

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
NÍVEL MESTRADO

FABIO KAZUHIRO MURAKAMI

DESTINAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SIDERÚRGICOS EM  
OUTRAS INDÚSTRIAS:  
Estudo de Casos

São Leopoldo

2014

FABIO KAZUHIRO MURAKAMI

DESTINAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SIDERÚRGICOS EM  
OUTRAS INDÚSTRIAS:

Estudo de Casos

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

São Leopoldo

2014

M972d Murakami, Fabio Kazuhiro  
Destinação e utilização de resíduos industriais siderúrgicos em outras indústrias: estudo de casos / por Fabio Kazuhiro Murakami. – São Leopoldo, 2014.

105 f. : il. color. ; 30 cm.

Com: artigos “As relações interfirmas que induzem a simbiose industrial: um caso na cadeia siderúrgica ; Utilização de resíduos industriais siderúrgicos em cadeias de suprimentos”.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2014.

Orientação: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto, Escola Politécnica.

1.Resíduos industriais. 2.Resíduos perigosos. 3.Usinas siderúrgicas. 4.Cadeia de suprimentos. 5.Redução de resíduos. 6.Resíduos industriais – Reaproveitamento. I.Sellitto, Miguel Afonso. II.Título.

CDU 628.5  
628.5:669.1  
628.477.6

Catálogo na publicação:  
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252



Ata MEPS-D 10/2014

Aos 21 dias do mês de julho do ano de 2014, às 10h30min, reuniu-se na sala 5A301, a Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação composta pelos professores doutores, Miguel Afonso Sellitto, Orientador e Presidente, Charbel José Chiappetta Jabour, da UNESP, Giancarlo Medeiros Pereira e Cláudia Viegas da UN SINOS, para analisar e avaliar a Dissertação intitulada "DESTINAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SIDERÚRGICOS EM OUTRAS INDÚSTRIAS: ESTUDO DE CASOS", apresentada pelo aluno Fábio Kazuhiro Murakami, candidato ao título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Após a apresentação, arguição e defesa, a Banca atribuiu os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Charbel José Chiappetta Jabour	Conceito: <u>aprovado</u>
Prof. Dr. Giancarlo Medeiros Pereira	Conceito: <u>aprovado</u>
Profa. Dra. Cláudia Viegas	Conceito: <u>aprovado</u>

A Dissertação obteve conceito final de aprovado

As alterações sugeridas pela Banca Examinadora são as seguintes:

O candidato receberá cópias corrigidas que deverá ser anexar

O aluno deverá apresentar a versão final do trabalho com as modificações propostas pela Banca Examinadora da Dissertação, no prazo máximo de 7 dias, mediante supervisão do professor Orientador.

São Leopoldo, 21 de julho de 2014.

Mestrando: Fábio Kazuhiro Murakami

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

Membro: Prof. Dr. Charbel José Chiappetta Jabour

Membro: Prof. Dr. Giancarlo Medeiros Pereira

Membro: Profa. Dra. Cláudia Viegas

Secretária: Lilian Amorim

Assinatura: [Assinatura]

Assinatura: [Assinatura]

Assinatura: [Assinatura]

Assinatura: [Assinatura]

Assinatura: [Assinatura]

Assinatura: [Assinatura]

Dedico este trabalho *in memoriam*  
à meu pai, Kazuhiro Murakami.  
Exemplo de trabalho, esforço  
e dedicação o qual levo  
para sempre comigo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade oferecida e à Nossa Senhora Aparecida, inspiradora durante os momentos árduos desta jornada.

Agradeço ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto, pela paciência, companheirismo e dedicação. Sempre disposto a compartilhar seu conhecimento, amizade e experiência de vida.

Sou grato aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da UNISINOS pelos ensinamentos compartilhados.

À minha esposa Adriana Frighetto por seu amor, carinho e compreensão neste período de dedicação à vida acadêmica.

À minha família, em especial a minha mãe Hiroko Murakami e minha irmã Sílvia Yumi Murakami Moreira.

Aos meus colegas e amigos de trabalho: Mauro, Ladir, Denise, Henrique, Eduardo, Maria Elena, Espinosa e Mário.

Aos meus colegas de mestrado, fiéis amigos de jornada, em especial Trento, Tim, Francieli, Mário, Ana Carolina, Ana Paula, Alexandre e Schuster.

## RESUMO

O gerenciamento dos resíduos industriais tornou-se um tema estratégico nas empresas. O aumento da consciência ambiental por parte dos consumidores e das exigências legais tem levado as empresas a rever sua postura no que tange ao descarte dos seus resíduos industriais. A análise da competitividade das cadeias de suprimentos não pode se restringir apenas ao tradicional fluxo unidirecional de produtos. O canal reverso de resíduos também deve ser avaliado, visando fechar ciclos de reutilização de materiais ou destinar resíduos do processo produtivo para outras aplicações. Neste contexto, a indústria siderúrgica destaca-se pela sua capacidade de utilizar sucatas metálicas como matéria-prima e de gerar resíduos capazes de serem utilizados como matéria-prima em outros ramos industriais. O objetivo deste estudo é analisar o potencial de formação de cadeias ambientalmente sustentáveis por meio do reaproveitamento de resíduos industriais advindos da cadeia siderúrgica. Para tanto foram realizados dois estudos de caso. No primeiro foi avaliado como as relações entre sete empresas pertencentes a uma mesma cadeia de suprimentos podem contribuir para romper barreiras ou estimular o reuso de resíduos. No segundo estudo de caso foram avaliados quatro principais resíduos gerados por uma usina siderúrgica e as possibilidades e limitantes para sua utilização como matéria-prima em outras atividades econômicas. Os resultados demonstraram que a maioria dos relacionamentos visando a reutilização de resíduos tem natureza estritamente comercial, sendo o reuso acentuado quando o nível de dependência das empresas com relação ao resíduo é maior. Mesmo havendo um elevado grau de dependência, fatores externos podem inviabilizar a utilização de resíduos. O custo inviabiliza a instalação de novas operações industriais visando apenas a utilização de resíduos industriais como matéria-prima. Extrapolar a relação comercial das empresas para um caráter colaborativo pode auxiliar a atenuar estes fatores externos, quebrar barreiras e estimular o aumento na reutilização dos resíduos. Salienta-se, porém, a existência de oportunidades para a instalação de empresas ou cooperativas capazes de retrabalhar o resíduo siderúrgico visando sua utilização em outras aplicações.

Palavras-chave: Resíduos Industriais, Cadeia de Suprimentos, Relacionamento, Indústria Siderúrgica, Simbiose Industrial

## ABSTRACT

The industrial waste management becomes a strategic issue in business. The increase of environmental awareness by consumers and the legal requirements has led companies to review their position regarding face the disposal of their industrial waste. A competitive analysis of supply chains can not be restricted to the traditional one-way flow of products. The reverse channel of wastes should also be evaluated, aiming to close the cycle for the reuse of materials or the use of industrial waste in other applications. In this context, the steel industry distinguished by its ability to use scrap metal as raw materials and generate industrial wastes capable of being used as raw material in other industrial sector. The objective of this study is to analyze the potential to establish an environmentally sustainable supply-chain through the reuse of industrial waste arising in the steel industry. To accomplish this, two case studies were conducted. In the first study was reported the relations between seven companies belonging to the same supply chain and discussed how these relations can help to break down barriers and encourage the reuse of waste. In the second case study were assessed four main waste generated by a steel mill, evaluating the possibilities and limits for the reuse of the waste as raw material in other economic activities. The results showed that most relationships order to reuse the waste is strictly commercial. The reuse increases when the companies levels' of dependency for the waste is higher. Even with a high degree of dependence, external factors may prevent the use of waste. Extrapolate the business relation of the companies for a collaborative relationship can help to mitigate these external factors, break down the barriers and increase the reuse of waste. Cost prevents the installation of new industrial operations to only the use of industrial waste as raw material. However there are opportunities for the installation of companies or cooperatives able to rework the steel waste for use in other applications.

**Keywords:** Industrial Wastes, Supply-chains, Relationships, Steel Industry, Industrial Symbiosis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Destinação do agregado siderúrgico em 2012.....	18
Figura 1.2 – Total de catadores por região do Brasil.....	19
Figura 1.3 – Etapas da pesquisa do artigo 1.....	22
Figura 1.4 – Etapas da pesquisa do artigo 2.....	23
Figura 2.1 – Quadro de referência para a classificação de pesquisas em GSCM.....	29
Figura 2.2 – Níveis da Ecologia Industrial.....	32
Figura 2.3 – Classificação de relacionamentos na cadeia de suprimentos.....	36
Figura 2.4 – Etapas da pesquisa.....	40
Figura 2.5 – Modelo de pesquisa.....	41
Figura 2.6 – Troca de resíduos na cadeia de suprimentos.....	45
Figura 2.7 - Fluxo de materiais entre S2 e FZn.....	46
Figura 2.8 - Ciclo de produtos/resíduos entre S2 e FPb.....	47
Figura 2.9 - Fluxo de ar e gases da UT.....	50
Figura 2.10 – Processo Waelz.....	52
Figura 3.1 - Classificação dos resíduos industriais conforme norma NBR 10004/2004.....	70
Figura 3.2 – Hierarquia para gerenciamento dos resíduos sólidos industriais.....	71
Figura 3.3 – Ciclos de reciclagem.....	73
Figura 3.4 - Destinação dos co-produtos e resíduos em 2012.....	75
Figura 3.5 – Etapas da Pesquisa.....	77
Figura 3.6 – Modelo de pesquisa.....	78
Figura 3.7 – Processo produtivo e os principais resíduos gerados.....	82
Figura 3.8 – Evolução dos preços do zinco: 2013 – US\$/ton.....	85

Figura 4.1 – Integração dos 2 artigos.....	100
--	-----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Síntese das relações estudadas.....	57
Quadro 3.1 - Utilização de resíduos siderúrgicos identificados na literatura.....	76
Quadro 3.2 - Síntese das limitações para utilização dos resíduos de acordo com as aplicações pesquisadas.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Número de artigos publicados por tema.....	16
Tabela 2.1 – Principais estimuladores para a GSCM.....	30
Tabela 2.2 – Principais barreiras para a GSCM.....	31
Tabela 2.3 – Tipos de trocas de materiais.....	33
Tabela 2.4 – Critérios para a seleção das empresas estudadas.....	42
Tabela 2.5 – Protocolo de pesquisa para geradores de resíduos.....	43
Tabela 2.6 - Protocolo de pesquisa para utilizadores de resíduos.....	44
Tabela 3.1 – Processos de reaproveitamento.....	72
Tabela 3.2 – Síntese dos principais resíduos gerados na empresa analisada.....	86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	Considerações Iniciais.....	14
1.2	Justificativa do tema.....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Justificativa acadêmica.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Justificativa empresarial e econômica.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.3</b>	<b>Justificativa social.....</b>	<b>18</b>
1.3	Objetivos.....	19
1.4	Delimitações da pesquisa.....	20
1.5	Estrutura da dissertação.....	20
1.6	Considerações metodológicas.....	21
<b>2</b>	<b>ARTIGO 1: AS RELAÇÕES INTERFIRMAS QUE INDUZEM A SIMBIOSE INDUSTRIAL: UM CASO NA CADEIA SIDERÚRGICA.....</b>	<b>24</b>
2.1	Introdução.....	25
2.2	Revisão teórica.....	28
<b>2.2.1</b>	<b>Gestão verde da cadeia de suprimentos (GSCM).....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Simbiose industrial.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3</b>	<b>O Relacionamento Interfirmas em Cadeia de Suprimentos de Verdes.....</b>	<b>35</b>
2.3	A Pesquisa.....	39
<b>2.3.1</b>	<b>Modelo de pesquisa.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Método.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Processo de análise de dados.....</b>	<b>44</b>
2.4	Resultados.....	44
<b>2.4.1</b>	<b>Relação 1: Siderúrgica 2 x Fundição de Zinco.....</b>	<b>45</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Relação 2: Siderúrgica 2 x Fundição de Chumbo.....</b>	<b>47</b>

2.4.3	Relação 3: Siderúrgicas x Cimenteira.....	48
2.4.4	Relação 4: Termoelétrica x Siderúrgica 1.....	49
2.4.5	Relação 5: Termoelétrica x Cimenteira.....	50
2.4.6	Relação 6: Siderúrgica 2 x Siderúrgica 1.....	51
2.4.7	Relação 7: Siderúrgica 2 x Fundição de Zinco.....	52
2.4.8	Relação 8: Siderúrgicas x Empresa de Refratários.....	53
2.5	Discussão.....	54
2.6	Conclusão.....	59
	Bibliografia.....	60
<b>3</b>	<b>ARTIGO 2: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SIDERÚRGICOS EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....</b>	<b>66</b>
3.1	Introdução.....	67
3.2	Referencial teórico.....	69
3.2.1	Resíduos industriais.....	69
3.2.2	Reaproveitamento de resíduos industriais siderúrgicos.....	74
3.3	Metodologia.....	77
3.3.1	Projeto de pesquisa.....	78
3.3.2	Método.....	79
3.3.3	Coleta e análise de dados.....	79
3.4	Resultados.....	80
3.4.1	Escória.....	82
3.4.2	Pó de aciaria elétrica.....	83
3.4.3	Carepa.....	83
3.4.4	Borra de zinco.....	84
3.5	Discussão.....	86
3.6	Conclusão.....	89
	Bibliografia.....	90
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>98</b>

4.1 Pesquisas Futuras.....	101
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

O gerenciamento de resíduos tornou-se estratégico para as cadeias de suprimentos (HICKS et al, 2004). Com o aumento da consciência social e das exigências da legislação, as empresas estão repensando suas cadeias de fornecimento considerando, além dos objetivos econômicos, também objetivos sociais e ambientais (CHAABANE, 2011). Neste contexto, a Ecologia Industrial (EI) e a Simbiose Industrial (SI) surgem como uma abordagem coletiva entre as empresas para melhorar o desempenho ambiental e econômico da cadeia com o uso de resíduos e coprodutos como eventuais substitutos ou complementos das matérias-primas originais (COSTA e FERRÃO, 2010). A Ecologia Industrial argumenta que o tradicional modelo industrial de cadeia de suprimentos aberta deve incorporar novos elementos, tais como sistemas do tipo malha fechada (*closed-loop supply chain*), no qual resíduos e co-produtos de uma indústria substituem materiais virgens nos processos produtivos de outras indústrias ou da mesma em que foram gerados (LYONS et al, 2009). Com a adoção de estratégias e tecnologias para sua reutilização, co-produtos e resíduos podem ser devolvidos aos processos de produção ou reciclados para utilização em outras indústrias (TANG et al, 2008).

Diversos casos de utilização de resíduos sólidos industriais (*industrial wastes*) surgem na literatura. Tsai (2010) estudou a utilização de aparas de madeira, bagaço de cana, sucata plástica e lodos têxteis e de celulose na geração de energia elétrica em Taiwan. Ng et al (2012) avaliaram o potencial da utilização dos resíduos de óleos de palmeiras para a produção de bioetanol na Malásia. Glew et al (2012) investigaram o reaproveitamento de molas e utilização de fibras naturais na produção de colchões. Pappu et al (2007) analisaram o potencial da utilização de resíduos sólidos na fabricação de materiais para a construção civil na Índia. No Brasil, Borchardt et al. (2011) analisaram a utilização de fibras naturais para a produção de reforços para calçados, permitindo a reutilização dos resíduos no processo produtivo da empresa. Yi et al. (2012) analisaram o potencial de utilização da escória de aciaria na construção de estradas, indústria de cimento e concreto. Machado et al. (2011) estudaram a utilização do pó de aciaria como matéria-prima para a produção de cerâmica. Sellitto et al. (2012) estudaram o uso de casca de arroz e de pneus inservíveis como combustíveis em fabricação de cimento.



Saliente-se que grande parte dos estudos relacionados com o reaproveitamento de resíduos restringe-se ao ambiente interno da empresa, muitas vezes ignorando o efeito produzido pelas cadeias de abastecimento e distribuição. Sheu e Talley (2011) destacam que o conceito de responsabilidade ambiental deve ser estendido não só aos produtores, mas também aos abastecedores, distribuidores e vendedores, exigindo a formulação de estratégias que visem o atingimento de objetivos ambientais e sustentáveis ao longo de toda a cadeia de suprimentos. As cadeias devem ser adaptadas visando minimizar a geração de resíduos e o uso de recursos a fim de criar uma cadeia verde (BEAMON, 1999). Sellitto et al (2012) consideram que cadeias verdes de suprimentos podem proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento sustentável em operações industriais. Implementar cadeias sustentáveis ambientalmente pode ser um imperativo competitivo e uma questão de sobrevivência para alguns tipos de negócio (WAGNER e SVENSSON, 2010). A gestão verde da cadeia de suprimentos (*Green Supply Chain Management* – GSCM) proporciona a integração das atividades produtivas das empresas a questões ambientais, reduzindo custos operacionais, geração de resíduos e emissão de poluentes (BEAMON, 1999; THUN e MÜLLER, 2010).

Em termos de cadeias de suprimentos e agrupamentos industriais, destaca-se o caso de Kalundborg, na Dinamarca, onde os coprodutos de diferentes empresas são utilizados como matérias-primas de outras em um mesmo complexo industrial (EHRENFELDT e CHERTOW, 2002). Já em uma perspectiva regional, van Beers et al. (2007) analisaram os casos das regiões australianas de Kwinama e Gladstone. Nestas regiões, a sinergia entre indústrias do ramo de mineração permite a utilização de coprodutos, água e energia advindos de um mesmo grupo de empresas.

Este estudo visa responder lacunas existentes na literatura. Ciliz et al (2012) questionam quais os papéis da simbiose industrial e das cadeias de suprimentos no progresso da auto-suficiência sustentável das regiões. O mesmo autor propõe a identificação de novas formas para reduzir ou eliminar substâncias tóxicas de produtos, processos e da sociedade. Tudor et al (2007) destacam a necessidade da criação de uma maior consciência ambiental nas empresas com relação à destinação dos resíduos. Andiç et al (2012) salientam a importância de analisar as relações entre cliente e fabricante nas discussões entre ser e tornar-se verde na cadeia de suprimentos. Thun e Müller (2010) propõem novos estudos relacionados à implementação da GSCM em outros ramos industriais diferentes da indústria automobilística. Sheu e Talley (2011)

demandam casos práticos e maiores estudos relacionados à gestão de relacionamento na GSCM. Jabbour *et al* (2012) propõem estudos que relacionem as práticas de colaboração na cadeia de suprimentos à gestão ambiental. Pagell e Shevchenko (2014) demandam pesquisas de como criar uma cadeia de suprimentos sustentável analisando todos os elos da cadeia e não apenas uma empresa focal.

## 1.2 Justificativa do tema

A justificativa para esta pesquisa pode ser acadêmica, empresarial e social.

### 1.2.1 Justificativa acadêmica

Do ponto de vista acadêmico, os temas *green supply chain management*, resíduos industriais, ecologia industrial e *closed-loop supply chain* têm comparecido em diversas pautas de pesquisa. Em uma pesquisa bibliométrica realizada no Sciverse nas áreas de engenharia e gestão e negócios verificou-se um crescente número de artigos desenvolvidos nestes temas. A Tabela 1.1 apresenta os números de artigos publicados nos anos de 2010, 2011 e 2012 em cada um dos temas levantados. Observa-se que todos foram mais citados em 2012 do que anos anteriores,

Tabela 1.1 – Número de artigos publicados por tema

<b>Assunto</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<i>Green supply chain management</i>	40	76	123
<i>Industrial waste</i>	162	239	268
<i>Industrial ecology</i>	145	164	179
<i>Closed-loop supply chain</i>	30	61	89

Fonte: Sciverse (2013)

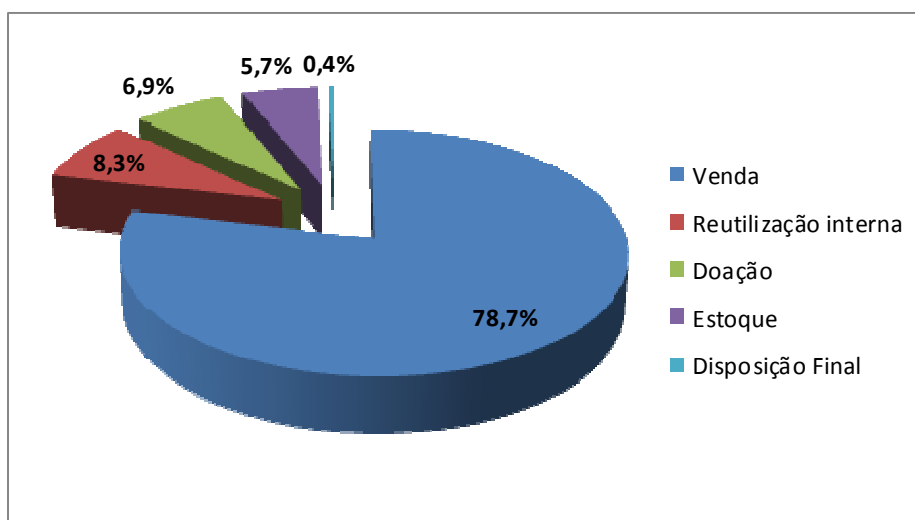
### 1.2.2 Justificativa empresarial e econômica

Do ponto de vista empresarial, este trabalho justifica-se pela necessidade cada vez mais acentuada da sustentabilidade ambiental nas organizações (JABBOUR et al., 2012). A geração de resíduos e o uso de recursos naturais pela manufatura contribuem para a degradação ambiental (BEAMON, 1999). Ao mesmo tempo, a utilização de resíduos industriais no processo produtivo proporciona uma redução no consumo de recursos naturais cada vez mais escassos. Outro fator relevante é a oportunidade de reutilização de um produto destinado anteriormente para aterro, minimizando-se assim riscos de contaminação e poluição do meio-ambiente. Do ponto de vista econômico, o uso de um material recuperado geralmente proporciona ganhos financeiros no custo da matéria-prima ou no processo produtivo, o que aumenta a competitividade das cadeias onde as empresas ecologicamente corretas estão inseridas. Custos com a destinação de resíduos para aterro também podem ser evitados

Uma importante indústria geradora de resíduos é a siderurgia (HUAIWEI e XIN, 2011). A indústria siderúrgica destaca-se na ecologia industrial devido à capacidade de aceitar entradas de resíduos e geração de co-produtos utilizáveis (VADENBO et al, 2013). Segundo dados divulgados no Relatório de Sustentabilidade 2013 do Instituto Aço Brasil, a indústria siderúrgica brasileira gerou no ano de 2012 17,7 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos. Desta quantidade, 88,5% foram reaproveitados. O principal resíduo gerado pela siderurgia é o agregado siderúrgico: 78,7% do agregado siderúrgico gerado no ano de 2012 foi comercializado como coproduto, sendo a indústria cimenteira o principal destino para este resíduo.

A Figura 1.1 apresenta a destinação do agregado siderúrgico no ano de 2012.

Figura 1.1 – Destinação do agregado siderúrgico em 2012



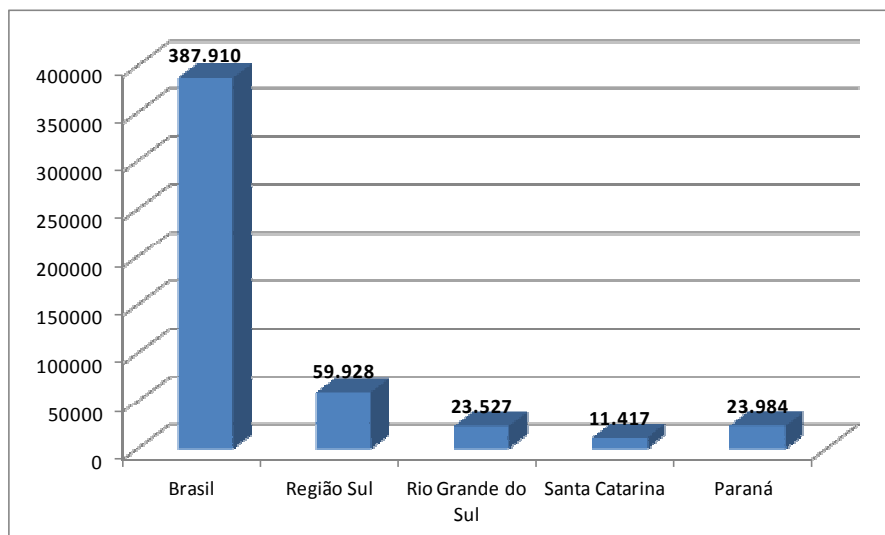
Fonte: Adaptado de Relatório de Sustentabilidade Aço Brasil 2013

### 1.2.3 Justificativa social

Aspectos sociais da reciclagem de resíduos são explicitados na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Um dos princípios da PNRS é integrar os catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (ABELHA, 2013). Do ponto de vista social, o gerenciamento de resíduos proporciona um estímulo ao surgimento de cooperativas para segregação de resíduos, sustentando o mercado da reciclagem e reaproveitamento de materiais (BRUCE e STOREY, 2010). Segundo o IPEA (2013), a atividade de reciclagem e disposição dos resíduos emprega numeroso contingente de trabalhadores que sobrevivem, na maioria das vezes, em situação de vulnerabilidade social.

Conforme dados do Censo Demográfico 2010, a região sul do Brasil concentra 15,19% do total de catadores do país (58.928 pessoas), sendo que deste percentual 80% são dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. A Figura 1.2 apresenta o número de catadores por cada estado da região Sul e no Brasil. Se ampliar-se este número para a família, pode-se estimar que cerca de 200.000 pessoas vivam em residências com pelo menos um catador ou catadora.

Figura 1.2 – Total de catadores por região do Brasil



Fonte: Adaptado de Censo Demográfico 2010

Como a legislação brasileira não permite o trabalho infantil, o Censo Demográfico 2010 destaca que a razão de dependência de crianças em residências com pelo menos um catador ou catadora é de 53,5%. Este número é superior a média brasileira cujo percentual de dependência é de 50%. Segundo o Censo Demográfico 2010 o rendimento médio mensal de trabalhadores envolvidos na reciclagem na região sul é de R\$ 596,90. Em 2010 este valor superava o salário mínimo que na época era de R\$ 510,00 por mês. Salienta-se, porém, que a região Sul apresentou o maior percentual de extrema pobreza entre domicílios com pelo menos um catador com 4,1%.

