

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PPGEM – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

VIVIANA NEDEL RECKZIEGEL

**CARACTERIZAÇÃO PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE UM
TRITURADOR DE SUCATA EM UMA USINA SIDERÚRGICA**

Porto Alegre

2012

VIVIANA NEDEL RECKZIEGEL

**CARACTERIZAÇÃO PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE UM
TRITURADOR DE SUCATA EM UMA USINA SIDERÚRGICA**

Trabalho realizado no Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia (LEAMET) da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Osório

Porto Alegre

2012

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ivo Schneider, pela disposição, paciência, dedicação e extrema competência em me apoiar e me orientar no crescimento técnico, profissional e pessoal.

Ao professor Eduardo Osório pela contribuição e essenciais sugestões.

A todos os professores do PPGE3M que contribuíram para o meu crescimento através do enriquecimento de conhecimento.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a CAPES pela infra-estrutura e recursos disponibilizados.

A todos os colegas do LEAmet, que me ajudaram em todos os momentos, em especial, a Ivana, Eunice, Juarez, Ramiro, Ana, Henrique e Lucas.

As outras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração desse trabalho, o meu agradecimento.

E, em especial, a quem devo tudo o que sou e conquistei, MEUS PAIS!

RESUMO

A indústria siderúrgica é grande consumidora de energia e de materiais e é responsável pela geração de significativo volume de resíduos sólidos bem como de efluentes líquidos e gasosos. As usinas semi-integradas de produção de aço têm como matéria-prima básica a sucata no processo de fusão. Os trituradores de sucata proporcionam a entrega de sucata ferrosa fragmentada com elevada limpeza. Entretanto, no processo de separação, são gerados resíduos não aproveitados pela indústria siderúrgica. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização tecnológica do resíduo gerado em um triturador de sucata no Estado do Rio Grande do Sul e avaliar as possibilidades de aproveitamento do material. Através de peneiramento foi possível separar o material em uma fração fina (< 2 mm) e uma fração grossa (> 2 mm). A fração fina (< 2 mm) foi analisada em relação à granulometria, massa específica, composição elementar, composição mineralógica e periculosidade. Pode se concluir que a fração fina, rica em óxidos de ferro e sílica, possui potencial de aproveitamento em processos de redução de ferro na siderurgia e na indústria cimenteira. A fração com granulometria (> 2 mm), rico em materiais poliméricos, apresenta potencial para uso energético. Os resultados obtidos nas duas frações são discutidos em termos das implicações tecnológicas, ambientais e econômicas do processo.

Palavras-chave: Reaproveitamento, Resíduos, Triturador de sucata, Meio ambiente.

ABSTRACT

The steel industry is a major consumer of energy and materials and it is responsible for generating a significant volume of atmospheric emissions, liquid effluents, and solid waste. The semi-integrated mills that produce steel have scrap as their basic raw material in the melting process. The scrap shredders provide the fragmented delivery of steel scrap with high cleanliness. However, the separation process generates wastes that are not used by the steel industry. The objective of this study was to characterize the waste generated in a scrap shredder in the State of Rio Grande do Sul and evaluate the potential use of the material. Through screening it was possible to separate the material into a fine fraction (< 2 mm) and a coarse fraction (> 2 mm). The fine fraction was characterized in terms of its particle size, specific weight, elemental composition, mineralogical composition, and environmental harm. It was possible to conclude that the fine fraction, rich in iron oxides and silica, can be potentially used as a raw material for iron reduction in steel plants or for cement production. The coarse fraction (> 2 mm), rich in polymeric material, presented potential in energy use. The results obtained in the two fractions are discussed in terms of technological, environmental and economic process.

Key words: Recycling, Wastes, Shredder, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de uma Usina Semi-integrada	5
Figura 2: Vista parcial da planta do Shredder	9
Figura 3: Sistema de rolos de alimentação	9
Figura 4: Martelos do Shredder	9
Figura 5: Esquema simplificado dos estágios de reciclagem de veículos e geração de resíduos	11
Figura 6: Distribuição de materiais no resíduo do processo de trituração (Shredder)	12
Figura 7: Distribuição de diversos elementos no ASR em frações com tamanhos diferentes.....	15
Figura 8: Índices de reciclabilidade, recuperabilidade e reutilização para veículos novos a serem atingidos nos próximos anos.	18
Figura 9: Fluxograma da metodologia experimental da pesquisa	32
Figura 10: Processo de trituração de sucata e os resíduos gerados.	33
Figura 11: Amostragem realizada na saída final do processo.	34
Figura 12: Quarteamento da amostra.	34
Figura 13: Fotografias mostrando o aspecto geral do Fluff antes e após a separação granulométrica.....	45
Figura 14: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 1.	45
Figura 15: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 2.	46
Figura 16: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 3.	46
Figura 17: Amostra do fluff em granulometria inferior a 2 mm em lupa petrográfica. Aumento de 50X.....	47
Figura 18: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 1.	51
Figura 19: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 2.	51
Figura 20: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 3.	52
Figura 21: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 a mm da amostra 1.	56
Figura 22: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 a mm da amostra 2.	56
Figura 23: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 mm da amostra 3.	56
Figura 24: Resíduo do triturador de sucata fração > 2,0 mm.....	57
Figura 25: Composição em massa de materiais na fração do fluff com granulometria > 2 mm.	58
Figura 26: Fração não identificada do material, predomínio de materiais com granulometria entre 2 e 8 mm. .58	
Figura 27: Imagens da amostra > que 2mm antes e após o processo de micronização, bem como a distribuição granulométrica média do material.....	59
Figura 28: Resultados do ensaio termogravimétrico da fração > 2 mm.	61
Figura 29: Equipamento de separação dos resíduos do triturador de sucata.....	63
Figura 30: Composição de materiais na fração do fluff com granulometria > 100 mm.....	78
Figura 31: Diversas frações do Fluff > 100 mm	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de resíduos de uma usina siderúrgica semi-integrada	6
Tabela 2: Exemplos de composição típica do resíduo ASR	13
Tabela 3: Composição típica do resíduo do shredder – Principais elementos	13
Tabela 4: Composição típica do resíduo do shredder – outros elementos	14
Tabela 5: Composição do ASR em comparação com outros resíduos (base seca)	15
Tabela 6: Densidade das diferentes frações do ASR.....	21
Tabela 7: Métodos térmicos comparados e a relação dos materiais produzidos	24
Tabela 8: Tecnologias e processos híbridos para o processamento do ASR	25
Tabela 9: Tecnologias e estudos já Realizados com o Resíduo do Shredder	26
Tabela 10: Legislação aplicada aos resíduos do Shredder.	29
Tabela 11: Programa de aquecimento utilizado no forno de micro-ondas.....	37
Tabela 12: Comprimentos de onda utilizados para cada elemento no ICP OES.....	38
Tabela 13: Condições operacionais do sistema de piroidrólise.....	39
Tabela 14: Balanço de massa no dia de estudo no equipamento triturador de sucata.....	43
Tabela 15: Porcentual em massa de material abaixo de 2,0 mm e acima de 2,0 mm em três amostras de Fluff recolhidas no triturador de sucata.	44
Tabela 16: Análise de massa específica real e aparente da fração < 2,0 a mm.....	46
Tabela 17: Perda ao fogo e teor de umidade na fração < 2,0 mm.	47
Tabela 18: Análise elementar completa nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.....	48
Tabela 19: Análise de alguns elementos ambientalmente disponíveis nas três amostras de Fluff < 2,0 a mm.	49
Tabela 20: Análise elementar semi-quantitativa FRX nas três amostras de Fluff < 2,0 a mm.....	50
Tabela 21: Compostos cristalinos identificados por DRX nas frações < 2,0 mm.....	50
Tabela 22: Resultados dos ensaios de lixiviação nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.....	52
Tabela 23: Resultados dos ensaios de solubilização nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.	53
Tabela 24: Valores de metais médios, totais e ambientalmente disponíveis, da fração do fluff < 2,0 mm; e valores de prevenção e investigação de solos conforme a Resolução Conama 420/2009.	54
Tabela 25: Análise de massa específica real e aparente da fração > 2,0 a mm.....	57
Tabela 26: Análise elementar das três amostras de “fluff” do triturador de sucata em granulometria > 2 mm.	60
Tabela 27: Perda ao fogo, teor de umidade, PC na fração > 2,0 mm.	61
Tabela 28: Investimentos necessários para implantação do projeto.	64
Tabela 29: Despesas mensais com o projeto implementado.....	65
Tabela 30: Receitas mensais com o projeto implementado.	65
Tabela 31: Receita total após a implementação do projeto	65

LISTA DE ABREVIATURAS

ABM – Associação Brasileira de Metalurgia
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV – Análise do Ciclo de Vida
ASR – Auto Shredder Residue
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
EPA - Environmental Protection Agency
FEA – Forno elétrico a arco
g – grama
IABr – Instituto Aço Brasil
IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia
LASID – Laboratório de Siderurgia
LEAMET – Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia
mm – milímetros
NBR – Norma Brasileira Registrada
PE - Polietileno
PP - Polipropileno
PVC - Policloreto de vinila
RT – Resíduo de trituração
S – Enxofre total
S/A – Sociedade Anônima
t – toneladas
TGA – Análise Termogravimétrica
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VFV – Veículos em fim de vida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Siderurgia e Meio Ambiente.....	4
2.2. Triturador de sucata.....	7
2.3 Características do Resíduos do Shredder.....	10
2.4 Destinação e Aproveitamento do Resíduo do Shredder.....	16
2.4.1 Recuperação de materiais para reciclagem em produtos primários.....	19
2.4.2 Recuperação de materiais para reciclagem em produtos secundários.....	20
2.4.3 Reciclagem Mecânica e Recuperação de Materiais.....	20
2.4.4 Cimenteiras.....	21
2.4.5 Combustão/Recuperação Energética.....	21
2.4.6 Reciclagem Química.....	23
2.5 Cenário nacional de reciclagem de veículos.....	29
3. EXPERIMENTAL.....	32
3.1 Resíduo do triturador de sucata.....	32
3.2 Amostragem.....	34
3.3 Separação granulométrica.....	35
3.4 Caracterização das amostras.....	35
3.4.1 Classificação granulométrica.....	36
3.4.2 Análise densimétrica.....	36
3.4.3 Análise Visual em Lupa Petrográfica.....	36
3.4.4 Composição dos Materiais.....	36
3.4.5. Análise elementar.....	37
3.4.6 Análise elementar por FRX.....	39
3.4.7 Análise mineralógica por DRX.....	40
3.4.8 Perda ao fogo, teor de umidade e poder calorífico.....	40
3.4.9 Análise termogravimétrica.....	41
3.4.10 Ensaio de Solubilização e Lixiviação.....	41
3.5 Análise da viabilidade econômica do investimento.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Quantificação dos resíduos gerados no Shredder.....	43
4.2 Separação granulométrica do material.....	44

4.3 Caracterização das amostras com granulometria inferior a 2 mm.....	45
4.4 Caracterização das amostras com granulometria superior a 2 mm	55
4.5 Tecnologia de Separação do Resíduo do triturador.....	62
4.5 Avaliação econômica da viabilidade de separação do resíduos do triturador de sucata	64
5 CONCLUSÕES	67
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70
ANEXO 1 - Quantificação do Fluff > 100 mm.....	78
ANEXO 2 – Índice Econômico IGP-M.....	80

1 INTRODUÇÃO

O aço é um produto de grande importância na dinâmica da atividade humana. Apresenta um papel determinante na economia, sobretudo por figurar como um elemento essencial para o encadeamento de diversas cadeias produtivas.

A indústria siderúrgica é grande consumidora de energia e de materiais e é responsável pela geração de significativo volume de resíduos sólidos bem como de efluentes líquidos e gasosos. Nas usinas semi-integradas, a matéria-prima básica é a sucata e utiliza-se a energia elétrica no processo de fusão. As siderúrgicas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.130 kg de sucata para produzir 1.000 kg de aço bruto (CIUCCIO, 2004).

Nas usinas semi-integradas, são gerados também diversos resíduos, tais como escórias, carepa de laminação, pó de aciaria, lodo de estações de tratamento de efluentes e resíduos dos trituradores de sucata. Em 2009, o setor siderúrgico brasileiro (usinas integradas e semi) gerou cerca de 19 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos, com uma relação de 640 kg de resíduos por tonelada de aço produzido (IBS, 2010). Deve-se ressaltar que na última década houve um aumento crescente no consumo mundial de metais, motivado pelo crescimento da atividade econômica em países emergentes. Isso conduziu a um incremento da produção siderúrgica, causando também um aumento proporcional na geração dos resíduos decorrentes desta atividade.

Os equipamentos trituradores de sucata, também denominados de “Shredders”, surgiram da necessidade de processar sucata com grande produtividade e baixo nível de poluição ambiental (MOURÃO, 2007). Os “Shredders” têm a função de triturar veículos inteiros ou qualquer outro utensílio que contenha metais combinados com outros materiais (como geladeiras, aparelhos de ar condicionado, lavadoras, etc.) e separar a fração metálica ferrosa da fração metálica não ferrosa e dos materiais não metálicos (ABM, 2004; CIUCCIO, 2004).

Os equipamentos trituradores de sucata proporcionam a entrega de sucata ferrosa fragmentada com elevada limpeza. Entretanto, no processo de separação, são gerados resíduos não aproveitados pela indústria siderúrgica. Este resíduo é denominado de “resíduo do shredder”, “fluff” ou “auto shredder residue” (ASR). Para cada tonelada de material metálico separada pelos Shredders, aproximadamente 227 quilos de resíduos (“fluff”) são produzidos. O resíduo é bastante heterogêneo e contém plásticos (termoplásticos, termo

fixos e espuma de poliuretano), borracha, papel, tecidos, vidro e areia (HOFFMAN, 1993). No Brasil, com exceção da fração metálica não ferrosa, que é recolhida por recicladores de metais, o resíduo do “shredder” não é aproveitado. Grandes volumes deste resíduo são gerados nas siderúrgicas, sendo em sua grande maioria destinados a aterros de resíduos industriais, porém nos últimos anos diversos estudos estão sendo desenvolvidos visando o seu aproveitamento (ZEVENHOVEN & SAEED, 2003). Em princípio, a reutilização do “fluff” e o aproveitamento energético são práticas mais vantajosas do que a disposição final em aterros, tanto em termos ambientais como econômico (BOUGHTON & HORVATH, 2006; MORIOKA et al., 2005).

