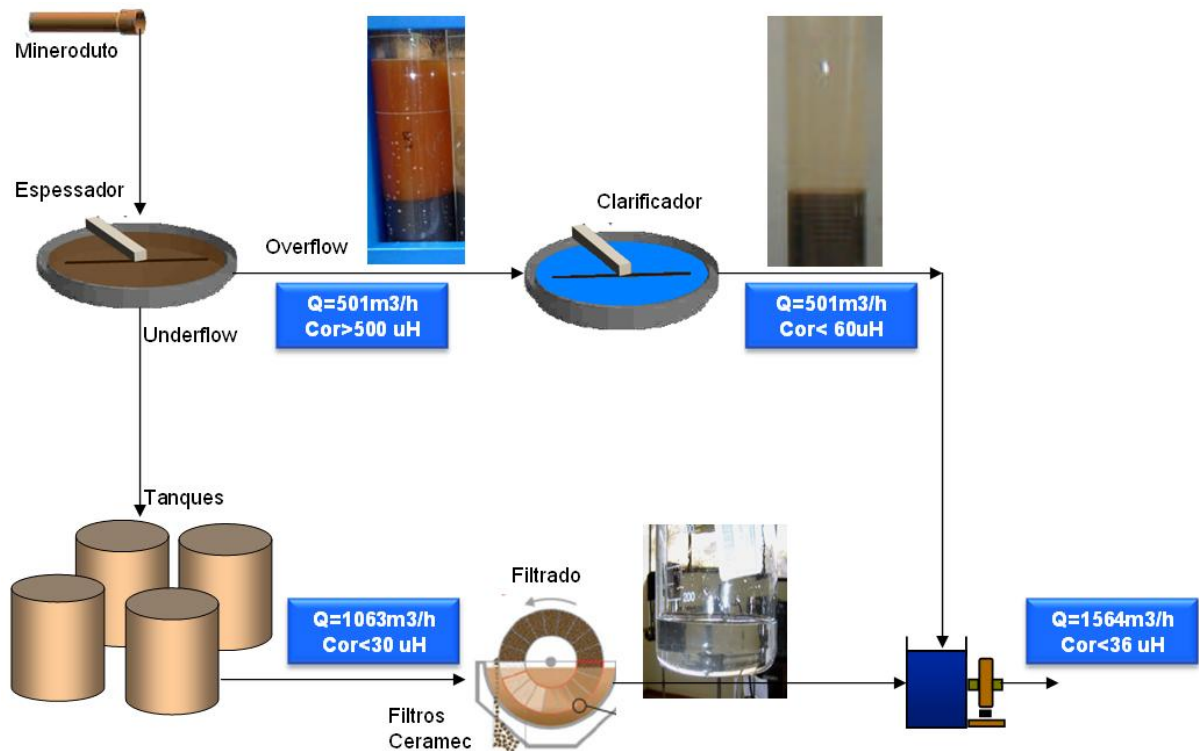


Figura 42. Alteração do fluxo da filtragem da polpa de minério da Planta de Filtragem, Sistema Minas-Rio.

Fonte: ANGLO AMERICAN, 2012.

A tecnologia utilizada para selecionar a água que pode ser descartada no mar, através do emissário submarino, e a que deve retornar para a bacia de emergência (*pond*), é o equipamento denominado turbidímetro que, instalado nas caixas de depósito da Estação de Tratamento de Água (ETA) e de filtrado, monitora a turbidez da água de forma contínua (SILVA, 2012).

Há uma lógica de controle onde é inserida a turbidez máxima para descarte. Se o turbidímetro indicar valor maior que o máximo, o sistema de controle fecha automaticamente a válvula do emissário submarino e abre a válvula que envia ao *pond* (SILVA, 2012).

Porém, a avaliação feita da qualidade do efluente se baseia apenas em suas características físicas (turbidez e cor), enquanto a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 estabelece todas as demais condições e padrões para lançamento de efluentes industriais, inclusive quanto ao potencial para provocar efeitos tóxicos no corpo receptor (MMA, 2011a).

Como os resultados se baseiam em simulações apenas, uma vez que o processo

industrial em questão ainda não se encontra em operação, não é pertinente fazer esse tipo de apuração, porém indica-se a importância da inclusão dela no planejamento do empreendimento.

A modelagem computacional facilita no sentido de reduzir etapas produtivas de alta complexidade por um simples “ícone” no ambiente de *software*, isso implica facilidade de uso, equipamentos customizados, flexibilidade de cenários, além de evitar erros lógicos do usuário (ANGLO AMERICAN, 2011a).

O grande ganho que se pode ter com esta opção diferencial, que depende da formulação ajustada do processo no simulador, certamente é o maior controle sobre os insumos consumidos nos processos, assim como o gerenciamento dos resíduos e recursos hídricos, como pode ser visualizado no exemplo da Figura 43, com a etapa de moagem (na fase de beneficiamento do minério de ferro).