### 1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é analisar o potencial para a formação de cadeias de suprimentos sustentáveis por meio da utilização nos processos produtivos das empresas de resíduos industriais advindos da cadeia siderúrgica.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Estudar como as relações entre as empresas podem estimular a utilização de resíduos industriais nas cadeias de suprimentos e a simbiose industrial;

- b) Avaliar a geração de resíduos industriais advindos de uma siderúrgica e o potencial de utilização destes materiais em outras indústrias visando a formação de uma cadeia ambientalmente sustentável.

#### 1.4 Delimitações da pesquisa

A pesquisa adota o formato de artigos. A pesquisa apresentada no artigo 1 está limitada às relações entre empresas de uma única cadeia de suprimentos envolvendo empresas do ramo siderúrgico, metais (chumbo e zinco), termoelétrica, cimenteira e refratários (primeiro objetivo específico). Futuros estudos podem ser realizados visando identificar o comportamento das relações de fornecimento de resíduos em outras cadeias produtivas. Já na pesquisa apresentada no artigo 2 foi efetuado o levantamento de potencial e oportunidades de uso de resíduos, limitado a apenas um Estado do Brasil (demais objetivos específicos). Podem ser avaliados em estudos futuros a disponibilidade de resíduos e potencial de utilização dos mesmos em outros Estados e/ou países.

#### 1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo é realizada a introdução sobre o tema, destacando a sua importância e as contribuições da literatura. Neste mesmo capítulo, são destacados também os objetivos das pesquisas, a justificativa para os estudos bem como o método, a estrutura e as suas respectivas limitações. A dissertação tem a forma de dois artigos. No segundo capítulo são apresentados os métodos de pesquisa que foram usados nos dois artigos.

O terceiro capítulo apresenta o primeiro artigo desta dissertação. Neste artigo será atendido o primeiro objetivo específico desta dissertação. São revisados os conceitos de GSCM, simbiose industrial e relacionamento em cadeias de suprimentos verdes. A principal entrega do artigo é o relato de um caso em que duas plantas siderúrgicas se relacionam com uma usina termoelétrica, uma fundição de zinco, uma fundição de chumbo, uma fábrica de cimento e uma indústria de produtos refratários. São analisadas as possibilidades de reaproveitamento de resíduos e as sinergias possíveis de serem exploradas na busca de competitividade na cadeia.

Nesta cadeia regional, verificou-se o fornecimento de produtos e coprodutos entre membros da mesma cadeia, caracterizando o conceito de simbiose industrial. A questão problema deste artigo é identificar como as relações entre empresas podem estimular os atores de uma cadeia de suprimentos à simbiose industrial. O método é o estudo de caso múltiplo.

O quarto capítulo apresenta o segundo artigo desta dissertação onde será atendido o segundo objetivo específico. Neste artigo é efetuado um levantamento quali-quantitativo das possibilidades de reaproveitamento dos principais resíduos gerados uma planta siderúrgica. Serão listadas todas as possibilidades de destinação com recuperação de valor dos principais resíduos gerados pela planta e as oportunidades previamente estudadas para a utilização destes resíduos. A revisão inclui uma descrição do processo de fabricação da empresa, uma siderúrgica não-integrada, equipada com aciaria e laminação de aços longos. O método é o estudo de caso único.

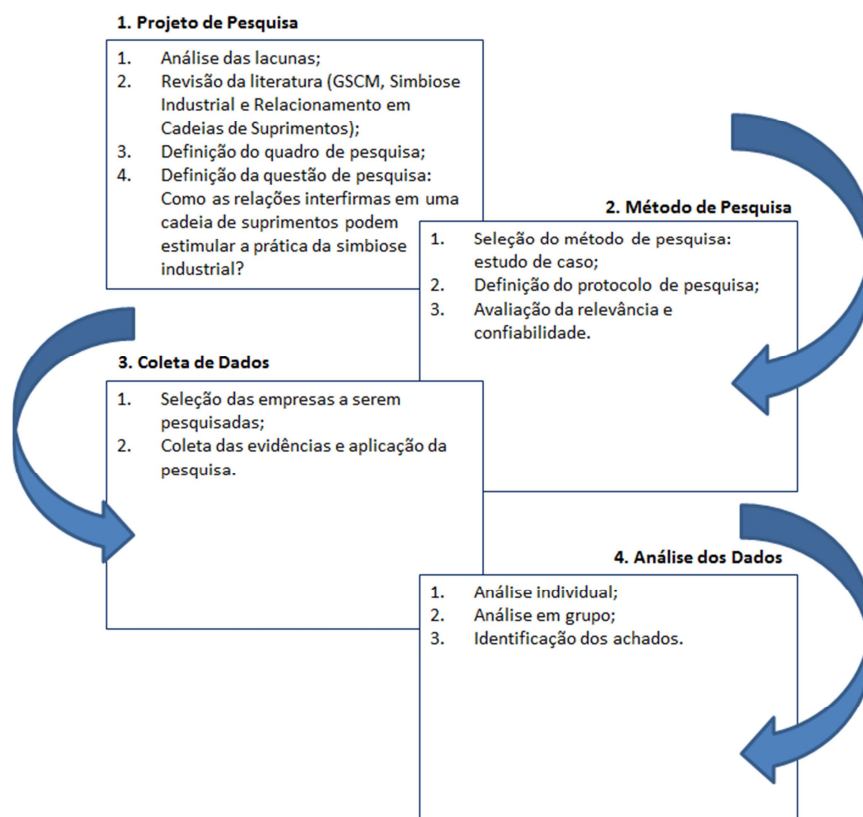
No quinto capítulo são apresentadas as conclusões relacionadas ao contexto de ambos os artigos, bem como as limitações das pesquisas realizadas. As oportunidades de pesquisa futuras relacionadas ao tema proposto também são discutidos neste capítulo.

## 1.6 Considerações Metodológicas

A elaboração de ambos os artigos demandaram a realização de estudos de caso de natureza exploratória. No artigo 1 foi realizado um estudo de caso múltiplo, abrangendo um grupo de empresas pertencentes a uma mesma cadeia de suprimentos. Já no artigo 2 foi realizado um estudo de caso único, com a análise de apenas uma empresa. Um estudo de caso viabiliza a investigação de um fenômeno dentro de um contexto real e contemporâneo por meio de uma análise detalhada de um ou mais objetos, permitindo a coleta de um conhecimento amplo e detalhado do fenômeno estudado (YIN, 2010). Em ambos os casos foram consideradas múltiplas fontes de evidência, tais como entrevistas, documentações e relatórios. Tal fato visa a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos (GIBBERT E RUIGROK, 2010).

Os passos realizados no desenvolvimento do artigo 1 são apresentados na Figura 1.3.

Figura 1.3 – Etapas da pesquisa do artigo 1



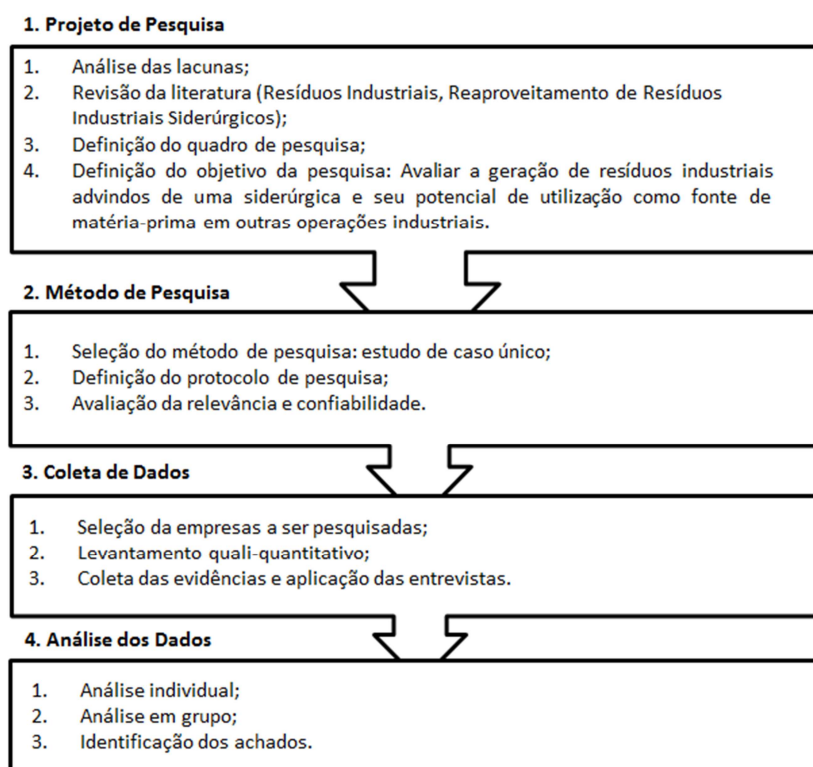
Fonte: Elaborado pelo autor

Na fase de projeto foi realizada uma revisão na literatura nos conceitos de *green supply-chain management*, simbiose industrial e relacionamento em cadeias de suprimentos verdes. Nesta mesma fase foi realizada uma análise das lacunas disponíveis, a definição da questão de pesquisa e a proposição de um modelo de investigação. Na etapa seguinte, foi selecionado um método para a pesquisa e desenvolvido um protocolo de investigação para posterior avaliação da confiabilidade e relevância da pesquisa. Na fase de coleta de dados foram selecionadas as empresas a serem pesquisadas e coletadas as evidências por meio de uma entrevista não estruturada. As entrevistas foram realizadas com executivos das áreas de meio-ambiente ou suprimentos de cada uma das empresas. As empresas pesquisadas fazem parte de uma mesma cadeia de suprimentos, com a troca de resíduos industriais entre seus membros. Na última etapa foi realizada uma análise individual e em grupo dos achados identificados, para posterior discussão e conclusão.

Na Figura 1.4 são apresentadas as etapas do desenvolvimento do segundo artigo.



Figura 1.4 – Etapas da pesquisa do artigo 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Na primeira etapa foi realizada uma revisão bibliográfica dos conceitos de resíduos industriais e reaproveitamento de resíduos industriais siderúrgicos. De posse destes conceitos foi definido o quadro de pesquisa e a análise das lacunas existentes na bibliografia visando a definição da questão de pesquisa. Na fase 2 foi realizada a seleção do método de pesquisa e a definição do protocolo de pesquisa. A avaliação da relevância e confiabilidade do método também foi realizada nesta fase. Na etapa de coleta de dados foi realizado um levantamento quali-quantitativo acerca da geração de resíduos de uma indústria e seu potencial de utilização em outras empresas. A empresa selecionada para a realização da pesquisa foi uma indústria siderúrgica Na quarta etapa foi realizada a identificação e análise dos dados coletados para posterior conclusão.

## **2. ARTIGO 1: AS RELAÇÕES INTERFIRMAS QUE INDUZEM A SIMBIOSE INDUSTRIAL: UM CASO NA CADEIA SIDERÚRGICA**

### **RESUMO**

A cadeia siderúrgica destaca-se no ramo da Simbiose Industrial pela sua capacidade de aproveitar resíduos e gerar co-produtos utilizáveis em outros segmentos industriais. Esta troca de materiais, energia e co-produtos viabilizam melhorias ambientais, econômicas e competitivas tanto individualmente como para toda a cadeia de suprimentos na qual as empresas estão inseridas. O objetivo deste estudo é identificar como as relações interfirmas estimulam os atores de uma cadeia de suprimentos à simbiose industrial. Para tanto foi realizado um estudo de caso de natureza exploratória envolvendo empresas pertencentes a uma cadeia siderúrgica. Foram avaliadas as relações entre duas usinas siderúrgicas, a sua rede de sucateiros, uma indústria cimenteira, uma usina termoelétrica, uma fundição de zinco, uma fundição de chumbo e um fabricante de produtos refratários. Em comum entre estas empresas foi verificada a utilização de resíduos industriais advindos dos membros da própria cadeia. Os resultados demonstraram que em cadeias ambientalmente sustentáveis (não induzidas pelo governo) o reaproveitamento de resíduos industriais dentro da cadeia está vinculado ao potencial de ganho econômico relacionado ao uso deste material e as alternativas para destinação. Quanto maior a dependência das empresas envolvidas com o reuso do resíduo, maior a possibilidade de reutilização. Já em outras relações menos estáveis o surgimento de alternativas para destinação ou os elevados custos logísticos podem comprometer o reuso. O reuso pode ser motivado também por meio de acordos que proporcionam o retorno do resíduo à empresa que comercializou o produto original. Mesmo havendo interesse mútuo, há situações onde o reuso do material é dependente de agentes ou fatores externos.

Palavras-chave: *Green Supply Chain Management*, Simbiose Industrial, Resíduos Industriais.

## ABSTRACT

The steel supply-chain stands out in the field of Industrial Symbiosis for its ability to use industrial wastes and generate by-products usable in other industries. This exchange of materials, energy and by-products enable environmental, economic and competitive improvements individually and for the whole supply-chain where the companies operate. This study investigate how intercompany relationships can stimulate the supply-chain actors to the industrial symbiosis. An exploratory multiple-case study was undertaken involving companies belonging to a steel supply-chain. The relations between two steel mills, its network of scrap dealers, a cement industry, a power plant, a zinc smelter, a lead smelter and a manufacturer of refractory products were evaluated. In common between these companies was verified the usage of industrial waste coming from members of the same supply-chain. The results showed that in environmentally sustainable chains (not induced by the government) the reuse of industrial waste within the chain is linked to the potential for economic gain related to the use of this material and the alternatives for the waste allocation. The greater the dependence of companies involved in the reuse of waste, highest is the possibility of the reuse occur. However, in other less stable relationships the emergence of alternatives to disposal or high logistics costs can compromise the reuse. Reuse can also be motivated through agreements that provide the return of the waste to the company that sold the original product. Even though there is mutual interest, there are situations in which the reuse of the material is dependent on external factors or agents.

Key-words: Green Supply Chain Management, Industrial Symbiosis, Industrial Waste.

## 2.1 Introdução

A geração de resíduos industriais e o uso de recursos naturais pelas empresas de manufatura, ao mesmo tempo que gera riqueza, tem contribuído para a degradação da natureza (BEAMON, 1999). O aumento da preocupação com o meio-ambiente e as recentes legislações ambientais têm direcionado as empresas a avaliar o impacto das suas operações (CHAANE *et al.*, 2012). O foco do gerenciamento ambiental e das operações não se restringe à empresa, mas a

toda cadeia de suprimentos desde a produção até a destinação final dos resíduos (LINTON *et al.*, 2007). Neste contexto, o gerenciamento de resíduos tornou-se estratégico para as cadeias de suprimentos principalmente devido ao custo associado, à necessidade de cumprimento das legislações ambientais e a demanda dos clientes por produtos sustentáveis (HICKS *et al.*, 2004).

Acerca do desenvolvimento sustentável nas cadeias de suprimentos, dois conceitos destacam-se na literatura: Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos (*Green Supply Chain Management - GSCM*) e Simbiose Industrial. A *GSCM* envolve a gestão de materiais, informação, capital e cooperação entre empresas visando desenvolver as dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, ambiental e social (SEURING e MÜLLER, 2008). Sendo uma subdivisão da Ecologia Industrial, a Simbiose Industrial (SI) surgiu como uma abordagem coletiva entre as empresas para melhorar o desempenho ambiental e econômico da cadeia com o uso de resíduos e coprodutos de outras empresas como substitutos das matérias-primas (COSTA e FERRÃO, 2010).

Dentre muitos casos já publicados, alguns podem ser relatados como subsídio para esta pesquisa. Na China, a aplicação dos conceitos de simbiose industrial em uma fundição de zinco gerou redução dos custos de produção, aumento do desempenho ambiental e da competitividade na indústria advindos da reciclagem e da reutilização de resíduos (YUAN e SHI, 2009). Entre as ações implantadas destacam-se os investimentos para extração de Índio, Cádmiio e Cobre dos resíduos e a produção de ácido sulfúrico por meio das emissões de dióxido de enxofre. Tais materiais anteriormente descartados passaram a ser comercializados para outras empresas. Outras ações adotadas foram a reutilização do pó de zinco no próprio processo produtivo e a destinação dos demais resíduos gerados para a indústria do cimento.

No Brasil foi realizado um projeto relacionado à geração de energia renovável e produção de alimentos advindos da produção de álcool combustível (OMETTO *et al.*, 2007). Apesar de tratar-se de um combustível renovável, buscou-se minimizar o impacto ambiental e social relacionado ao ciclo produtivo do álcool por meio da geração de produtos alternativos. O projeto propõe a produção de alimentos orgânicos e a geração de energia elétrica advinda da combustão do bagaço da cana de açúcar sendo estes resíduos gerados na produção do álcool combustível.

Na Turquia foram realizados estudos nos setores elétrico e eletro-eletrônico que demonstraram que a implementação de um gerenciamento dos resíduos é um início para a *GSCM* (ANDIÇ *et al.*, 2012). Thun e Müller (2010) investigaram o potencial da *GSCM* para a

competitividade por meio de uma análise da indústria automotiva alemã. Na pesquisa realizada os principais gestores das empresas alemãs identificaram a importância da *GSCM* para a competitividade salientando, em contrapartida, demonstraram preocupação com a necessidade de recursos para a sua implantação. Também na cadeia automotiva, Zhu *et al.* (2007) analisaram os motivadores, práticas e performances da *GSCM* em 89 indústrias automotivas chinesas. Os resultados demonstraram que além das pressões do mercado e da legislação, direcionadores internos também estimulam a adoção da *GSCM*. Em um estudo realizado com 100 empresas brasileiras do setor eletrônico, Jabbour *et al.* (2013) identificaram que fatores como o uso de insumos perigosos, a experiência em sistemas de gestão ambiental e o porte da empresa estão positivamente correlacionadas com a adoção de práticas de *GSCM*.

Com relação à utilização de resíduos industriais na cadeia de suprimentos, a literatura identifica lacunas. Ciliz *et al.* (2012) propõem futuros estudos que objetivem novas formas para reduzir ou eliminar resíduos industriais. Os mesmos autores demandam a definição dos papéis da simbiose industrial e da cadeia de suprimentos no progresso da autossuficiência sustentável. Sheu e Talley (2011) demandam casos práticos relacionados à gestão de relacionamento na *GSCM*. No mesmo tema, Thun e Müller (2010) sugerem novos estudos relacionados à implementação da *GSCM* em diversos ramos industriais. Andiç *et al.* (2012) salientam a importância de analisar as relações cliente – fabricante nas discussões entre ser ou tornar-se verde na cadeia de suprimentos. Tudor *et al.* (2007) destacam a necessidade da criação de uma maior consciência ambiental nas empresas relacionada à destinação dos resíduos. Jabbour *et al.* (2012) propõem estudos que relacionem as práticas de colaboração na cadeia de suprimentos à gestão ambiental. Pagell e Shevchenko (2014) demandam pesquisas de como criar uma cadeia de suprimentos sustentável analisando todos os elos da cadeia e não apenas uma empresa focal.

Este estudo objetiva avaliar como as relações entre empresas podem estimular a utilização de resíduos industriais em cadeias de suprimentos. Busca-se também responder algumas lacunas existentes na literatura: (i) identificar elementos que possam analisar as relações na cadeia de suprimentos em prol de um desenvolvimento ambientalmente sustentável (ANDIÇ *et al.*, 2012), (ii) aumentar a consciência nas cadeias com relação à destinação de resíduos (TUDOR *et al.*, 2007 e CILIZ *et al.*, 2012) e (iii) evidenciar como a *GSCM* e a SI podem contribuir para a auto-suficiência das regiões (CILIZ *et al.*, 2012). A questão de pesquisa advinda destes objetivos é: “Como as relações interfirmas em uma cadeia de suprimentos podem

estimular a prática da simbiose industrial?” A revisão na literatura identificou alguns conceitos chave na pesquisa, tais como Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos, Simbiose Industrial e relacionamentos em cadeias de suprimentos verdes.

Foi realizado um estudo de caso múltiplo envolvendo seis empresas distintas pertencentes a uma mesma cadeia de suprimentos. No centro desta cadeia encontram-se duas usinas siderúrgicas semi-integradas pertencentes a um mesmo grupo empresarial. Ambas as usinas utilizam como principal matéria-prima sucata metálica proveniente de empresas e sucateiros. Também fazem parte desta cadeia uma cimenteira, uma usina termoelétrica, uma fundição de zinco, uma fundição de chumbo e uma indústria de produtos refratários. Em comum entre estas empresas foi verificada a utilização de resíduos advindos da própria cadeia como matéria-prima ou o potencial para a realização destes materiais nos respectivos processos industriais. Os resultados apontam para um conjunto de elementos que determinam os fatores relacionais que podem alavancar a utilização de resíduos industriais entre membros de uma mesma cadeia de suprimentos. Em estudos semelhantes, Östlin *et al.* (2008) analisou as relações existentes entre seis empresas de diferentes ramos industriais no processo de remanufatura de produtos. Su *et al.* (2010) analisam os custos de transação de um resíduo na formação de um relacionamento de simbiose entre indústrias. Em outro estudo, Posch (2010) discute se as relações que estimulam a simbiose industrial originam-se de um processo planejado ou são decorrentes de relações comerciais que podem surgir espontaneamente entre empresas.

## 2.2 Revisão teórica

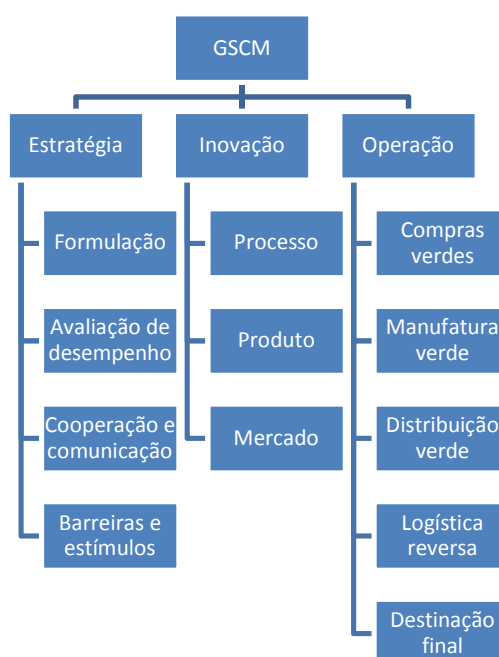
### 2.2.1 Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos (GSCM)

A *GSCM* objetiva organizar e sistematizar atividades que promovam sustentabilidade e consequente elevação da competitividade na cadeia de suprimentos, bem como promoção da redução de custos de operação no ciclo de vida do produto e elevação do lucro (SEURING e MULLER, 2008). Incorpora a reciclagem, remanufatura, reutilização de sobras e projetos voltados à diminuição do impacto ao meio ambiente, elevação da eco-eficiência de empresas focais, à montante e à jusante (GREEN *et al.*, 1998; RAO e HOLT, 2005; ZHU *et al.*, 2005; SEURING e MULLER, 2008). Sellitto *et al.* (2011) classificam os impactos ambientais das

cadeias de suprimentos em emissões atmosféricas, efluentes líquidos, geração de resíduos sólidos, uso de recursos naturais e energéticos. Zhu e Sarkis (2004) ressaltam que os impactos ambientais devem ser identificados em toda a cadeia de suprimentos.

Sellitto et al (2013) propõem um quadro de trabalho para a classificação das pesquisas relacionadas a *GSCM*. No quadro proposto, o tema *GSCM* é organizado em três campos de pesquisa: estratégia, inovação e operação. O campo estratégia segue um fluxo lógico no qual a estratégia ambiental é formulada. Posteriormente estabelecem-se medidas de desempenho para a avaliação do desempenho ambiental. Estuda-se a cooperação e comunicação entre as partes integrantes e, por fim, pesquisa-se fatores que estimulam ou restringem a implantação de cadeias verdes. O campo inovação é estruturado em processo, projeto e mercado. No processo estuda-se a adoção de técnicas e práticas na qual reduz-se o consumo energético ou de matérias-primas, com poucas alterações nos produtos. No projeto analisa-se o produto existente visando a redução dos impactos ambientais do processo produtivo. Busca-se criar nichos de mercado para produtos de consumidores específicos de produtos verdes. O campo de estudo referente à operação é estruturado em cinco áreas: (i) compras verdes; (ii) manufatura verde; (iii) distribuição verde; (iv) logística reversa; e (v) destinação final. A Figura 2.1 resume o quadro de trabalho proposto.

Figura 2.1 – Quadro de referência para a classificação de pesquisas em *GSCM*



Fonte: Adaptado de Sellitto et al, 2013.

A literatura identifica diversos estimuladores e barreiras para a aplicação da *GSCM*. Em um estudo realizado no Reino Unido, Walker et al (2008) verificaram que a aplicação da *GSCM* nas organizações tanto públicas como privadas enfrenta barreiras tanto interna como externa. Entre as barreiras internas destacam-se o fator custo e a falta de legitimidade interna relacionada às questões ambientais. Já entre as barreiras externas destaca-se a falta de comprometimento dos fornecedores, as barreiras industriais específicas e a legislação. Testa e Iraldo (2010) concluíram por meio de um estudo realizado com mais de 4000 empresas de 7 países europeus que a motivação para a introdução de *GSCM* pode ser de caráter ético ou comercial. O caráter ético reflete os valores dos gestores e da cultura organizacional da empresa. A motivação comercial visa obter uma vantagem competitiva pela demonstração da preocupação ambiental. Na Índia Luthra *et al* (2008) realizaram um estudo visando desenvolver um modelo estruturado das barreiras relacionadas à implantação da *GSCM* na indústria automotiva. Fatores como valores e políticas organizacionais, recursos humanos, custos e a legislação foram identificados como limitadores da *GSCM*. Em Taiwan um estudo cujo objetivo era validar fatores críticos da *GSCM*, possibilitou identificar quatro fatores: a gestão de fornecedores, a reciclagem de produtos, o envolvimento da organização e a gestão do ciclo de vida dos produtos. O estudo aponta que estes fatores podem auxiliar as empresas na identificação das áreas de *GSCM* onde a aceitação e melhorias serão realizadas, e na priorização de esforços referentes a esta gestão (HU e HSU, 2006). Azevedo *et al.* (2011) verificaram que as práticas verdes na cadeia de suprimentos automobilística portuguesa tem efeitos positivos sobre a qualidade, satisfação do cliente e eficiência. As Tabelas 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, os principais estimuladores e barreiras para a implantação da *GSCM* identificados na literatura.