No atual momento, a indústria siderúrgica considera o foco ambiental como parte de sua estratégia competitiva, valoriza economicamente seus resíduos e diversifica o seu mercado consumidor. Por isso, há a necessidade do desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de resíduos até então sem alternativas de reciclagem. Neste contexto, as principais estratégias de reciclagem podem ser divididas em quatro tipos: (a) separação ou recuperação dos materiais reciclados dos resíduos do shredder; (b) incineração com ou sem recuperação energética; (c) conversão dos materiais em combustível líquido ou gasoso via pirólise e/ou gaseificação da matéria orgânica; (d) conversão química e termoquímica dos materiais em outros produtos (JODY et al., 2006). Como os resíduos de trituração são ricos em polímeros e outros hidrocarbonetos, todos os quatro tipos de reciclagem podem ser aplicados.

Por fim, em um contexto de aumento de produção de aço e conseqüente aumento de resíduos e de uma legislação cada vez mais rigorosa, o reaproveitamento diminuiria os passivos ambientais e os custos de disposição de resíduos em aterros. Propiciaria também um aumento do desempenho econômico e ambiental da indústria siderúrgica, melhorando a sua imagem perante o poder público e a sociedade.

Considerando o exposto acima, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar o resíduo de um triturador de sucata ~~e/ou~~, também chamado de equipamento Shredder, proveniente de uma empresa siderúrgica da região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul, realizando uma avaliação técnica, econômica e ambiental visando à possibilidade de reaproveitamento do resíduo gerado.

Os objetivos específicos foram:

- a) caracterizar qualitativamente e quantitativamente o resíduo do triturador de sucata e/ou resíduo do Shredder;
- b) estudar possibilidades de separação, aproveitamento de materiais e destinação do resíduo;
- c) propor alternativas de aproveitamento das diferentes frações do material;
- d) realizar uma análise econômica preliminar para uma planta de processamento do resíduo do triturador na separação das frações em escala industrial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Siderurgia e Meio Ambiente

O aço é um material com intensa aplicação nas atividades humanas. Trata-se de uma liga de ferro com carbono e outros metais em proporções variadas, conforme o tipo e a finalidade de sua utilização. A indústria produtora de aço é a indústria siderúrgica, que engloba os processos de obtenção de produtos à base de ferro como, por exemplo: ferro gusa, ferro-esponja, semi-acabados e laminados de aços. O aço é a principal fonte de material básico das indústrias, especialmente aquelas ligadas a bens de consumo duráveis como indústria automobilística, construção civil, bens de capital, máquinas, equipamentos, eletrodomésticos, utilidades domésticas, entre outras. Uma fatia expressiva da economia mundial é dependente da indústria siderúrgica.

Existem dois tipos de usinas: integrada e semi-integrada. Usina integrada é aquela cujo aço é obtido a partir de ferro primário, isto é, a matéria-prima é o minério de ferro, que é transformado em ferro na própria usina, nos altos fornos; o produto dos altos-fornos, chamado ferro-gusa, é transformado em aço através da operação de conversão. Usina semi-integrada é aquela cujo aço é obtido a partir de ferro secundário, isto é, a matéria-prima é a sucata de aço, não havendo necessidade da etapa de redução do minério de ferro. O parque produtor de aço brasileiro, um dos mais modernos do mundo, é constituído de 25 usinas, sendo 11 integradas (produção a partir de minério de ferro) e 14 semi-integradas (produção a partir da reciclagem de sucata) (CSN, 2008). Na última década, a produção brasileira de aço que era de 25 milhões de toneladas passou para 35 milhões de toneladas nos últimos 12 meses (IABr, 2012).

No Estado do Rio Grande do Sul, há somente usinas semi-integradas, que operam com fornos elétricos a arco (FEA). Em plantas siderúrgicas semi-integradas, a aciaria é a área responsável pela transformação em aço das matérias-primas, tais como sucata, ferro-gusa, ligas metálicas e demais insumos. O aço produzido é utilizado para usos industriais (cantoneiras, barras redondas, chatos), construção civil (vergalhões) e produtos agropecuários (cercas, arames farpados), entre outros. Visualiza-se na Figura 1 as principais operações de fabricação do aço em linhas de produção de uma usina semi-integrada.

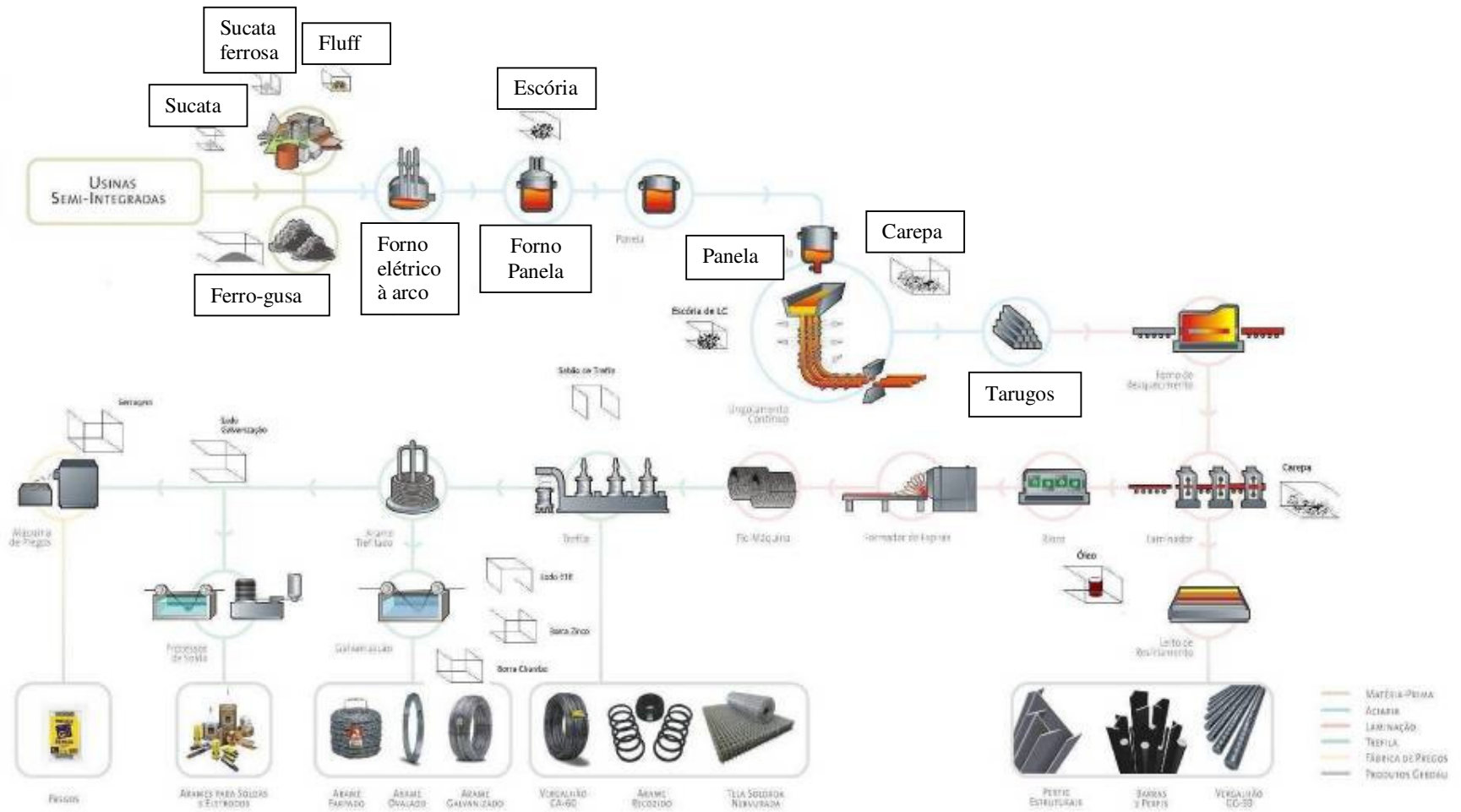


Figura 1: Fluxograma de uma Usina Semi - Integrada.
 Fonte: Site IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia (2010).

Contudo, a atividade siderúrgica, se não controlada, pode causar grandes impactos ambientais. A produção de aço em escala mundial é responsável por um alto consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis: minérios, carvão, água, gases industriais, óleos e lubrificantes, energia, sucatas. Gera também uma série de resíduos, tais como: escórias, pós de emissão de materiais particulados, carepas, resíduos dos trituradores de sucata e gás carbônico.

A quantidade total de resíduos gerados por uma usina siderúrgica integrada a coque situa-se em torno de 700 kg/t de aço líquido (PEREIRA, 1995). A um nível de produção mundial de 700 milhões de toneladas ano, pode-se supor que a geração anual de resíduos é de cerca de meio bilhão de toneladas. Nas usinas integradas os resíduos gerados encontram maiores opções para retorno ao processo produtivo. Nestas instalações são empregados dois equipamentos que permitem a reciclagem de materiais contendo ferro, o alto-forno e os convertedores à oxigênio. O alto-forno é o equipamento redutor presente na maioria das usinas integradas. Atualmente, é muito comum executar o retorno de alguns tipos de resíduos ao processo via pelotas ou sinter (BATISTA, 2008; TARCIZO, 2008).

Nas usinas semi-integradas também são gerados diversos resíduos, tais como escórias, carepa de laminação, pó de aciaria, lodo de estações de tratamento de efluentes e resíduos dos trituradores de sucata. Em 2009, o setor siderúrgico das usinas semi-integradas no Brasil gerou cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos, o que representa 400 kg/t de aço produzido (IBS, 2010). A Tabela 1 apresenta a geração dos principais resíduos de uma indústria siderúrgica semi-integrada entre os anos de 2006, 2007 e 2008. Em destaque, o resíduo do Shredder, foco do presente trabalho.

Tabela 1: Geração de resíduos de uma usina siderúrgica semi-integrada
Fonte: RECKZIEGEL, 2009

Gerado	2006		2007		2008		Média 2006/2008	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Total Gerado	110.264	100	122.122	100	118.207	100	116.864	100
Escória	55.933	51	47.240	39	42.488	36	48.554	42
Shredder	22.979	21	36.526	30	44.886	38	34.797	30
Escoria LC	11.212	10	9.139	7	7.584	6	9.312	8
Carepa	5.739	5	7.924	6	7.997	7	7.220	6
Pó de aciaria	5.528	5	4.857	4	3.366	3	4.584	4
Refratários	1.391	1	2.914	2	2.820	2	2.375	2
Lodo da ETE	1.782	2	541	0	1.735	1	1.353	1
Outros	5.700	5	12.981	11	7.331	6	8.671	7

Aliar crescimento econômico com uma produção limpa é um dos grandes desafios do setor (BUTLER & HOOPER 2005). Alguns dos resíduos sólidos decorrentes da produção de aço, devido à possibilidade de valorização comercial, estão sendo denominados de co-produtos (PÉRET et al., 2008). Servem de matéria-prima para diferentes produtos como concreto, cimento, fertilizantes e como substituição à brita na pavimentação rodoviária.

O setor siderúrgico brasileiro tem investido continuamente no desenvolvimento de práticas de gestão e operação que possibilitem o aprimoramento do desempenho ambiental de suas atividades. Tem havido um esforço contínuo das empresas para reduzir o consumo das diferentes matérias-primas e estabelecer processos cada vez mais eficientes. Tais iniciativas costumam trazer resultados significativos, tanto do ponto de vista econômico, reduzindo custos, quanto ambiental, minimizando o uso de recursos naturais não renováveis e os impactos sobre a natureza.

A reciclagem dos resíduos de uma indústria siderúrgica não é um processo trivial, pois demanda alterações de ordem tecnológica, organizacional e gerencial. As decisões de investimento para a solução de problemas ambientais é embasada, na maioria dos casos, em indicadores de ordem econômica; pois a despeito dos benefícios gerados, há uma demanda de investimentos e custos operacionais.

Dentre todos os resíduos gerados nas usinas semi-integradas, o resíduo escolhido para detalhamento e estudo na presente dissertação é o resíduo do Shredder, o segundo em maior volume de geração e sem alternativas de reciclagem até o momento.

2.2. Triturador de sucata

As rotas tecnológicas para a produção do aço evoluíram muito ao longo do século XX, principalmente no pós-guerra, visado sempre aumentar a produtividade e o retorno dos investimentos e, concomitantemente, tornar os processos siderúrgicos energeticamente mais eficientes. Outra tendência da siderurgia mundial tem sido a de procurar reciclar volumes crescentes de sucata ferrosa, que é empregada como matéria-prima para a produção do aço (FRUEHAN, 2000).

O aço é o produto mais reciclável e reaproveitado no mundo. Quando finda sua vida útil, todos os produtos tornam-se sucatas que retornam aos fornos da usina para a produção de aço com a mesma qualidade (IBS, 2010). Anualmente, a indústria de reciclagem de metais

reaproveita aproximadamente 60 000 toneladas de sucata para a produção de produtos de aço.