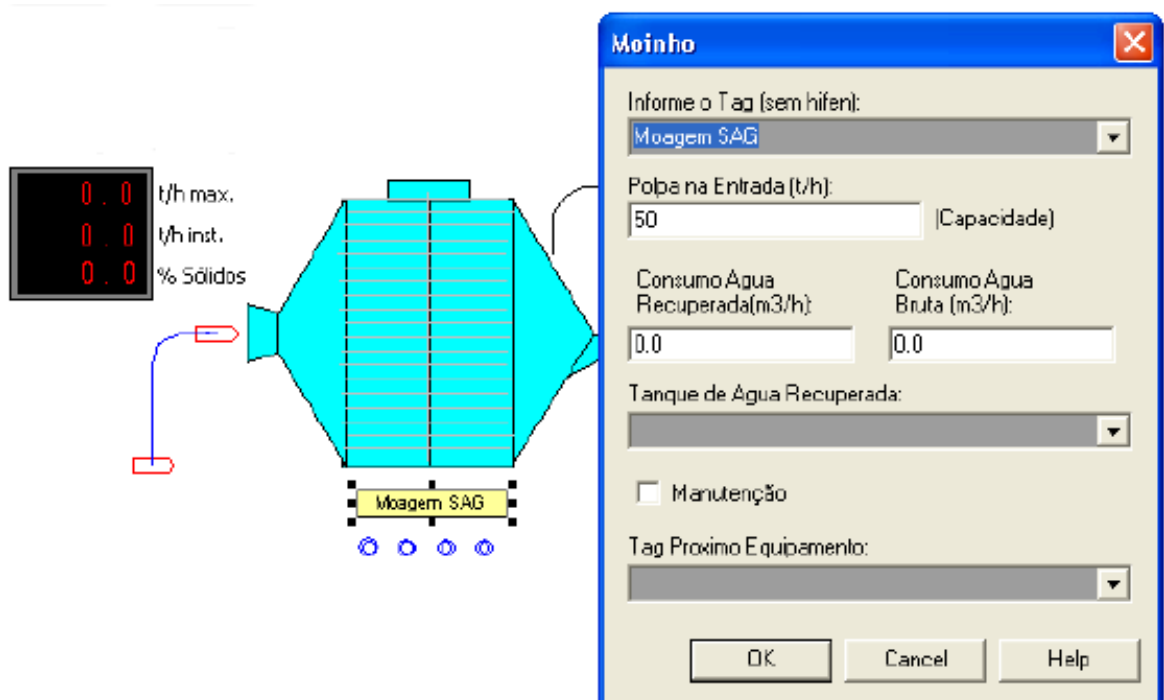


Figura 43. Modelagem do Moinho da etapa de beneficiamento do minério.

Fonte: ANGLO, 2011b.

Os resultados dos cenários simulados são importantes, no sentido de que são utilizados na identificação prévia de condições operacionais ainda na fase de projeto, tornando possível a validação dos balanços de massa e de água (ANGLO AMERICAN, 2011a).

Uma vez que o modelo esteja fornecendo resultados próximos do real, quando do processo em sua operação, pode-se dizer que a modelagem é representativa.

4.2.3 Etapa de embarque do minério para exportação

De acordo com Silva (2012), a responsabilidade operacional da Anglo American no Complexo Logístico-Industrial Porto do Açu (CLIPA) inclui a planta de filtragem e encerra na correia transportadora localizada no prédio dos filtros. A partir deste ponto ela é corresponsável, como acionista apenas, da LLX Minas-Rio, que se encarrega das operações de estocagem do *pellet feed* no pátio de minério e posterior embarque nos navios para exportação.

A região de praia onde está sendo instalado o Porto de Minério é conhecida por seus ventos fortes e, portanto vem a preocupação da emissão de particulados no ar, uma vez que o *pellet feed* possui baixa granulometria.

A Avaliação Ambiental Estratégica do CLIPA prevê a ocorrência de emissões de material particulado no meio atmosférico com o início das operações, principalmente na área portuária, proveniente das emissões das pilhas de estocagem de minério (ARCADIS, 2009).

Para o controle da emissão de partículas, a LLX pretende fazer a cobertura de carga no transporte de materiais secos que contenham pó, efetuada de acordo com a legislação específica. Ou, caso necessário, será realizada a umidificação dos acessos principais e/ou acessos que atravessem áreas habitadas (ECOLOGUS, 2010a).

De maneira geral, objetivou-se com este Capítulo realizar a revisão feita de indicadores de Ecoeficiência da Samarco Mineração S. A., para então ser possível ser oferecida uma proposta de Análise de Fluxo de Material (AFM) e uma Avaliação de Produção mais Limpa (P+L), com ênfase à ocorrência de emissão de particulado no ar. O Capítulo também se dedicou a analisar as projeções de produção da planta de filtragem da Anglo American, com especial atenção quanto a intenções de como se pretende fazer a gestão do recurso hídrico em sua futura operação.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES

O aumento do custo de insumos de produção, o maior rigor das regulamentações ambientais quanto ao tratamento dos resíduos, disposição de rejeitos e a maior consciência ambiental dos cidadãos são fatores que levam os setores industriais a buscarem estratégias para a prevenção da poluição.

Para isso, algumas organizações lançam mão de ferramentas para alcançar uma maior eficiência produtiva, que implique ao mesmo tempo em maiores ganhos e menores desperdícios e, conseqüentemente, menor sobrecarga ambiental.

Nesse aspecto, há várias ferramentas, técnicas e metodologias de gestão ambiental, cujos conceitos muitas vezes se aproximam, devido ao mesmo objetivo que intencionam atingir: auxiliar a executar ações, de modo a obter melhores soluções na preservação do meio ambiente. Os conceitos da Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição se confundem bastante e há quem considere que a primeira englobe a segunda, porém ambas promovem a redução no volume de rejeitos lançados para o meio ambiente.