Tabela 2.1 – Principais estimuladores para a *GSCM*

<b>Estimuladores</b>	<b>Referência</b>
Legislação	Hsu et al (2013), Green et al (1996), Simpson (2010), Tudor et al (2007), Beamon (1999), Chertow (2007)
Pressão dos competidores	Hsu et al (2013), Tudor et al (2007)
Pressão dos clientes	Hsu et al (2013), Green et al (1996), Handfield et al (1997), Carter e Dresner (2001), Azevedo et al (2011)
Responsabilidade social	Hsu et al (2013)



Pressão dos investidores	Green et al (1996)
Redução de custo	Green et al (1996), Handfield et al (1997), Carter e Dresner (2001), Simpson (2010), Tudor et al (2007), Chertow (2007), Azevedo et al (2011)
Pressão social	Simpson (2010), Beamon (1999)
Serviços a clientes	Simpson (2010)
Vantagem competitiva	Testa e Iraldo (2010)
Qualidade	Azevedo et al (2011)
Cultura organizacional	Walker et al (2008), Testa e Iraldo (2010)

Fonte: Elaborador pelo autor

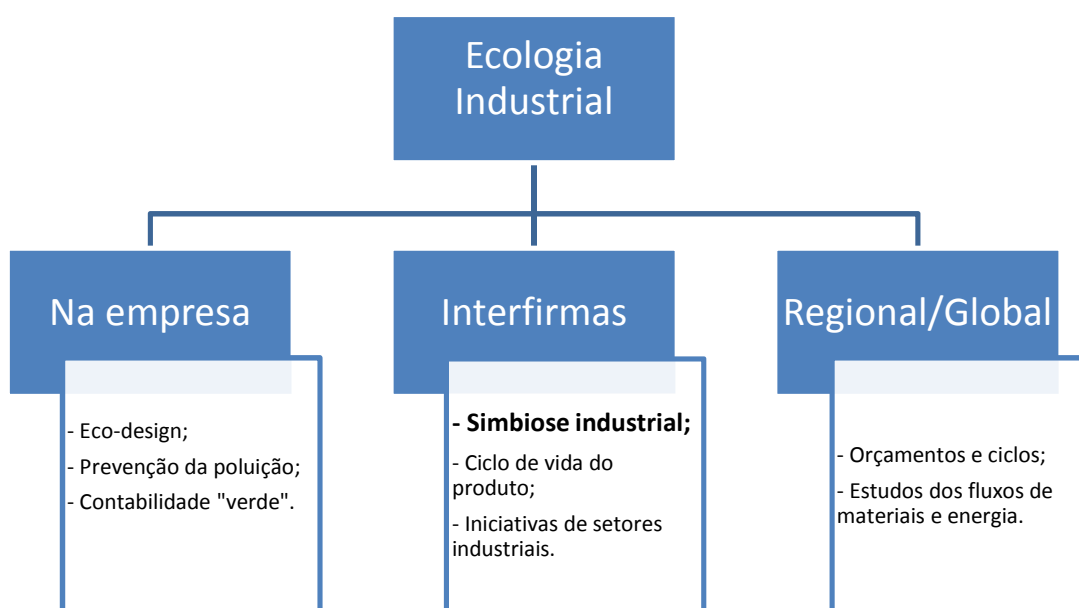
Tabela 2.2 – Principais barreiras para a GSCM

<b>Barreiras</b>	<b>Referência</b>
Custos	Testa e Iraldo (2010), Simpson (2010), Tudor et al (2007), Luthra et al (2011), Walker et al (2008)
Baixo custo dos materiais	Simpson (2010)
Falta de mercado	Simpson (2010), Chertow (2007)
Incertezas no mercado	Simpson (2010), Tudor et al (2007), Luthra et al (2011)
Falta de infraestrutura para coleta	Simpson (2010)
Baixos volumes	Simpson (2010)
Baixa percepção de responsabilidade	Tudor et al (2007)
Falta de percepção dos benefícios ambientais	Tudor et al (2007), Luthra et al (2011)
Diferentes culturas organizacionais e estratégias	Tudor et al (2007)
Falta de tecnologia	Tudor et al (2007), Luthra et al (2011)
Restrições técnicas para o reuso do resíduo	Chertow (2007), Walker et al (2008)
Legislação	Chertow (2007), Luthra et al (2011), Walker et al (2008)
Recursos humanos	Luthra et al (2011)
Falta de comprometimento organizacional	Luthra et al (2011), Walker et al (2008), Hu e Hsu (2006)

## 2.2.2 Simbiose Industrial

A Simbiose Industrial (SI) é um ramo da Ecologia Industrial que envolve a troca física de materiais, energia, água e coprodutos entre organizações que guardem algumas semelhanças entre si (EHRENFELD e CHERTOW, 2002). A Figura 2.2 apresenta os níveis onde a Ecologia Industrial atua.

Figura 2.2 – Níveis da Ecologia Industrial



Fonte: Adaptado de Ehrenfeld e Chertow, 2002.

O termo simbiose advém dos conceitos da biologia de mutualismo onde duas ou mais espécies diferentes de animais trocam materiais, energia ou informações visando o benefício mútuo (CHERTOW, 2000). Transferindo este conceito para as relações interfirmas, Ehrenfeld e Chertow (2002) salientam que a colaboração entre as empresas viabiliza o atingimento de um benefício comum maior que a soma dos benefícios individuais de cada empresa. Tal benefício

pode ser estendido para o ambiente social onde as empresas estão inseridas. Ehrenfeld e Chertow (2002) salientam que simbiose não é restrita dentro de um limite de um parque industrial. Com o uso da proximidade regional, a SI permite a colaboração entre diferentes atores econômicos locais para colher potenciais melhorias ambientais nas relações interfirmas (MIRATA e EMTAIRAH, 2005). Chertow (2007) afirma que as principais motivações para a SI estão focadas na redução de custos ou aumento das receitas das empresas. O mesmo autor complementa que pode haver outras motivações, tais como a substituição de matérias-primas/recursos limitados na natureza ou resposta à pressões sociais/legislativas. Estas motivações corroboram com as afirmações de que a SI viabiliza também a redução de custos e o aumento da vantagem competitiva da cadeia (YUAN e SHI, 2007, COSTA e FERRÃO, 2012).

Chertow (2000) e Ehrenfeld e Chertow (2002) realizaram um estudo envolvendo 18 potenciais parques industriais no período de 1997 até 1999. Este estudo permitiu identificar uma taxonomia relacionada aos tipos de trocas de materiais existentes entre as empresas. A classificação baseia-se em aspectos como a localização geográfica das empresas, os tipos de recursos envolvidos e a sua organização. A Tabela 2.3 resume os cinco tipos de troca identificados pelos autores.

Tabela 2.3 – Tipos de troca de materiais

<b>Tipo</b>	<b>Localização</b>	<b>Tipo</b>	<b>Abrangência</b>
1	Independentes	Apenas materiais	Local, regional e nacional
2	Dentro da organização	Materiais, energia e utilidades	Local
3	Co-localizadas (parque industrial estimulado)	Materiais, energia e utilidades	Local
4	Co-localizadas (parque industrial espontâneo)	Materiais, energia e utilidades	Local
5	Ligações virtuais	Materiais	Local e regional

Fonte: Adaptado de Chertow, 2000.

O primeiro tipo de troca de materiais é classificado como bolsa de resíduos. Nesta condição as empresas doam ou vendem um resíduo por meio de terceiros que repassam o material para outras organizações. Estas organizações terceiras podem ser tanto particulares como

fomentados pelo governo, sendo seu âmbito tanto local, como regional ou nacional. A troca de energia ou utilidades não se aplica neste contexto.

O segundo tipo envolve a troca de materiais dentro uma mesma instalação, empresa ou organização. Nesta condição não há o envolvimento de uma empresa externa. Por estarem estruturadas como entidades separadas, algumas grandes empresas podem identificar oportunidades de aproveitar os resíduos gerados em diferentes setores da mesma organização. Esta condição pode aproximar a empresa para uma futura abordagem envolvendo múltiplas empresas em prol da simbiose industrial.

O terceiro tipo envolve a troca de materiais, energia e utilidades entre as empresas que fazem parte de um mesmo parque industrial. Além da troca de materiais, pode envolver também a troca de informações e serviços, tais como transporte, venda e obtenção de licenças. O relacionamento não se restringe apenas as empresas pertencentes ao parque industrial, podendo envolver outras empresas externas ao parque.

O quarto tipo envolve a troca de materiais e utilidades entre empresas que não se estabeleceram, inicialmente, como um parque industrial planejado. Porém a proximidade física entre as empresas proporcionou tirar proveito dos materiais, energia e água gerados por estas empresas. Os parceiros primários podem incorporar posteriormente novas empresas ao seu parque industrial.

O alto custo e as múltiplas variáveis relacionadas à co-localização podem inviabilizar a simbiose industrial. Por este motivo, o quinto tipo de troca envolve a relação entre empresas com ligações virtuais, independente da localização física das mesmas. Esta relação possibilita o envolvimento maior de empresas, visto que abrangência pode ser expandida a nível regional. Proporciona também a integração de pequenas organizações localizadas nas proximidades das empresas principais da cadeia.

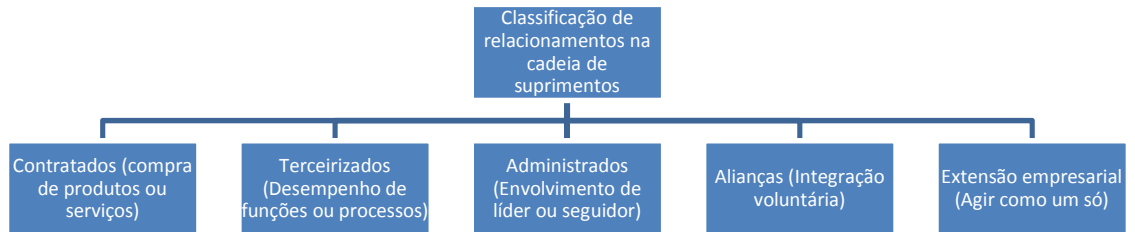
Como exemplo de cadeias de suprimentos que utilizam os conceitos de SI, destaca-se o caso de Kalundborg (EHRENFELD e GERTLER, 1997; CHERTOW, 2000; EHRENFELD e CHERTOW, 2002; GIANNETTI e ALMEIDA, 2006). Neste parque industrial localizado na Dinamarca os co-produtos de diferentes empresas são utilizadas como matérias-primas de outras pertencentes ao mesmo complexo. Em uma perspectiva regional, van Beers et al (2007) analisam os potenciais de utilização dos co-produtos, água e energia advindos de empresas da mesma região localizadas em Kwinama e Gladstone, Austrália. Yuan e Shi (2009) avalia o potencial de

desenvolvimento da simbiose industrial por meio da geração de produtos advindos de resíduos de uma fundição de zinco. Costa *et al.* (2010) estuda as políticas públicas que viabilizam a SI na Dinamarca, Inglaterra, Portugal e Suíça. Dong *et al.* (2013) avaliou os ganhos econômicos e ambientais em três cadeias de suprimentos chinesas na área de siderurgia. Foram verificadas as diferenças existentes entre as cadeias e propostas políticas públicas para estimular a SI na China. Em um estudo realizado em 16 redes eco-industriais na Grécia, Marinos-Kouris e Mourtsiadis (2013) identificaram padrões e limites espaciais que restringem a aplicação da SI. Liao e Ma (2013) realizaram um estudo de caso em um parque industrial eletro-eletrônico de Taiwan. O estudo demonstrou que a SI potencializa a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Zhu e Cote (2004) descreveram um parque industrial desenvolvido por uma refinaria de açúcar a qual integra operações como indústria de fertilizantes, papel, cimento e álcool. Em todas as operações ocorre a utilização de co-produtos do refino de açúcar no seus respectivos processos produtivos.

### **2.2.3 O Relacionamento Interfirmas em Cadeia de Suprimentos Verdes**

A atuação em cadeia de suprimentos exige das empresas uma alteração no modelo negócios visando o esforço coordenado dos membros da cadeia em prol da competitividade e do aumento da eficiência (BOWERSOX et al., 2014). Relacionamentos mais próximos entre as empresas viabilizam menores custos de produção, melhoria na qualidade do produto, *lead-times* menores, melhoria no serviço e avanço na tecnologia (RINEHART et al, 2004). Bowersox et al (2014) classificam os relacionamentos nas cadeias de suprimentos com base na dependência mútua entre as empresas e o compartilhamento de informações. Os mesmos autores afirmam que o reconhecimento do grau de dependência mútua é a base para o surgimento de relações colaborativas. A Figura 2.3 demonstra esta classificação.

Figura 2.3 – Classificação de relacionamentos na cadeia de suprimentos



Fonte: Adaptado de Bowersox, 2014.

Segundo Bowersox et al (2014), os contratos e a terceirização representam a forma básica de relacionamento. A dependência nestas classificações está limitada a um período de tempo pré-determinado, conforme preços e condições previamente acordada entre as partes. Já em um relacionamento administrado a empresa dominante lidera um grupo de parceiros comerciais ou prestadores de serviços. Não há prazo definido para o término do relacionamento, sendo o compartilhamento de informações mais abrangente, envolvendo informações operacionais e algumas informações estratégicas. Os relacionamentos denominados alianças e extensões empresariais são governados pelo desejo de trabalho em conjunto tanto na estratégia como operacionalmente. O planejamento é conjunto e de longo prazo, podendo haver a elaboração de políticas conjuntas e a integração das operações.

Um sistema ecológico industrial é dependente das relações entre clientes e fornecedores com as organizações (SARKIS et al, 1995). Simpson et al (2007) afirmam que as relações cliente-fornecedores ou fornecedores-fornecedores podem gerar resultados ambientalmente positivos, tais como a redução conjunta dos resíduos, a inovação ambiental, a redução de custos ou o desenvolvimento de tecnologia ambientalmente amigáveis. Os mesmos autores propõem 10 estratégias de fornecimento para um sistema de Simbiose Industrial. Estas estratégias baseiam-se nos conceitos da Gestão da Qualidade Total (TQM) acerca dos relacionamentos dentro de uma cadeia de suprimentos:

1. O estabelecimento de contratos de longo prazo, identificando práticas e considerações ambientais para a manutenção do acordo entre cliente e fornecedor;

2. O relacionamento cliente-fornecedores necessita ser desenvolvidos em múltiplos níveis para que o mesmo possa ser efetivo (do nível operacional ao nível estratégico);
3. O valor ambiental dos materiais deve ser enfatizados pelos compradores aos seus fornecedores, visando minimizar resíduos por meio da reciclagem, reuso ou a remanufatura;
4. A participação dos fornecedores no desenvolvimento do produto e processos visando o atendimento de requisitos técnicos e ambientais dos clientes;
5. Implementar a troca de informações entre as empresas, tais como relatórios ambientais, certificações ou informações de auditorias;
6. A inclusão de um controle de qualidade integrado, visando reduzir a quantidade de perdas no processo e a conseqüente geração de resíduos;
7. Resolução de problemas ambientais em conjunto, por meio da disseminação das práticas ambientais por parte das empresas que possuem os melhores processos e tecnologias neste quesito;
8. O compartilhamento de experiências entre clientes e fornecedores visando ganhos ambientais por meio da sinergia das empresas;
9. Os fornecedores podem fornecer informações sobre as decisões de compra e as forças de mercado em toda a cadeia de valor, tornando-se cada vez mais conscientes das decisões envolvidas no desenvolvimento dos produtos;
10. A redução da base dos fornecedores.

Os relacionamentos externos estimulam o desenvolvimento de sistemas industriais de circuito fechado, sendo integrantes da gestão da cadeia de suprimentos e da estratégia ambiental (SARKIS et al, 1995). Nas *closed-loop supply chains* (CLSC) o fluxo de produtos não é unidirecional, incluindo também o processo de retorno de produtos usados ao fabricante captando valores e integrando todas as atividades da cadeia (GUIDE et al, 2003). Krikke et al (2004) definem como quatro os principais motivos para o retorno de produtos. O primeiro motivo (denominado “*End-of-life Return*”) caracteriza-se pelo retorno de produtos visando evitar impactos ambientais e/ou comerciais. Este tipo de retorno é amparado, geralmente, por leis que determinam o retorno do produto pós-uso para o fabricante. O segundo motivo para retorno é denominado “*End-of-use Return*”. Tratam-se de produtos/componentes que retornam ao

fabricante após o uso do cliente para posterior revenda ou remanufatura. O terceiro motivo (Retorno Comercial) estão relacionados à acordos comerciais. Inclui-se neste tipo de retorno as devoluções decorrentes de garantias ou danos durante o transporte. O quarto tipo está relacionado aos produtos reutilizáveis. A devolução de embalagens retornáveis é um exemplo deste tipo de retorno.

Östlin et al (2008) afirmam que algumas relações em uma CLSP são muito próximas, com um nível elevado de comprometimento, confiança e colaboração entre os membros. Outros relacionamentos são mais fracos. Os mesmos autores identificam sete tipos distintos de relacionamentos em uma CLSP.

1. **Baseado na propriedade:** Trata-se de um tipo de relacionamento onde um produto de propriedade do fabricante é utilizado pelo cliente final. Após o uso, o produto retorna ao fabricante. Este relacionamento geralmente engloba serviços de manutenção do produto. A locação de equipamentos e leasing são exemplos deste tipo de relacionamento.
2. **Contrato de serviço:** O contrato de serviço diferencia-se da classificação anterior no que tange a propriedade do produto: neste caso o produto é propriedade do cliente. Este relacionamento é baseado em um contrato de pós-vendas que inclui cláusulas de manutenção, reparo e remanufatura.
3. **Ordem direta:** Neste tipo relacionamento o cliente retorna o produto para o fabricante visando sua remanufatura. Após a remanufatura, o mesmo produto retorna ao cliente para uso.
4. **Baseado no depósito:** Neste relacionamento o cliente compra um produto remanufaturado, sendo obrigado a entregar um produto similar usado na compra. Neste caso o cliente atua como um fornecedor da empresa que efetua o acondicionamento.
5. **Baseado no crédito:** O cliente recebe um crédito quando retorna um produto usado ao fabricante. Este crédito pode ser utilizado na compra ou como desconto na compra de um produto novo ou remanufaturado.
6. **Recompra:** O fabricante efetua uma compra simples do produto utilizado pelo cliente.

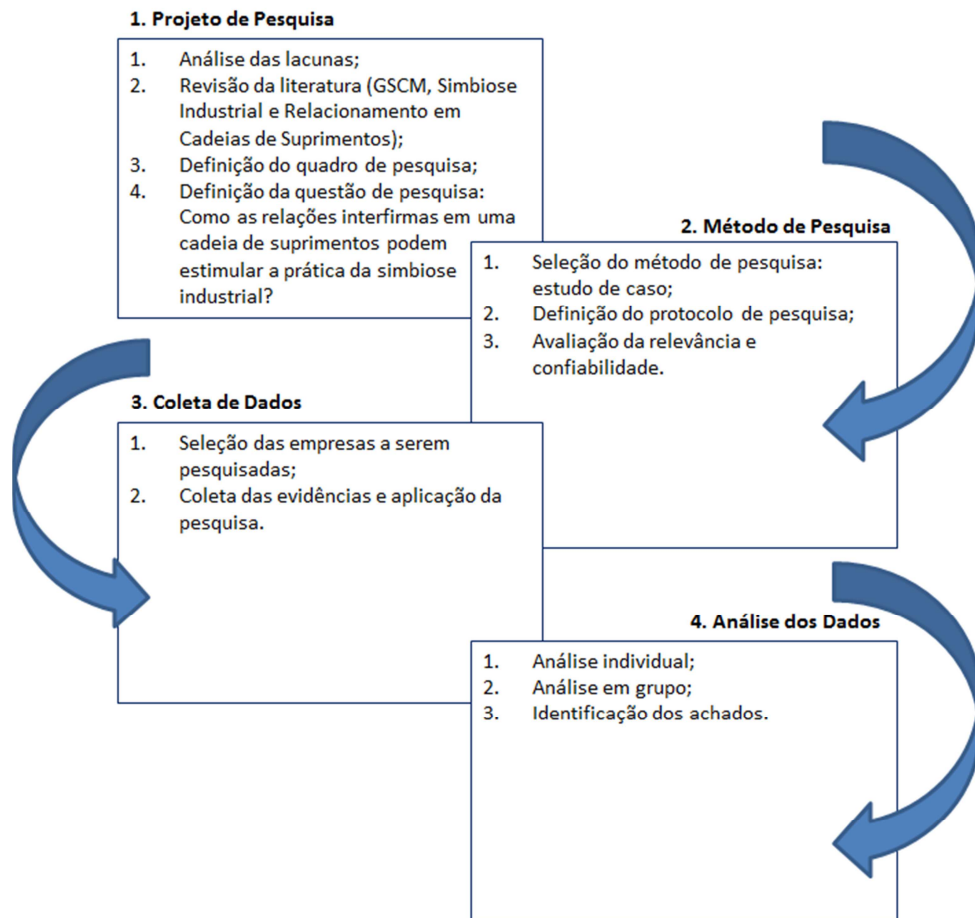


7. **Doação:** O cliente cede o produto usado sem ônus para o fabricante. Tanto na recompra como na doação o fabricante pode destinar o produto usado conforme sua necessidade (recondicionamento, reutilização ou descarte).

### 2.3. A Pesquisa

A Figura 2.4 apresenta os principais passos desenvolvidos durante a pesquisa. Na etapa de projeto foi realizada a revisão na literatura, a análise das lacunas, a definição da questão de pesquisa e a proposição de um modelo de investigação. Na segunda etapa foi escolhido o método para a realização da pesquisa e estruturado o protocolo de investigação. Nesta mesma etapa é realizada a avaliação da confiabilidade e da relevância da pesquisa. Na etapa seguinte foram definidas as empresas a serem pesquisadas e efetuada a coleta das evidências. Na última etapa foi realizada a análise individual e coletiva dos dados, proporcionando assim a identificação dos resultados.

Figura 2.4 – Etapas da pesquisa



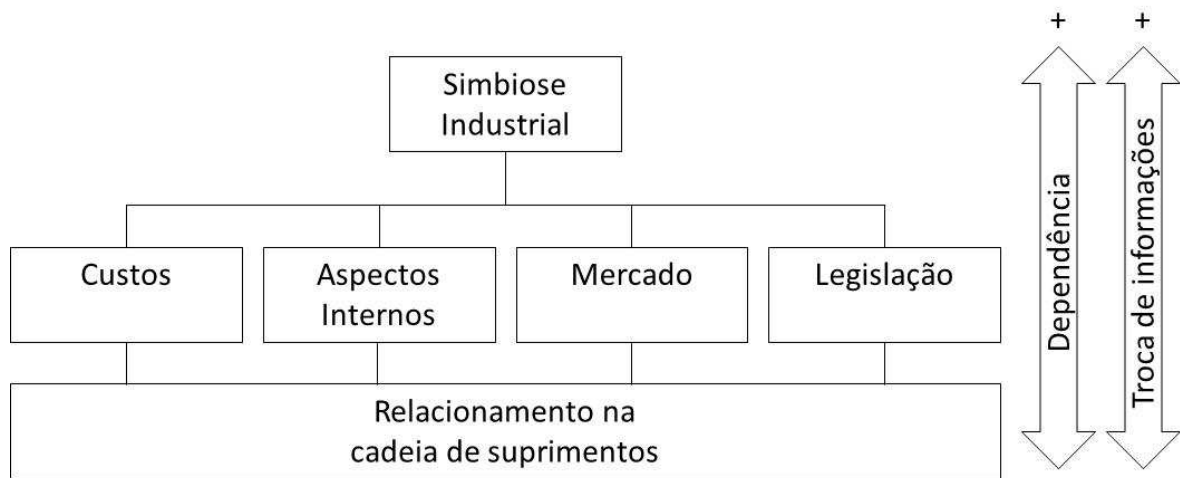
Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.3.1 Modelo de Pesquisa

Por meio da revisão na literatura foram definidos os seguintes elementos que estimulam ou limitam a utilização de resíduos em cadeias de suprimentos: custos, aspectos internos, mercado e legislação. Para cada um dos elementos definidos foram estudados como relacionamentos entre empresas que podem alavancar a utilização de resíduos industriais na cadeia de suprimentos. A análise destes elementos sugeriu a necessidade de um entendimento mais aprofundado relacionado a novas formas para reduzir ou eliminar resíduos e o papel da cadeia de suprimentos e da SI neste processo (CILIZ *et al.*, 2012). O estudo também visa prover informações sobre as relações entre as empresas em prol de uma cadeia de suprimento sustentável (ANDIÇ *et al.*, 2012), analisar a gestão de relacionamento na GSCM (SHEU e

TALLEY, 2011) e aumentar a consciência ambiental relacionada à destinação de resíduos na cadeia de suprimentos (TUDOR *et al.*, 2007). Com base nestas oportunidades de pesquisa identificadas, foi estabelecida a seguinte questão de pesquisa: “Como as relações interfirmas em uma cadeia de suprimentos podem estimular a prática da simbiose industrial?”. O modelo de pesquisa desenvolvido é apresentado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Modelo de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.3.2 Método

O método de pesquisa foi o estudo de caso múltiplo exploratório. Segundo Yin (2010), um estudo de caso permite a investigação de um fenômeno dentro de um contexto contemporâneo real por meio de uma análise aprofundada de um ou mais objetos. Isto proporciona um conhecimento mais detalhado e amplo do fenômeno estudado. Foi formulado um protocolo de pesquisa direcionado às empresas que fazem parte de uma mesma cadeia de suprimentos onde ocorre a troca de resíduos industriais. Para a validade e confiabilidade da pesquisa foram consideradas múltiplas fontes de evidência, tais como entrevistas, relatórios e outros documentos (GIBBERT e RUIGROK, 2010). A seleção dos entrevistados foi realizada considerando o nível de consciência dos mesmos com relação ao assunto estudado.