Gunn (2005) informa que, sendo a sucata o insumo empregado em maior quantidade e com grande valor agregado, é de interesse que ela chegue ao forno com um baixo nível de impurezas e dimensões adequadas para evitar a ocorrência de interrupções no processo de fusão, como as causadas por sucata com comprimento acima do especificado, baixa densidade e consumo de energia. Caso o volume carregado ultrapasse a borda, o fechamento da abóboda – tampa superior do forno – fica prejudicado, e o tempo gasto para retirada da sucata excedente é contabilizado como interrupção.

Dessa demanda surgiu a necessidade de investimentos em trituradores de sucata, a fim de fragmentar a sucata e com isso retirar a maior quantidade de impurezas do material.

De acordo com Wientzek (2003), até a metade do século passado, as ferramentas para corte de sucata se resumiam a tesouras e serras manuais, e a pequenas guilhotinas com acionamento mecânico. Após o final da Segunda Guerra Mundial, enormes quantidades de sucata foram geradas, principalmente as de origem bélica e armações de aço da construção civil. Esse novo panorama, aliado ao aquecimento das economias do pós-guerra, gerou uma nova demanda: a criação de equipamentos mais robustos para o corte de sucata, os quais permitissem o processamento de materiais mais longos e espessos, mais resistentes e com maior produtividade. Ao longo dos anos, os equipamentos foram aperfeiçoados, maiores forças de corte foram obtidas e as tesouras hidráulicas evoluíram para as atuais prensas tesoura e equipamentos trituradores que possibilitam realizar, além do corte, também a prensagem da sucata em fardos com dimensões predefinidas, limpeza do material entre outros benefícios.

O triturador de sucata (equipamento também denominado no setor metalúrgico como “Shredder”) tem a função de triturar sucata e separar a fração metálica ferrosa. Na maioria dos países, a principal fonte de sucata é o automóvel obsoleto. Porém, o processo recebe também outros itens como geladeiras, aparelhos de ar condicionado, lavadoras, etc. O equipamento triturador de sucata garante: (a) entrega da sucata fragmentada com elevada pureza; (b) minimização na geração de resíduos em etapas posteriores do processo; e (c) a possibilidade de obter subprodutos passíveis de venda, como o cobre e alumínio (CIUCCIO, 2004).

A sucata processada no Shredder deve atender algumas exigências como a densidade

e a porcentagem de impurezas, que se traduzem em redução de custos. A Figura 2 mostra a visão geral da planta do Shredder e as Figura 3 e 4 apresentam, respectivamente, a vista geral do sistema de rolos de alimentação e o modelo de funcionamento dos martelos do Shredder.

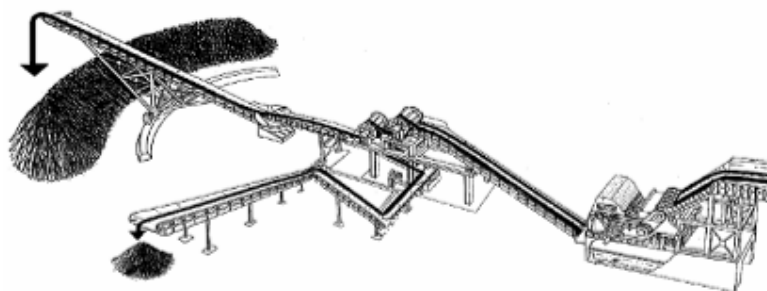


Figura 2: Vista parcial da planta do Shredder
Fonte: CIUCCIO (2004)

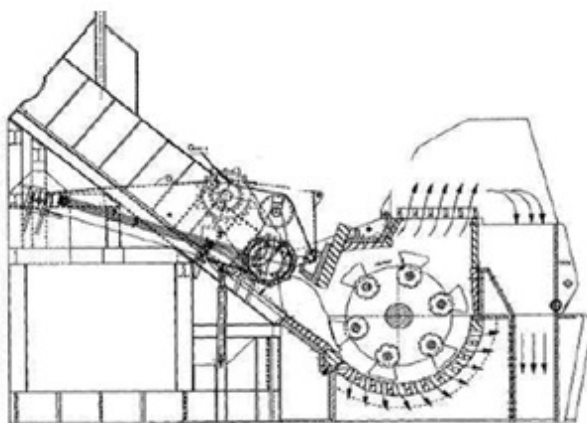


Figura 3: Sistema de rolos de alimentação
(housing do Shredder)
Fonte: JODY et al. (2006)

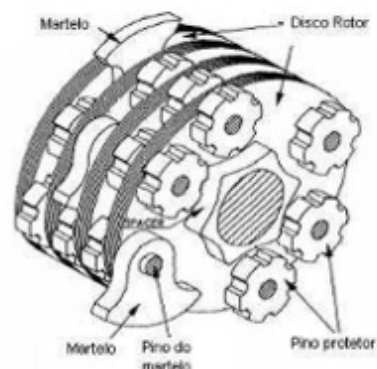


Figura 4: Martelos do Shredder
Fonte: JODY et al.(2006)

Os principais componentes da planta Shredder, ilustrada na Figura 2, segundo Jody. et al., (2006) são:

1) Shredder housing (conjunto de trituração), ligado à rampa de alimentação e aos rolos alimentadores do triturador, ou seja, o triturador propriamente dito, com todo o sistema de fragmentação e sistema vibratório para coleta da sucata processada (Figura 3)

2) Motor elétrico principal de alta potência, para impulsionar o rotor.

3) Sistema de correias transportadoras para separação e coleta de sucata fragmentada e subprodutos (não metálicos e metálicos não ferrosos).

Segundo Keller (2003), o triturador é um moinho de martelos com potência de 3.000-8.000-HP que tritura veículos e outras sucatas contendo metais. As próximas etapas do processo de trituração podem variar para cada equipamento. Basicamente, essas operações envolvem a classificação por densidade para separar as frações leves, estágios de separação magnética para recuperar os metais ferrosos e operações baseadas no efeito “Eddy-current” para recuperar os metais não-ferrosos. Operações de peneiramento permitem a separação dos materiais em diferentes granulometrias. Esteiras transportadoras são usadas para mover materiais entre as diferentes etapas e para disposição dos diferentes materiais em locais específicos.

Através dos trituradores de sucata, milhões de toneladas de aço e metais não-ferrosos são recuperados. Porém, o processo gera resíduos não aproveitados, composto por uma mistura de vidro, plásticos, tecidos, madeira, borracha e óxidos metálicos. O destino de grande parte desses resíduos ainda é o aterro industrial.

A reciclagem ou reuso do resíduo do “shredder” é um dos grandes desafios do setor. Essa abordagem é importante tanto por questões ambientais como econômicas (MORIOKA et al., 2005; BOUGHTON & HORVATH, 2006).

2.3 Características do Resíduos do Shredder

O Resíduo do Shredder é a fração fragmentada de um veículo ou qualquer tipo de sucata, no fim do seu ciclo de vida, para os quais as rotas de reciclagem pouco existentes. Esse resíduo também é denominado de “Auto Shredder Resíduo (ASR)”, “Shredder Fluff (SF)”, Resíduos de Trituração (RT) ou simplesmente "Auto Fluff" ou "Fluff".

Em países como Alemanha, a trituração ocorre após a remoção de várias partes recicláveis dos automóveis, tais como pára-choques, “air bags”, baterias, tanques de combustível e pneus. O resíduo do shredder é a fração não metálica do triturador de sucata. A fração metálica ferrosa é a matéria prima para o processo siderúrgico e a fração metálica não ferrosa geralmente é comercializada para outros setores da metalurgia. O resíduo do triturador é uma mistura complexa de plásticos (rígidos e espuma), borracha, vidro, madeira, papel, couro, têxtil, areia, além de sujeiras. Existe, porém, ainda uma significativa fração de metais (KELLER, 2003).

Pasel e Wanzl (2003) estudaram a composição típica de veículos e seus resíduos

gerados. Os resultados mostram que 9,3% da massa de um veículo é composto de plásticos e que 7 a 8% da massa do veículo é composto por borracha. A fração mais significativa é de metais: 64% de ferro e aço, 6% de alumínio e 6% ainda de pequenas quantidades de cobre, chumbo e outros. Os fluidos, somando cerca de 5%, são normalmente retirados antes da trituração.

A Figura 5 exemplifica os estágios de reciclagem de veículos e a geração de resíduos desse processo. Nota-se que, para um veículo de peso 1200 kg, 100 kg são compostos de fluidos, bateria etc. e peças que podem ser reutilizadas. Aproximadamente 800 kg são formados pela parte metálica do veículo e que podem ser facilmente reciclados. Os 300 kg restantes são resíduos de materiais diversos e de difícil reciclagem, cujo destino varia de país para país (LOHSE, SANDER & WIRTS, 2001). Segundo Hoffmann, (1993), para cada tonelada de material metálico separados pelos “Shredders”, aproximadamente 227 kg de resíduos são produzidos.

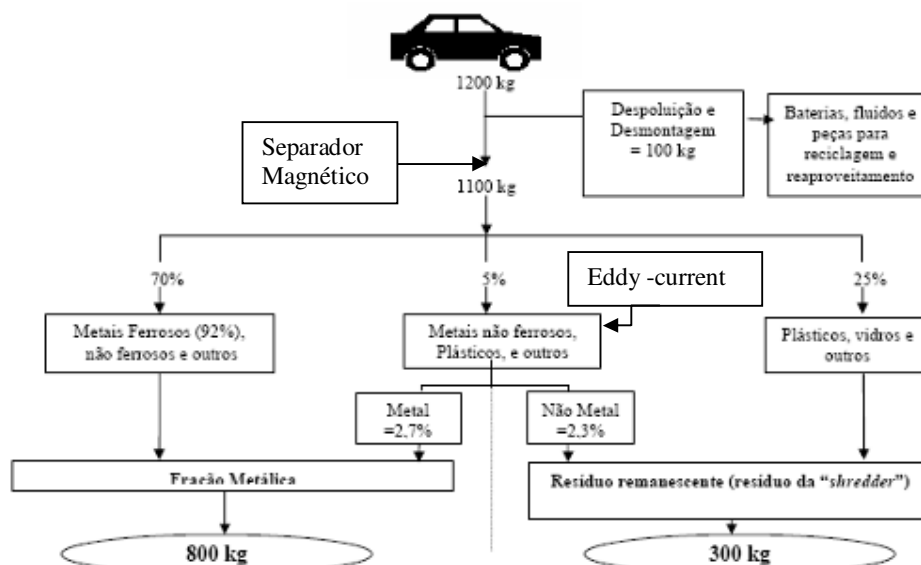


Figura 5: Esquema simplificado dos estágios de reciclagem de veículos e geração de resíduos
Fonte: LOHSE, SANDER & WIRTS (2001).

Contudo, deve-se levar em consideração que a massa de um automóvel médio diminuiu muito durante as décadas 1970 e 1990. Por exemplo, em 1977 a massa média de um carro era 1663 kg, contendo em torno de 76 kg de plásticos. Em 1987 a média caiu para 1442 kg, sendo empregados 100 kg de plásticos. Em 1992 a média do automóvel ficou em 1422 kg, sendo 110 kg de plásticos. Esses números se mantiveram constantes desde 1998

(JODY et al., 2006). Essas mudanças são principalmente devido a diminuição de ferro e aço, zinco, chumbo e borracha. Porém, houve um aumento considerável na utilização de materiais como alumínio, plásticos (ABS, nylon, PE, PP e PU) e cobre. O uso de PVC manteve-se entre 7 e 12 kg por automóvel de 1200 kg tipicamente (DAS, 1995).

A Figura 6 apresenta a distribuição de materiais no resíduo do Shredder em estudos de Bellmann (2000). Pode-se observar a presença plásticos, elastômeros, materiais inertes, vidros, materiais têxteis, materiais de revestimento, fibras de madeira e metais.

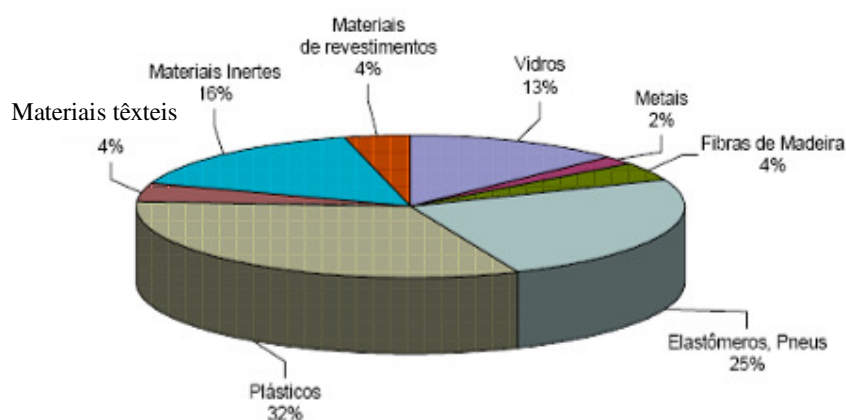


Figura 6: Distribuição de materiais no resíduo do processo de trituração (Shredder)
Fonte: BELLMANN (1999)

Composições típicas de frações do Auto Shredder Resíduo (ASR), retirados da literatura por Jody et al. (2006), podem ser vistos nas Tabelas 2, 3 e 4. Pode-se observar que o resíduo apresenta uma variabilidade muito grande de materiais dependendo do estudo e que há diferentes abordagens de classificação entre os autores. Mas é possível verificar que predominam materiais como plástico, elastômeros, fibras, vidros, poeiras, materiais inertes e eventualmente fluidos como óleo e água.

Em relação à composição elementar também varia bastante. Há um predomínio dos elementos C, H, O; devido aos materiais poliméricos de origem orgânica. A presença de silício também é alta, decorrente da presença de vidros e areia. Em relação aos metais predomina o ferro, mas também há quantidades significativas de metais como alumínio, cobre, níquel, zinco, cromo e chumbo. As quantidades de nitrogênio, enxofre e cloro também são substanciais.