Os objetivos da Logística Reversa e da Produção mais Limpa (P + L) também são os mesmos quando apoiam a reciclagem interna no processo produtivo, implicando aumento na eficiência dos seus processos e redução nos impactos ao meio ambiente, de forma integrada e preventiva.

Já o Inventário de Ciclo de Vida, uma das etapas da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), possui bastante semelhança com a Análise de Fluxo de Material (AFM), uma vez que ambas realizam a contabilidade de material e energia que entram e saem dos sistemas produtivos.

Ainda são próximos os conceitos de Ecoeficiência e os de Produção mais Limpa, a distinção entre elas reside apenas na prioridade em resultados econômicos (primeiro caso), porém ambas buscam benefícios ambientais positivos.

A criação de legislações ambientais mais austeras eleva o Brasil a patamares similares de países europeus quanto a exigência das empresas para a preservação do meio ambiente, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esse instrumento legal está em consonância com os princípios de sustentabilidade e cuja importância é incontestável para alavancar novas oportunidades para o setor que operacionaliza a logística reversa. Porém sua aplicação em um país de dimensões continentais como o Brasil é um processo complexo, de difícil controle por parte dos

órgãos de fiscalização do governo no cumprimento da lei.

A atividade da mineração pode demandar em seus processos grandes volumes de água, e quando não dispõem de sistemas de tratamento para os efluentes líquidos produzidos, terminam contribuindo significativamente com a contaminação dos corpos d'água. Por isso, Castro *et al.* (2010) destacam que uma questão estratégica de grande importância para todos os setores da indústria global de mineração é o uso e gestão dos recursos hídricos.

Na mesma temática, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) aponta como uma das vertentes de uma 'estratégia robusta', a ampliação e a consolidação da capacidade científica e tecnológica nas áreas de gestão, uso racional e conservação de recursos hídricos nas universidades e em institutos de pesquisa, inclusive incentivando a inovação tecnológica, por meio de parcerias com o setor produtivo (MMA, 2008).

A partir da análise dos dados da Samarco, baseado nos relatórios utilizados na pesquisa realizada, observa-se que a empresa, guiada pela estratégia econômica, aplica algumas das recomendações do programa de Produção mais Limpa ao promover modificações tecnológicas, mudança ou redução de insumos e de reciclagem interna (doméstica e industrial), principalmente no que compete à reutilização da água em seu processo produtivo.

Porém o que foi possível verificar é que a ênfase ainda é dada no controle, e não na prevenção, da poluição. Ou seja, a maioria dos equipamentos realiza o controle *end of pipe*, aquele ocorrido após os resíduos serem gerados.

Acredita-se que um caminho possível para se alcançar o equilíbrio seja através de uma Análise de Fluxo de Material mais detalhada do processo sob estudo, cuja tendência sob a visão de Brigenzu e Moriguchi (2002), será cada vez mais usada para fornecer a base para medidas de políticas, estratégicas e ambientais, e avaliar a eficácia de tais medidas.

É sugerido que haja um melhor reaproveitamento dos rejeitos no processo de pelotização do minério de ferro e a busca de alternativas de encaminhamento para serem utilizados para outros fins (dentro ou fora da Unidade Industrial de Ubu, a exemplo do que já é feito com o *pellet screening*), o que resultaria em redução de custos e minimização de impactos ambientais, preceitos defendidos pela Ecologia Industrial.

Entende-se que a geração de resíduos na atividade industrial é decorrente principalmente da incapacidade dos aparelhos produtivos de obterem pleno rendimento. Porém, deve-se considerar a situação de difícil alcance mesmo em projetos robustos.

É o que se persegue, por exemplo, no projeto da Planta de Filtragem, pertencente ao Sistema Minas-Rio da Anglo American que, de acordo com simulações computacionais, poderá não ser capaz de extrair cerca de 20 mil toneladas de *pellet feed* na filtragem da polpa de minério de ferro que chegará através do mineroduto, ao fim de um ano de produção. A grande vantagem é que, através de planejamento, esse resíduo não representará rejeito, ou seja, voltará ao ciclo produtivo para ser posteriormente recuperado em um novo processo de filtragem e não terá que ser gerenciado para alguma das formas de disposição final no ambiente.

A Anglo American recorreu a estudos baseados em modelos matemáticos e computacionais, que certamente a auxiliou na criação e comparação de cenários para otimização técnica e financeira dos processos, além de levantar importantes aspectos ambientais.

Conseqüentemente, a decisão trará vantagens à Empresa como redução de custos, aumentando a lucratividade, ao mesmo tempo em que se preocupa com o meio ambiente.

Através de medidas simples, foram mostradas as ações, ainda na fase de projeto, desenvolvidas por Silva (2012), numa ação clara de *housekeeping* ao adotar boas práticas operacionais no levantamento da necessidade de modificação no sistema de tratamento de efluentes do empreendimento Planta de Filtragem.

Ainda no que concerne ao gerenciamento de recursos hídricos do empreendimento da Anglo American, quando este estiver em operação, recomenda-se diminuir a geração de efluentes baseado na busca de alternativas para menor utilização da fonte geradora. A avaliação desta reduz o tempo e os investimentos na investigação, trazendo resultados mais rápidos e coerentes com a dinâmica industrial, o que vai exigir conhecimento específico da empresa e dos processos globais envolvidos, bem como das matérias-primas e insumos utilizados.