### 2.3.3 Coleta de Dados

Foi realizado inicialmente um levantamento da cadeia de suprimentos de uma indústria siderúrgica. De posse destas informações, efetuou-se uma análise da estrutura de abastecimento e fornecimento de coprodutos desta empresa, incluindo às demais empresas desta cadeia. Desta forma foi possível selecionar seis empresas distintas, às quais esta indústria siderúrgica possui relações de uso ou fornecimento de resíduos industriais. Os perfis das empresas analisadas encontram-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Critérios para a seleção das empresas estudadas

<b>Empresa</b>	<b>Indústria</b>	<b>Características</b>
S1	Siderúrgica 1	Empresa multinacional produtora de aços especiais. Pertencente a um dos maiores grupos siderúrgicos do mundo, produz aço por meio de forno elétrico a arco. Utiliza como sua principal matéria-prima sucata metálica. O resíduo gerado no processo produtivo é destinado para aplicação em diversas outras empresas.
S2	Siderúrgica 2	Empresa multinacional produtora de aços longos pertencente ao mesmo grupo da empresa S1. Produz aço por meio de forno elétrico a arco, utilizando como sua principal matéria-prima sucata metálica. O resíduo gerado no processo produtivo é destinado para aplicação em diversas outras empresas.
UT	Termoelétrica	Empresa multinacional do ramo energia, produz energia elétrica por meio da queima do carvão em caldeiras a vapor. Destina parte do vapor gerado no seu processo produtivo à empresa B. Os resíduos gerados do processo de queima do carvão é destinado à indústria cimenteira.
IC	Cimenteira	Empresa nacional produtora de cimento. Trata-se de um dos maiores grupos mundiais no ramo. Utiliza em seu processo produtivo resíduos advindos de diversos ramos industriais como substitutos de produtos naturais.
FPb	Fundição de Chumbo	Empresa regional produtora de chumbo. Atua unicamente com a produção de chumbo via reciclagem de sucatas e escórias de chumbo.
FZn	Fundição de Zinco	Empresa multinacional produtora de metais pertencente ao mesmo grupo da cimenteira. Possui duas unidades industriais no país, sendo que resíduos da indústria siderúrgica podem ser utilizados tanto na produção de lingotes de zinco com de óxido de zinco.
ER	Empresa de Refratários	Empresa multinacional produtora de produtos refratários, tendo como principais clientes a indústria siderúrgica e a indústria cimenteira. Verticalizada, produz refratários via extração de minério em minas próprias e por reciclagem de resíduos proveniente de clientes.

Fonte: Elaborado pelo autor

De cada uma das empresas selecionadas foi entrevistado o gerente geral, gerente de meio-ambiente e suprimentos. Foram realizadas entrevistas com duração média de 1 hora, incluindo a coleta de relatórios e documentos complementares. Foram elaborados dois protocolos de pesquisa distintos. O primeiro, baseado na Tabela 2.5, foi direcionado às empresas que geram os resíduos. O segundo foi direcionado às empresas que utilizam os resíduos ou tem potencial para sua utilização, conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.5 – Protocolo de pesquisa para geradores de resíduos

<b>Tema</b>	<b>Questões</b>
Caracterização do resíduo	Processo produtivo da empresa e como o resíduo é gerado.
Destinação do resíduo	Quais as opções de destinação do resíduo disponíveis? Qual a destinação é realizada atualmente? Quais os benefícios obtidos com o reaproveitamento do resíduo
Limitadores para o reaproveitamento do resíduo	Quais os limitadores para o reaproveitamento do resíduo? Como estes limitadores podem ser rompidos ?
Motivadores para o reaproveitamento do resíduo	Quais os motivadores para o reaproveitamento do resíduo? Como estes motivadores podem ser estimulados?
Relacionamento	De que forma os relacionamentos entre empresas podem auxiliar a quebrar barreiras ou estimular ainda mais o reuso? Qual o nível de dependência com relação ao reaproveitamento do resíduo? Que áreas negociam a reutilização dos resíduos?

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2.6 – Protocolo de pesquisa para utilizadores de resíduos

<b>Tema</b>	<b>Questões</b>
Caracterização do resíduo	Processo produtivo da empresa e onde o resíduo é gerado. Qual material o resíduo substitui?
Reaproveitamento do resíduo	Como ocorre o reaproveitamento do resíduo? Quais os benefícios obtidos com o reaproveitamento do resíduo?
Limitadores para o reaproveitamento do resíduo	Quais os limitadores para o reaproveitamento do resíduo? Como estes limitadores podem ser rompidos ?
Motivadores para o reaproveitamento do resíduo	Quais os motivadores para o reaproveitamento do resíduo? Como estes motivadores podem ser estimulados?
Relacionamento	De que forma os relacionamentos entre empresas podem auxiliar a quebrar barreiras ou estimular ainda mais o reuso? Qual o nível de dependência com relação ao reaproveitamento do resíduo? Que áreas negociam a reutilização dos resíduos?

Fonte: Elaborador pelo autor

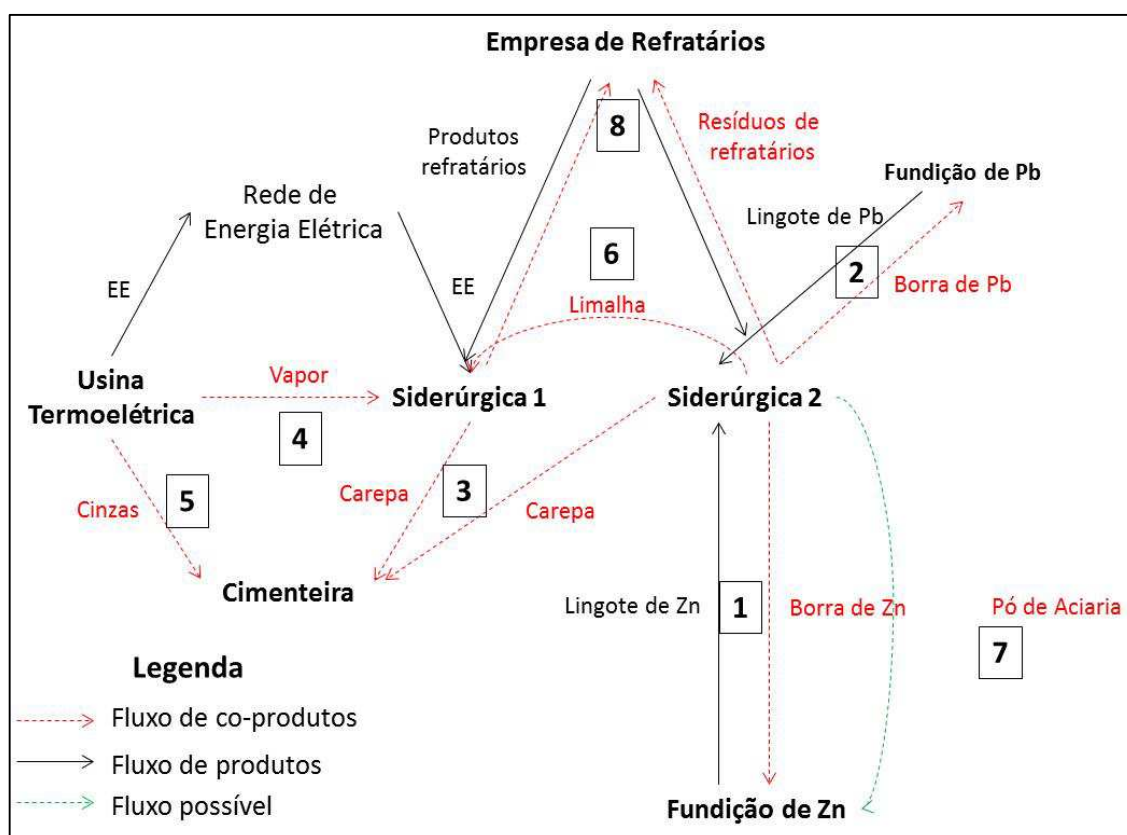
### 2.3.4 Processo de Análise de Dados

Foi realizada análise individual dos resultados obtidos nas entrevistas. Após compilação, os achados foram validados com cada um dos entrevistados. Após a validação, os resultados obtidos foram classificados visando a comparação com cada um dos elementos identificados na literatura. Por meio desta comparação foi possível realizar uma análise longitudinal dos casos via análise e discussão dos consensos e divergências que emergiram em cada situação.

## 2.4. Resultados

A cadeia de suprimentos analisada é formada por duas usinas siderúrgicas (S1 e S2), uma cimenteira (IC), uma usina termoelétrica (UT), uma fundição de zinco (FZn), uma fundição de chumbo (FPb) e uma empresa de refratários (ER). Com exceção da FZn e da ER, todas as empresas estão localizadas em uma distância máxima de 80 km entre as mesmas. Em comum destaca-se a troca de resíduos ou energia (vapor) existente entre os membros desta cadeia. A Figura 2.6 apresenta as empresas pertencentes à cadeia e a respectivas trocas de resíduos. As relações existentes serão descritas abaixo.

Figura 2.6 – Troca de resíduos na cadeia de suprimentos



Fonte: Elaborado pelo autor

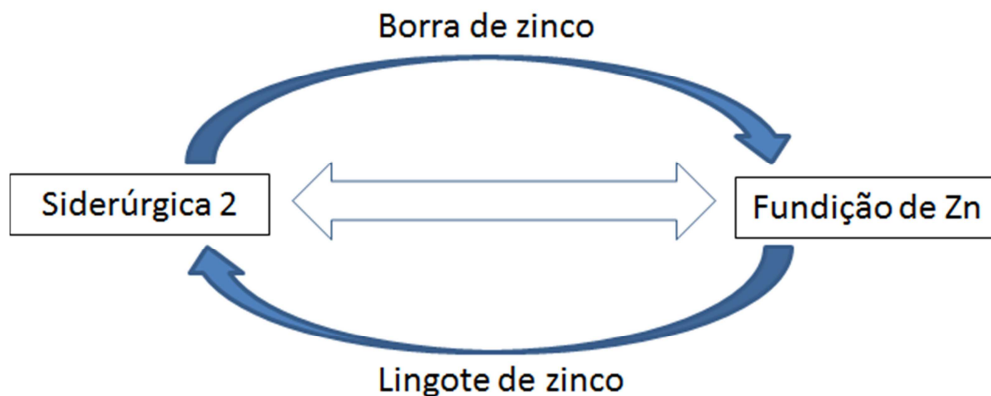
#### 2.4.1 Relação 1: Siderúrgica 2 x Fundição de Zinco

A FZn fornece a S2 lingotes de zinco necessários para a produção de arame galvanizado. O processo de galvanização consiste no revestimento do arame por um metal mais nobre (Zinco) visando a proteção do produto contra a corrosão. Durante o processo de galvanização é gerado o resíduo denominado borra de zinco, o qual fica depositado no fundo da cuba de galvanização. Classificado como um resíduo de classe 2A, a destinação normal deste resíduo seria o seu encaminhamento para um aterro controlado. Não há empresas na região onde está localizada S2 capazes de tratar e reutilizar a borra de zinco gerada na siderúrgica. Os custos logísticos são um dos principais limitadores para a reutilização do resíduo.

O mesmo contrato que viabiliza a venda de lingotes de zinco de FZn para S2 estabelece os critérios e condições para o retorno da borra de zinco para a reutilização. O contrato em questão é

negociado pelas áreas de suprimentos e vendas de S2 e FZn respectivamente, com o envolvimento das áreas de meio-ambiente (ambas empresas) e comercialização de co-produtos de S2. Mesmo tratando-se de um resíduo, os valores são indexados conforme variação dos preços internacionais do zinco (London Metal Exchange). Tal fato proporciona uma receita para S2 em substituição aos custos relacionados à destinação para o aterro. Apesar da distância entre S2 e FZn, o custo logístico referente ao retorno da borra de zinco à S2 é reduzido. O transporte é realizado utilizando o mesmo veículo que transporta lingotes de zinco de FZn à S2. A Figura 2.7 demonstra o fluxo logístico entre as empresas.

Figura 2.7 - Fluxo de materiais entre S2 e FZn



Fonte: Elaborado pelo autor

Na FZn, a borra de zinco recebida é utilizada como matéria-prima para a produção do óxido de zinco. Em quantidade menor a borra de zinco é utilizada também na fabricação de lingotes de zinco com pureza inferior ao fornecido para S2. O óxido de zinco é utilizado, principalmente, nas indústrias de borracha, plástico, tinta e alimentícia. Todo o óxido de zinco produzido por FZn advém da borra de zinco gerada pelos seu próprios clientes (como a S2). Em virtude dos altos custos envolvidos, a produção do óxido de zinco por meio do concentrado de zinco não seria economicamente viável. A utilização da borra como matéria-prima proporciona a FZn uma redução considerável nos custos de fabricação e a sua competitividade neste mercado.

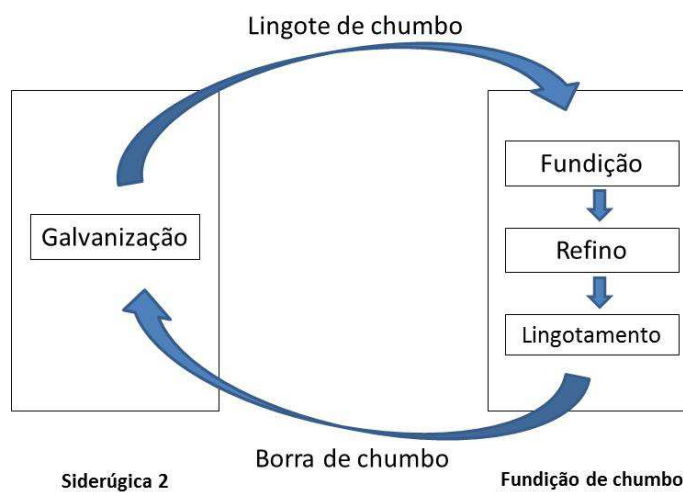


### 2.4.2 Relação 2: Siderúrgica 2 x Fundição de Chumbo

A FPb é uma fundição de metais, sendo que um dos seus principais produtos são lingotes de chumbo. O chumbo produzido pela FPb advém na sua totalidade da reciclagem de resíduos, tais como sucata de chumbo (sucata de bateria veicular, tubos e chapas de chumbo) ou escórias de chumbo gerados como resíduos de outros processos metalúrgicos. A FPb fornece para S2 lingotes de chumbo utilizados no processo de galvanização de arames. Por meio do chumbo é possível reduzir a tensão superficial do banho de zinco, viabilizando uma superfície mais lisa no revestimento do arame. A compra de lingotes de chumbo de FPb por parte de S2 não ocorre de forma regular. A negociação é realizada pela área comercial de ambas as empresas e não há um contrato de compra e venda de lingotes estabelecido entre FPb e S2.

O processo de galvanização ocorrido em S2 gera como um dos resíduos a borra de chumbo. Quando vendido para FPb, a borra de chumbo é fundida em fornos rotatórios, onde são adicionados fundentes (como carbonato de sódio e sílica) que removem as impurezas do chumbo e outros metais. Após este processo é realizado o refino para posterior moldagem do chumbo em diversos formatos, tais como os lingotes fornecidos para S2. A venda da borra de chumbo é celebrada entre a área de venda de co-produtos de S2 e a área de compras de FPb. A Figura 2.8 ilustra o processo ciclo de produto/resíduos entre FPb e S2.

Figura 2.8 - Ciclo de produtos/resíduos entre S2 e FPb



Fonte: Elaborado pelo autor

Em virtude da elevada oferta no mercado, o resíduo de chumbo não possui um valor comercial considerável. O principal benefício obtido por S2 com o retorno do chumbo é a destinação para reciclagem de um resíduo classificado como perigoso. Em termos logísticos, a proximidade geográfica entre S2 e FPb reduz os custos de transporte no processo de retorno de resíduos. A falta de um relacionamento comercial próximo entre S2 e FPb, a disponibilidade de outras opções para a reciclagem do resíduo e a elevada oferta do resíduo no mercado inviabilizam a continuidade das operações de compra/venda de resíduos/produtos entre S2 e FPb.

### **2.4.3 Relação 3: Siderúrgicas x Cimenteira**

Os processos de lingotamento, laminação e forjaria de S1 e S2 geram como resíduo a carepa. A carepa é um resíduo constituído basicamente de óxido de ferro proveniente da oxidação da superfície do aço quando em contato com o ar. Com geração aproximada de 800 toneladas por mês em cada usina, parte do material gerado é reutilizado nas aciarias das próprias usinas. Destaca-se, porém, que a reduzida granulometria de parte do resíduo gerado inviabiliza o reaproveitamento na sua totalidade. Por esta razão parte material gerado é comercializado para diferentes aplicações, sendo o principal destino a cimenteira (IC).

O baixo valor de mercado do resíduo inviabiliza a comercialização da carepa para localidades muito distantes de S1 e S2. Como a IC está localizada a aproximadamente 70 km de distância de S1 e a 5 km de distância de S2, o que os custos logísticos não oneram excessivamente o custo do material, tornando-o competitivo para a sua utilização na produção de cimento. A negociação da compra-venda do resíduo é realizada entre a área de comercialização de co-produtos de S1 e S2 e a área de compras de IC. O transporte é de responsabilidade das indústrias siderúrgicas.

Na cadeia em questão tanto a S1 como a S2 tem geração constante deste resíduo. Salienta-se, porém, que a oferta de S1 e S2 é superior à demanda de IC. Neste cenário tanto S1 como S2 prospectam o uso da carepa em outras aplicações. Diversos desenvolvimentos já foram realizados visando a utilização deste resíduo em outras aplicações como agregados de blocos de concreto em substituição a areia.

#### **2.4.4 Relação 4: Termoelétrica x Siderúrgica 1**

A usina termoelétrica analisada neste estudo utiliza carvão mineral para a produção de energia elétrica. Com capacidade instalada de 72 MW, a UT é constituída de 4 grupos geradores de 50 Hz. A produção de energia é realizada por meio de caldeiras a vapor, com capacidade de geração aproximada de 80.000 kg de vapor por hora a uma pressão de 59 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 480 °C.

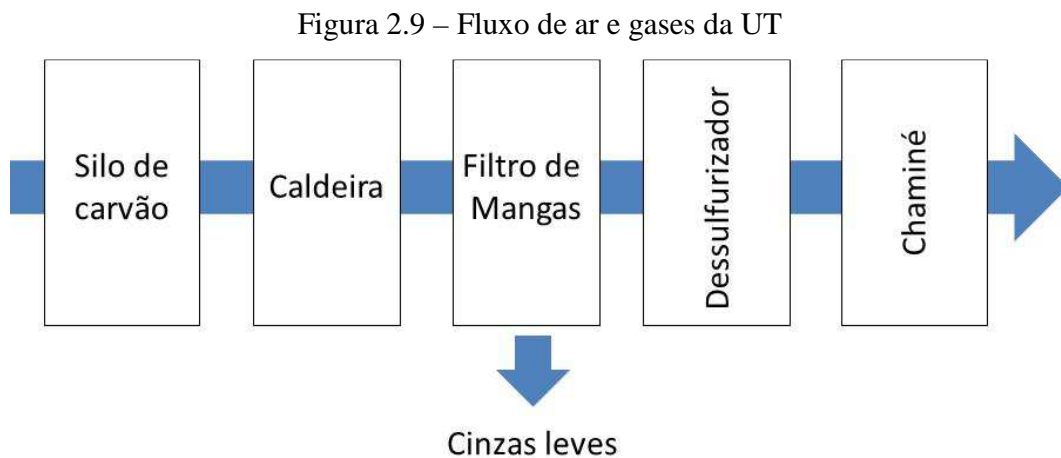
Desde 1980, parte do vapor superaquecido gerado pela UT é comercializado à S1 visando a geração de vácuo no processo de produção do aço. O uso do vapor gerado pela UT proporcionou à S1 a substituição do óleo combustível utilizado anteriormente para produção de vapor em caldeiras próprias. Além de substituir o óleo combustível, a utilização de vapor proveniente da UT permite a S1 ter uma estrutura reduzida de caldeiras necessárias apenas para eventuais paradas da UT. Já a UT beneficia-se ao comercializar um produto gerado no seu processo.

O fornecimento de vapor da UT para S1 foi estabelecido por meio de um contrato negociado entre as áreas comerciais de ambas as empresas. Por estar localizada ao lado de S1, a entrega do vapor é viabilizada por meio de um sistema de dutos cuja responsabilidade pela manutenção fica a cargo de S1. A comunicação entre as áreas de manutenção de S1 e produção da UT também é constante, envolvendo a troca de informações relacionadas a eventuais paradas de produção de ambas as produções e acréscimo na demanda de vapor por um determinado período.

Salienta-se que há riscos de continuidade no fornecimento relacionada a esta operação. Por ter sua operação regulada por um órgão governamental, a UT está sujeita a eventuais paradas determinadas pelo órgão regulamentador de energia. Nestas condições o fornecimento de vapor seria interrompido, gerando problemas no abastecimento à S1. Destaca-se também que S1 não compra energia elétrica diretamente de UT. Por negociar a energia elétrica no mercado cativo, tanto a energia elétrica como a rede utilizada por S1 é proveniente de uma distribuidora.

### 2.4.5 Relação 5: Termoelétrica x Cimenteira

O principal resíduo gerado pela UT são as cinzas originadas do processo de combustão do carvão vegetal. As cinzas são compostas basicamente de sílica, alumina, óxido de ferro, óxido de cálcio e carbono. A UT gera dois tipos distintos de cinzas. As cinzas denominadas leves são particulados que são arrastados com os gases gerados na combustão. Já as cinzas denominadas pesadas são aquelas que permanecem no fundo da caldeira. Com um consumo mensal aproximado de 300 toneladas de carvão vegetal por ano, a UT gera aproximadamente 110 toneladas de cinzas leves no mesmo período. Visando reduzir a quantidade de material particulado nas emissões atmosféricas, a UT instalou em 2009 filtros de manga após o sistema de caldeiras. Além de reduzir as emissões de cinzas em 99,9%, a instalação dos filtros permitiu à UT separar a cinza de carvão e revender este resíduo para IC. A Figura 2.9 ilustra o fluxo de ar e gases da UT e a geração das cinzas leves.



Fonte: Elaborado pelo autor

A IC absorve a totalidade da cinza leve geradas pela UT, sendo utilizada como substituto do calcário na fabricação do cimento pozolânico. O cimento pozolânico possui características técnicas que aumentam sua resistência à corrosão, sendo mais duras que os cimentos comuns. Para o transporte do resíduo, IC instalou nas dependências da UT uma unidade para a separação das cinzas e a entrega do material nas suas dependências industriais. Neste processo a UT

beneficia-se com a destinação e geração de valor com o resíduo. Já a IC garante o recebimento de uma matéria-prima indispensável para a produção de cimentos pozolânicos.

Da mesma forma que foi verificada na relação 4, há riscos relacionados à continuidade do fornecimento das cinzas leves da UT para IC. O risco deve-se ao fato das operações de termoelétricas no Brasil serem regulada por um órgão governamental. Nesta condição o suprimento de cinzas leves para IC pode ser interrompido em virtude de uma parada das operações da UT determinada por este órgão governamental.

#### **2.4.6 Relação 6: Siderúrgica 2 x Siderúrgica 1**

Um dos principais resíduos gerado por S2 durante o seu processo de fabricação de pregos é a limalha de pregos. A limalha de prego é composta basicamente de ferro, sendo gerada durante o processo de corte da ponta e conformação da cabeça do prego. A geração média de limalha em S2 é de aproximadamente 10 toneladas por mês, sendo que grande parte do resíduo gerado é destinado à aciaria de S2. Na aciaria a limalha é incorporada à carga de sucata visando a produção de aço via fundição no forno elétrico a arco.

Parte da limalha de prego gerada por S2 é comercializada para S1 para a utilização no processo de lingotamento contínuo. Trata-se de um material indispensável para iniciar as operações no lingotamento contínuo de S1, sendo utilizado como material de preparação de cabeça de barra falsa. Durante a partida do veio, a limalha evita que a escória gerada na abertura do veio caia dentro do molde gerando uma perfuração do mesmo. A limalha também é colocada na tampa do molde visando impedir, em caso de transbordamento no veio, que o aço fique preso na tampa, garantindo uma agilidade na retomada da operação.

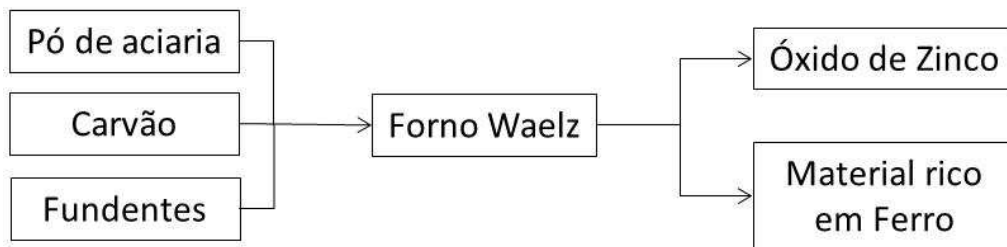
Por pertencerem ao mesmo grupo empresarial, toda a operação de remessa de limalha de S2 para S1 é realizada por meio de transferência. Este processo de transferência gera uma pequena receita para S2 se comparada ao retorno interno da limalha de prego à aciaria. A programação de abastecimento é realizada pela área de planejamento de materiais, que coordena a remessa de limalha de acordo com a disponibilidade da fábrica de pregos de S2 e o estoque mantido por S1 deste resíduo. A proximidade geográfica entre S1 e S2 garante um reduzido custo logístico para a operação

### 2.4.7 Relação 7: Siderúrgica 2 x Fundição de Zinco

O processo de produção do aço em siderúrgicas que utilizam Forno Elétrico a Arco (FEA) e sucata metálica geram como resíduo pó de aciaria elétrica. Classificado como um resíduo de classe 1, o pó de aciaria é um resíduo composto por óxidos metálicos, tais como zinco, cromo, chumbo e cádmio. O resíduo em questão possui uma granulometria muito fina, sendo captado no ambiente do sistema produtivo de S2 por meio de um sistema de despoejamento para posterior segregação. A geração média mensal de pó de aciaria em S2 é de aproximadamente 500 toneladas por mês. Parte do material gerado é comercializado para empresas que produzem ligas zamac. Estas indústrias, porém, não possuem capacidade para absorver a totalidade do resíduo gerado. Atualmente S2 destina parte do pó de aciaria gerado para aterros controlados.

A FZn possui em uma das suas unidades produtoras de zinco um forno capaz de volatilizar e lixiviar o zinco existente no pó de aciaria elétrica. O processo utilizado por este forno é denominado processo Waelz. O processo Waelz consiste em misturar o pó de aciaria elétrica com carvão e fundentes (como calcário e sílica). A carga é inserida no forno Waelz onde é ocorre, inicialmente, a secagem e pré-aquecimento da carga. Posteriormente os haletos e álcalis são volatilizados para finalmente ocorrer a redução dos óxidos de zinco, chumbo e cádmio. O principal produto gerado pelo forno Waelz é o óxido de zinco. A Figura 2.10 ilustra esta operação.