Tabela 2: Exemplos de composição típica do resíduo ASR

Fonte: JODY et al. (2006)

Tipo de Material x Autor	KELLER, 2003	GALVAGNO, 2001	DAS, 1995	MIRABILE, 2002	LANOIR, 1997	AMBROSE, 2002
<i>Plásticos</i>	30-48	20	21,5	41	-	33
<i>Plásticos (espuma)</i>	-	-	-	-	-	15
<i>Elastômeros (incluindo borracha)</i>	10-32	20	5,3	21	2,6	18
<i>Fibras (têxtil, madeira, papel)</i>	4-26	25	53,7	10	-	10
<i>Tintas, vernizes</i>	3-10	-	-	5	-	-
<i>Metais</i>	20	-	8,1		13,5	3
<i>Vidro, cerâmica, material elétrico</i>	3-16	-	3,5	19	-	-
<i>Poeira, solo, etc</i>	10-20	-	-	-	-	-
<i>Inertes (areia, vidro, rocha)</i>	-	35	-	-	-	-
<i>Outros (mistura materiais)</i>	-	-	7,9	4	0,6	21
<i>Óleos, água</i>	15-17	-	-	-	-	-

Tabela 3: Composição típica do resíduo do shredder – Principais elementos

Fonte: JODY et al. (2006)

% em massa	KELLER, 2003	TROUVE, 1998	RAUSA, 1997	PATIERNO, 1998	KONDOH, 2001	ROY, 2001	MIRABILE, 2002	DAS, 1995	MARK, 1999	SAXENA, 1995
C	43,67	50,8	56,6	17,5	60,2	32,8- 45,1	44,5	30	-	39,7
H	5	6,5	7,9	2,1	6,6	4,1-6,1	5,3	3,7	-	4,6
N	0,9	3	2,7	0,5	1,7	0,6-3,1	4,5	1,7	-	0,92
O	-	-	21,4	17,4	7,8	-	6,9	7	-	11,8
S	0,6	0,3	0,2	0,25	-	0,2-1,0	0,2	0,3	-	0,25
Cl	1,8	3,7	-	0,05	2,5	0,1-3,4	0,5	1,4	1,25	-
Al	2	-	-	-	-	0,74-10	-	-	1,85	-
Ba	0,58	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,0012
Ca	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	1,1	1,6	-	-	-	0,5-7,1	1,2	-	1,48	-
Fe	14,1	-	-	-	-	0,9-15	25,7	13	13,65	-
K	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,87	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
Mn	0,1	-	-	-	-	-	-	-	0,11	-
Na	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-
Pb	0,51	0,14	-	-	-	0,2-0,6	0,2	-	0,5	0,01
Si	7,7	-	-	-	-	2,1	9,5	-	-	-
Ti	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	-
Zn	0,9	1,2	-	-	-	0,8-6,1	1,9	-	-	-

Tabela 4: Composição típica do resíduo do shredder – outros elementos

Fonte: JODY et al. (2006)

Peso mg/kg	KELLER, 2003	ROY, 2001	MIRABILE, 2002	DAS,1995	MARK,1999	SAXENA,1995
As	-	-	-	-	20-50	11
Ag	-	-	-	-	<6	-
Br	-	-	-	-	-	-
Cd	61	50-80	-	14-200	<85	160
Co	-	-	-	-	<33	-
Cr	1200	50-660	800	1000-1800	247-770	280
F	-	-	500	-	-	-
Hg	2,1	-	-	0,7-15	<4,9	1,6
Ni	1200	130-930	-	400-1500	-	-
Pb	-	-	-	-	1100 - 11000	-
Sb	-	-	-	180-3200	-	-
Se	-	-	-	-	-	5,8
Sn	67	-	-	-	130-400	-
V	-	-	-	<150	-	-

Alguns elementos e compostos causam preocupação no resíduo do Shredder, como por exemplo, as bifelinas policloradas, (PCBs), o chumbo e o cromo. Ranta (1999) apresenta valores típicos de 10 - 400 mg de PCB/kg nos resíduos de ASR dos EUA, embora na maioria os resultados abaixo de 100 mg/kg. Das et al. (1995) indica valores de cromo entre 1.000-1.800 mg/kg e Mark (1999) valores de chumbo que variam entre 1.100 mg/kg e 11.000 mg/kg. De acordo com Keller (2003), todos os metais, exceto o mercúrio (Hg) e o cádmio (Cd), os níveis de concentração no ASR são cerca de 10 × maior do que em resíduos sólidos urbanos (RSU). No caso do cobre, o conteúdo é semelhante ao de minérios exploráveis.

Brunner et al. (1999), estudando os resíduos de trituração, fez uma análise de como os diferentes materiais são distribuídos sobre as diferentes classes e tamanhos de partículas ao longo do resíduo final. A primeira constatação é que as partículas maiores, ou seja, (> 30 mm ou > 50mm), contém metais, resíduo têxtil, madeira, plásticos rígidos ou espumas. Para a fração fina, é mais difícil de identificar os materiais.

A Figura 7 mostra os resultados de Brunner et al. (1999) no que se refere a presença dos elementos cloro, cobre, chumbo, cádmio e zinco em diferentes granulometrias. Pode-se observar que o cloro é encontrado em mais de 60% nas frações mais grossas (> 30mm), provavelmente em plásticos do tipo policloreto de vinila (PVC). Em relação aos metais, o cobre predomina nas frações mais grossas, o chumbo nas frações mais finas e o cádmio e o zinco apresenta um comportamento aleatório.

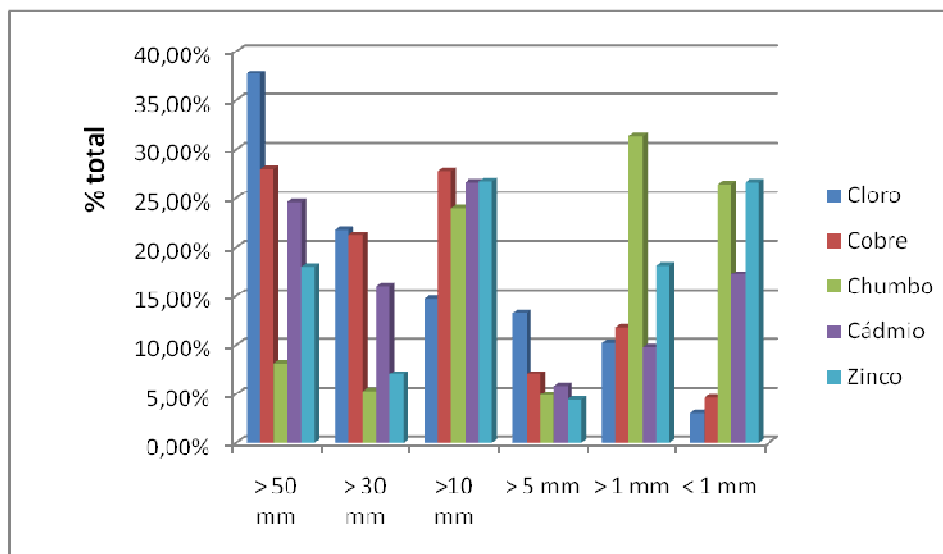


Figura 7: Distribuição de diversos elementos no ASR em frações com tamanhos diferentes
Fonte: BRUNNER (1999)

Brunner et al. (1999) também sugeriu que alguns contaminantes podem ser removidos retirando frações granulométricas. Tecnicamente, a separação granulométrica pode ser feita facilmente e para alguns elementos é claramente vantajosa, como no caso da remoção do cloro.

Pasel e Wanzl (2003) construíram uma tabela comparativa entre o resíduo do Shredder e pneus usados, resíduos sólidos urbanos e lodos de esgotos (Tabela 5). Pode-se observar que os níveis de carbono do resíduo do Shredder é semelhante ao de pneus usados e de resíduos sólidos urbanos. Contudo, o resíduo do Shredder apresenta níveis de cinzas e cloro significativamente maiores que os outros resíduos considerados.

Tabela 5: Composição do ASR em comparação com outros resíduos (base seca)

Fonte: PASEL & WANZL (2003)

%	Resíduo do Shredder	Pneus Usados	Resíduos Sólidos Urbanos	Lodos de Esgoto
C	60-90	80-90	80-90	40-60
H	8-12	6-8	9-10	5-7
N	1-4	<1	<1	1-3
O	5-30	2-3	<1	23-27
S	1-3	1-3	<1	1-2
Cl	2-5	-	0,5	-
Cinzas	50	6	0-5	22
Voláteis	90	50-60	90	60-90

Outra característica do ASR que podem causar riscos ambientais são as propriedades de ignição do material quando estocado em pilhas. Uma série de testes relatados por Horii e Ida (1999) relatam condutividade térmica $\lambda = 0,32 \text{ W/mK}$ para o ASR. Os autores também estimaram que em leiras de 7 a 8 m de altura a combustão espontânea pode ocorrer entre 40-50°C (temperatura de auto ignição). Para pilhas de 2 a 3 m de altura a combustão pode ocorrer a 70-80°C. Por segurança, o autor sugere a pulverização com água como método preventivo da auto-combustão.

Por fim, deve-se enfatizar que a caracterização do material é importante em relação às possibilidades de aplicação do resíduo do Shredder, que podem incluir várias opções que serão a seguir discutidas.

2.4 Destinação e Aproveitamento do Resíduo do Shredder

Atualmente, com exceção de uma pequena parte que é encaminhada para reciclagem ou incinerada, o resíduo do shredder é descartado em aterros, tanto dentro como fora do país, inclusive nos países da União Européia. A diretiva VFV, Veículo em Fim de Vida, menciona que 9 milhões de toneladas de sucata são gerados anualmente, dentro da comunidade européia, o que sugere uma quantidade de 2,5 mil toneladas de ASR (VAN SCHAİK, 2004). Há pouco incentivo para a reciclagem ou recuperação desse tipo de material. A concentração da maioria dos materiais é baixa, com exceção da fração de plásticos que geralmente representa 20-40% em massa. Um dos fatores limitantes para a reciclagem ou recuperação se dá principalmente porque essa fração é composta de quatro polímeros: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC) e poliuretano (PU), o que torna a separação dos materiais complexa (GALVAGNO, 2001).

Uma análise realizada por Das et al. (1995) aborda a reciclagem de componentes de automóveis a partir de impactos energéticos e do ponto de vista do ciclo de vida (ACV). Um aspecto que apresenta constante mudança é a composição de materiais do automóvel. A porcentagem de massa de metais ferrosos nos veículos diminuiu de 73% em 1984 para 64% em 2001; enquanto que a porcentagem de metais não ferrosos aumentou de 5,5% em 1984 para 10% em 2001. Por exemplo, o teor de alumínio duplicou entre 1976 e 1992 e um aumento semelhante ocorreu entre 1992 e 2002. Para os materiais plásticos, a proporção aumentou de 8,5% em 1984 para 10,3% em 2001 (GOMES, 2002).

Durante a década de 1970, dois métodos de disposição de resíduos do Shredder eram praticados: a disposição final em aterro e a incineração. A disposição em aterro continua a ser, de longe, a técnica mais praticada. No entanto, a disposição em aterros já está sendo proibida em algumas partes do mundo. Nos Estados Unidos, alguns estados exigem que resíduos de trituração sejam tratados para imobilizar metais pesados, antes da sua eliminação em aterros industriais. Isso se deve porque as preocupações ambientais sobre estes resíduos estão crescendo cada vez mais, o que onera também os custos de disposição. Por isso, alternativas mais econômicas e ambientalmente aceitáveis são necessárias.

Cerca de 40-50% do resíduo do shredder é baseado em materiais contendo hidrocarbonetos (tais como plásticos, fibras, madeira, papel, alcatrão, óleos e borracha). Essa fração pode ser eliminada ou reduzida significativamente por:

- Separação e recuperação de materiais recicláveis dos resíduos de trituração, tais como plásticos e borracha;
- Incineração, com ou sem recuperação de calor. O poder calorífico dos resíduos do Shredder varia de cerca de 3.000 a 6.000 cal/g, com valores médios de aproximadamente 5.400 cal/g (HUBBLE et al.,1987);
- Conversão para combustíveis líquidos e gasosos, através de pirólise ou gaseificação de seu conteúdo orgânico.

A fração não combustível, que contém vidro, pedras, areia, metais residuais e óxidos de metais também pode ser reduzida através da separação e recuperação dos metais e os seus óxidos.

De acordo com a Diretiva 2000/53/EC, os fabricantes de veículo devem garantir que o veículo seja projetado de maneira a atingir determinados índices de reciclabilidade, reutilização e recuperabilidade. Ficou estabelecido que em 1º janeiro de 2006, todos os veículos colocados no mercado devem atingir um mínimo de 85% em massa no que se refere a reutilização e recuperabilidade. Para 1º de janeiro de 2015 esse valor deve atingir o mínimo de 95%. A Figura 8 resume os índices de reciclabilidade, reutilização e recuperabilidade que os veículos “novos” devem atingir nos próximos anos (DIRECTIVE, 2000/53/EC).

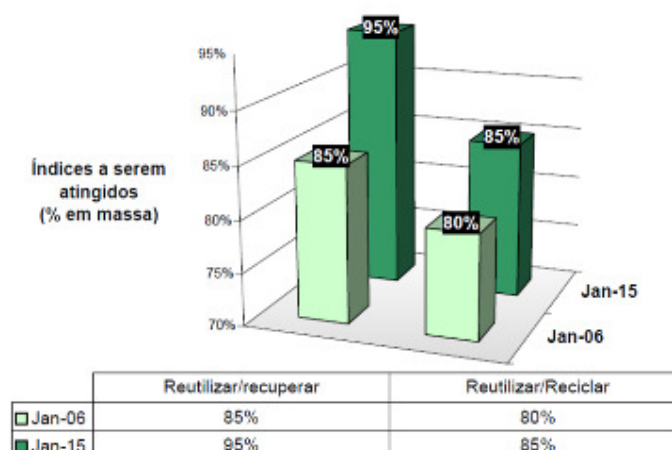


Figura 8: Índices de reciclabilidade, recuperabilidade e reutilização para veículos novos a serem atingidos nos próximos anos.