Vale ressaltar que as conclusões inferidas neste trabalho foram baseadas exclusivamente em relatórios de prestação de contas à sociedade, disponíveis ao público através da rede mundial de computadores, e carecem de um maior detalhamento na quantificação dos dados, que também não puderam ser verificados

pelo autor deste trabalho.

A globalização conduz as empresas a um novo padrão de competitividade tecnológica que contemple também inovações ambientais para, além de melhorar a produtividade, que sejam capazes de gerar uma contribuição significativa na preservação do meio ambiente.

O reconhecimento dos benefícios advindos dos recursos hídricos para atividades industriais precisa ser ajustado à prática do uso racional da água, o que inclui a redução e o controle do lançamento de efluentes industriais no meio ambiente, como um dos caminhos de cooperação ao desenvolvimento sustentável.

Paralelamente em que as empresas modernas procuram empregar tecnologias capazes de minimizar o impacto ambiental, que atendam à legislação pertinente, cada vez mais rigorosa e atuante, também tentam suprir a sensibilidade ecológica, cada vez mais crescente, da sociedade. Esta expectativa quando atendida, pode se reverter para a empresa como diferencial no mercado, gerando valor sobre os concorrentes.

Portanto, remetendo à pergunta-chave que guiou essa pesquisa: “Como minimizar custos e identificar oportunidades sustentáveis no gerenciamento de recursos hídricos e resíduos em um ambiente de preparação mineral do ferro para indústria siderúrgica?”, a Análise de Fluxo de Material, utilizada como metodologia neste trabalho, mostrou-se como ferramenta capaz de oferecer uma solução viável para a questão.

Por fim, acredita-se que recorrer a ferramentas, técnicas e metodologias de gestão ambiental em geral, isoladas ou integradas conforme a dinâmica industrial, além de contribuir para a minimização de impactos ao meio ambiente, resulta em redução de custos, implicando vantagens sustentáveis e competitivas.

LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A escolha do objeto de estudo neste trabalho partiu da premissa que o empreendimento Planta de Filtragem, pertencente ao Projeto Minas-Rio da Anglo American, iniciaria suas operações em 2012, como anunciado pela empresa (ANGLO AMERICAN, 2009). O atraso nas obras impediu o acompanhamento *in loco* desta etapa do processo produtivo do minério de ferro para indústria siderúrgica, o que prejudicou a observação dos dados e conseqüentemente a análise de

resultados.

Apesar da visita em campo na Samarco, entende-se que uma maior aproximação com a empresa poderia ter trazido mais informações que não estavam presentes nos relatórios (disponíveis ao público nos veículos de comunicação e rede mundial de computadores) a que o autor ficou limitado, possibilitando assim, analisar a aplicação das ferramentas de gestão ambiental da maneira mais coerente possível com a realidade da dinâmica industrial estudada.

SUGESTÕES DE TEMAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Medina (2005) defende que uma gestão sustentável da produção de materiais requer um amplo sistema de informações em todos os níveis de produção e consumo, a saber: das técnicas de extração e beneficiamento de minérios, dos processos de transformação metalúrgica e química para produção de materiais, da produção de peças e componentes, da montagem de produtos, reciclagem ou descarte final, incluindo, em todas as fases, o consumo de energia e de materiais, os custos de transporte e armazenamento.

Portanto, tratar disso sob a perspectiva da Análise de Fluxo de Material, por exemplo, é uma tarefa bastante complexa. Por isso, para continuidade deste trabalho, no suporte a uma Análise de Fluxo de Material mais bem detalhada, sugere-se o aprendizado e utilização do *software* Umberto, uma vez que serve de auxílio na otimização do processo, que ajudará nas decisões de redução de recursos materiais, de energia, reaproveitamento de resíduos e apresenta cenários para escolha do mais compatível com os aspectos ambientais.

Para trabalhos futuros que se dediquem a pesquisar a Planta de Filtragem da Anglo American, uma vez tendo início sua operação, recomenda-se o estudo da água de descarte no mar para avaliar a possibilidade de reaproveitamento pelas indústrias que estão se instalando no Complexo Logístico Industrial Porto do Açu, assim como avaliar a possibilidade destas seguirem os princípios da Ecologia Industrial, quando estiverem em operação simultânea. Também é proposto se aprofundar nas questões referentes à possibilidade de material particulado em suspensão no ar, devido exposição do minério de ferro no pátio de estocagem, antes do embarque em navios. Para um acompanhamento da evolução da qualidade do ar, sugere-se iniciar tão logo a medição de material particulado do ar no local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida. 2010. **O conceito de ciclo de vida e definição de ACV**. Disponível em: <<http://www.abcvbrasil.org.br/index.php/o-que-e-acv>>. Acesso em: 29 dez. 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR ISO 9800**. Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR ISO 10004**. Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR ISO 14001**. Sistema de gestão ambiental - Especificações e diretrizes para o uso. Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR ISO 14040**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ALLENBY, B. R. ***The Greening of Industrial Ecosystems***. Washington: National Academy Press, 1994.

ALVES, F. Política Ambiental - A Mineração está tentando fazer o seu dever de casa. **Revista eletrônica Brasil Mineral** – Edição Especial Mineração e Meio Ambiente, n. 228, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.brasilmineral.com.br/BM/pdf/228/228%20-%20Politica%20Ambiental.pdf#search=%22barragem%20rejeito%22>>. Acesso em: 9 mar. 2012.

ANDRADE, M. M. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ANGLO AMERICAN. **Anglo Ferrous Brazil apresenta inovações na produção de minério de ferro (Minério de Ferro)**. Releases 2008. Disponível em: <<http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2008/29-09-2008a.aspx>>.