Figura 2.10 – Processo Waelz



Fonte: Elaborado pelo autor

Atualmente não ocorrem remessas de pó de aciaria de S2 para FZn. Diferente da borra de zinco, não há um fluxo regular de produtos e co-produtos entre S2 e a unidade de FZn capaz de processar o pó de aciaria. Os custos logísticos é o principal impeditivo para a remessa deste

resíduo. Não há também um contrato de compra e venda de produtos e co-produtos que ampare a remessa do pó de aciaria.

#### **2.4.8 Relação 8: Siderúrgicas x Empresa de Refratários**

O processo produtivo do aço envolve altas temperaturas e contato dos equipamentos com o aço líquido. Visando evitar o desgaste prematuro dos equipamentos e manter as temperaturas necessárias para a produção, tanto S1 como S2 utilizam produtos refratários nas áreas de aciaria e laminação. Por ser um material consumível, a proporção de utilização é de aproximadamente 10 a 15 kg de refratários a cada tonelada de aço produzida. Após a utilização, S1 e S2 geram aproximadamente 500 toneladas de resíduos de refratários por mês. Os principais resíduos refratários são tijolos aluminosos, tijolos MgO-C, tijolos alumina-SiC-C, tijolos magnesianos, válvulas longas e submersas, placas de válvula gaveta. Cada um destes resíduos são compostos principalmente de  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , MgO, CaO,  $Fe_2O_3$ ,  $ZrO_2$  e C em diferentes proporções. Pela ausência de empresas capacitadas para reciclar este resíduo na região onde S1 e S2 estão instaladas, o processo normal seria destinar o resíduo de refratário para um aterro controlado.

A ER tem uma capacidade de processar aproximadamente 25 mil toneladas de resíduos de refratários por ano. Por meio de um processo de logística reversa, a ER oferece aos seus clientes a opção de retornar os resíduos de refratários com um diferencial de serviço. Parte dos resíduos retornados podem ser reprocessados para a produção de novos produtos. A reciclagem de 1 tonelada de refratário magnesiano possibilita a preservação de 3 toneladas de minério de magnesita, 100 litros de óleo combustível e evita a emissão de 700 kg de dióxido de carbono. Este benefício possibilita a ER a redução dos custos de produção e uma maior vida útil das suas minas no processo de extração. Os resíduos de refratário que não podem ser reutilizados são preparados e destinados para outras aplicações, tais como matéria-prima para construção civil e pavimentação.

Tanto S1 como S2 possuem contrato com a ER para o fornecimento de produtos refratários. O contrato de fornecimento de produtos prevê a venda dos resíduos para ER, sendo ER responsável pelo transporte de retorno. Os custos logísticos para o retorno são diluídos, visto que ER utiliza-se dos mesmos veículos que trazem produtos prontos para retornar o resíduo às suas unidades fabris. O processo de retorno do resíduo de refratário exige uma coordenação das

atividades de S1/S2 e ER. Para que o resíduo possa ser reprocessado, é necessário que S1 e S2 realizem a coleta seletiva, separação, identificação e embalagem dos resíduos visando o seu transporte.

## 2.5 Discussão

Em todas as relações analisadas as oportunidades de redução de custo e geração de receita são os principais motivadores para o reuso de resíduos em cadeias de suprimentos. Quanto maior o potencial de redução de custo, maior o potencial para o aumento da dependência relacionada ao uso do resíduo. Se por um lado o efeito custo é um dos principais estimuladores para o reuso de resíduos, por outro o custo torna-se um limitador. A maior parte dos resíduos analisados neste estudo possui baixo valor agregado. Neste contexto, os custos para transporte do mesmo para localidades distantes inviabiliza economicamente esta operação. Em alguns casos (relações 2, 3, 4, 5 e 6) a proximidade geográfica permite custos logísticos reduzidos. Nos casos 1 e 8, os custos logísticos são reduzidos estabelecendo um contrato de retorno do resíduo atrelado à venda de produto. O transporte que efetua a entrega do produto retorna à origem com resíduos a serem reprocessados. Na relação 1 o resíduo retornado (borra de zinco) é utilizado na fabricação de outro produto (óxido de zinco). Já na relação 8 o ciclo de reaproveitamento do resíduo é fechado visto que o resíduo de refratário retornado é utilizado na fabricação de novos produtos refratários. Esta proposta poderia ser adotada na relação 7, onde a ausência de uma relação do fornecimento de produto inviabiliza o fechamento do circuito de reaproveitamento do resíduo devido aos elevados custos com transporte.

A proximidade geográfica e a redução dos custos (logísticos e de processo) não garantem o reaproveitamento dos resíduos na cadeia. Na relação 2 (borra de chumbo), verifica-se a ausência de uma relação comercial estável que envolva o fornecimento de produto e o retorno do resíduo. A alta disponibilidade do resíduo de chumbo reduz o valor de mercado do resíduo. Tal condição torna a FPb pouco dependente do resíduo gerado por S2. Já a dependência de S2 com relação à FPb no que tange a destinação do borra de chumbo também é baixa. S2 possui alternativas para a destinação do resíduo. A reutilização de resíduos na relação 2 poderia ser alavancada por meio de uma reestruturação interna de S2 e FPb. A área comercial poderia oferecer à S2 a atividade de reciclagem como um diferencial competitivo visando à venda de



lingotes de chumbo (como ocorre na relação 8 pela ER). Já em S2 seria necessário que tanto a área de compra (responsável pela aquisição de lingotes de chumbo) como a área de comercialização de co-produtos (responsável pela venda de borra de chumbo) atuassem em conjunto visando identificar um ponto de equilíbrio entre a compra de produto e a venda do resíduo.

Em termos de mercado, todas as empresas destacaram que o reuso do resíduo proporciona o atendimento de requisitos para certificações ambientais (exigências de mercado). O reuso do resíduo também é destacado na publicidade, posicionando a empresa como uma organização ambientalmente sustentável. Na relação 8 (resíduos de refratários), a ER oferece aos seus clientes S1 e S2 a opção de retorno do resíduo como um serviço adicional ao contrato de fornecimento de materiais. Este serviço oferecido representa um diferencial competitivo de ER frente a concorrentes que, por estarem localizados no exterior, não podem realizar a mesma operação. O acordo para o retorno do resíduo de refratário assegura para ER uma matéria-prima mais barata para a produção de refratários. O contrato define também as responsabilidades de S1 e S2 na segregação, identificação e embarque do resíduo. Tal condição garante à ER o recebimento de resíduos de forma adequada para que possam ser reutilizados no seu processo produtivo.

Nos casos do vapor superaquecido (relação 4) e das cinzas de carvão (relação 5) o nível de dependência entre os envolvidos é elevado. Em ambas as situações a venda do resíduo proporciona receita para a geradora (UT) e reduz custos substituindo uma matéria-prima natural (IC) ou dispensam altos investimentos na aquisição de caldeiras (S1). Mesmo com o elevado nível de dependência, fatores externos relacionados à legislação elétrica e a consequente manutenção da operação de UT podem inviabilizar a utilização dos resíduos. Nesta condição ações conjunta envolvendo as empresas poderiam ser desempenhadas visando atuar sobre o governo e garantir a manutenção das operações da UT. A mesma forma de atuação poderia ser desempenhada nas relações 1, 7 e 8, onde há a necessidade de transportar o resíduo em diferentes estados da federação até seu destino final. A existência de legislações para transporte de resíduos específicas em cada estado torna o processo de retorno do resíduo complexo e burocrático tanto para as empresas compradora e vendedora do resíduo como para as transportadoras responsáveis pelo carregamento.

Em todos os casos estudados foi verificado que o nível de comunicação existente é estritamente comercial, havendo pequenas interações técnicas no processo. Ações conjuntas

poderiam ser desempenhadas visando o desenvolvimento conjunto de tecnologias para o reuso do resíduo em outras aplicações ou sua adaptação para que possa ser utilizado. Tal condição poderia alavancar a reutilização de resíduo em situações onde a demanda de reutilização do resíduo é menor que a geração (relação 3) ou estimular a empresa geradora a buscar outras alternativas de uso capaz de absorver a oferta excedente do resíduo. Além do desenvolvimento técnico conjunto, o nível de comunicação entre a empresa geradora e compradora do resíduo pode ser expandido visando definir o papel de cada empresa na segregação e preparação do resíduo para o retorno. Tal situação pode ser verificado na relação 8, onde tanto S1 como S2 separam o resíduo de refratário, embalam e carregam visando seu retorno a ER. Esta operação possibilita à ER um maior potencial de reutilização do resíduo visto que o mesmo chega à suas dependências fabris previamente classificado.

O Quadro 2.1 apresenta uma síntese das relações estudadas.

Quadro 2.1 – Síntese das relações estudadas

Relação	Resíduo	Sistema aberto/fechado	Estimuladores	Limitadores	Dependência
1	Borra de Zn	Aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principal matéria-prima para a produção de óxido de zinco (FZn);</li> <li>- Reduz custos com a destinação do resíduo para aterro (S2);</li> <li>- A venda do resíduo está atrelada ao contrato de compra de produtos;</li> <li>- Elevado receita com a venda do resíduo em virtude do elevado valor de mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos logísticos;</li> <li>- Legislação para transporte do resíduo por diversos estados.</li> </ul>	Elevada
2	Borra de Pb	Fechado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principal matéria-prima para a produção de lingotes de Pb (FPb);</li> <li>- Reduz custos com a destinação do resíduo para aterro (S2);</li> <li>- Proximidade geográfica entre FPb e S2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada disponibilidade do resíduo no mercado;</li> <li>- Baixo valor de mercado do resíduo;</li> <li>- Opções para a destinação do resíduo;</li> <li>- Inexistência de uma relação comercial próxima entre FPb e S2;</li> <li>- Falta de integração entre as áreas de compras e venda de resíduos.</li> </ul>	Baixa
3	Carepa	Aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proximidade geográfica entre S1/S2 e IC;</li> <li>- O uso do resíduo reduz custos de produção em IC;</li> <li>- Reduz custos com a destinação para aterro (S2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de geração do resíduo superior à demanda;</li> <li>- Baixo valor de mercado do resíduo.</li> </ul>	Baixa
4	Vapor	Aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proximidade geográfica entre S1 e UT;</li> <li>- A venda do resíduo gera receita para UT;</li> <li>- O uso do resíduo dispensa investimentos com caldeiras (S1);</li> <li>- Elevada integração técnica entre UT e S1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisões governamentais relacionadas ao funcionamento da UT podem limitar a continuidade do fornecimento.</li> </ul>	Elevada

<b>Relação</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Sistema aberto/fechado</b>	<b>Estimuladores</b>	<b>Limitadores</b>	<b>Dependência</b>
5	Cinzas de carvão	Aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O resíduo é substituto do calcário na produção de cimento pozolânico (IC);</li> <li>- A venda do resíduo gera receita para UT;</li> <li>- Redução dos custos de destinação do resíduo para aterro (UT);</li> <li>- Proximidade geográfica entre UT e IC;</li> <li>- Elevada integração entre UT e IC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decisões governamentais relacionadas ao funcionamento da UT podem limitar a continuidade do fornecimento.</li> </ul>	Elevada
6	Limalha	Aberto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O resíduo é material indispensável durante processo de produção de S1;</li> <li>- A transferência do resíduo gera receita para S2;</li> <li>- A integração entre S1 e S2 (empresas do mesmo grupo);</li> <li>- Proximidade geográfica entre S1 e S2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O resíduo pode ser reaproveitado internamente em S2.</li> </ul>	Unilateral
7	Pó de aciaria	Fechado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução dos custos de destinação do resíduo para aterro (S2);</li> <li>- O uso do resíduo proporciona redução dos custos de produção na FZn;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distância geográfica entre FZn e S2;</li> <li>- Não há fluxo de remessa de produtos entre FZn e S2;</li> <li>- Elevada disponibilidade do resíduo proveniente de outras empresas próximas de FZn;</li> <li>- Legislação para transporte do resíduo por diversos estados.</li> </ul>	Baixa
8	Resíduo de refratários	Fechado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O resíduo é utilizado por ER substituindo materiais naturais;</li> <li>- A destinação e o reuso do resíduo é oferecido aos clientes por ER como diferencial de serviço;</li> <li>- Redução dos custos de destinação do resíduo para aterro (S1 e S2);</li> <li>- A venda do resíduo está atrelada ao contrato de compra de produtos, diluindo custos de transporte;</li> <li>- Integração entre S1 e S2 visando segregação, identificação e carregamento do resíduo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legislação para transporte do resíduo por diversos estados</li> </ul>	Elevada

Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.6 Conclusão

Este estudo analisou as relações existentes entre empresas pertencentes a uma cadeia de suprimentos siderúrgica visando simbiose industrial. Foram avaliadas as relações envolvendo duas usinas siderúrgicas, uma cimenteira, uma indústria de chumbo, uma indústria de zinco, uma usina termoelétrica e uma indústria de refratários. Por meio de uma análise dos potenciais de utilização de resíduos, dos limitadores e estimuladores para o reuso e das práticas relacionadas ao reaproveitamento de resíduos industriais buscou-se identificar como as relações entre empresas podem estimular a prática da simbiose industrial.

Os casos estudados demonstraram que grande parte das relações analisadas são relações estritamente comerciais. Sendo as oportunidades de redução de custo o principal estimulador do reuso de resíduos em cadeia, verificou-se que o nível de dependência relacionada ao uso do resíduo ou a sua destinação é fundamental para a manutenção do reaproveitamento do resíduo. A dependência relacionada ao resíduo pode ser afetada por fatores como o potencial de redução de custo ou a disponibilidade e valor de mercado do resíduo. Mesmo havendo uma dependência mútua, fatores externos (como a legislação) podem inviabilizar o reaproveitamento do resíduo. Nestas condições torna-se necessária uma maior integração e comunicação entre comprador e vendedor do resíduo visando ações conjuntas para a manutenção do reuso.

O estabelecimento de circuitos fechados, retornando o resíduo ao fornecedor do produto para reutilização pode reduzir custos logísticos. O transporte que efetua a entrega do produto ao cliente retorna ao fornecedor com resíduos, diluindo custos de transporte. Salienta-se, porém, a necessidade de uma reestruturação interna das empresas para que o circuito de reutilização de um material possa ser fechado. Esta reestruturação envolvendo as áreas de compras e comercialização de co-produtos visa identificar um ponto econômico comum entre a compra do produto e a venda do resíduo.

No que tange ao mercado, a reutilização de resíduos como matéria-prima ou a sua correta destinação proporciona o atendimento de requisitos para certificações ambientais e publicidade. Mas o reuso pode ir além, tornando-se um diferencial competitivo para empresas que oferecem este serviço ao cliente, agregando valor ao seu produto final. Tal diferencial destaca-se principalmente frente a concorrentes externos, cuja impossibilidade de retorno do resíduo inviabiliza a operação.

Um aumento no nível de comunicação entre as empresas também pode ser estimulado. Este nível de comunicação pode envolver o desenvolvimento conjunto de alternativas para o reuso do resíduo visando incrementar a sua utilização. Além do desenvolvimento técnico, a correta segregação e classificação do resíduo por parte do gerador pode tornar a operação de reuso do resíduo rápida e economicamente viável.

Destacam-se algumas limitações e oportunidades de pesquisa relacionadas a este estudo. A pesquisa questão foi realizada considerando uma cadeia de suprimentos específica, com um número limitado de atores. Futuros estudos podem ser realizados visando avaliar as relações existentes entre membros de outras cadeias de suprimentos. Sugere-se também avaliar se as mesmas relações podem ser evidenciadas em uma cadeia de suprimentos sustentável estimulada pelo governo. Neste contexto, torna-se necessário analisar quais os tipos de políticas governamentais podem ser aplicadas visando promover a simbiose industrial.

## BIBLIOGRAFIA

ANDIÇ, E.; YURT, Ö.; BALTACIOĞLU, T. Green supply chains: efforts and potential applications for the Turkish market. **Resources, Conservation and Recycling**, v.8, p.50-68, 2012.

AZEVEDO, S.; CARVALHO, H.; MACHADO, V. The influence of green practices on supply chain performance: a case study approach. **Transportation research part E: logistics and transportation review**, v.47, n.6, p.850-871, 2011.

BEAMON, B. Designing the green supply chain. **Logistics Information Management**, v.12, n.4, p.332-342, 1999.

BEERS, D.; BOSSILKOV, A.; CORDER, G.; BERKEL, R. Industrial Symbiosis in the Australian Minerals Industry: The Cases of Kwinana and Gladstone. **Journal of Industrial Ecology**, v.11, n.1, p.55-72, 2008.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M.B.; BOWERSOX, J.C. Gestão logística da cadeia de suprimentos. 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

CHAABANE, A.; RAMUDHIN, A.; PAQUET, M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. **International Journal of Production Economics**, v.135, n.1, p.37-49, 2012.

CHERTOW, M.R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, v.25, p.313-337, 2000.

CHERTOW, M.R. Uncovering industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v.11, n.1, p.11-30, 2007.

CILIZ, N.; LOZANO, R.; HUISINGH, D.; QUIST, J. Bridges for a more sustainable future: uniting continents and societies. **Journal of Cleaner Production**, v.39, p.388-391, 2013.

COSTA, I.; FERRÃO, P. A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.10-11, p.984-992, 2010.

COSTA, I.; MASSARD, G.; AGARWAL, A. Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.8, p.815-822, 2010.

DONG, L.; ZHANG, H.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; LI, H.; FUJII, M.; DONG, H. Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry: Kawasaki's experience and practice in Liuzhou and Jinan. **Journal of Cleaner Production**, v.59, n.15, p.226-238, 2013.

EHRENFELD, J.R.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence in Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, v.1, n.1, p.67-79, 1997.

EHRENFELD, J.R.; CHERTOW, M.R. Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg. In: AYRES, R.; AYRES, L. A handbook of industrial ecology. Cheltenham: Edgar Elgar, 2002.

GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.

GIBBERT, M., RUIGROK, W., The “what” and the “how” of case study rigor: three strategies based on published work. **Organizational Research Methods**, v.13, n.4, p.710–737, 2010.

GREEN, K.; MORTON, B.; NEW, S. Green purchasing and supply policies: do they improve company’s environmental performance? **Supply Chain Management: An International Journal**, v.3, n.2, p.89-95. 1998.

HICKS, C.; HEIDRICH, O.; McGOVERN, T.; DONELLY, T. A functional model of supply chains and waste. **International Journal of Production Economics**, v.89, n.2, p.165-174, 2004.

HU, A.; HSU, C. Empirical study in the critical factors of green supply chain management (GSCM) practice in the Taiwanese electrical and electronics industries. **2006 IEEE International conference on management of innovation and technology**, v.2, n.1, p.853-857, 2006.

JABBOUR, C.J.C; SILVA, E.M.; PAIVA, E.L.; SANTOS, F.C.A. Environmental management in Brazil: is it a completely competitive priority? **Journal of Cleaner Production**, v.21, n.1, p.11-22, 2012.

JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C.; GOVINDAN, K.; KANNAN, D.; SALGADO, M.H.; ZANON, C.J. Factors affecting the adoption of green supply chain management practices in Brazil: empirical evidence. **International Journal of Environmental Studies**, v.70, p. 302-315, 2013.



LIAO, M.; MA, H. The potential environmental gains from industrial symbiosis: Evaluation of CO<sub>2</sub> reduction through a crucial by-product. **International Journal of Applied Environmental Sciences**, v.8, n.2, p.129-136, 2013.

LINTON, J.; KLASSEN, R.; JAYARAMAN, V. Sustainable supply chains: an introduction. **Journal of Operations Management**, v.25, n.6, p.1075-1082, 2007.

MARINOS-KOURIS, D.; MOURTSIADIS, A. Industrial symbiosis in Greece: A study of spatial allocation patterns. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.22, n.7B, p.2174-2181, 2013.

MIRATA, M.; EMTAIRAH, T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation. **Journal of Cleaner Production**, v.13, n.10-11, p.993-1002, 2005.

OMETTO, A.; RAMOS, P.; LOMBARDI, G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. **Journal of Cleaner Production**, v.15, n.13-14, p.1253-1258, 2007.

ÖSTLIN, J.; SUNDIN, E.; BJÖRKMAN, M. Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. **International Journal of Production Economics**, v.115, n.2, p.336-348, 2008.

PAGELL, M.; SHEVCHENKO, A. Why research in sustainable supply chain should have no future? **Journal of Supply Chain Management**, v.50, n.1, p.44-55, 2014.

POSCH, A. Industrial Recycling Networks as Starting Points for Broader Sustainability-Oriented Cooperation? **Journal of Industrial Ecology**, v.14, n.2, p.242-257, 2010.

RAO, P.; HOLT, D. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? **International Journal of Operations & Production Management**, v.25.n.9, p.898-916, 2005.

RINEHART, L.M.; ECKERT, J.A.; HANDFIELD, R.B., PAGE, T.J. Jr; ATKIN, T. An assessment of supplier customer relationships. **Journal of Business Logistics**, v.25, n.1, p.25-61, 2004.

SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.; GOMES, L. Environmental Performance Assessment in transportation and warehousing operations by means of categorical indicators and multicriteria preference. **Chemical Engineering Transactions**, v.25, n.1, p.291-296, 2011.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n.15, p.1699-1710, out. 2008.

SHEU, J.; TALLEY, K. Green Supply Chain Management: Trends, Challenges and Solutions. **Transportation Research**, v.47, n.6, p.791-792, 2011.

SU, Q.; ZHAO, T.; MAO, C. Research on the optimization price of the industrial waste based on industrial symbiosis. **International Conference on Management Science and Engineering, ICMSE 2010**, p.410-416, 2010.

THUN, J.-H.; MÜLLER, A. An empirical analysis of green supply chain management in the German automotive industry. **Business Strategy and the Environment** v.19, n.2, p.119-132, 2010.

TESTA, F.; IRALDO, F. Shadows and lights of GSCM (Green Supply Chain Management): determinants and effects of these practices based on a multi-national study. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.10-11, p.953-962, 2010.

WALKER, H.; DI SISTO, L.; MCBAIN, D. Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: lessons from the public and private sectors. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v.14, n.1, p.69-85, 2008.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YUAN, Z.; SHI, L. Improving enterprise competitive advantage with industrial symbiosis: case study of a smeltery in China. **Journal of Cleaner Production**, v.17, n.14, p.1295-1302, 2009.

ZHU, Q.; COTE, R. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **Journal of Cleaner Production**, v.12, n.8-10, p.1025-1035, 2004.

ZHU, Q.; SARKIS, J.; GENG, Y. Green supply chain management in China: pressures, practices and performance. **International Journal of Operations and Production Management**, v.25, n.5, p.449-468, 2005.

ZHU, Q.; SARKIS, J.; LAI, K. Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry. **Journal of Cleaner Production**, v.15, n.11-12, p.1041-1052, 2007.

ZHU, Q.; SARKIS, J. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. **Journal of Operations Management**, v.22, n.3, p.265–289, 2004.

### **3 ARTIGO 2: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS SIDERÚRGICOS EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS**

#### **RESUMO**

As empresas são responsáveis legais pela destinação dos resíduos gerados em seus processos produtivos. Na busca por alternativas à disposição, a reciclagem dos resíduos ou sua reutilização surge como uma opção economicamente atraente e ambientalmente correta. Neste cenário, a indústria siderúrgica destaca-se pela sua capacidade de reutilizar resíduos e de gerar resíduos potencialmente reutilizáveis. O objetivo desta pesquisa é avaliar a geração de resíduos industriais de uma siderúrgica e o potencial de utilização destes resíduos como matéria-prima em outros segmentos industriais. Por meio de uma revisão bibliográfica foram levantadas diversas aplicações para os quatro principais resíduos gerados pela usina siderúrgica pesquisada. De posse destas informações foram realizadas entrevistas com gerentes das áreas de meio-ambiente, suprimentos e comercialização de co-produtos desta empresa, visando verificar a atual destinação dos resíduos pesquisados e eventuais limitações para a utilização dos resíduos nas aplicações identificadas. Os resultados identificaram que a legislação torna-se um limitador ao reuso devido à burocracia na obtenção de licenciamentos ambientais ou exigências técnicas para o reuso do resíduo. Em outras situações o custo logístico torna-se um limitante, considerando o baixo valor agregado do resíduo transportado. Questões sociais também impedem o reuso, principalmente em situações onde o uso do resíduo pode trazer prejuízos a funcionários da empresa que o reutiliza. A necessidade de um estudo mais aprofundado e a falta de demanda local para um determinado resíduo também foram identificadas como limitantes para a reutilização. A pesquisa identificou também a oportunidade para a instalação de empresas ou cooperativas que possam retrabalhar o resíduo visando a sua reutilização.

Palavras-chave: Resíduos Industriais, Indústria Siderúrgica, Simbiose Industrial

## ABSTRACT

Companies are responsible for the legal disposal of the waste generated in their production processes. Searching for alternatives to disposal, waste recycling or reuse arises as an economically attractive and environmentally friendly option. In this scenario, the steel industry is distinguished by its ability to reuse wastes and generate potentially reusable material. The objective of this research is to evaluate the generation of industrial waste from a steel industry and use potential of these wastes as raw material in other industrial segments. Through a literature review several applications for the four main waste generated by the steel mill were raised. Interviews with managers of environmental area, procurement and by-products were performed to check the current disposal and possible limitations for the use of residues in the researched applications. The results identified that legislation becomes a limiter to reuse due to the bureaucracy in obtaining environmental licenses or technical requirements for the reuse of the waste. In other situations the logistical costs becomes a limiting, considering the low value of the waste transported. Social issues also prevent reuse, especially in situations where the use of waste can bring harm to employees of the company that reuses. The need for further study and the lack of local demand for a given residue were also identified as limiting for reuse. The survey also identified the opportunity for cooperative or companies that are able to rework the residue.

Key-words: Industrial Waste, Steel Industry, Industrial Symbiosis

### 3.1 Introdução

Produções ambientalmente integradas podem ser importantes para a competitividade das indústrias (SPENGLER et al, 1997). Segundo Chaabane (2011), o aumento da consciência social e da legislação tem levado as empresas a repensar suas cadeias de fornecimento considerando objetivos econômicos, sociais e ambientais. Os fabricantes têm a responsabilidade legal de destinar resíduos industriais a fim de evitar ataques ambientais e poluição (TANG et al, 2008). Neste contexto a reciclagem de resíduos e a reutilização de co-produtos industriais tornou-se uma alternativa atraente à disposição das empresas, tanto para redução de custo como para criação de imagem corporativa (SIDDIQUE, 2011; SIDDIQUE e CHAHAL, 2011).