A diretiva para o fim do ciclo de vida de veículos na Europa tem gerado inúmeros esforços para aumentar o desmanche de veículos e para recuperação de plásticos e de outros materiais (SCHUT, 2001; SCHUT, 2004; CARE, 2005; FORTON, HARDER & MOLES, 2006; GERRARD & KANDLIKAR, 2007). Como resultado, diferentes sistemas de recuperação têm sido estudados (ZEVENHOVEN & SAEED, 2003; NOURREDDINE, 2007). Esforços semelhantes também estão em curso nos EUA, Japão e Austrália (APC, 2005; AMBROSE, 2000; GALLMEYER et al., 2003; GOMES, 2006; KUSAKA & IIDA, 2000; Nissan, 2004; Toyota, 2005; USCAR, 2002).

Os estudos incluem a recuperação de plásticos, o emprego como matéria-prima para produção de energia ou aproveitamento do material para fabricação de cimento (DAY, 1993; BOUGHTON, 2007; KELLER, 2003; WINSLOW et al., 1998, 1999, 2004). Dentro do próprio setor siderúrgico, algumas pesquisas incluem sistemas para processar os resíduos de trituração e atender às especificações como combustível em alto forno (baixo teor de cinzas e baixo teor de enxofre) (APC, 2005; DAS et al., 1995). A utilização de óxidos de metais em aglomerados autorredutores em fornos de fusão é uma outra possível perspectiva de aplicação do resíduo de trituração (SAXENA, 1995).

Butler e Hooper (2005), ressaltam que a redução dos resíduos gerados é de caráter econômico, social e legal, já que entidades de vários países têm adotado políticas cada vez mais rígidas no sentido de fomentar a redução, reciclagem ou reaproveitamento dos resíduos gerados. Para D'Almeida (2000) e Jardim et al. (1995), alguns exemplos de medidas de minimização são a redução na fonte geradora, o reuso dos materiais e a reciclagem, que

visam à ampliação do ciclo de vida do produto, reduzindo a extração de recursos naturais bem como maximizando a vida útil dos aterros sanitários.

A recuperação energética a partir de resíduos pode fornecer um benefício econômico muito significativo para indústrias com alto consumo de energia. O resíduo do shredder seco é cerca de 50% combustível e 50% não combustível (metais, vidros, sujeiras e finos). Alguns estudos foram desenvolvidos avaliando o valor energético do resíduo de trituração e a recuperação de energia em diferentes sistemas (DISLER, 1997; MARK, 1999; SAXENA et al., 1995; ZEVENHOVEN & SAEED, 2003). Algumas separações dos componentes dos resíduos de trituração são necessárias para melhorar o valor energético, bem como para reduzir as cinzas residuais ou remover componentes problemáticos, tais como PVC.

Algumas alternativas para aproveitamento do resíduo do Shredder serão a seguir discutidas.

2.4.1 Recuperação de materiais para reciclagem em produtos primários

Este conceito geralmente se refere à reciclagem de resíduos não contaminados dentro do setor de fabricação industrial. Também poderia aplicar-se à separação individual de componentes a partir de resíduos de trituração de alta pureza, com a intenção de usar esses componentes em uma mistura com matéria-prima virgem. Dean et al. (1985) relatou em um conjunto de experimentos conduzidos pela Bureau of Mines que uma separação de alta à média de plásticos no resíduo do shredder pode ser obtida. Nesses experimentos, foram realizados ensaios de separação por gravidade, onde as amostras eram mergulhadas em água e uma espécie de peneira vibratória retirava os materiais flutuantes. Embora o processo não separasse alguns tipos de plásticos individuais, os testes mostraram que certos plásticos poderiam ser concentrados em diversas frações. Concentrar as várias frações dos resíduos de trituração é necessário para melhorar a viabilidade de qualquer oportunidade de reciclagem, embora a separação utilizando água no processo pode não ser necessariamente a melhor alternativa em virtude do alto consumo de água e geração de efluentes líquidos.

2.4.2 Recuperação de materiais para reciclagem em produtos secundários

Este processo implica na produção de produtos secundários. Os estudos foram desenvolvidos por causa do alto conteúdo de termoplásticos no resíduo do Shredder. A pesquisa mais abrangente sobre a reciclagem secundária de resíduos de trituração foi financiada pela Conversão de Energia e Tecnologias de Utilização (ECUT), ramo da U. S. Department of Energy (PIA, 1987). Termoplásticos representam aproximadamente 70 a 80% dos plásticos totais nos resíduos de trituração. Para aplicações não-críticas, termoplásticos (polipropileno, polietileno e policloreto de vinil) podem ser reaquecidos e remoldados em diferentes produtos, sem a necessidade de alcançarem um alto grau de separação de impurezas. Produtos, tais como bancos de parques, postes de iluminação, estradas, telhas e outros materiais de construção podem ser feitos a partir de resíduos ricos em plásticos. A qualidade dos produtos que podem ser derivado de resíduos de trituração pode ser aumentada por separação parcial de componentes indesejáveis (como vidro, metais e cascalho) e pela adição de plásticos virgens e outros aditivos (PIA 1987; PIA 1980). As principais limitações deste tipo de reciclagem são: (a) o mercado para esses produtos é muito restrito e (b) o custo de fabricação desses produtos secundários não é insignificante. Como resultado, produtos secundários são, na melhor das hipóteses, apenas marginalmente competitivos com os que são feitos de material virgem barato.

2.4.3 Reciclagem Mecânica e Recuperação de Materiais

O processamento mecânico permite separar o resíduo em frações que podem ser recuperados e reciclados. Pode ainda para melhorar a qualidade dos resíduos de trituração através da remoção de substâncias nocivas ou aumentar o poder calorífico do combustível derivado do resíduo.

Uma possibilidade é a separação com base em diferenças de densidade. Processos gravimétricos podem proporcionar a separação do material orgânico (plásticos) dos inorgânicos (metais e vidro). A Tabela 6 lista alguns valores de massa específica de materiais tipicamente presentes no resíduo do shredder (SATTER, 2000).

Tabela 6: Densidade das diferentes frações do ASR
Fonte: SATTLER (2000)

g/cm ³	Cu	FeO	Al	Vidro	Solo	PVC	PA	Borracha	PP	Madeira	Papel
Densidade	8,8	5,17	2,7	2,5	2,4	1,4	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7

Entretanto, devido à complexidade de recuperação dos materiais recicláveis nos resíduos de trituração, esse processo em uma única etapa não é viável. Portanto, a pré-concentração e separação do material são necessárias. Ainda, como o resíduo do shredder é muito heterogêneo e os materiais se sobrepõem em valores de massa específica e formas, processos gravimétricos não são plenamente eficientes, com exceção para os metais.

2.4.4 Cimenteiras

Boughton & Horvath (2006) realizou um estudo com a fração do resíduo do triturador com granulometria inferior a 2,5 mm. O foco do estudo foi na caracterização e aplicação do material como substituto mineral em cimenteiras. O material trabalhado por este autor apresentou índices de Fe de 22%, Si de 17%, Al de 8% e Ca de 4%. Na maioria dos resultados, os valores de Si são maiores que 10% em massa, principalmente devido à presença de vidro. Elementos nocivos para a produção de cimento, como cloro e enxofre, foram determinados por Boughton & Horvath (2006) em níveis de 1,1% e 0,25%, respectivamente. O estudo mostrou que elementos alcalinos como potássio e sódio, em elevadas quantidades, podem também causar problemas de corrosão nas paredes dos fornos.

O limite permitido para utilização de materiais contendo cloro na indústria cimenteira, a fim de evitar corrosão e formação de compostos nocivos é de 0,4% (CEB, 1984). Embora esse limite possa variar de acordo com sua finalidade, há normas ou recomendações de alguns países com valores orientativos. Como exemplo, a norma Americana ACI 318-05, que limita em 0,10% a concentração de íons de cloreto.

2.4.5 Combustão/Recuperação Energética

Este processo envolve a recuperação energética dos resíduos através de incineração e o aproveitamento do calor na produção de vapor e/ou eletricidade. O Resíduo do Shredder pode ser misturado com outros resíduos (como resíduos sólidos urbanos). Testes realizados

nos Estados Unidos e em outros países mostraram que a incineração de resíduos do Shredder é tecnicamente viável (JODY et al., 2001).

Lanoir et al. (1997a) realizaram uma completa caracterização do resíduo do shredder visando a combustão em uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos (MSWIP) ou em um forno de cimento. Quatro características são consideradas mais importantes: poder calorífico, teor de cinzas, teor de cloro e conteúdo de metais. O resultado do estudo apresentou os seguintes valores: poder calorífico de 4.538,1 cal/g, teor de cinzas de 38% em massa, teor de cloro de 3,5% e teores de metais de 22% (incluindo ferro 13%).

Saxena et al. (1995) realizou um estudo sobre a incineração de ASR em um forno de leito fluidizado, com o objetivo de produzir calor e cinzas aglomerantes. Conduziu a combustão de partículas de 5,6 mm em um forno de leito fluidizado piloto reagindo com a alumina a temperatura de 680-870C° e empregou como combustível o propano. Os resultados mostram que em princípio o leito fluidizado para combustão é possível, mas que as emissões gasosas (CO, HCl, NOx, SO₂) podem ser um problema. Houve também flutuações nas características do material de alimentação. Os resultados de emissão indicaram: teor de CO de 1,6% (v/v) até mesmo teor de Oxigênio de 3,6-15% (v/v), indicando a incompleta combustão. Os teores de HCl, NOx e SO₂ foram de 13000 ppmv, 400 ppmv e 1500 ppmv, respectivamente, e variaram com a quantidade de ar, velocidade do gás, temperatura do leito e taxa de alimentação do combustível. Os autores sugerem a utilização de pellets do ASR e a mistura com outro combustível de forma a reduzir as flutuações na composição do material. O pré-aquecimento de ar permitiria também a combustão estável sem a adição de combustível complementar. Em relação as cinzas produzidas, verificou-se que nos testes de lixiviação a liberação dos elementos tóxicos chumbo e cádmio.

Informações sobre o comportamento de um material durante os processos térmicos podem ser obtidos a partir de análise termogravimétrica (TGA). O processo consiste em submeter uma massa de um sólido ou um líquido a um incremento constante de temperatura na presença de um gás que pode ser oxidante, redutor ou inerte. Temperatura final, taxas de aquecimento, composição do gás e muitas vezes também a pressão, podem variar no simulador. Um estudo TGA no resíduo ASR finlandês feito por Ranta (1999) mostraram as seguintes perdas de massa: 20% entre 200-340C°, 63% entre 340-550C°, 5% entre 700-850C° e um teor final de cinzas de 12%.

2.4.6 Reciclagem Química

A reciclagem química pode ser usada para produzir produtos de valor agregado (como solventes, hidrocarbonetos leves, e/ou combustíveis líquidos e gasosos) a partir da fração de resíduos de trituração contendo hidrocarbonetos (plásticos, borracha, papel e madeira) (BANKS, LUSK & OTTINGER 1971; HUANG & DALTON, 1975; BRASLAW & GERLOCK, 1984; CURLEE, 1986; PIA 1987). No entanto, plásticos e borrachas são a principal fonte para esses produtos. Processos que podem ser empregadas para reciclagem química incluem a gaseificação, pirólise, hidrólise, dissolução seletiva, hidrogenação e a de-polimerização.

Gaseificação é definida como uma conversão termo-química de um material contendo carbono, produzindo produtos gasosos. Três tipos principais de reatores de gaseificação estão sendo usados: (a) leitos em movimento (corrente ascendente ou descendente), (b) leitos fluidizados e (c) reatores de leito fixo. Tamanhos de partículas são da ordem de 10 mm, 1 mm e 0,1 mm, respectivamente. Para estes reatores, as temperaturas variam de 400-500°C a mais de 1500°C. Os tempos de residência podem variar de mais de uma hora a menos de um segundo. A gaseificação pode ser realizada com o ar, vapor, oxigênio ou misturas destes (ROY & CHAALA, 2001).

No Japão, Kondoh et al. (2001) realizou um estudo comparando a gaseificação dos resíduos de trituração com outros processos térmicos. Um total de cinco métodos foram comparados e os diferentes produtos obtidos estão listados conforme Tabela 7. A conclusão deste estudo foi que todos os cinco métodos são capazes de processar os resíduos de trituração. Com ajustes no processo, a geração de energia pode ser ainda aumentada, o volume de resíduos reduzidos e a qualidade dos gases emitidos atingir níveis de emissão compatíveis com as exigências ambientais.

Tabela 7: Métodos térmicos comparados e a relação dos materiais produzidos
Fonte: KONDOH (2001)

Método	Tipo	Relação dos materiais produzidos (%)			
		Gás	Residual	Escória	Cinzas
Forno de leito fluidizado	Circulação interna, forno de leito fluidizado	68,3	1,6	-	30,1
Forno Fusão	Coques	66,1	4,5	22,2	7,2
Gaseificação direta	Leito fluidizado + forno fusão	68,8	8,4	19,3	3,5
Gaseificação indireta	Forno tipo gaseificação	46	54	-	
Gaseificação Indireta	Forno tipo gaseificação + craqueamento	56,3	35,3	-	8,4

Pirólise é definida como uma conversão termo-química de um material contendo carbono, sob ausência total ou parcial de um composto reativo gasoso. Vantagens são a temperatura mais baixa o ambiente carente de oxigênio (evitando a formação de NO_x, SO_x e Dioxinas/Furanos) e a produção de combustíveis que podem ser utilizados para conduzir o processo. A desvantagens do processamento do ASR por pirólise é o risco de altos níveis de PCBs que são Bifelinas Policloradas, mais conhecidas como ascareis, extremamente tóxicos ambientalmente, e a formação de resíduos sólidos perigosos, como alcatrão (ZEVENHOVEN & SAEED, 2002).