Acesso em: 10 jan. 2013.

ANGLO AMERICAN. **Sistema Minas-Rio é o maior investimento da Anglo American no mundo (Minério de Ferro)**. Releases 2009. Disponível em: <[http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2009/24-09-](http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2009/24-09-2009.aspx?sc_lang=pt-PT)

[2009.aspx?sc_lang=pt-PT](http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2009/24-09-2009.aspx?sc_lang=pt-PT)>. Acesso em: 05 jul. 2011.

ANGLO AMERICAN. **Validação das Estratégias Operacionais do Projeto Minas-Rio usando Ferramentas de Simulação Computacional**. In: DECISION SCIENCE FORUM 2011 LATIN AMERICA. São Paulo, 2011a. Disponível em: <[http://www.decisionforum.com.br/case-](http://www.decisionforum.com.br/case-angloamerican/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=case-angloamerican)

[angloamerican/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=case-angloamerican](http://www.decisionforum.com.br/case-angloamerican/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=case-angloamerican)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

ANGLO AMERICAN. **Unidade de Negócio Minério de Ferro Brasil**. 2011b. Disponível em: < www.paragon.com.br/downloadDownload.aspx?idContent=2539>.

Acesso em: 10 jan. 2013.

ANGLO AMERICAN. **Minério de Ferro**. 2012. Disponível em: < http://www.angloamerican.com.br/our-operations/minerio-de-ferro.aspx?sc_lang=pt-PT>. Acesso em: 10 out. 2012.

ANGLO AMERICAN. **Anglo American confirma capex do Minas-Rio e registra uma baixa contábil de US\$ 4 bilhões**. Releases 2013. Disponível em: < [http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2013/29-01-](http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2013/29-01-2013.aspx?sc_lang=pt-PT)

[2013.aspx?sc_lang=pt-PT](http://www.angloamerican.com.br/media/news/year2013/29-01-2013.aspx?sc_lang=pt-PT)>. Acesso em: 30 jan. 2013.

ARCADIS. **Complexo Industrial e Portuário do Açú**. AAE - Avaliação Ambiental Estratégica, vol. 3. São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.sea.proderj.rj.gov.br/download_aee/AAE_Acu/Volume%20III.pdf >.

Acesso em: 21 out. 2011.

AYRES, R. U. ***Industrial Metabolism: Theory and Policy***. Berlin:Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, 1992.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARRET, J.; VALLACK, H.; JONES, A.; HAQ, G. ***A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York. Technical Report***. Sweden: Stockholm Environment Institute, 2002.

BARROS, C.J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá – Um modelo de gestão**. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2002.

BARTELMUS, P. *Environmental accounting and material flow analysis*. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Org.) ***A Handbook of Industrial Ecology***. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. Cap. 14, p. 186-197.

BENJAMIN, A.K. **Desenvolvimento de Modelo para Avaliação de Softwares de apoio à Análise de Ciclo de Vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BEMA INDÚSTRIA MECÂNICA LTDA. Precipitador Eletrostático na Samarco. Disponível em: <http://www.bemaindustria.com.br/prod_vis.aspx?id=89>. Acesso em: 26 nov. 2012.

BOWERSOX, D. J.; COOPER, M. B.; CLOSS, D. J. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê

Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 29 dez. 2012.

BRINGEZU, S.; MORIGUCHI, Y. *Material flow analysis*. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Org.) **A Handbook of Industrial Ecology**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. Cap. 8, p. 100-111.

CASTRO, L. M. A. ; LOPES, A. V. ; PANTE, A. R. ; CARVALHO, F. V. L. ; Cardoso da Silva, L. M. . **Diagnóstico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil**. 1. ed. Brasília: Agencia Nacional de Águas, 2007, v. 1, p. 165.

CASTRO, L. M. A. ; CORDEIRO, J. R. C. ; SOUZA, A. K. P. ; OLIVEIRA, G. P. C. **A Water Resources Management System as a tool to guarantee the water supply of an iron ore mining project in Brazil**. In: *International Mine Water Association 2010 Symposium, 2010, Sydney. Mine Water & Innovative Thinking*. Sydney : CBU Press, 2010. v. 1. p. 35-38.

CAVALCANTI, P. P. S. **Gestão ambiental na indústria siderúrgica- aspectos relacionados a emissões atmosféricas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenharia Metalúrgica, set. 2012. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10004547.pdf> >. Acesso em: 03 dez. 2012.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pretence Hall, 2009.

CEPEMAR – Serviços de Consultoria em Meio Ambiente Ltda. **Projeto da 4ª Usina de Pelotização em Ponta de Ubu,ES**. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. Vitória, 2009.

CEPEMAR – Serviços de Consultoria em Meio Ambiente Ltda. **Planta de Filtragem e Terminal Portuário Privativo para Embarque de Minério de Ferro Presidente Kennedy/ES**. EIA - Estudo de Impacto Ambiental. Vitória, 2010.

CHAVES, A. P. **Estado da arte em tecnologia mineral no Brasil**. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. São Paulo, mai. 2002.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. São Paulo: Pioneira, 2002.

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **A Produção mais Limpa como um fator de desenvolvimento sustentável**. 2002. Disponível em <<http://www.senairs.org.br/cntl>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **Dossiê Técnico – Logística Reversa**. 2011. Disponível em <http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/Log%EDstica%20reversa.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2012.