O uso de materiais reciclados em substituição aos materiais primários permite a redução das destinações de resíduos para aterro e a diminuição da demanda por recursos naturais (HUANG et al, 2007). Os elevados custos com a destinação dos resíduos exigem das empresas controle avançado e tecnologias de produção ambientalmente amigável, com a consequente redução na geração dos resíduos (SPENGLER et al, 1997). Resíduos industriais que não podem ser evitados devem ser reciclados por seus geradores (SPENGLER et al, 1997). Com a adoção de estratégias e tecnologias de reutilização, co-produtos e resíduos podem ser devolvidos aos processos de produção ou reciclados para utilização em outras indústrias. (TANG et al, 2008).

A Ecologia Industrial argumenta que o tradicional modelo industrial de cadeia de suprimentos aberta deve incorporar novos elementos, tais como sistemas do tipo malha fechada (*closed-loop supply chain*), no qual resíduos e co-produtos de uma indústria substituem materiais virgens nos processos produtivos de outras indústrias ou da mesma em que foram gerados (LYONS et al, 2009). O fechamento de elos de materiais e energia é um desafio fundamental para a ecologia industrial. Ele se baseia principalmente na utilização de materiais / peças / produtos no sistema de produção original e principal recuperados, enquanto sua função original é mantida no mais alto nível possível (MORIOKA et al, 2013).

A siderurgia representa um processo importante para a ecologia industrial devido à sua capacidade para aceitar entradas de resíduos e geração de co-produtos utilizáveis (VADENBO et al, 2013). Além disso, o aço é flexível em suas aplicações, adequando-se no conceito de sustentabilidade por tratar-se de um produto reciclável. Paradoxalmente, a siderurgia tende a ser vista como uma indústria antiga e hostil (MacKILLOP, 2009). A crescente pressão de todos os *stakeholders* tem obrigado fabricantes de aço a incorporar a responsabilidade ambiental em todas as atividades. Como consequência, as siderúrgicas têm focado a sua atenção para a integração da estratégia ambiental em seu sistema de gestão global (SINGH et al, 2008).

Este estudo objetiva avaliar a geração de resíduos industriais advindos de uma siderúrgica e seu potencial de utilização como fonte de matéria-prima em outras operações industriais no sul do Brasil. Por meio deste estudo pretende-se mitigar barreiras relacionadas ao reuso de resíduos siderúrgicos em aplicações previamente identificadas na literatura. Busca-se identificar também oportunidades para novas operações industriais na região que proporcionem a reutilização dos resíduos estudados. Foi realizado um estudo de caso único em uma indústria siderúrgica. Por meio de um levantamento quali-quantitativo foram listadas as possibilidades de destinação com

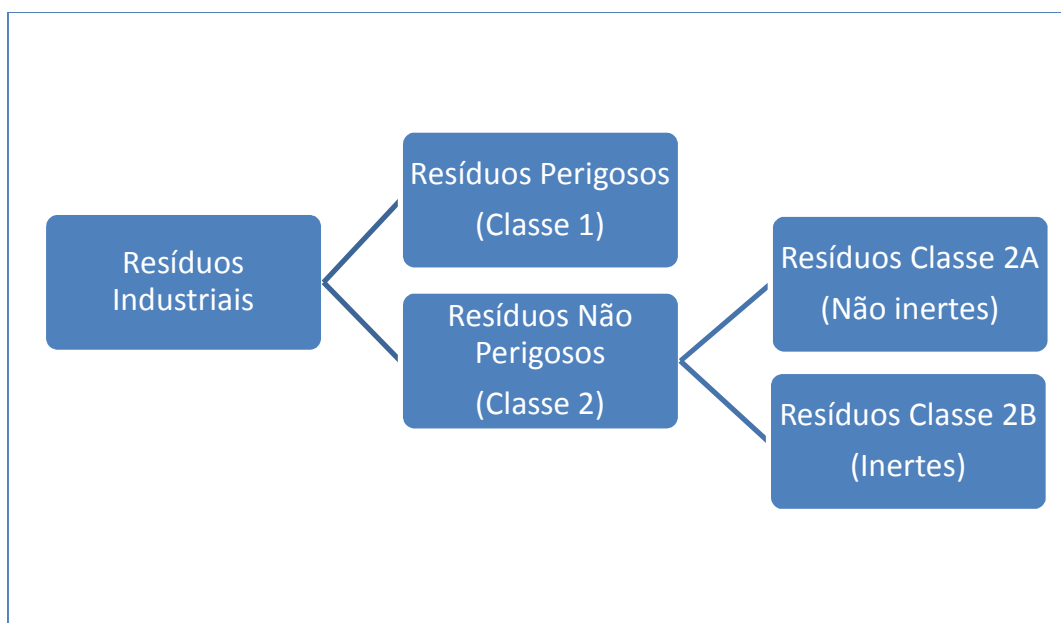
recuperação de valor dos resíduos gerados por uma usina siderúrgica e as oportunidades que esta planta oferece para o aproveitamento dos resíduos.

## 3.2 Referencial Teórico

### 3.2.1 Resíduos Industriais

Diversas classificações de resíduos industriais são identificáveis na literatura. Tsai (2010) classifica os resíduos industriais em dois grandes grupos: (i) resíduos perigosos, que contém substâncias tóxicas que são perigosas o suficiente para causar danos ao meio ambiente e ao ser humano; e (ii) resíduos industriais gerais, compostos por todos os demais resíduos não perigosos, tais como os plásticos, os alimentícios, de borracha, papel e da construção civil. Já a *International Standard Industrial Code* (ISIC) classifica os resíduos em cinco graus de risco considerando seus impactos à saúde humana e ao meio ambiente: séria ameaça, ameaça, ameaça limitada, ameaça insignificante, e sem ameaça (EL-FADEL *et al.*, 2001). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica por meio da sua norma 10004/2004 os resíduos em perigosos (Classe 1) e não perigosos (Classe 2). Resíduos não-perigosos subdividem-se em duas subclasses: resíduos classe 2A não inertes, os quais em contato com a água de pH neutro, alteram o padrão de potabilidade da água; e resíduos classe 2B inertes, os quais em contato com a água de pH neutro não alteram o padrão de potabilidade da água. A Figura 3.1 mostra esta classificação.

Figura 3.1 – Classificação dos resíduos industriais conforme norma NBR 10004/2004



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Tocchetto (2005), a implantação de programas para gerenciamento de resíduos deve seguir uma sequência lógica e natural, conforme Figura 3.2. Em um primeiro momento, busca-se evitar a geração do resíduo por meio do uso de matérias-primas menos tóxicas ou por mudanças no processo produtivo. Em uma segunda etapa, objetiva-se minimizar a geração do resíduo por meio de mudanças no processo produtivo ou por adoção de tecnologias mais modernas e limpas. Na impossibilidade de eliminar ou minimizar a geração de um resíduo, busca-se alternativas de colocá-lo novamente em uso via reuso, reciclagem ou reaproveitamento. Outro meio de reduzir o impacto do resíduo é separá-lo ou tratá-lo de modo a reduzir a quantidade que será disposta. O material que não pode ser enquadrado nas classificações anteriores deve ser encaminhado para disposição final em lugares adequados e controlados.



Figura 3.2 – Hierarquia para gerenciamento dos resíduos sólidos industriais



Fonte: Adaptado de Tocchetto (2005).

Em termos de legislação, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) entrou em vigor no dia 02 de outubro de 2010 por meio da lei 12.305 (ABELHA, 2013). O principal objetivo desta política é internalizar os custos e passivos ambientais para os fabricantes e consumidores, estabelecendo e promovendo a logística reversa (JABBOUR et al, 2014). No seu artigo 1º, a lei dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relacionadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos, estando sujeitas pessoas físicas e jurídicas de direito público ou privado responsáveis pela geração do resíduo. Destaca-se nesta lei é o estabelecimento, por meio do seu artigo 3º, da responsabilidade compartilhada por um produto durante o seu ciclo de vida com o intuito de minimizar a quantidade de resíduos sólidos gerados e seus impactos. Esta responsabilidade estende-se aos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares do serviço público. O mesmo artigo da lei define logística reversa como o instrumento de desenvolvimento econômico e social que contempla ações, procedimentos e meios que viabilizem a coleta e a restituição de resíduos sólidos ao setor empresarial. Esta restituição pode ser por meio de reaproveitamento em seu ciclo ou outros ciclos produtivos ou para destinação final.

Segundo Valle e Souza (2014), o tipo de reaproveitamento ou destinação de um produto depende das suas condições e do estágio no qual ele se encontra no processo de logística reversa. Estes fatores determinarão se um produto pode ser reutilizado diretamente, reembalado, revendido, desmanchado, remodelado, remanufaturado, recondicionado ou reciclado. Na impossibilidade de reprocessamento, o material pode ser incinerado ou encaminhado para

aterros sanitários visando a sua destinação final. A Tabela 3.1 descreve cada um dos processos de reaproveitamento definidos por Valle e Souza (2014).

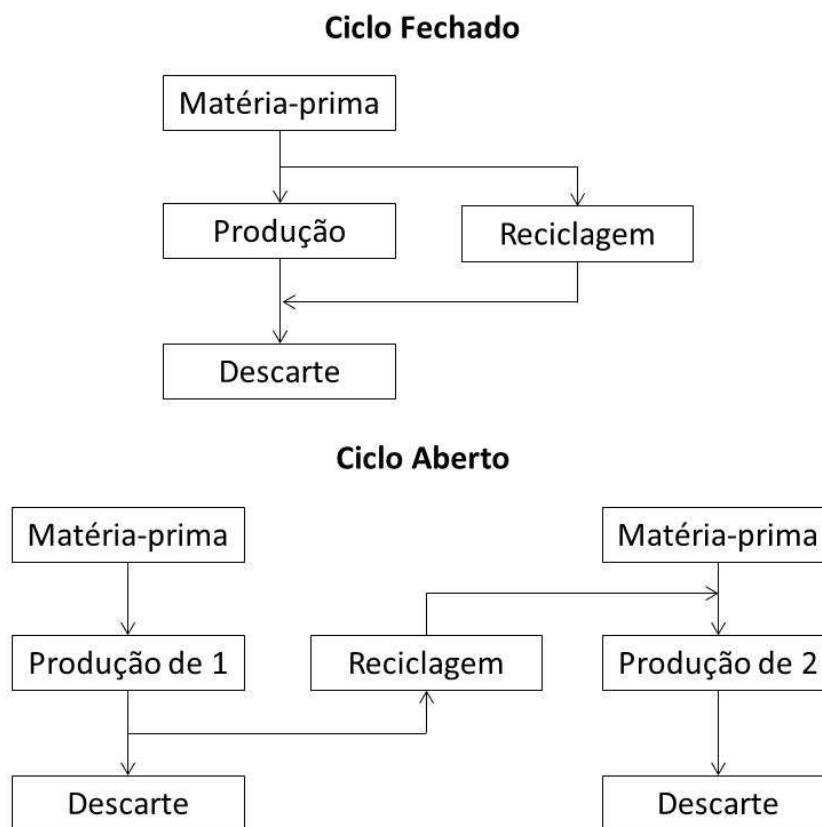
Tabela 3.1 – Processos de reaproveitamento

<b>Processo</b>	<b>Descrição</b>
Reuso direto	Consiste em reutilizar um produto já utilizado anteriormente sem a necessidade de reparação.
Reembalagem	Consiste em reembalar um produto devolvido sem uso, visando sua venda como novo.
Revenda	Consiste em vender um produto já utilizado e em condições adequadas para sua reutilização, reinserindo no mercado.
Desmanche	Consiste em separar as diversas partes que compõem um produto visando determinar se os mesmos podem ser remanufaturados ou utilizados na fabricação de produtos novos.
Remodelagem	Consiste em realizar melhorias no produto visando atualizá-lo conforme as necessidades do mercado.
Remanufatura	Consiste na utilização dos componentes advindos do processo de desmanche visando a fabricação de produtos com a mesma qualidade de produtos novos.
Recondicionamento	Consiste em um processo semelhante ao de remanufatura, mas com nível de trabalho menor (apenas limpeza ou conserto do componente que apresentou falha).
Reciclagem	Consiste no reaproveitamento de resíduos industriais, embalagens e produtos no final da sua vida útil para a fabricação de novos produtos.

Fonte: Adaptado de Valle e Souza, 2014

King et al (2006) definem reciclagem como a sequência de atividades onde os resíduos são coletados, separados e processados visando a sua utilização em novos produtos. Valle e Souza (2014) destacam que a reciclagem de materiais permite substituição de matérias-primas primárias e a economia de energia durante o processo produtivo, traduzindo em vantagens econômicas e ambientais. Giannetti e Almeida (2006) e Valle e Souza (2014) destacam que a reciclagem de um material pode ocorrer em circuito aberto ou fechado. No circuito aberto, o resíduo é aproveitado na fabricação de produtos diferentes do original. Já no circuito fechado o resíduo é reutilizado no próprio processo produtivo da empresa geradora. A Figura 3.3 ilustra os ciclos de reciclagem existentes.

Figura 3.3 – Ciclos de reciclagem



Fonte: Adaptado de Giannetti e Almeida (2006).

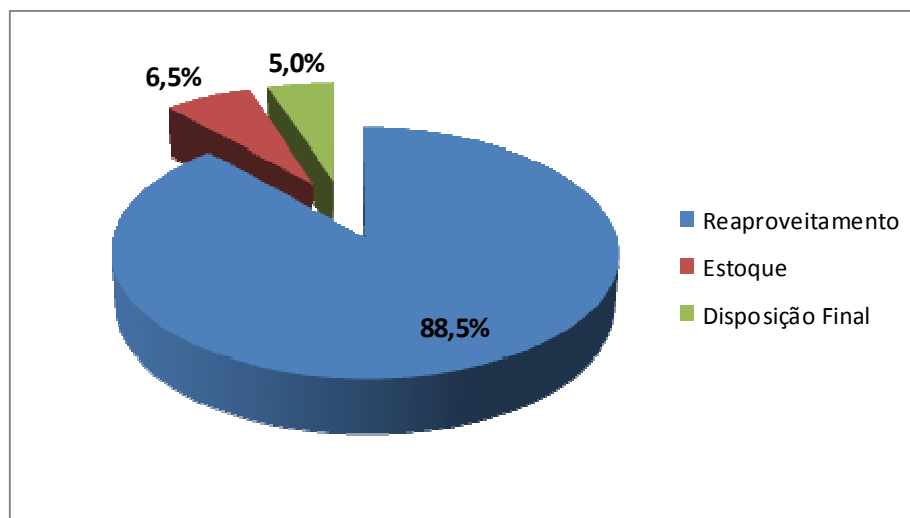
Como exemplos de estudos focados no reaproveitamento de resíduos, nos EUA tem-se a possibilidade de integrar, em processos industriais existentes, o sequestro de CO<sub>2</sub> com escória de aço ou de resíduos de concreto (STOLAROFF *et al.*, 2005). Já em Taiwan foram listados 14 itens para ampliar a reciclagem e reutilização de resíduos gerais, incluindo os de papel, ferro resíduos, cinzas de carvão, temperados tijolos forno, adoçantes, escória, madeira, vidro, cerâmica (areia, tijolo), sucatas de metal (cobre, alumínio, zinco e estanho), destilaria de grãos (borra) e plásticos (WEI e HUANG, 2001). Outro importante campo de geração e reaproveitamento de resíduos é o dos componentes eletro-eletrônicos (REEE). Os processos comerciais e de desenvolvimento de novas tecnologias para a reciclagem de resíduos de placas de circuito impresso estão em melhoria contínua na Coreia do Sul. Desde 1998, três centros de reciclagem estão em funcionamento para reciclar resíduos eletro-eletrônicos, tais como geladeiras, máquinas de lavar e aparelhos de ar condicionado, com capacidade total de 880 mil unidades por ano. Todos os resíduos de

televisores são reciclados recentemente em regime de comissão por várias usinas de reciclagem privadas. A Coréia do Sul está fazendo esforços consistentes para melhorar a taxa de reciclagem para os padrões indicados nas diretivas da UE para os resíduos eletro-eletrônicos (LEE *et al.*, 2007). Mas em uma aldeia de cultivo de arroz tradicional, situado na China, que se transformou em um local de intensa reciclagem de resíduos eletrônicos (“e-lixo”), a combustão incompleta de “e-lixo” a céu aberto e despejo de materiais processados, tornaram-se as principais fontes de vários produtos químicos tóxicos (WONG *et al.*, 2007). Bubicz (2013) propõe um modelo para a avaliação e controle do desempenho ambiental de REEE nas operações de transporte, tratamento e destinação final.

### **3.2.2 Reaproveitamento de Resíduos Industriais Siderúrgicos**

Conforme relatório de sustentabilidade do ano de 2013, publicado pelo Instituto Aço Brasil, no ano de 2012 foram gerados aproximadamente 17,7 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos na indústria do aço. Deste total, 88,5% foram reaproveitados, conforme apresentado na Figura 3.4. O fator geração no ano de 2012 manteve-se em aproximadamente 600 kg por tonelada produzida de aço, próximo dos números verificados nos anos de 2010 e 2011. O mesmo relatório destaca que 63% dos resíduos gerados na indústria siderúrgica no ano 2012 correspondem a agregados siderúrgicos. A maior parte dos agregados gerados foram vendidos, sendo que 90% do material destinado à indústria cimenteira e como base para estradas. Além destas aplicações o relatório cita também o uso do agregado em nivelamento de estradas, lastro ferroviário e na agricultura.

Figura 3.4 – Destinação dos co-produtos e resíduos em 2012



Fonte: Adaptado de Relatório de Sustentabilidade Aço Brasil (2013)

Diversos estudos foram realizados com foco no reaproveitamento de resíduos siderúrgicos. Monshi e Asgarani (1999) e Tsakiridis et al (2008) analisam a utilização de escória siderúrgica como matéria-prima na produção de cimento Portland. Em outros estudos a mesma escória siderúrgica é utilizada na agricultura como corretivo de acidez no plantio de cana de açúcar no Brasil (BRASSIOLI et al, 2009) e com a mesma nas culturas de milho, trigo e soja na Argentina (DALMASO, 2011). Corrêa et al (2008) destacam em seu estudo o aumento da produtividade no cultivo de soja por meio da aplicação de escória de aciaria no sistema de plantio direto. Estudos relacionados ao uso pó de aciaria na agricultura também são evidenciados. Melloni et al (2001) analisa e utilização de pó de aciaria elétrica como fonte de zinco na cultura de soja. O mesmo fato foi evidenciado por Santos et al (2006) na plantação de milho. Este mesmo zinco presente no pó de aciaria pode ser recuperado para uso industrial por meio de um processo hidrometalúrgico, conforme estudo realizado por Shawabkeh (2010). Além das aplicações citadas, o Quadro 3.1 apresenta alguns estudos relacionados à utilização de resíduos siderúrgicos como matéria-prima ou insumos em diversos segmentos econômicos.

Quadro 3.1 – Utilização de resíduos siderúrgicos identificados na literatura

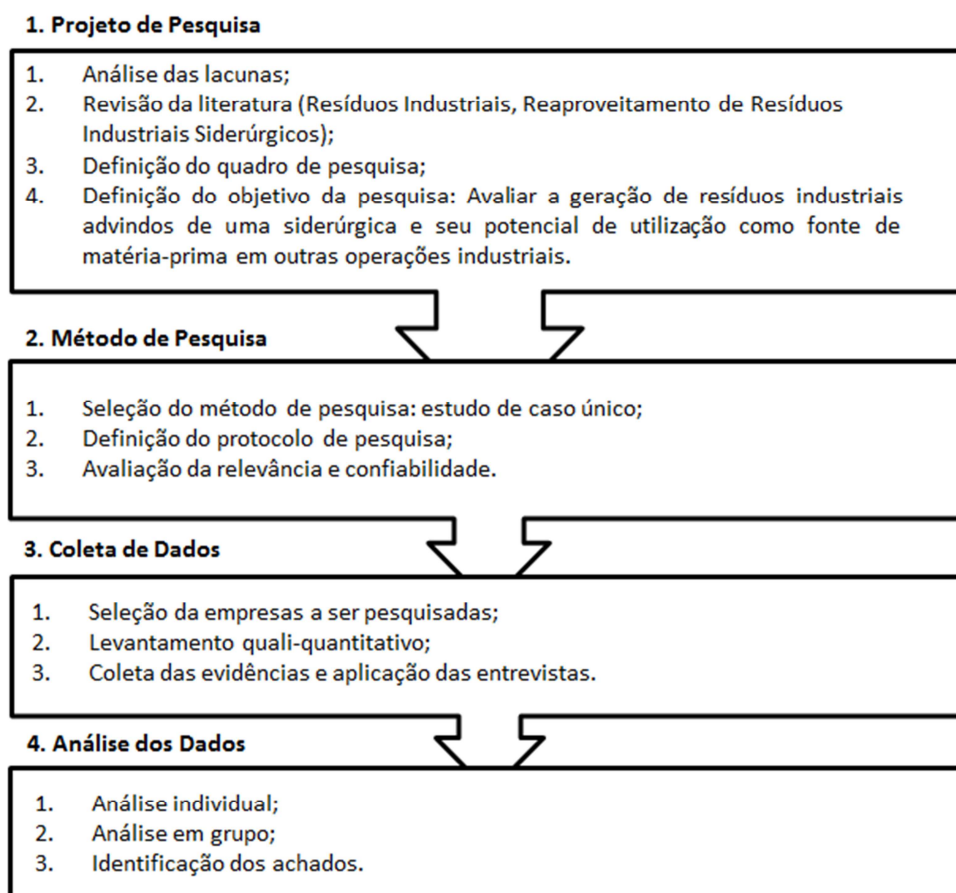
<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Utilização</b>	<b>Referência</b>
Escória	Agricultura	Dalmaso, 2011. Yi et al, 2012. Brassioli et al. 2009. Corrêa et al, 2008.
	Indústria de cimento/concreto	Siddique e Bennacer, 2012 Delong e Hui, 2009 Dong et al, 2013. ABNT NBR 7211:2009 ABNT NBR 9781:1987 Bernardo et al, 2007. Wang et al, 2013. Yi et al, 2012. Tsakiridis et al, 2008. Monshi e Asgarani, 1999.
	Recuperação de metais	Shen e Forssberg, 2003.
	Pavimentação rodoviária	DNIT 115/2009 – ES DNIT 114/2009 – ES DNER-PRO 263/94 DNER-EM 262/94 JIS A 5015:1992/AMENDMENT 1:2008 ASTM D 5106 – 13 Wu et al, 2007. Ahmedzade e Sengoz, 2009. Yi et al, 2012. Sorlini et al, 2012.
	Indústria de vidro	Ferreira e Zanotto, 2002.
	Lastro ferroviário	Pacheco, 2006.
Carepa	Indústria do concreto	Almeida, 2009 Pereira et al, 2011.
	Indústria do cimento	Al-Otaibi, 2008
	Sinterização	Shatokha, 2011
Pó de aciaria	Indústria do zinco	Spengler et al, 1997. Shawabkeh, 2010.
	Indústria do cimento	Sturm et al, 2009. Dominguez et al 2008. Salihoglu, 2007.
	Blocos para pavimentação	Vargas et al, 2005.
	Cerâmica/tijolos	Machado et al, 2011. Andrés et al, 2005.
	Agricultura	Seh-bardan, 2013. Melloni et al, 2001. Santos et al. 2006.
Borra de zinco	Fabricação de óxido de zinco	Singh e Row, 1981. Rabah e El-Sayed, 1995. Jah et al, 2001.

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3 Metodologia

A Figura 3.5 apresenta os principais passos desenvolvidos durante a pesquisa. A primeira etapa consiste na definição do projeto de pesquisa. É nesta etapa que foi realizada a revisão na literatura, a análise das lacunas existentes, a definição da questão de pesquisa e a proposição de um modelo de investigação. Na etapa seguinte foi definido o método para a realização da pesquisa, sendo estruturado para tanto um protocolo de investigação. Na terceira etapa foram definidas as empresas a serem pesquisadas e efetuada a coleta das evidências. A última etapa da pesquisa consiste na análise individual e coletiva dos dados obtidos, visando identificar os resultados.

Figura 3.5 – Etapas da Pesquisa

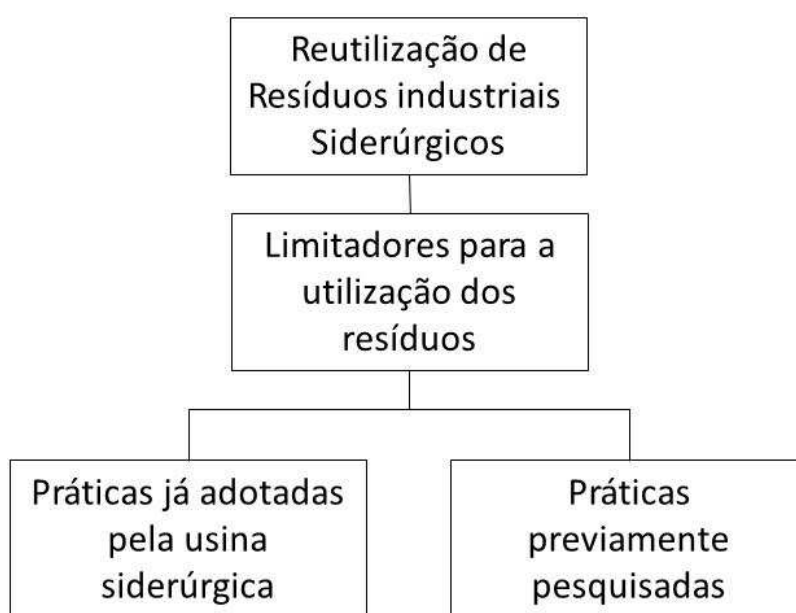


Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.1 Projeto de Pesquisa

A revisão na literatura permitiu identificar distintas aplicações previamente estudadas de resíduos siderúrgicos como matéria-prima em outras indústrias. Por meio entrevistas com gerentes das áreas de meio-ambiente, suprimentos e comercialização de co-produtos da empresa pesquisa buscou-se identificar quais fatores inibiam a utilização destes resíduos para estas aplicações. Buscou-se também analisar outros estudos relacionados ao reuso destes materiais, identificando novas oportunidades empresarias viáveis com a utilização do resíduo siderúrgico. O modelo de pesquisa desenvolvido é apresentado na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Modelo de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor



### **3.3.2 Método**

O método de pesquisa foi um estudo de caso simples de natureza exploratória. Segundo Yin (2010), um estudo de caso permite a investigação de um fenômeno dentro de um contexto contemporâneo real por meio de uma análise aprofundada de um ou mais objetos. Isto proporciona um conhecimento mais detalhado e amplo do fenômeno estudado. Foi formulado um protocolo de pesquisa direcionado a executivos tanto da empresa analisada bem como das demais empresas envolvidas (compradores). Para a validade e confiabilidade da pesquisa foram consideradas múltiplas fontes de evidência, tais como entrevistas, relatórios e outros documentos (GIBBERT E RUIGROK, 2010). A seleção dos entrevistados foi realizada considerando o nível de consciência dos mesmos com relação ao assunto estudado.