Especialmente para materiais heterogêneos, como ASR, os métodos mais adequados para tratamento térmico são baseadas nos chamados processos híbridos, tais como:

- forno rotativo de pirólise a baixa temperatura + combustão do gás e/ou resíduos sólidos;
- gaseificação + combustão do gás e/ou resíduos sólidos;
- pirólise a baixa temperatura (grelha) + gaseificação do resíduo sólido em 800-1000°C.

Exemplos disto são os processos PKA, Proler Syngas e muitos outros que são apresentados no relatório de Juniper Consultancy (1997) ou no artigo de (BORN et al., 1998). O relatório geral por Juniper (1997) sobre a pirólise e gaseificação de resíduos da região européia inclui várias tecnologias e processos híbridos que são capazes de processar o ASR. Tabela 8 lista esses métodos e algumas de suas características.

Tabela 8: Tecnologias e processos híbridos para o processamento do ASR
 Fonte: JUNIPER CONSULTANCY (1997)

Nome do processo/ País	Etapas	Produtos
PKA / Alemanha	Pirólise (depois remoção de metais a partir do resíduo) seguido por O ₂ -gaseificação	Metais ferrosos e não ferrosos, gás de síntese, minerais inertes, granulado de escória, HCl, gesso, resíduo scrubber
Proler Syngas/USA (TX)	Pirólise seguido pela vitrificação dos resíduos sólidos	Escória vítrea, metais reciclados, gás de síntese e alguns sólidos inorgânicos
Krupp Uhde Precon/ Alemanha	Gaseificação seguida por tratamento de resíduos sólidos em uma fundição de metais	Fe reciclável, Cu, vidro, gás de síntese, ligas, materiais cerâmicos, minerais, enxofre, HCl, resíduos
Processo Softer/Canadá	Pirólise à vácuo	Combustíveis líquidos, gasosos e sólidos, metais, minerais, cinzas, resíduos
Compact power/ Reino Unido	Pirólise combinada com gaseificação	Cinzas e vapor

A Tabela 9 traz uma compilação sobre as tecnologias que estão em uso corrente ou consolidadas, e as que estão em construção ou desenvolvimento para a reciclagem do resíduo de trituração (ASR).

Tabela 9: Tecnologias e estudos já Realizados com o Resíduo do Shredder
 Fonte: Baseada em JODY et al. (2006), MIRABILE (2002) e ZEVENHOVEN (2003).

Nome do Processo	Fabricante(s), Comitiva	Descrição do Processo	Produtos do Processo	Status atual do processo
Sistema Separação Mecânica Argonne (2006)	Laboratório Nacional Argonne, do USA Departamento de Energia	Sistema mecânico de separação a seco. A planta piloto é capaz de processar até duas toneladas de resíduos de trituração por hora.	90% de recuperação dos polímeros (maior que 6 mm) nos resíduos do shredder e mais de 90% de recuperação dos metais ferrosos residual e não-ferrosos (maior que 6 mm).	Mais de 180.000 quilos de resíduos de trituração foram processados pela planta de separação mecânica Argonne.
Processo de Separação Mecânica Salyp (2004)	USCAR, sob o VRP, juntamente com Argonne, a APC, e a Associação de Plásticos Fabricantes na Europa (APME)	O ASR é transportada em uma esteira de dois estágios. Na primeira fase, finos (<1 / 4 pol) são removidos. Na segunda etapa, o material de granulometria acima de 3 pol são removidos através de peneiras. Os metais ferrosos são recuperados por , eddy current. Os polímeros são triturados em cerca de 5/8 polegadas A madeira é removida do material granulado usando um classificador óptico(a cores). O material é então lavado, e no processo, alguns plásticos, metais residuais e vidro são removidos.	Salyp demonstrou que um concentrado de plásticos pode ser produzido por separação mecânica, através de limpeza e retirada de madeira.	Cem toneladas do resíduo do shredder foram fornecidos a partir de três trituradores de sucata diferentes, incluindo uma máquina trituradora dos EUA e dois diferentes Shredders da Europa.
Injeção em alto forno (2002)	MIRABILE et al. 2002	Analizou o desempenho de ASR como um combustível alternativo em um alto-forno. Testes-piloto e cálculos de modelagem foram feitos para os três casos em que o carvão pulverizado foi substituído em 0,1%, 1% ou 10% com o ASR.	A substituição de carvão por ASR de 1 - 3% não apresenta problemas. O ASR deve ser misturado com o carvão na preparação da carga do forno.	Somente testes pilotos foram realizados.

(Continua)

(Continuação)

Nome do Processo	Fabricante(s), Comitiva	Descrição do Processo	Produtos do Processo	Status atual do processo
Processo Wesa-SLF 2000	SATTLER & LAAGE (2000) e ZEVENHOVEN & SAEED (2003)	O ASR é separado em três frações de diferentes tamanhos: finos (<1,2 mm), médios (> 1,2 mm até <7 mm) grossos (> 7 mm). Separação por densidade é utilizada no processo de Wesa-SLF	As quatro frações obtidas são: uma fração magnética (média 95% de ferro), uma fração contendo grânulos de cobre, uma mistura de minerais e alguns metais, e uma fração orgânica contendo 50% em peso C, 6% de H, 12% de O, 1 a 2,5% de Cl, 20 - 28% de cinzas, <0,5% de metal. Com um poder calorífico > 3500 cal/g	Custos de processamento ASR são da ordem de 60 -75 € / t. Uma planta de 4 ton / h foi construída na Alemanha
Tecnologia de Compactação e Solidificação (2000)	Kusaka & Lida (2000)	Processo de triagem, compactação e solidificação do ASR	Basicamente separa as frações combustíveis das não combustíveis. Metais também são recuperados a partir deste fluxo, e o restante são compactados, com cal e extrudados em um filtro prensa em placas de 25 cm × 10 cm × 2 centímetros utilizados no processo de gaseificação.	Anualmente cerca de 1 milhão de toneladas de ASR Japonês é processado
Processo Sortec (1998)	Sortec (Análise Competitiva Centre, Inc., Econômico e Associates Inc., 1998)	Recuperação de metais e da fração orgânica do resíduo do shredder.	O custo estimado da planta foi DM 6,5 milhões, incluindo DM 5 milhões para equipamentos e DM 1,5 milhões para construção e utilidades.	Projetou uma planta para processar 40.000 ton/ano (8h/dia)

(Continua)

(Conclusão)

Nome do Processo	Fabricante(s), Comitiva	Descrição do Processo	Produtos do Processo	Status atual do processo
Tecnologia Twin-Rec (2002)	Segundo Selinger et al. (2002), ALSTOM Power empresa licenciada para esta tecnologia japonesa da EBARA (que usam o nome TWIG).	Conversão de ASR na recuperação de energia, ferro, cobre e alumínio, sempre atendendo testes de lixiviação.	A tecnologia é baseado em um gaseificador de leito fluidizado (FBG) operado a 500-600 °C com os materiais inertes e metais separados do pó e combustíveis, e são alimentadas em um ciclone de câmara de combustão operando de 1350-1450 ° C	De acordo com Selinger et al. (2002), este processo permite a reutilização de 85% Reciclagem + reuso do ASR, 12,5% de recuperação de energia e 2,5% disposição em aterro.
Processo Pyrocyling (2001)	Patenteada na Europa, EUA e Canadá.	Com base na pirólise a vácuo do ASR em pressões abaixo de 0,2 bar, a temperatura 450-550 ° C.	52% de sólidos, 28% de óleos, 13% de água e 7% de gases. Os produtos de petróleo, contendo < 0,15% Cl, <1% S, <3% N e são 33% aromáticos, 9% alifáticos, 4% olefínicos e 25% alicíclicos e <0,1% de cinzas (ROY & CHAALA, 2001).	Pyrocyling™ (Tecnologia Patenteada)
Von Roll RCP (1999)	ENGLWEILER (1999)	A pirólise é seguida por uma etapa de fundição do resíduo sólido gerado 1) de pirólise em uma grelha, 2) de fusão do resíduos de pirólise, 3) tratamento de escória e 4) CFB pós-combustão dos gases do pirolisador.	Os principais produtos deste processo são recuperados cobre e zinco, além de energia na forma de calor	Projeto Piloto (a planta não está em funcionamento)
Technology Chaparral Steel. (1998)	Chaparral Ltda	Sistema de correntes “eddy current” para recuperar os metais não-ferrosos a partir de resíduos de trituração. Separação dos materiais leves através da tecnologia de flotação.	Um dos objetivos era recuperar os plásticos não clorados para ser usado como uma fonte de combustível. O processo também recupera de alumínio, magnésio e outros materiais.	(A planta usada para este processo não está mais em operação.)

2.5 Cenário nacional de reciclagem de veículos

No Brasil, não há nenhuma lei específica sobre reciclagem de veículos em final de vida. Porém, a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o Conselho Nacional de meio Ambiente (CONAMA) e o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), através de portarias e resoluções regulamentam algumas ações referentes a resíduos industriais. A Tabela 10 apresenta algumas legislações referentes a destinação final de resíduos industriais.

Tabela 10: Legislação aplicada aos resíduos do Shredder.

Portaria/Resolução	Data	Definições
Resolução CONAMA Nº 9	31/08/1993	Dispõe sobre o gerenciamento, reciclagem, descarte, disposição, combustão, industrialização e comercialização de óleos lubrificantes
Resolução CONAMA Nº 258	26/08/1999	Estabelece prazos e quantidades para a coleta e destinação final de pneus.
Lei Federal nº 12.305	02/08/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12/02/1998 e dá outras providências.
Resolução Consema nº 73	20/08/2004	Dispõe sobre a co-disposição de resíduos sólidos industriais em aterros de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul.
Diretiva Internacional 2000/53/CE	2000	Relativa a fim de vida de veículos
Resolução CONAMA	401/2008	Dispõe sobre os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializados no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Revogou a Resolução 257/1999.
Resolução CONAMA	416/2009	Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus insersíveis e sua destinação ambientalmente adequada e dá outras providências.
Lei Estadual	9921/1993	Dispõe sobre gestão dos resíduos sólidos no R. S.

(Continua)

(Conclusão)

Portaria/Resolução	Data	Definições
Decreto Estadual	38356/1998	Aprova o regulamento da Lei nº 9.921 que dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul.(meta prioritária a sua não geração, devendo o sistema de gerenciamento destes resíduos buscar sua minimização, reutilização, reciclagem, tratamento ou destinação adequada)
Resolução CONSEMA	002/2000	Dispõe de norma para o licenciamento ambiental para co-processamento de resíduos em fornos de clínquer (Perigosos)
Resolução CONAMA	nº 313/02	As indústrias deverão registrar mensalmente e manter na unidade industrial os dados de geração e destinação dos resíduos gerados para efeito de obtenção dos dados para o Inventário Nacional dos Resíduos Industriais.
NBR	10004/2004	Resíduos sólidos - classificação
NBR	14042/2004	Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

No Rio Grande do Sul para evitar o acúmulo excessivo, o Código de Trânsito Brasileiro, a Lei Federal nº 6.575/78, o Decreto Estadual nº 43873/2005, a Resolução Contran nº 331/2009 e a portaria Detran/RS nº 162/2006 estabelecem que o órgão responsável pela remoção do veículo deve levar à hasta pública os veículos abandonados há mais de 90 dias. A reciclagem acontece em três momentos: descontaminação, compactação e trituração, sendo a primeira e segunda executadas no pátio do CRD - Centro de Remoção e Depósito e, a última, na empresa siderúrgica.

Na descontaminação, são retirados do veículo bateria, cilindro de gás (combustível), catalizador e fluídos (óleo e combustível). Na compactação, o veículo é colocado em uma prensa para reduzir o seu volume, facilitando o transporte e, para descaracterizá-lo, de forma a impedir qualquer reuso de peças. Já na trituração, o veículo compactado é colocado em equipamento especial para ser triturado e ter separado seu material ferroso, que será então encaminhado à reciclagem.

A compactação atende ao triplo propósito de liberar espaço nos depósitos, impedir que peças sejam utilizadas indevidamente e dar uma destinação ambiental e ecologicamente correta a metais e outros componentes dos veículos. Uma grande quantidade de veículos guardados pelos CRDs não são retirados pelos seus proprietários.

Uma fração substancial do passivo ambiental de veículos automotores é reciclada pela indústria siderúrgica, juntamente com a sucata metálica advinda de vários itens como geladeiras, eletrodomésticos e resíduos industriais provenientes da indústria naval e de usinagem. A empresa Belgo Mineira consome cerca de 120.000 toneladas por mês de sucata para abastecer suas quatro siderúrgicas. Nos mesmos moldes, a Gerdau, maior recicladora de sucata da América Latina, possui 10 shredders e, recicla por volta de 2 milhões de toneladas de sucata metálica por ano. A sucata representa 70% da matéria-prima para a Gerdau (GERDAU, 2008).

Porém, o processamento da sucata gera um volume de resíduos não ferrosos bastante grande que necessita destinação. O reaproveitamento desse resíduo está sendo desenvolvido em várias partes do mundo, principalmente na Europa e Estados Unidos, porém a reciclagem do resíduo do Shredder no Brasil apresenta-se de forma incipiente e sua evolução está intimamente ligada a pressões legislativas a serem desenvolvidas no Brasil. Algumas ações isoladas foram tomadas, com a da COSIGUA do Grupo Gerdau, que está estudando a co-geração de energia misturando o resíduo do Shredder com os resíduos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em um projeto denominado de “Usina Verde” (USINA VERDE, 2011). Contudo, a viabilização ambiental e econômica é o maior entrave para o reaproveitamento do resíduo. Esse trabalho visa justamente contribuir neste sentido.