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. 2003. Disponível em <http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2012.

COSTA, R. V. P. **Princípios de Ecologia Industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ciências em Planejamento Energético, dez. 2002.

COSTA, R. V. P. **Otimização de Resistência à Compressão de Pelotas de Minério de Ferro para Redução Direta pela Aplicação de Projeto Robusto**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa Rede Temática em Engenharia de Materiais, abr. 2008.

DAHER, C. E.; SILVA, E. P. S.; FONSECA, A. P. **Logística reversa: oportunidade para redução de custos através do gerenciamento da cadeia integrada de valor**. BBR

Brazilian Business Review, vol. 3, n. 1, jan-jun, 2006, pp. 58-73.

DANE, F.C. **Research methods**. California: Brooks/Cole, 1990.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/ferro.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2012**. Disponível em <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7390> Acesso em: 8 fev. 2013.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. DIPLAM - Diretoria de Planejamento e de Desenvolvimento da Mineração. **Informe Mineral julho/dezembro de 2011**. Brasília, abr. 2012.

DOMINGUES, R. M.; PAULINO, S. R. Potencial para implantação da produção mais limpa em sistemas locais de produção: o polo joalheiro de São José do Rio Preto. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 4, p. 691-704, out./dez. 2009.

EBX. **Realizações EBX**. Dez. 2011. Disponível em: <http://www.llx.com.br/media/29-2-12%20064_gde.jpg> Acesso em: 19 jul. 2012.

ECOLOGUS – Engenharia Consultiva Ltda. **Pátio Logístico e Operações Portuárias PORTO DO AÇU**. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. Rio de Janeiro, 2010a.

ECOLOGUS – Engenharia Consultiva Ltda. **Siderúrgica Ternium Brasil**. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. Rio de Janeiro, 2010b.

ECOLOGUS – Engenharia Consultiva Ltda; AGRAR Consultoria e Estudos Técnicos S/C. **Logístico e Operações Portuárias PORTO DO AÇU**. RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. Rio de Janeiro, 2011.

EIPPCB - *EUROPEAN INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL BUREAU*. 1999. **Integrated Pollution, Prevention and Control (IPPC)**. Document on Best Available Techniques in the Iron and Steel Industry, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. 2002. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/miner_c3_a7_c3_a3o_20e_20meio_20ambiente.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2012.

FERNANDES, J. V. G.; GONÇALVES, E.; ANDRANDE, J. C. S. **Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis**: uma proposta prática. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 06, n. 03, jul./dez. Rio de Janeiro, 2001.

FERREIRA, G. Q. (Engenheiro da Pré-operação de Filtragem da Anglo American). Mensagem recebida por <Gabriel.ferreira@angloamerican.com.> em 21 jan. 2013.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Plano de Desenvolvimento Sustentável do Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: 2009. Disponível em: <www.firjan.org.br>. Acesso em 20 mar. 2011.

FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; van WASSENHOVE, L. N. *The impact of product recovery on logistics network design*. **Production and Operations Management**, v. 10, n. 2, p.156-173, 2001.

FRANÇA, F. C. C. **Contribuições para o diagnóstico sobre o e-lixo de Tecnologia de Informação nas Instituições de Ensino Superior instaladas na cidade de Campos dos Goytacazes: Um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Engenharia de Produção. Campos dos Goytacazes, 2011.

FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. **Strategies for Manufacturing**. 1989. Disponível em: <http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/IEORpdfs/IEOR_Reading.pdf>

f>. Acesso em: 17 jan. 2013.

GARVIN, D. A. *What does “product quality” really mean?* **Sloan Management Review**. v. 26, n. 1, p. 25-34, 1998.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONÇALVES, M. E. , MARINS, F. A. S. **Logística Reversa numa Empresa de Laminação de Vidros: Um Estudo de Caso**. Revista Gestão e Produção, v.13, n.3, p.397-410, set.-dez. 2006.

GÖRRES, G.; SILVA, J. N. A.; NUUTINEN, J. **Experiences with modern dewatering technologies in Fine Iron Ore application**. In: *International Symposium on Iron Ore of ABM*, 2, 2008, São Luis.

GUIMAR ENGENHARIA S/A. **Investimentos e Obras no Complexo Industrial de Tubarão**. Disponível em: < <http://www.guimar.com.br/novosite/cases/Investimentos-e-obras-no-Complexo-industrial-de-Tubarao>> Acesso em: 21 jul. 2012.

GUIMARÃES, N. C. **Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, abr. 2011.

GRAEDEL, T. **On the concept of Industrial Ecology**. Annual Review of Energy and the Environment, v.21, p. 69-98, 1996. Disponível em: < <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.energy.21.1.69?journalCode=energy.2> >. Acesso em: 13 jan. 2013.

HINZ, R. T. P. **Aspectos e impactos ambientais associados ao processo de injeção da blenda PPO/PSAI através do inventário do ciclo de vida**. (Tese de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM. Universidade do Estado de Santa Catarina – Santa Catarina, Joinville, 2007.

HOFFRÉN, J.; APAJALAHTI, E. **Emergent Eco-efficiency paradigm in Corporate Environment Management**. *Sustainable Development*, v. 17, p. 233-243, 2009.

HÖJER, M.; AHLROTH, S.; DREBORG, KH.; EKVALL, T.; FINNVEDEN, G.; HJELM, O.; HOCHSCHORNER, E.; NILSSON, M.; PALM, V. **Scenarios in selected tools for environmental systems analysis**. *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, Ed. 18, p. 1958-1970, dezembro 2008.