### **3.3.3 Coleta e Análise de Dados**

Inicialmente foi realizado um levantamento quali-quantitativo dos principais resíduos industriais gerados por uma siderúrgica. Para a escolha dos resíduos foram considerados fatores como volume gerado, valor do resíduo, classe do resíduo e potencial de reutilização. De posse destas informações foram realizadas entrevistas não-estruturadas à executivos das áreas de meio-ambiente, suprimentos e comercialização de co-produtos da empresa pesquisada. Foram realizadas também entrevistas com executivos das empresas compradoras dos resíduos ou potenciais utilizadores destes materiais. As entrevistas tiveram duração média de uma hora, com posterior coleta/consulta de relatórios e documentos complementares.

Após a coletada dos dados, foi realizada uma análise individual dos resultados obtidos nas entrevistas. Após compilação, os achados foram novamente validados com cada um dos entrevistados. Após a validação, os resultados obtidos foram classificados visando a comparação com cada um dos elementos identificados na literatura. Por meio desta comparação foi possível realizar uma análise dos casos e discutir os consensos/divergências obtidos em cada situação. Salienta-se que os números e quantidades apurados nesta pesquisa são hipotéticos, mantendo-se as proporções. Tal situação visa manter a confidencialidade das informações obtidas nesta pesquisa.

### 3.4 Resultados

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa siderúrgica multinacional brasileira. A empresa produz tarugos, barras, vergalhões, fio-máquina, arames, entre outros produtos, visando o atender a demanda de aço longos da construção civil, indústria e agropecuária. Caracteriza-se por ser uma usina siderúrgica semi-integrada, sendo seu processo produtivo composto por duas etapas: refino e conformação. Ao contrário de uma usina integrada (as quais utilizam o minério como principal matéria-prima), esta indústria parte da sucata metálica para a produção de produtos acabados.

A primeira etapa de refino é realizada na Aciaria por meio de um forno elétrico a arco (FEA). Utilizando-se do calor do arco elétrico estabelecido entre os eletrodos e a sucata é realizada a fusão da carga metálica adicionada no forno. Nesta mesma etapa também ocorre a queima do carbono, a elevação da temperatura do banho metálico e a desfosforação, quando aplicável. Após a primeira etapa de refino, a carga metálica passa pelo refino secundário no forno-panela (FP). É no forno-panela que é realizado o acerto da composição química para cada tipo de aço (com a adição de ligas) e o acerto da temperatura para o lingotamento. É no refino secundário que também ocorre a homogeneidade química da corrida de aço e a homogeneidade térmica. A última da Aciaria consiste em transformar o aço líquido em produtos semiacabados. Este processo é realizado no lingotamento contínuo, onde metal líquido contido no forno-panela é vazado em distribuidor para posterior modelagem em tarugos. Estes tarugos são cortados com oxicorte e depositados nos leitos de resfriamento. Após esta etapa o tarugo de aço está pronto para ser enviada a etapa de conformação (laminação) ou vendido.

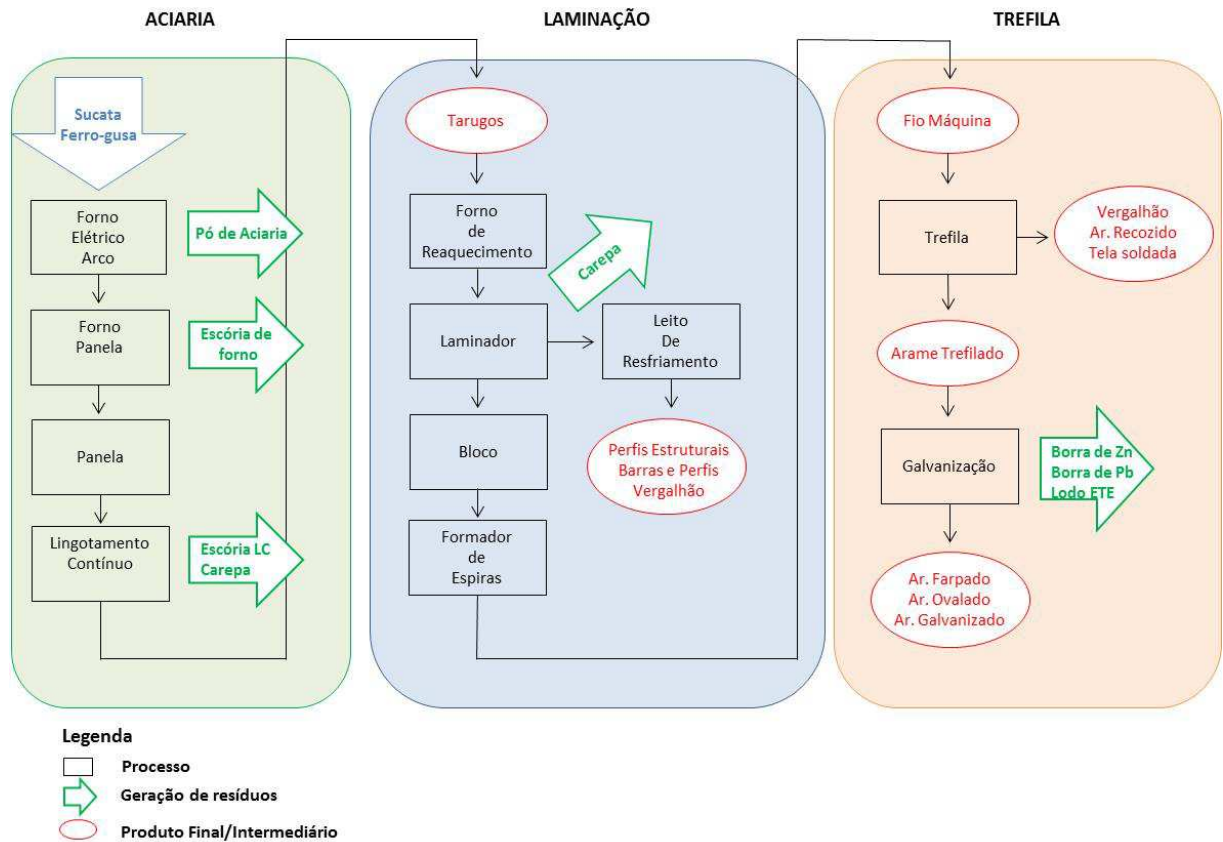
A etapa de conformação ocorre na área de laminação. É na laminação onde ocorre a redução da seção do tarugo produzido na aciaria por meio da passagem em cilindros que rodam em sentidos opostos. Na empresa pesquisada o processo de conformação é realizado através de um processo de laminação a quente, onde tarugo é reaquecido até uma temperatura de aproximadamente 1000 a 1200 °C, sendo posteriormente laminado em rolos ou em barras. Os produtos deste processo são barras laminadas redondas, quadradas, perfis, rolos de fio-máquina e vergalhões (em barras ou rolos).

A empresa possui uma segunda etapa de conformação denominada Trefila. Na trefila ocorre um processo de conformação mecânica a frio, visando a redução do diâmetro do fio-

máquina ou barras (produzidos na laminação) por meio da passagem do material matrizes denominada fieiras e cassetes. Decorrente de um processo de laminação à quente ocorrido na laminação, tanto o fio-máquina como as barras utilizadas na trefila passam por um processo de decapagem mecânico visando a retirada de uma camada de óxido que deposita-se sobre o material (carepa). Após este processo o fio-máquina pode passar por um processo de recozimento para aumentar sua dutibilidade ou por um processo de galvanização. No processo de galvanização o arame é imerso em um banho de zinco visando protegê-lo contra oxidação e melhorar seu aspecto físico.

Cada processo gera resíduos industriais específicos. A Figura 3.7 apresenta um fluxograma simplificado do processo produtivo da empresa bem como os principais resíduos gerados em cada etapa produtiva. No estudo de caso em questão serão abordados quatro principais resíduos gerados, sendo dois provenientes da aciaria (pó de aciaria e escória), um da laminação/trefila (carepa) e um do processo de galvanização (borra de zinco). Os resíduos foram escolhidos devido a sua representatividade quanto ao volume mensal gerado, classe do resíduo e valor de mercado. A tabela 2 apresenta uma síntese dos resíduos analisados neste estudo. Os valores e quantidades informados são hipotéticos, visando preservar a confidencialidade das informações.

Figura 3.7 – Processo produtivo e os principais resíduos gerados



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa

### 3.4.1 Escória

A escória é uma solução iônica constituída de óxidos fundidos (como FeO, CaO, MnO, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO) e fluoretos (CaF<sub>2</sub>) que flutuam na superfície do aço durante seu processo de produção. Fisicamente a escória apresenta-se na forma líquida ou parcialmente líquida. Presente tanto no FEA como no FP, a escória tem as seguintes funções no processo de produção do aço: 1. Cobrir o arco elétrico no FEA e no FP, protegendo os refratários contra a radiação dos mesmos; 2. Melhorar a qualidade do aço absorvendo os produtos da desoxidação e inclusões, 3. Participar no processo de desfosforação e dessulfurização; 4. Proteger o metal contra a oxidação; 5. Proteger o metal contra a absorção de nitrogênio e oxigênio; 6. Minimizar perdas térmicas; e 7. Ser compatível com os materiais refratários. Como resíduo, a escória é classificada como do tipo 2A. Na empresa analisada a geração mensal é de aproximadamente 3.000 toneladas

de escória/mês. Conforme a Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), este número está dentro da média nacional de aproximadamente a 100 a 150 kg de escória gerada por tonelada de aço produzida. A totalidade do volume de escória gerada é beneficiada por uma empresa terceirizada, a qual adequa o resíduo por meio de britagem e classificação do material, transformando-o em um co-produto. Não há receita direta com a venda do produto. É realizada uma doação do resíduo para a empresa terceirização que arca com os custos de beneficiamento e vende o produto no mercado. Comparado a outros resíduos, o custo de venda é de aproximadamente R\$ 10,00 por tonelada. Porém salienta-se a destinação deste resíduo para um aterro geraria um custo anual aproximado de R\$ 10.000,00 e manutenção da responsabilidade sobre o resíduo.

### **3.4.2 Pó de aciaria elétrica**

Decorrente de um processo de controle de emissões atmosféricas, o pó de aciaria é captado na aciaria por meio de um sistema despoeirador. O despoeirador capta e filtra as emissões gasosas produzidas pela aciaria, evitando que as partículas geradas no processo produtivo do aço sejam liberadas para a atmosfera. O pó de aciaria é composto basicamente de óxidos, tais como óxido de ferro, de zinco, cálcio, magnésio e sílica. Trata-se de um resíduo categorizado como de classe 1. Possui fina granulometria, com uma geração mensal de aproximadamente 500 toneladas por mês. Parte do material gerado destinado para aterro e outra parte para a produção de ligas Zamac.

### **3.4.3 Carepa**

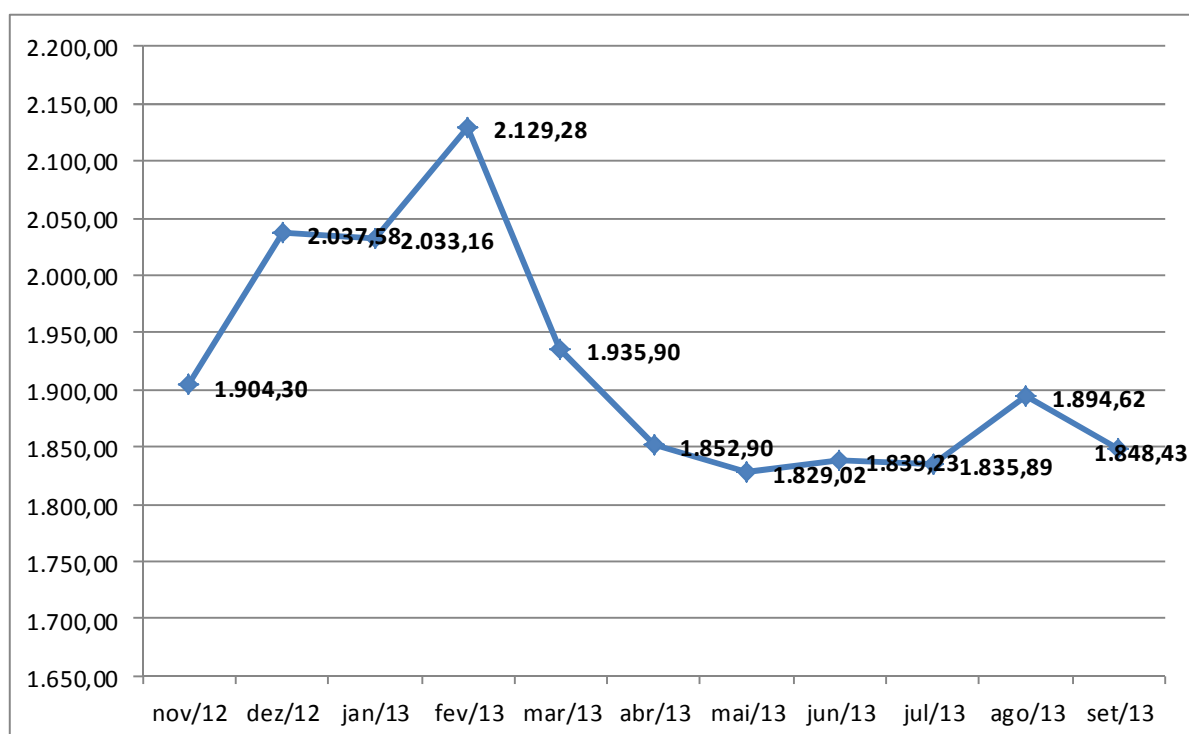
A carepa é um resíduo decorrente da oxidação da superfície do aço, formado basicamente de óxido de ferro. Além do óxido de ferro compõem também este resíduo outros óxidos como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ . No caso analisado a carepa é gerada tanto na aciaria como na laminação. Na aciaria o resíduo em questão é produzido após a etapa de lingotamento contínuo. Já na laminação sua geração ocorre nos laminadores, após o reaquecimento do tarugo em fornos de reaquecimento. Em ambos os casos o aço aquecido reage com o oxigênio gerando a carepa. A não retirada deste resíduo pode comprometer a qualidade do produto final. Classificado como um

resíduo de classe 2A, a geração média mensal nesta indústria é de 500 toneladas por mês. A carepa pode ser reutilizada na aciaria, sendo este um dos destinos deste resíduo. A limitação para o reaproveitamento total do resíduo está na granulometria do material gerado. Nesta condição grande parte da carepa destinada é comercializada como co-produto. O principal destino deste resíduo é como matéria-prima para a fabricação de cimento. A receita gerada com esta venda é de aproximadamente R\$ 100,00 por tonelada vendida.

#### **3.4.4 Borra de zinco**

A borra de zinco é um resíduo gerado na etapa de trefila proveniente do processo de galvanização. Composto de aproximadamente 82% de Zinco, trata-se do resíduo que fica depositado no fundo da cuba durante o processo de galvanização. Classificado como um resíduo do tipo 2A, a formação da borra de zinco não pode ser evitada. A não retirada da borra gera (além da perda do próprio zinco), danos no aspecto estético do fio zincado. No processo produtivo, a borra de zinco inibe o aquecimento da cuba, pois trata-se de um material mau condutor de calor. A geração mensal é de aproximadamente 7 toneladas de resíduo por mês, sendo que toda a sua geração é retornada para o fornecedor dos lingotes de zinco adquiridos para a galvanização. Por meio de um contrato de compra e venda, a borra de zinco retorna para a produção de óxido de zinco. O óxido de zinco é utilizado como matéria-prima em diversos ramos industriais, tais como as indústrias de plástico, vidro e borracha. Segundo informações do fornecedor, no Brasil a demanda por óxido de zinco é superior à capacidade de geração por resíduos. Pelas características do resíduo, o processo para produzir lingotes de zinco por meio da borra não é economicamente viável. Por tratar-se de um produto regido pelo mercado internacional – LME (London Metal Exchange), o resíduo em questão possui um valor representativo no mercado, conforme Figura 3.8.

Figura 3.8 – Evolução dos preços do zinco: 2013 – US\$/ton



Fonte: London Metal Exchange

Considerando os preços LME vigentes no ano de 2013, o retorno da borra de zinco ao fornecedor viabilizou uma receita de aproximadamente R\$ 120.000,00 no ano. Se o mesmo material fosse enviado para um aterro (como resíduo classe 2), o custo total de destinação no ano seria de aproximadamente R\$ 18.000,00. Se encaminhado para aterro, a responsabilidade ambiental do resíduo se manteria com a indústria siderúrgica.

A Tabela 3.2 resume os principais resíduos gerados na empresa analisada.

Tabela 3.2 – Síntese dos principais resíduos gerados na empresa analisada

<b>Resíduo</b>	<b>Classe</b>	<b>Composição básica</b>	<b>Volume/mês</b>	<b>Valor atual</b>	<b>Atual destinação</b>
Escória	2A	Óxidos e fluoretos	3.000 ton	R\$ 10,00/ton	Manutenção de estradas vicinais em substituição à brita.
Carepa	2A	Óxido de ferro	500 ton	R\$ 100,00/ton	Indústria cimenteira; como contra-peso de elevadores
Pó de aciaria	1	Óxidos	500 ton	Custo	Produção de liga Zamac, aterro.
Borra de zinco	2A	Zinco	5 ton	US\$ 1.848,00/ton contido de Zn (ref. Set/13)	Produção de óxido de zinco,

Fonte: Elaborador pelo autor

### 3.5 Discussão

A análise do Quadro 3.2 indica que para determinadas aplicações dos resíduos a legislação torna-se um limitador para a reutilização. Tais fatos foram evidenciados principalmente nos casos de utilização dos resíduos siderúrgicos na agricultura (escória e pó de aciaria). A utilização é possível mediante a um licenciamento ambiental para o uso do resíduo nesta aplicação bem como um aval prévio do ministério da agricultura. Destaca-se porém que tais pré-requisitos visam garantir que o resíduo não gerará impactos no meio-ambiente quando aplicados no solo. Outro fator governamental que limita a utilização de resíduos industriais são as especificações que regulam a utilização do material. No caso da escória, o uso do material como base ou sub-base da camada asfáltica exige que o resíduo seja retrabalhado para que esteja em condições de uso em substituição à brita comum. Torna-se necessário neste caso agregar valor ao resíduo de modo a transformá-lo em um material apto para uso. Em casos como o da escória onde o preço comercializado é reduzido, tal operação é vantajosa apenas se o objetivo da organização é eliminar o custo de destinação, abstendo-se do ganho econômico com a comercialização do



resíduo. Por outro lado identifica-se uma oportunidade para uma empresa ou cooperativa capacitada para beneficiar este tipo de resíduo e disponibilizá-lo no mercado.

Os custos logísticos também inibem a reutilização de materiais. No caso da escória os custos com o transporte também são limitadores para o uso deste resíduo na agricultura e na indústria cimenteira/concreto. A distância com relação aos pontos de uso e custo baixo da escória faz que a empresa pesquisada busque o reuso do material próximo a suas instalações. Caso semelhante ocorre com o pó de aciaria. Mesmo tendo um valor de mercado superior, a remessa para o seu aproveitamento na indústria de zinco fica limitada à distância da única empresa no Brasil que possui a tecnologia para a transformação do pó de zinco em produto. Localizado no centro do país, a empresa transformadora também cobra para receber o resíduo. O valor cobrado é menor que o valor da destinação para aterro, porém economicamente há opções melhores próximos a empresa pesquisada. A instalação de uma empresa apenas para a utilização destes resíduos para os processos estudados não se justificaria economicamente.

Diversas aplicações não foram consideradas pela falta de uma pesquisa adicional sobre o assunto. São os casos do uso da escória para a recuperação de metais, na indústria de vidro e o uso de pó de aciaria na agricultura. Nestas aplicações a empresa pesquisada entendeu ser necessária uma maior pesquisa sobre as possibilidades de uso. A necessidade de pesquisa também foi verificada no caso da utilização de pó de aciaria na indústria na indústria cimenteira. Porém neste caso já há pesquisa sendo desenvolvida neste sentido, sendo que o teor de cloro existe no material gerado pela empresa analisada é o limitador para o reuso do resíduo. Nesta condição está sendo avaliada pela empresa a possibilidade de controlar o cloro no seu resíduo visando tornar o pó de aciaria apto para utilização na indústria cimenteira.

A falta de uma demanda local pelo resíduo também é um limitador para o reuso. Os casos de utilização escória em lastro ferroviário e do uso da carepa na sinterização são exemplos desta condição. Em ambos os casos a demanda do resíduo é nula na região onde a empresa pesquisada está localizada. E como há opções para a destinação destes resíduos em outras aplicações, não haveria a necessidade de destinar os materiais para outros estados onde a demanda para estas aplicações são maiores. Mesmo se houvesse a possibilidade de transferência para outros estados seria necessário avaliar a questão dos custos logísticos envolvidos nesta operação.

No caso do uso do pó de aciaria na indústria cerâmica ou de tijolos, a limitação é social. O meio insalubre na qual o resíduo será utilizado torna-se um limitador ao reaproveitamento deste

material. Para que o resíduo possa ser utilizado na sua plenitude seria necessário que as empresas do ramo cerâmico adaptassem seu processo ou que o resíduo gerado fosse destinado a empresas mais estruturadas e habilitadas a processar o pó de aciaria.

Quadro 3.2 – Síntese das limitações para utilização dos resíduos de acordo com as aplicações pesquisadas

<b>Resíduo</b>	<b>Aplicações identificadas na literatura</b>	<b>Limitação</b>
Escória	Agricultura	- Necessidade de licenciamento ambiental para esta aplicação; - Aprovação do ministério da agricultura; - Custo reduzido do resíduo; - Custos logísticos.
	Cimento/concreto	- Necessidade de retrabalhar o resíduo para a utilização; - Custos logísticos inviabilizam operação.
	Recuperação de metais	- Necessidade de pesquisa; - Característica da escória pode inviabilizar a recuperação.
	Pavimentação rodoviária	- Volume gerado atualmente é totalmente demandado para reforma de estradas vicinais; - O resíduo necessita ser retrabalhado para atender a normatização do órgão regulamentador das rodovias.
	Vidro	- Necessidade de pesquisa.
	Lastro ferroviário	- Falta de demanda na região para esta aplicação.
Carepa	Sinterização	- Necessidade de pesquisa.
	Indústria cimenteira	É realizado
	Concreto	É realizado
Pó de aciaria	Indústria cimenteira	- Alta concentração de cloro no material gerado ataca o refratário do forno; - Necessidade de pesquisa.
	Indústria de zinco	- Custos logísticos; - Empresa que dispõe a tecnologia cobra para receber o resíduo.

	Cerâmica/tijolos	- Meio insalubre das empresas locais inviabiliza a remessa deste resíduo para esta aplicação.
	Agricultura	- Necessidade de pesquisa; - Necessidade de licenciamento ambiental para esta aplicação; - Aprovação do ministério da agricultura.
Borra de zinco	Produção de óxido de zinco	É realizado.

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.6 Conclusão

Este artigo analisou quatro principais resíduos industriais gerados por uma usina siderúrgica: a escória, a carepa, o pó de aciaria e a borra de zinco. Por meio de uma pesquisa bibliográfica identificaram-se diversas aplicações industriais e agrícolas previamente estudadas para estes resíduos. As aplicações levantadas foram discutidas na empresa pesquisada e confrontadas com o levantamento quali-quantitativo realizado. Objetivou-se identificar o potencial de utilização destes resíduos em outras atividades industriais e agrícolas no sul do Brasil, bem como as barreiras que inibem estas aplicações.

A revisão na literatura identificou diversas aplicações para os resíduos industriais siderúrgicos analisados neste estudo. Em aplicações agrícolas há um grande potencial para a utilização de resíduos siderúrgicos como a escória e pó de aciaria. O principal limitador para estas aplicações está relacionado à necessidade de licenciamento ambiental para estas aplicações. O fato de adicionar um resíduo industrial diretamente ao solo exige uma avaliação prévia do governo visando evitar impactos ambientais do resíduo. A legislação torna-se um limitador para a utilização dos resíduos em construção de rodovias, onde as especificações determinadas pelo órgão governamental dimensões e características para que a escória possa ser utilizada.

O custo também um grande limitador para o reuso do resíduo. A maioria dos resíduos avaliados tem baixo valor de mercado. A destinação do resíduo para localidades geograficamente afastadas da usina siderúrgica torna a operação logisticamente inviável. Em algumas situações a tecnologia da recuperação do resíduo para determinada aplicação está limitada a apenas uma

empresa em todo o país (pó de aciaria para a indústria do zinco), havendo cobrança para este processamento.

Há limitadores sociais relacionados à utilização de alguns materiais. No caso do pó de aciaria verificou-se a oportunidade de utilização deste resíduo na indústria de cerâmica e de tijolos. Mas o meio insalubre na qual o resíduo seria utilizado inviabiliza esta aplicação. Seria necessário que as indústrias de cerâmica e tijolos da região adaptassem suas operações de modo a proporcionar a utilização do resíduo.

Em algumas situações há a necessidade um maior desenvolvimento técnico do uso do resíduo na aplicação sugerida. O uso do pó de aciaria na indústria cimenteira é viável, porém a elevada concentração de cloro no resíduo agride o refratário dos fornos. Restrições técnicas também foram verificadas na utilização da escória na indústria de vidro ou na recuperação de metais do resíduo. Em ambas situações é necessário um estudo técnico mais aprofundado visando identificar a real possibilidade de utilização destes resíduos nas aplicações citadas.

## BIBLIOGRAFIA

ABELHA, M. Direito ambiental esquematizado. Saraiva. São Paulo, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Peças de concreto para pavimentação – especificação: NBR 9781. São Paulo, 1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos Classificação: NBR 10004. São Paulo, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados para concreto – especificação: NBR 7211. São Paulo, 2009.