3. EXPERIMENTAL

A Figura 9 apresenta um fluxograma ilustrativo da metodologia experimental e das principais técnicas empregadas para a caracterização de cada uma das frações do ASR.

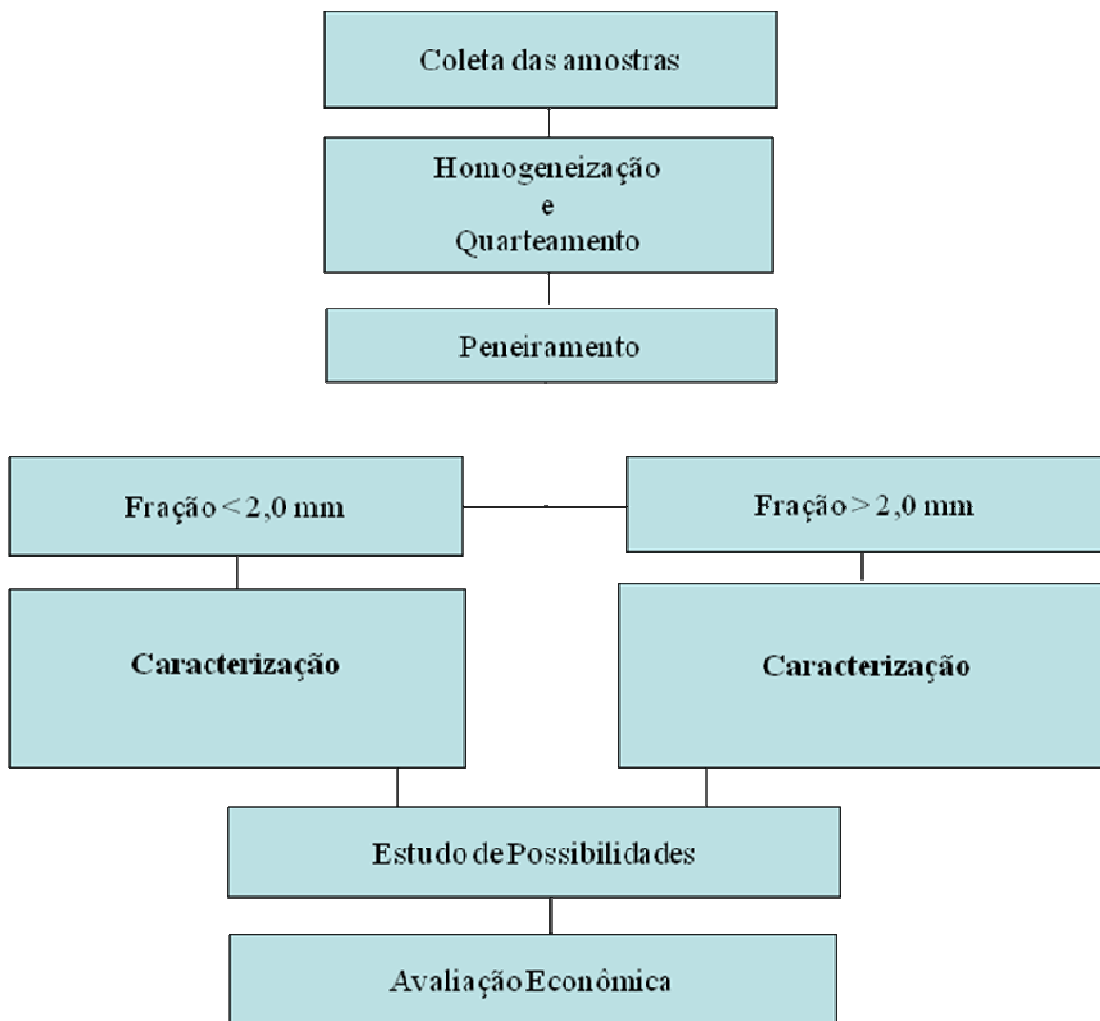


Figura 9: Fluxograma da metodologia experimental da pesquisa.

3.1 Resíduo do triturador de sucata

O resíduo utilizado neste estudo é proveniente de uma Indústria Siderúrgica da Região do Vale dos Sinos no Estado do Rio Grande do Sul e é oriundo de um equipamento triturador de sucata, mais conhecido como Shredder. Este triturador foi dimensionado para processar 2.100.000 toneladas anuais de sucata para ser usada em fornos de aciaria. O processo de trituração de sucata funciona da seguinte forma:

1) A sucata, após trituração, passa por tambores magnéticos que fazem a separação da fração ferrosa da não ferrosa, a fração ferrosa está pronta para ser utilizada nos fornos da aciaria.

2) A fração não magnética passa pelo processo de separação por correntes Eddy Current, que são correntes parasitas e que permitem diferenciar os materiais por condutividade elétrica, separando assim os metais não-ferrosos, como Al e Cu, dos demais como madeira, plásticos, tecidos, solo, etc.

3) O material passante (não magnético) e retido nas peneiras segue por uma calha individual e é encaminhada por correias transportadoras para baias específicas para cada faixa granulométrica.

Assim, o resíduo de trituração da sucata é dividido em quatro frações distintas: Fluff (< 15 mm), Fluff (entre 15 e 100 mm), Fluff (> 100mm) e a sucata metálica não ferrosa. O alvo do trabalho é o Fluff retido entre as peneiras de 15 mm e 100 mm que é a fração de maior geração e maior passivo na Empresa. Todavia, deve-se observar que o peneiramento não é plenamente eficiente, principalmente em relação aos finos. A fração contida entre as peneiras de 15 mm e 100 mm apresentam uma quantidade expressiva de partículas menores do que 15 mm. A Figura 10 ilustra o processo de trituração de sucata e os diferentes tipos de resíduos gerados.

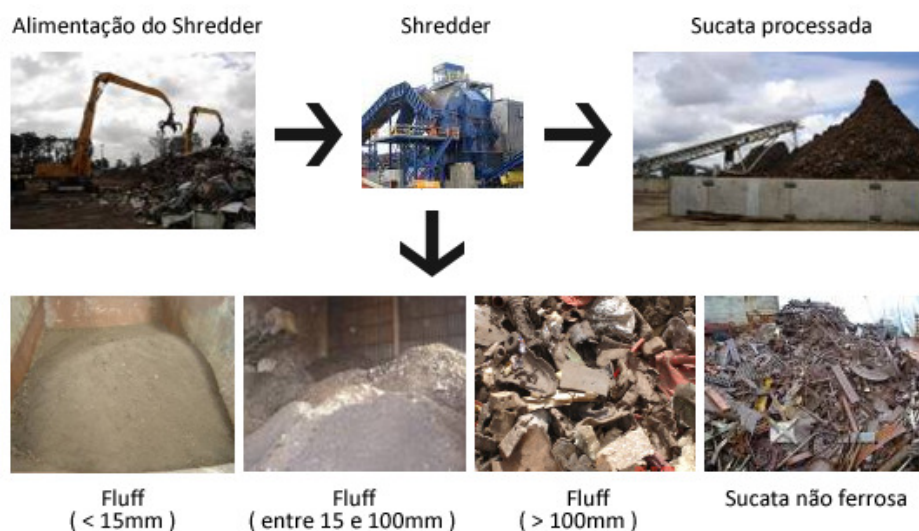


Figura 10: Processo de trituração de sucata e os resíduos gerados.

Fonte: Fotos cedidas pela própria empresa em estudo.

3.2 Amostragem

A amostragem foi realizada acompanhando um turno de operação. A sucata de obsolescência foi processada no equipamento Shredder e os resíduos gerados no processo de trituração foram divididos para as diferentes baias.

Após a quantificação da geração de resíduos foram coletadas amostras do resíduo do processo de trituração de sucata:

- (a) fluff (< 15 mm) – 1 amostra correspondendo a toda a corrida;
- (b) fluff (entre 15 mm e 100 mm) – 3 amostras correspondendo ao início, meio e final da corrida;
- (c) fluff (> 100 mm) – 1 amostra correspondendo a toda a corrida.



Figura 11: Amostragem realizada na saída final do processo.



Figura 12: Quarteamento da amostra.

O Fluff (entre 15 e 100 mm), que correspondem a maior fração em massa de resíduo, foi o alvo do presente trabalho. As amostras foram quarteadas e homogeneizadas conforme a NBR 10007/2004 a fim de se obter uma adequada representatividade do material a ser

estudado (Figuras 11 e 12). Após, o material foi embalado em tambores de polietileno e encaminhadas ao LEAmet - Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia, situado no Centro de Tecnologia da UFRGS (Campus do Vale).

3.3 Separação granulométrica

A granulometria escolhida para separação das amostras do Fluff foi de 2,0 mm (peneira de # 9). As amostras, após peneiramento, foram divididas em duas frações: fração fina (< 2,0 mm) e fração grossa (> 2,0 mm).

A peneira de 2 mm foi a escolhida, pois apesar da granulometria no processo de trituração indicar (entre 15 mm e 100mm) na coleta e quantificação do material verifica-se a ineficiência das peneiras e a quantidade predominante de material abaixo de 15 mm.

3.4 Caracterização das amostras

As amostras da fração fina (< 2,0 mm) foram quarteadas em um equipamento tipo Jones. Para a caracterização desta fração foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica, análise densimétrica, observação em lupa, análise elementar (via instrumental e via úmida), análise elementar por fluorescência de raios-x (FRX), análise mineralógica por difração de raios-x (DRX), análise imediata (umidade e perda ao fogo) e ensaios de solubilização e lixiviação.

As amostras da fração grossa (> 2,0mm) também foram quarteadas em um equipamento tipo Jones. Porém, parte do material foi cominuído em um Moinho Micronizador - Turbilhão, MC250, a fim de que a totalidade das amostras pudesse ser analisada posteriormente. Para caracterização das amostras, foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica, análise densimétrica, observação macroscópica e separação manual dos materiais, análise elementar (via instrumental e via úmida), análise imediata (umidade e perda ao fogo), análise termogravimétrica e medidas do poder calorífico.

3.4.1 Classificação granulométrica

A classificação granulométrica do material foi conduzida por peneiramento a seco com agitação mecânica. As peneiras empregadas apresentavam as seguintes aberturas: 2,0 mm, 1,4 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,150 mm e 0,125 mm.

3.4.2 Análise densimétrica

Foram realizadas medidas de massa específica real (razão entre a massa e o volume ocupado pelas partículas sólidas) e massa específica aparente (razão entre a massa e o volume ocupado pelas partículas sólidas e espaços vazios entre as partículas sólidas). As medidas de massa específica real foram efetuadas por picnometria conforme a NBR 6508 (ABNT, 1980). Utilizou-se álcool etílico uma vez que o resíduo apresenta propriedades hidrofóbicas. A determinação da massa específica aparente foi realizada gravimetricamente pela quantificação da massa ocupada em um recipiente de volume conhecido, no caso uma proveta de 1000 mL.

3.4.3 Análise Visual em Lupa Petrográfica

As frações finas foram observadas e fotografadas através da lupa petrográfica Olympus SZ X7, com aproximação de 50x.

3.4.4 Composição dos Materiais

As frações grosseiras foram observadas e separadas manualmente para a quantificação das massas dos distintos materiais presentes. No presente estudo, esse procedimento foi aplicado para uma amostra de 3 kg do material original em estudo (composto por 1 kg de cada amostra). O material foi separado de acordo com o seguinte critério: plásticos, borrachas, eletrônicos, metais, têxtil, madeira/papel, pedra/vidro e não identificados (abaixo de 8 mm).

3.4.5. Análise elementar

A análise elementar apresentou dois focos: (a) a determinação da concentração real dos diferentes elementos químicos presentes nas amostras; (b) a determinação da concentração ambientalmente disponível para alguns elementos químicos das amostras, segundo a norma EPA 3050b.

(a) Determinação da concentração elementar real

Os elementos C, H, N e S foram analisados via instrumental por combustão da amostra e detecção por infravermelho, o equipamento utilizado foi um analisador Leco SC-432.

Os elementos metálicos foram analisados via úmida com abertura de amostra por digestão ácida assistida por radiação micro-ondas no Equipamento Multiwave, 300 conforme procedimento EPA 3052 (EPA, 1996b) e adaptado por BETTINELLI et al. (2000). Cerca de 150 mg de amostra foram transferidos para os frascos de decomposição, adicionando-se, logo em seguida, 1 mL de HF e 5 mL de HNO₃ 14 mol L⁻¹. O programa de aquecimento é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11: Programa de aquecimento utilizado no forno de micro-ondas.

Potência (W)	Tempo (min)
0 - 1400	10
1400	30
0	20

Após arrefecimento, a solução foi transferida para frasco de polipropileno e avolumada a 25 mL com água milli-Q. As análises foram feitas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). A potência do gerador de radiofrequência foi fixada em 1400 W. As vazões dos gases principal, auxiliar e de nebulização, foram de 14,0, 1,0 e 0,95 L min⁻¹, respectivamente. O plasma foi gerado a partir de argônio 99,996% (White Martins-Praxair). As linhas de emissão utilizadas para cada elemento estão mostradas na Tabela 12.

Tabela 12: Comprimentos de onda utilizados para cada elemento no ICP OES.

Elemento	Comprimento de onda, nm
Al	396,152
Ca	393,366
Cu	324,754
Fe	259,941
Si	251,611
Zn	213,856
As	189,042
Cd	214,438
Co	228,616
Cr	205,552
K	766,491
Mg	279,553
Mn	257,611
Na	589,592
Ni	231,604
Pb	220,353
P	177,495
Hg	253,652

Para alguns elementos (Cl, F) a metodologia utilizada para o preparo da amostra foi a Pirohidrolise (DRESSLER, 2011), onde cerca de 300 mg de amostra foram transferidos para um suporte de quartzo. No mesmo suporte foram adicionados cerca de 600 mg de acelerador de decomposição (V_2O_5), o qual foi posteriormente inserido no tubo de reação. Os vapores gerados foram coletados em 10 mL de solução de NH_4OH 150 mmol L^{-1} , a qual foi avolumada a 20 mL com água Milli-Q. Na Tabela 13 estão resumidas as condições utilizadas para a decomposição das amostras de resíduo de sucata.