IAN, D.; LAWSON, N. *Material flows due to mining and urbanization*. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Org.) **A Handbook of Industrial Ecology**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. Cap. 28, p. 372-355.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. Brasília, 6. ed. 2011.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Projeto Minas-Rio tem 60% das obras concluídas**. 2012. Disponível em <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=162315>. Acesso em: 17 set. 2012.

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Glossário – CO2 eq**. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saiba-mais/glossariotermino/CO2-equivalente-CO2e-/15>>. Acesso em: 6 fev. 2013.

JACKSON, T. *Industrial ecology and cleaner production*. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Org.) **A Handbook of Industrial Ecology**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. Cap. 4, p. 36-43.

JELISNKI; L. W.; GRAEDEL, T. E.; LUADISE, R. A.; McMCALL, D. W.; PATEL, C. K. N. **Industrial ecology: Concepts and approaches**. 1992. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/89/3/793.full.pdf+html>>. Acesso em: 15 jan. 2013

LAGE, F. Planta de filtragem da Anglo American. 2011. In: VALLONE, M.; SILVA, T.;

MELO, J.(Org.) **Cummings power generation fornece soluções em energia para a planta de filtragem da Anglo American.** Disponível em: <http://www.cumminspower.com.br/newsroom/arquivos_sala/Anglo_American_aprovado.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

LEITE, P. R. Logística Reversa – Nova Área da Logística Empresarial. **Revista Tecnológica.** 2002. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.br/leitepr/LOG%CDSTICA%20REVERSA%20-%20NOVA%20%20C1REA%20DA%20LOG%CDSTICA%20EMPRESARIAL.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2012.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade.** 2. ed. São Paulo: Prentice Hall , 2009.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. E. *Industrial ecology: goals and definitions.* In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Org.) **A Handbook of Industrial Ecology.** Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. Cap. 14, p. 3-15.

LKAB - Luossavaara Kirunavaara AB. **Annual Report/Sustainability Report 2011.** Disponível em: <http://www.lkab.com/Global/Documents/Finansiella%20rapporter/Annual%20Report%20eng/LKAB_AR_2011_eng.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2012.

LLX Logística S.A. **Andamento das Obras.** 2011. Disponível em: <<http://www.llx.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=239&lng=br>>. Acesso em: 19 jul. 2012.

MACHADO, R. M.; FERREIRA, O. M. **Resíduos Sólidos da Indústria de Mineração: Estudo do estado de Goiás.** Universidade Católica de Goiás –

Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Goiânia, fev. 2006

MANHÃES, J. C. S. **Estruturação da Mudança pela Teoria das Restrições na Implementação por Gerenciamento de Projetos por Corrente Crítica - Estudo de Caso de Uma Companhia de Energia.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Engenharia de Produção. Campos dos Goytacazes, nov. 2011.

MAPA, P. S. **Rota de processo para o *underflow* da deslamagem de minério de ferro do concentrador da Samarco Mineração S.A.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, dezembro 2006.

MEDINA, H. V. Análise do ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil. In: CALDEIRA-PIRES, A.; SOUZA PAULA, M. C.; VILLAS BOAS, R. C. (Org.) **Avaliação do Ciclo de Vida: a ISO 14000 na América Latina.** Brasília: Editora ABIPIIT, 2005. p. 330.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. **Introdução ao Tratamento de Minérios.** Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios, pp. 3-16. Rio de Janeiro, dez. 2004.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. **Séries Históricas do Setor Mineral Brasileiro.** 2011. Disponível em: <<http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/>> Acesso em: 21 jul. 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Resolução n. 29, de 11 de dezembro de 2002.** Dispõe sobre as diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 13 jul. 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programas de Desenvolvimento da Gestão Integrada de Recursos Hídricos

no Brasil. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, v. 1, 2008. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao13032009033141.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011(a)**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n. 436, de 22 de dezembro de 2011(b)**. Estabelece o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_conama/2011/rconama%20436%20-%202011.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=>](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_conama/2011/rconama%20436%20-%202011.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=>)>. Acesso em: 13 dez. 2012.

MME - Ministério das Minas e Energia. **Relatório Técnico 18 - Perfil da Mineração no Brasil**. Nova Lima: J.Mendo Consultoria Empresarial Ltda, ago. 2009a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P09_RT18_Perfil_da_Mineracao_de_Ferro.pdf>. Acesso em: 13 out. 2011.

MME - Ministério das Minas e Energia. **Fluxo de massa de materiais no Brasil**. Nova Lima: J.Mendo Consultoria Empresarial Ltda, nov. 2009b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/estudos_consolida>

dos/P58_RT84_Fluxo_de_massa_de_materiais_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 13 out. 2011.

MME - Ministério das Minas e Energia. **Estudo da Reciclagem de Metais no País**. Nova Lima: J.Mendo Consultoria Empresarial Ltda, 2009b.

OLDENBURG, K.; GEISER, K. **Pollution prevention and...or industrial ecology**. *Journal of Cleaner Production*, 1997. v.5, n.1-2, p. 103-108.

OLIVEIRA FILHO, F. A. **Aplicação do conceito de produção limpa: estudo de uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, G. P. C.; CASTRO, L. M. A. ; CORDEIRO, J. R. C.; SOUZA, A. K. P. Sistemas de informações geográficas como ferramenta de apoio ao gerenciamento de recursos hídricos – uma aplicação à bacia do rio Santo Antônio. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.8788.