AHMEDZADE, P., SENGOZ, B. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. **Journal of Hazardous Materials**, v.165, n.1-3, p.300–305, 2009.

ALMEIDA, E. Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto. Dissertação de Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento. Lajeado: UNIVATES, 2009.

AL-OTAIBI, S. Recycling steel mill scale as fine aggregate in cement mortars. **European Journal of Scientific Research**, v.24, n.3, p.332-338, 2008.

ANDRÉS, A., CARMEN DÍAZ, M., COZ, A., VIGURI, J.R., IRABIEN, Á. Utilization of waste materials in clay building bricks. REWAS'04 - Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Madrid, Espanha, 2004.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard specification for steel slag aggregates for bituminous paving mixtures: D5106 13, 2013.

BERNARDO, G., MARROCCOLI, M., NOBILI, M., TELESCA, A., VALENTI, G. The use of oil well-derived drilling waste and electric arc furnace slag as alternative raw materials in clinker production. **Resources, Conservation and Recycling**, v.52, n.1, p.95–102, 2007.

BRASSIOLI, F., PRADO, R., FERNANDES, F. Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, v. 68, n.2, p.381-387, 2009.

BUBICZ, M.E. Modelo para avaliação e controle de desempenho ambiental nas operações de transporte, tratamento e destino final de REEE. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas. São Leopoldo: UNISINOS, 2013.

CHAABANE, A., RAMUDHIN, A., PAQUET, M. Designing supply chains with sustainability considerations. **Production Planning and Control**, v.22, n.8, p.727-741, 2011.

CORRÊA, J., BÜLL, L., CRUSCIOL, C., TECCHIO, M. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.9, p.1209-1219, 2008.

DALMASO, D. Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región pampeana argentina. **Usos del Acero – ILAFA**, p.30-33, 2011.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Escórias de aciaria para pavimento rodoviários: DNER-EM 262/94. 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Emprego de escórias de aciaria em pavimento rodoviários: DNER-PRO 263/94. 1994.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Pavimentação rodoviária – Sub-base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria - ACERITA<sup>®</sup> - Especificação de Serviço: DNIT 114/2009-ES. Rio de Janeiro, 2009.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Pavimentação rodoviária - base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria - ACERITA<sup>®</sup> - Especificação de serviço: DNIT 115/2009-ES. Rio de Janeiro, 2009.

DELONG, X., HUI, L. Future resources for eco-building materials: I. metallurgical slag. **Journal of Wuhan University of Technology-Mater**, v.24, n.3, p.451-456, 2009.

DOMINGUEZ, M.I.; CARPENA, J.; BORSCHNEK, D.; CENTENO, M.A.; ODRIOZOLA, J.A.; ROSE, J. Apatite and Portland/apatite composite cements obtained using a hydrothermal method for retaining heavy metals. **Journal of Hazardous Materials**, v.150, n.1, p.99-108, 2008.

DONG, L., ZHANG, H., FUJITA, T., OHNISHI A, S., LI, H., FUJII, M., DONG, H. Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry: Kawasaki's experience and practice in Liuzhou and Jinan. **Journal of Cleaner Production**, v.59, n.15, p.1-13, 2013.

EL-FADEL, M. et al. Industrial-waste management in developing countries: the case of Lebanon. **Journal of environmental management**, v.61, n.4, p.281-300, 2001.

FERREIRA, E., ZANOTTO, E. Nano vitrocerâmica de escória de aciaria. **Química Nova**, v.25, n.5, p.731-735, 2002.

GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B. Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.

GIBBERT, M., RUIGROK, W., The “what” and the “how” of case study rigor: three strategies based on published work. **Organizational Research Methods**, v.13, n.4, p.710–737, 2010.

HUANG, Y., BIRD, R.N., HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. **Resources, Conservation and Recycling**, v.52, n.1, p.58-73, 2007.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de sustentabilidade. 2013.

JABBOUR, A.B.L.S.; JABBOUR, C.J.C.; SARKIS, J.; GOVINDAN, K. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.16, n.1, p.7-9, 2014.

JABBOUR, C.J.C.; SILVA, E.M.; PAIVA, E.L.; SANTOS, F.C.A. Environmental management in Brazil: is it a completely competitive priority? **Journal of Cleaner Production**, v.21, n.1, p.11-22, 2012.

JAH, M.K.; KUMAR, V.; SINGH, R.J. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes. **Resources, Conservation and Recycling**, v.33, n.1, p.1-22, 2001.

JIS. Japanese Industrial Standard. Iron and steel slag for road construction: JIS A 5015:1992 / Amendment 1:2008.

KING, A.M.; BURGESS, S.C.; IJOMAH, W.; MCMAHON, C.A. Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle? **Sustainable Development**, v.14, n.4, p.257-267, 2006.

LEE, J.; SONG, H. T.; YOO, J. Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea. **Resources, Conservation and Recycling**, v.50, n.4, p.380-397, 2007.

LME. London Metal Exchange. LME nickel prices. Disponível em <<http://www.lme.com/metals/non-ferrous/nickel/>>. Acessado em 19 out 2013.

LYONS, D., RICE, M., WACHAL, R. Circuits of scrap: Closed loop industrial ecosystems and the geography of us international recyclable material flows 1995-2005. **Geographical Journal**, v.175, n.4, p.286-300, 2009.

MACHADO, A., VALENZUELA-DIAS, F., de SOUZA, C., LIMA, L. Structural ceramics made with clay and steel dust pollutants. **Applied Clay Science**, v.51, n.4, p.503-506, 2011.

MACKILLOP, F. The construction of 'waste' in the UK steel industry. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.52, n.2, p.177-194, 2009.

MELLONI, R., SILVA, F., MOREIRA, F., NETO, A. Pó de forno de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.36, n.12, p.1547-1554, 2001.

MONSHI, A., AGARANI, M.K. Producing Portland cement from iron and steel slags and limestone. **Cement and Concrete Research**, v.29, n.9, p.1373-1377, 1999.

MORIOKA, T., TSUNEMI, K., YAMAMOTO, Y., YABAR, H., YOSHIDA, N. Eco-efficiency of advanced loop-closing systems for vehicles and household appliances in Hyogo eco-town. **Journal of Industrial Ecology**, v.9, n.4, p. 205-221, 2013.

PACHECO, L. O estudo da escória de aciaria como agregado siderúrgico para uso em lastro ferroviário. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2006.

PEREIRA, F.M.; VERNEY, J.C.K.; LENZ, D.M. Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto. **Revista Escola de Minas**, v.64, n.4, p.463-469, 2011.

RABAH, M.A.; EL-SAYED, A.S. Recovery of zinc and some of its valuable salts from secondary resources and wastes. **Hydrometallurgy**, v.37, n.1, p.23-32, 1995.

SALIHOGU, G.; PINARLI, V.; SALIHOGU, N.K.; KARACA, G. Properties of steel foundry electric arc furnace dust solidified/stabilized with Portland cement. **Journal of Environmental Management**, v.85, n.1, p.190-197, 2007.

SANTOS, G., BERTON, R., CAMARGO, O., ABREU, M. Zinc availability for corn grown on an oxisol amended with flue dust. **Scientia Agricola**, v.63, n.6, p.558-563, 2006.

SEH-BARDAN, B.J.; SADEGH-ZADEH, F.; SEH-BARDAN, J.E.; WAHID, S.A. Effects of electric-arc furnace dust application on soil properties, sorghum growth, and heavy-metal accumulation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.44, n.11, p.1674-1683, 2013.

SHATOKHA, V.I.; GOGENKO, O.O.; KRIPAK, S.M. Utilising of the oiled rolling mills scale in iron ore sintering process. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, n.4, p.435-444, 2011.



SHAWABKEH, R. Hydrometallurgical extraction of zinc from Jordanian electric arc furnace dust. **Hidrometallurgy**, v.104, n.1, p.61-65, 2010.

SIDDIQUE, R. Utilization of silica fume in concrete: review of hardened properties. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, n.11, p.923-932, 2011.

SIDDIQUE, R., CHAHAL, N. Use of silicon and ferrosilicon industry by-products (silica fume) in cement paste and mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, n.8, p.739-744, 2011.

SIDDIQUE, R., BENNACER, R. Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v.69, p.29– 34, 2012.

SINGH, L.N.; ROW, B.R.L. Recovery of zinc from melting furnace residue. **Hidrometallurgy**, v.3, n.3-4, p.261-267, 1981.

SINGH, R.K., MURTY, H.R., GUPTA, S.K., DIKSHIT, A.K. **Integrated environment management in steel industries**. International Journal of Management and Decision Making, v.9, n.2, p.103-128, 2008.

SHEN, H., FORSSBERG, E. An overview of recovery of metals from slags. **Waste Management**, v.23, n.10, p.933-949, 2003.

SORLINI, S., SANZENI, A., RONDI, L. Reuse of steel slag in bituminous paving mixtures. **Journal of Hazardous Materials**, v.209– 210, n.30, p.84– 91, 2012.

SPENGLER, Th., PÜCHERT, H. PENKUHN, T., RENTZ, O. Environmental integrated production and recycling management. **European Journal of Operational Research**, v.97, n.2, p.308-326, 1997.

STOLAROFF, J.; LOWRY, G.; KEITH, D. Using CaO- and MgO-rich industrial waste streams for carbon sequestration. **Energy Conversion and Management**, v.46, n.5, p.687-699, 2005.

STURM, T.; MILACIC, R.; MURKO, S.; VAHCIC, M.; MLADENOVIC, A.; SUPUT, J.S.; SCANCAR, J. The use of EAF dust in cement composites: assessment of environmental impact. **Journal of Hazardous Materials**, v.166, n.1, p.277-283, 2009.

TANG, J., LIU, Y., FUNG, R.Y.K., LUO, X. Industrial waste recycling strategies optimization problem: Mixed integer programming model and heuristics. **Engineering Optimization**, v.40, n.12, p.1085-1100, 2008.

TOCCHETTO, M.R.L. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

TSAI, W.-T. Analysis of the sustainability of reusing industrial wastes as energy source in the industrial sector of Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.14, p.1440-1445, 2010.

TSAKIRIDIS, P.E., PAPADIMITRIOU, G.D., TSIVILIS, S., KORONEOS, C. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production. **Journal of Hazardous Materials**, v.152, n.2, p.805-811, 2008.

VADENBO, C.; BOESCH, M.; HELLWEG, S. Life cycle assessment model for the use of alternative resources in ironmaking. **Journal of Industrial Ecology**, v.17, n.3, p.363-374, 2013.

VALLE, R.; SOUZA, R.G. Logística reversa: processo a processo. São Paulo: Atlas, 2014.

VARGAS, A.S.; MASUERO, A.B.; VILELA, A.C.F. Solidificação/estabilização (s/s) do pó de aciaria elétrica (PAE) em blocos de concreto para pavimentação. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v.2, n.1, p.30-34, 2005.

WANG, Q., YANG, J., YAN, P. Cementious properties of super-fine steel slag. **Powder Technology**, v.245, p.35–39, 2013.

WEI, M.; HUANG, K. Recycling and reuse of industrial wastes in Taiwan. **Waste management**, v.21, n.1, p. 93-7, 2001.

WONG, M.; WU, S.; DENG, W.; YU, X.; LUO, Q.; LEUNG, A.; WONG, C.; LUKSEMBURG, W.; WONG, A. Export of toxic chemicals - a review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. **Environmental pollution**, v.149, n.2, p.131-40, 2007.

WU, S., XUE, Y., YE, Q., CHEN, Y. Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures. **Building and Environment**, v.42, n.7, p.2580–2585, 2007.

YI, H.; XU, G.; CHENG, H.; WANG, J.; WAN, Y.; CHEN, H. An overview of utilization of steel slag. **Procedia Environmental Sciences**, v.16, p.791-801, 2012.

YIN, R. K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Porto Alegre: Bookman, 2010.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro artigo desta dissertação foi estudado como as relações entre empresas podem quebrar barreiras ou potencializar estimuladores visando a formação da simbiose industrial em uma cadeia de suprimentos. Foram analisadas as relações envolvendo fornecimento de produtos e co-produtos entre sete empresas pertencentes a uma cadeia siderúrgica.

A maior parte das relações analisadas tem foco estritamente comercial. O principal motivador destacado pelas empresas para o uso de resíduos como matéria-prima foram os ganhos de custo obtidos com o uso deste material. Por parte de quem vende o resíduo verificou-se ganhos financeiros tanto com a venda e/ou com a redução dos custos de destinação do resíduo para o aterro. Em algumas relações analisadas verificou-se um alto nível de dependência tanto do gerador como do comprador do resíduo com esta operação de reutilização. Destaca-se porém que, mesmo em situações onde o nível de dependência é elevada, há casos onde fatores externos (como a legislação ou flutuações nos volumes de produção do gerador) podem impedir a reutilização do resíduo. Nestas condições verificou-se a falta de um contato entre as empresas que extrapolasse a relação comercial, viabilizando ações conjuntas entre as empresas para evitar a limitação. Uma maior aproximação entre as áreas técnicas das empresas permitiria também o desenvolvimento conjunto de alternativas que viabilizassem o incremento de utilização do resíduo ou a sua aplicação em situações diferentes das convencionais. Algumas das relações analisadas caracterizaram-se por um nível de dependência reduzido de ambos os lados com relação ao resíduo. Tal condição deve-se principalmente em situações onde o custo logístico é elevado ou pela elevada disponibilidade do resíduo. Nestas situações o reuso poderia ser estimulado através do estabelecimento de contratos atrelando o retorno do resíduo à compra do produto. A operação de recompra do resíduo por parte de um fornecedor de produto surge como um diferencial competitivo frente a concorrentes do exterior.

Buscou-se assim atender o primeiro objetivo específico desta pesquisa.

No segundo artigo desta dissertação foram analisados os quatro principais resíduos industriais gerados por uma indústria siderúrgica: a escória, o pó de aciaria, a carepa e a borra de zinco. Por meio de uma pesquisa bibliográfica identificou-se aplicações previamente pesquisadas para estes resíduos em diversos segmentos industriais. De posse destas informações buscou-se

verificar porque de determinadas aplicações não estarem sendo adotadas pela empresa pesquisada e as oportunidades de novas operações industriais possíveis considerando estas aplicações.

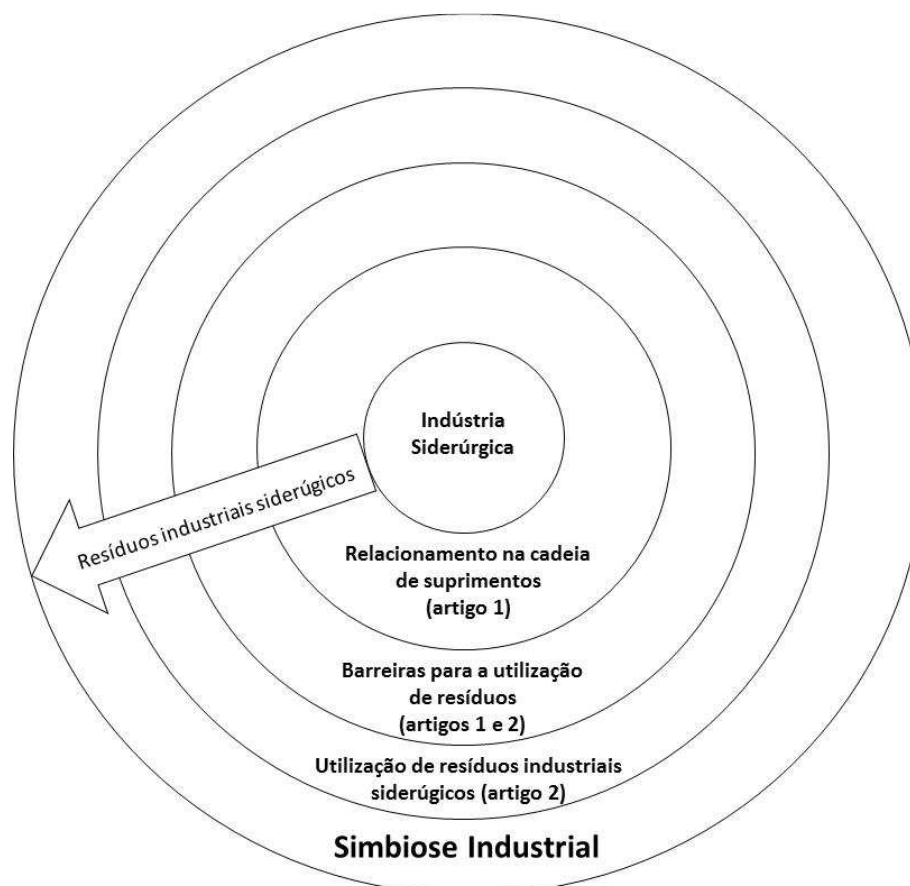
Para aplicações agrícolas foi verificado que o principal limitador para o reuso do resíduo está atrelado à burocracia exigida para a obtenção das licenças ambientais. Embora o licenciamento governamental vise evitar que um resíduo industrial contamine o solo, a sua demora compromete em algumas situações o potencial de utilização. Situação semelhante ocorre na utilização da escória em pavimentação rodoviária. Nesta aplicação o resíduo necessita ser retrabalhado visando adaptá-lo a requisitos técnicos exigidos pelo governo para esta situação. Os custos logísticos também inibem oportunidades para a reutilização de um resíduo. Tal condição acentua-se principalmente nos casos onde o valor de mercado do material é reduzido (como a escória e a carepa). A reutilização do resíduo nestas condições torna-se viável apenas em locais próximas a usina siderúrgica. No caso especificação da utilização de escória em lastros ferroviários, verificou-se uma falta de demanda local para esta utilização. A ausência de demanda local associado ao elevado custo logístico para o transporte deste resíduo em locais utilizáveis torna inviável esta aplicação. Questões sociais podem impedir o uso do resíduo siderúrgico. Tal situação foi verificada na utilização do pó de aciaria na indústria cerâmica ou de tijolos. O meio insalubre na qual o resíduo seria utilizado torna o uso para esta aplicação arriscada. Em diversas situações a empresa pesquisada destacou a necessidade de uma pesquisa adicional para desenvolver a utilização dos resíduos nas aplicações sugeridas pela pesquisa bibliográfica.

Em termos de instalação de novas operações empresariais relacionadas à utilização dos resíduos nas aplicações estudadas, verificou-se uma baixa possibilidade de ocorrência. Isso porque a maioria das aplicações citadas nas pesquisas são ramos industriais e agrícolas existentes na região onde a empresa está localizada. No caso da indústria de zinco o uso a instalação de uma unidade industrial apenas com a utilização do resíduo siderúrgico não se justifica economicamente. Isso porque o uso dos resíduos siderúrgicos como fonte de matéria-prima nesta indústria é apenas parcial. Grande parte da matéria-prima necessária para a produção desta indústria advém de outras fontes do centro do país, incluindo a mineração. Destaca-se, porém, a oportunidade para empresas ou cooperativas com condições técnicas para retrabalhar resíduos siderúrgicos visando sua reutilização.

Com o segundo artigo tentou-se atingir o segundo objetivo específico da dissertação.

A Figura 4.1 integra os 2 artigos desenvolvidos nesta dissertação.

Figura 4.1 – Integração dos 2 artigos



Fonte: Elaborado pelo autor

O foco do estudo do primeiro artigo são as relações em uma cadeia de suprimentos que induzem à simbiose industrial. Já o objeto de estudo do segundo artigo é a utilização de resíduos industriais siderúrgicos como matéria-prima em outros segmentos industriais e agrícolas. Em ambos os artigos foram avaliadas as barreiras existentes para a reutilização dos resíduos. O rompimento destas barreiras por meio do relacionamento entre empresas na cadeia de suprimentos (artigo 1) permitiria ampliar a reutilização de resíduos (artigo 2) proporcionando a simbiose industrial na cadeia siderúrgica.

Desta forma chega-se ao objetivo geral da dissertação: analisar o potencial para a formação de cadeias de suprimentos ambientalmente sustentáveis por meio da utilização de resíduos industriais da cadeia siderúrgica em outros segmentos econômicos como fonte de matéria-prima.

#### 4.1 Futuras Pesquisas

Sugere-se para futuras pesquisas avaliar o potencial de formação de cadeias ambientalmente sustentáveis em outros segmentos industriais e em outras regiões. Desta forma seria possível verificar se o fator relacionamento teria comportamento semelhante em cadeias diferentes da siderúrgica. Outros estudos poderiam ser desenvolvidos visando analisar como aspectos internos da empresa podem impactar no comportamento da cadeia como um todo em prol da reutilização de resíduos em uma mesma cadeia de suprimentos. Sugere-se também avaliar as relações entre empresas em cadeias de suprimentos ambientalmente sustentáveis induzidas pelo governo. Tal estudo permitira realizar um comparativo com cadeias de suprimentos tradicionais.

## REFERÊNCIAS

ABELHA, M. Direito ambiental esquematizado. Saraiva. São Paulo, 2013.

ANDIÇ, E.; YURT, Ö.; BALTACIOĞLU, T. Green supply chains: Efforts and potential applications for the Turkish market. **Resources, Conservation and Recycling**, v.8, p.50-68, 2012.

BEAMON, B. Designing the green supply chain. **Logistics Information Management**, v.12, n.4, p.332-342, 1999.

BEERS, D.; BOSSILKOV, A.; CORDER, G.; BERKEL, R. Industrial Symbiosis in the Australian Minerals Industry: The Cases of Kwinana and Gladstone. **Journal of Industrial Ecology**, v.11, n.1, p.55-72, 2008.

BORCHARDT, M.; WENDT, M.; PEREIRA, G.; SELBITTO, M. Redesign of a component based on ecodesign practices: environmental impact and cost reduction achievements. **Journal of Cleaner Production**, v.19, n.1, p.49-57, 2011.

BRUCE, A.; STOREY, D. Network of waste: informal economics systems and sustainability in Bali, Indonesia. **Local Economy**. v.25, n.3, p.176-189, 2010.

CHAABANE, A.; RAMUDHIN, A.; PAQUET, M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. **International Journal of Production Economics**, v.135, n., p.37-49, 2012.

CHERTOW, M. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. 2000.

CILIZ, N.; LOZANO, R.; HUISINGH, D.; QUIST, J. Bridges for a more sustainable future: uniting continents and societies. **Journal of Cleaner Production**, v.39, p.388-391, 2013.

COSTA, I.; FERRÃO, P. A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.10-11, p.984-992, 2010.



EHRENFELD, J.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence in Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, v.1, n.1, p.67-79, 1997.

GIBBERT, M., RUIGROK, W., The “what” and the “how” of case study rigor: three strategies based on published work. **Organizational Research Methods**, v.13, n.4, p.710–737, 2010.

GLEW, D.; STRINGER, L.; ACQUAYE, A.; McQUEEN-MASON, S. How do end of life scenarios influence the environmental impact of product supply chains? Comparing biomaterial and petrochemical products. **Journal of Cleaner Production**, v.29-30, p.122-131, 2012.

HICKS, C.; HEIDRICH, O.; McGOVERN, T.; DONELLY, T. A functional model of supply chains and waste. **International Journal of Production Economics**, v.89, n.2, p.165-174, 2004.

HUAIWEI, Z., XIN, H. An overview for the utilization of wastes from stainless steel industries. **Resources, Conservation and Recycling**, v.55, n.4, p.745-754, 2011.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de sustentabilidade. 2013.

IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acessado em 10 Jan 2014.

IPEA. Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável e reutilizável região sul. Brasília: 2013.

JABBOUR, C.J.C; SILVA, E.M.; PAIVA, E.L.; SANTOS, F.C.A. Environmental management in Brazil: is it a completely competitive priority? **Journal of Cleaner Production**, v.21, n.1, p.11-22, 2012.

LEI nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acessado em 10 Jan 2014.

LYONS, D., RICE, M., WACHAL, R. Circuits of scrap: closed loop industrial ecosystems and the geography of us international recyclable material flows 1995-2005. **Geographical Journal**, v.175, n.4, p.286-300, 2009.

MACHADO, A., VALENZUELA-DIAS, F., de SOUZA, C., LIMA, L. Structural ceramics made with clay and steel dust pollutants. **Applied Clay Science**, v.51, n.4, p.503-506, 2011.

NG, W.; LAM, H.; NG, F.; KAMAL, M.; LIM, J. Waste-to-wealth: green potential from palm biomass in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v.34, p.57-65, 2012.

PAGELL, M.; SHEVCHENKO, A. Why research in sustainable supply chain should have no future? **Journal of Supply Chain Management**, v.50, n.1, p.44-55, 2014.

PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. **Building and Environment**, v.42, n.6, p.2311-2320, 2007.

SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.; PACHECO, D. Gestão de cadeias de suprimentos verdes: quadro de trabalho. **Produção Online**, v.13, n.1, 2013.

SELLITTO, M.; KADEL JR., N.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G.; DOMINGUES, J. Rice husk and scrap tires co-processing and reverse logistics in cement manufacturing. **Ambiente & Sociedade**, v.25, n.1, p.137-158, 2013

SHEU, J.; TALLEY, K. Green Supply Chain Management: Trends, Challenges and Solutions. **Transportation Research**, v.47, n.6, p.791-792, 2011.

TANG, J.; LIU, Y.; FUNG, R.; LUO, X. Industrial waste recycling strategies optimization problem: Mixed integer programming model and heuristics. **Engineering Optimization**, v.40, n.12, p.1085-1100, 2008.

THUN, J.-H.; MÜLLER, A. An empirical analysis of green supply chain management in the German automotive industry. **Business Strategy and the Environment** v.19, n.2, p.119-132, 2010.

TSAI, W. Analysis of the sustainability of reusing industrial wastes as energy source in the industrial sector of Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.14, p.1440-1445, 2010.

TUDOR, T.; ADAM, E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): A literature review. **Ecological Economics**, v.61, n.2-3, p.199-207, 2007.

VADENBO, C.; BOESCH, M.; HELLWEG, S. Life cycle assessment model for the use of alternative resources in ironmaking. **Journal of Industrial Ecology**, v.17, n.3, p.363-374, 2013.

WAGNER, B.; SVENSSON, P. Sustainable business cycles: some Findings from Sweden and the UK. **Supply Chain Management and Information Systems (SCMIS), 2010 8th International Conference** , p.1,7, 6-9, 2010

YI, H.; XU, G.; CHENG, H.; WANG, J.; WAN, Y.; CHEN, H. An overview of utilization of steel slag. **Procedia Environmental Sciences**, v.16, p.791-801, 2012.

YIN, R. K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Porto Alegre: Bookman, 2010.