PAGLIUSO, A. T. **Benchmarking: Relatório do Comitê Temático**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

POCHAMPALLY, K. K.; NUKALA, S.; GUPTA, S. M. **Strategic Planning Models for Reverse and Closed-Loop Supply Chains**. [s.l.] CRC Press,2008.

RLEC - **Reverse Logistics Executive Council**. Disponível em: <www.rlec.org>. Acesso em: 15 jan. 2012.

QUINTEIRO, C.; QUINTEIRO, M.; HEDSTRÖM, M. In: HUSTRULID, W. A.; BULLOCK, R. L. (Org.) **Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies**. Englewood: SME, 2001. Cap. 43, p. 361-368.

RADOS, G. J. V.; VALERIM, P.; BLATTMANN, U. Valor agregado a serviços e produtos de informação. **Informativo CRB 14/ACB**, Florianópolis, v. 9, n. 1, p. 11-12, jan./mar. 1999.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practice**. *Reverse Logistics Executive Council*, 1999. Disponível em <<http://www.rlec.org/reverse.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2011.

ROJAS, S. P. Integração do Enfoque de Insumo-Produto na Avaliação de Ciclo de Vida: Estado da arte e perspectivas para a economia ambiental. In: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict). **Desenvolvimento de uma infra-estrutura de informação para disseminação efetiva do “pensamento ciclo de vida” na indústria brasileira**. 2010. Programa de Capacitação Institucional – PCI/IBICT, Brasília. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/publicacoes/documentos-tecnicos/relatorios-tecnicos-de-inventarios/Integracao%20do%20Enfoque%20de%20Insumo-Produto%20na%20Avaliacao%20de%20ACV.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See**. Massachusetts: Brookline, 2000.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. **Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras da Samarco**. 2011a. Disponível em: <<http://www.samarco.com.br/uploads/e66vw.pdf>> Acesso em: 16 dez. 2012.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. **Termo de Compromisso Ambiental - TCA**. 2011b. Disponível em: < <http://www.samarco.com.br/uploads/kzdz83.pdf>> Acesso em: 17 dez. 2012.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2011**. 2012a. Disponível em: <<http://www.samarco.com.br/uploads/e9drjadqx.pdf>> Acesso em: 13 jan. 2012.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. **Samarco amplia controle ambiental em Ubu.** 2012b. Disponível em: <<http://www.samarco.com.br/modules/system/viewPage.asp?P=2&VID=default&SID=670136257151996&A=open:news:item:1058:1097&S=2&C=8192>> Acesso em: 13 jan. 2013.

SAMPIERI, R. H; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de Pesquisa**, São Paulo: McGraw Hill, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. Projetos de recuperação: usos futuros e a relação com a comunidade. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 53-73.

SERRATO, M.; RYAN, S. M.; GAYTAN, J. **Characterization of Reverse Logistics Networks for outsourcing decisions.** *Department of Industrial & Manufacturing Systems Engineering. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.* Dec. 2010.

SILVA, A. A. A. Gestão dos Resíduos da Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais, com enfoque principal na Lama Abrasiva. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2, 2011, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011, Rio de Janeiro. **Gestão de crises para a sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2011. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0350_2134.pdf>. Acesso em: 14 set. 2012.

SILVA, M. N. (Coordenador da Pré-operação de Filtragem da Anglo American). Mensagem recebida por <marcelo.nazaro@angloamerican.com> em 15 jul. 2012.

SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Parecer Único SISEMA Nº 001/2008.** Dispõe sobre as diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos na atividade de lavra a céu aberto com tratamento a úmido de minério de ferro da Anglo Ferrous Minas-Rio Mineração S.A. Disponível em: <

http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2F200.198.22.171%2Fdown.asp%3Fx_caminho%3Dreunioes%2Fsistema%2Farquivos%2Fmaterial%2F%26x_nome%3D4.1_-_00472_2007_001_2007_Anglo_Ferrous_Minas-Rio_Minera%25E7%25E3o_S.A._-_PU.pdf&ei=cr_5UOq1IYSO8wSdyYDoBg&usg=AFQjCNFdN8hohQVUqNVuyz-27VvB95TqpA&bvm=bv.41248874,d.eWU>. Acesso em: 13 jul. 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

STOCK, J. R. *Development and Implementation of Reverse Logistics Programs*. Council of Logistics Management, p. 247, jun 1998.

SUH, S.; HUPPES, G. *Methods for Life Cycle Inventory of a product*. *Journal of Cleaner Production*. v. 13, Cap. 7, p. 687-697, jun. 2005.

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. **Logística Reversa e Sustentabilidade: Um Estudo do Setor de Mármore e Granito de Cachoeiro de Itapemirim**. Departamento de Economia, 2006.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. *Cleaner Production*. 2002. Disponível em <<http://www.unep.fr/scp/cp/understanding/>> Acesso em: 11 mar. 2012.

VALADÃO, G. E. S. **Separação Sólido-líquido**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

VERAX Consultoria e Projetos Ltda. **Estudo de Viabilidade Econômico-Financeira e da LLX Logística S.A.** São Paulo, 2010.

VERFAILLIE, H. A.; BIDWELL, R.; COWE, R. *Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development, 2000.

WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*. **Eco-efficient**

leadership for improved economic and environmental performance. Conches:
Geneva, 1996.