Tabela 13: Condições operacionais do sistema de piroidrólise.

Parâmetros	Condições
Vazão de ar, L min ⁻¹	0,2
Temperatura do reator, °C	1050
Tempo de aquecimento, min	15
Vazão de água, mL min ⁻¹	1,0
Massa de amostra, mg	300
Massa de acelerador de decomposição (V ₂ O ₅)	600
Concentração final de NH ₄ OH, mmol L ⁻¹	75

As determinações de Cl e F nas amostras foram feitas por cromatografia de íons, com um cromatógrafo da Metrohm (Modular IC System, Metrohm, Suíça) composto por um amostrador compacto, detector por condutividade, módulo de supressão química e bomba cromatográfica. As análises foram realizadas no Laboratório de Química, da Universidade Federal de Santa Maria. Um estudo mais abrangente da metodologia de Pirohidrólise pode ser visto em DRESSLER, (2011).

(b) Determinação de metais ambientalmente disponíveis

Os elementos metálicos foram analisados via úmida com abertura de amostra por digestão ácida e aquecimento em chapa elétrica a 95°C +- 5°C, conforme procedimento EPA 3050 b (EPA, 1996a). A digestão de aproximadamente 1 g de amostra foi efetuada pela adição repetitiva de HNO₃ e H₂O₂ até o consumo completo da matéria orgânica, seguido da adição de HCl. A quantificação da concentração dos metais no meio aquoso foram feitas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

A quantificação de P e S foram realizadas por digestão úmida nítrico-perclórica e análise por ICP OES. As medidas de cloreto foram realizadas por extração em água e análise por EAM (Espectrofotometria de Absorção Molecular). As análises de N foram efetuadas pelo método de Kjeldahl. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos, da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.4.6 Análise elementar por FRX

As análises de fluorescência de raios x (FRX) foram conduzidas em um Espectrômetro

de Fluorescência de Raios-x (EDS), modelo Minipal 4, da marca Panalytical. As amostras utilizadas foram quarteadas, homogeneizadas, cominuídas e peneiradas em Tyler #100 para granulometria inferior a 0,150 mm.

3.4.7 Análise mineralógica por DRX

As fases cristalinas foram identificadas por difração de raios x (DRX) em um difratômetro de marca BRUKER-AXS-SIEMENS, Modelo D5000. As amostras foram moídas em gral de porcelana para que todo o material estivesse numa granulométrica abaixo de 0,125 mm.

3.4.8 Perda ao fogo, teor de umidade e poder calorífico.

Para os ensaios de perda ao fogo, umidade e poder calorífico, as amostras foram devidamente cominuídas em um gral de porcelana e peneiradas em uma peneira com abertura de 0,25 mm (Tyler #60).

Para a análise de cinzas/perda ao fogo, foi utilizada a norma NBR 8289 (ABNT, 1983). Aproximadamente 1 g de amostra foi pesada em uma balança analítica e colocado em um cadinho de porcelana o qual foi encaminhado para o forno-mufla ainda frio. Após atingir a temperatura de 850°C, aguardava-se 1 hora. Na sequência, as amostras foram retiradas e colocadas em um dessecador. O resíduo remanescente após a queima total da matéria orgânica é o teor de cinza (Cz, %). A massa perdida durante o ensaio é a perda ao fogo (Pf, %).

O teor de umidade foi determinado conforme NBR 6457 (ABNT, 1986). As amostras foram homogeneizadas e, em seguida, uma massa de aproximadamente 2 g foi pesada em cadinho de alumínio. Após a pesagem, o cadinho foi colocado em estufa à temperatura de 105 °C por 1 hora. Depois de arrefecidas à temperatura ambiente em dessecador, foram submetidas a nova pesagem. A perda de massa durante o ensaio representa o teor de umidade.

O ensaio de Poder Calorífico foi realizado em uma bomba calorimétrica IKA C2000, marca IKA WERKE. No equipamento, as amostras são decompostas com auxílio de oxigênio a uma pressão de 30 bar. A bomba calorimétrica é constituída essencialmente por uma câmara de combustão, contendo uma quantidade de água conhecida, onde os reagentes são

colocados (oxigênio sob pressão e a amostra). Inicia-se a reação aquecendo a amostra através de uma corrente elétrica. A reação de combustão é exotérmica e conseqüentemente aquecerá a água que circunda a câmara. A variação da temperatura em função do tempo é determinada pelo termômetro de precisão, obtendo-se um gráfico que relaciona estas duas grandezas. Como todo o calor liberado foi utilizado para elevar a temperatura da água, pode-se calcular o calor de combustão, a partir da capacidade térmica do sistema calorimétrico, aumento da temperatura da água no interior da câmara na célula de medição e o peso combustível da amostra.

Todas as análises referentes a perda ao fogo, umidade e poder calorífico foram realizadas em triplicata. Em caso de incoerência nos resultados, a metodologia experimental foi repetida.

3.4.9 Análise termogravimétrica

Para a análise termogravimétrica, utilizou-se uma termobalança Netzsch STA 409PC pertencente ao Laboratório de Siderurgia da UFRGS. O equipamento consiste basicamente de um forno resistivo acoplado a uma balança analítica, com entrada inferior e saída superior para o fluxo gasoso. A amostra foi colocada num cadinho tipo prato, sustentado por um termopar conectado ao braço da balança, o que permite registrar a variação de massa em função do tempo e da temperatura. A massa da amostra ensaiada foi de aproximadamente 30 mg e a granulometria utilizada foi de inferior a 0,075 mm. Foi realizado o teste de combustão não isotérmica, no intervalo de temperatura entre 30 e 1000°C, numa vazão de 60 mL/min de ar. Nesse teste, a curva termogravimétrica permite determinar o intervalo de temperatura em que ocorreu a queima e a perda de massa correspondente. A curva DTG, que é a derivada da curva de perda de massa ou taxa de reação (dm/dt) em função da temperatura, possibilita determinar além das temperaturas de início (T_i) e final de combustão (T_f), a temperatura onde a taxa de reação (ou reatividade) é máxima (T_{max}).

3.4.10 Ensaios de Solubilização e Lixiviação

Os ensaios de Lixiviação e Solubilização foram realizados de acordo com as prescrições das Normas Técnicas BR 10.004, NBR 10.005 e NBR 10.006 (ABNT, 2004a; ABNT

2004b; e ABNT 2004c) e permitem classificar os resíduos de acordo com a sua periculosidade. Os ensaios e as análises foram realizados no Laboratório Pró-ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda.

3.5 Análise da viabilidade econômica do investimento

Os estudos de viabilidade econômica foram realizados a partir de um orçamento de uma planta para a separação e cominuição do resíduo do triturador de sucata (ASR), para uma produção estimada de 30 t/h, elaborado pela Empresa Metalúrgica Schilling.

Consideraram-se os investimentos iniciais que incluíram o montante referente ao projeto, equipamento e instalações auxiliares bem os custos envolvidos com frete, transporte, obras civis, insumos, manutenção, traslados, hospedagem, mão-de-obra e alimentação. A receita foi dada pelo volume de resíduos que não será mais destinado a aterro e considerando que as duas frações tenham alternativas de aproveitamento e reciclagem. Para a determinação do montante a seguinte equação foi aplicada:

$M = C * (1 + i)^n$, onde M é o montante, C é o capital inicial, i é a taxa de juros e o n o tempo.

A equação que relaciona amortização, taxa de juros, tempo e montante será:

$M = p \{ [(1 + i)^n - 1] / [(1 + i)^n * i] \}$ onde p é a amortização.

Para a implantação do projeto foram consideradas duas situações: (a) a primeira com pagamento a vista com 100% de capital próprio com os juros do IGP-M; (b) a segunda considerando o pagamento dividido em 6 parcelas, amortização, juros (taxa de atratividade), montante contabilizado anualmente, 2% do investimento em manutenção do equipamento, gastos com imposto de renda e depreciação do equipamento. As duas simulações consideraram 6 meses para implementação do equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos estudos com o resíduo do triturador de sucata. Realizou-se a quantificação e balanço de massa dos diferentes fluxos de materiais gerados no Shredder e estudos de separação e caracterização dos materiais. Por fim, alguns cenários para o aproveitamento do resíduo do triturador de sucata serão avaliados, assim como uma análise preliminar econômica.

4.1 Quantificação dos resíduos gerados no Shredder

A geração dos resíduos do processo de trituração da sucata, no equipamento Shredder, é dividido em diferentes baias em quatro frações distintas: Fluff (< 15 mm), Fluff (entre 15 e 100 mm), Fluff (> 100mm) e a sucata metálica não ferrosa.

A quantificação da massa de entrada de sucata e dos fluxos de materiais nas diferentes baias do equipamento triturador de sucata, na corrida de operação analisada, é apresentada na Tabela 14. Pode-se observar que a maior quantidade de material, 87,1%, é composta pelo Fluff (entre 15 e 100 mm). O Fluff (< 15 mm) representa 9,8% da massa de resíduo gerado e o Fluff (> 100 mm) representa somente 1,0% da massa de resíduos. A sucata metálica não ferrosa, única fração atualmente enviada para reciclagem, compõem apenas 2,1% do material.

Tabela 14: Balanço de massa no dia de estudo no equipamento triturador de sucata.

Material	Massa (toneladas)	Percentual (%)
Entrada de sucata	824	100
Saída – Sucata ferrosa	623	75,6
Saída – Resíduos	201	24,4
Saídas		
Fluff (< 15 mm)	19,7	9,8
Fluff (entre 15 e 100 mm),	175,0	87,1
Fluff (> 100mm)	2,1	1,0
Sucata metálica não ferrosa	4,2	2,1
Total de Resíduos	201,0	100,0

Após a quantificação e os cálculos de balanço de massa, verificou-se que foram

gerados 244 kg de resíduos por tonelada de sucata processada. Destes, 21 kg é sucata metálica não ferrosa, que encontra fácil destinação. Assim, o processo gerou 223 kg de resíduos por tonelada de sucata processada (ou 22,3%) de fluff (fino, médio e grosso) que não encontra atualmente destinação. Este valor está de acordo com dados da literatura, que indicam que a geração de 227 kg de resíduo por tonelada de sucata processada (Hoffmann, 1993).

Deve se ressaltar que atualmente existe um passivo de resíduo oriundo do processamento de sucata, disposta em uma pilha no pátio da empresa em estudo, de cerca de 45 mil toneladas. O restante do material é diariamente enviado para Aterros Industriais Licenciados.

4.2 Separação granulométrica do material

Em virtude da quantidade de material gerado, este trabalho limitou-se a caracterizar três amostras do resíduo obtido em uma corrida na baia que recolhe o material conhecido como Fluff (entre 15 e 100 mm) e que corresponde a 87,1% da massa de resíduos gerada. Cada amostra foi peneirada na abertura de 2,0 mm, de forma a se obter uma fração fina e uma fração de materiais particulados grosseiros. A Tabela 15 apresenta a distribuição em massa de cada amostra do Fluff após a separação granulométrica. O aspecto visual do material antes e após a separação granulométrica é apresentada na Figura 13.

Tabela 15: Porcentual em massa de material abaixo de 2,0 mm e acima de 2,0 mm em três amostras de Fluff recolhidas no triturador de sucata.

Amostra	Massa de material < 2,0 mm (%)	Massa de material > 2,0 mm (%)
Amostra 1 (início da operação)	46,6	53,4
Amostra 2 (meio da operação)	38,9	61,1
Amostra 3 (final da operação)	40,6	59,4
Valores médios	42,0	58,0



Fração abaixo de 2,0 mm.



Fração acima de 2,0 mm.

Figura 13: Fotografias mostrando o aspecto geral do Fluff antes e após a separação granulométrica.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em cada uma das frações granulométricas do resíduo do triturador de sucata e/ou resíduo do shredder.

Uma quantificação foi realizado com o (fluff > 100 mm) que pode ser visto no **ANEXO 1** deste trabalho.

4.3 Caracterização das amostras com granulometria inferior a 2 mm

As Figuras 14, 15 e 16 mostram os resultados da análise granulométrica em três amostras do material. Pode-se observar que, em todas as amostras, a maior parte do material concentra-se na faixa entre 0,25 mm e 1,00 mm.

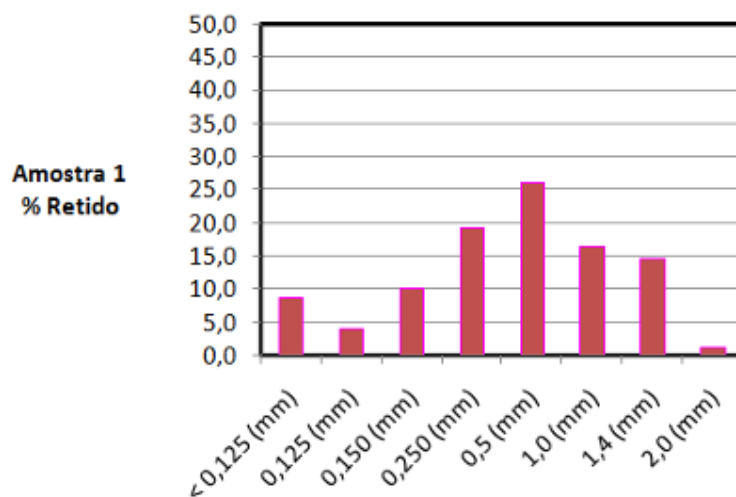


Figura 14: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 1.

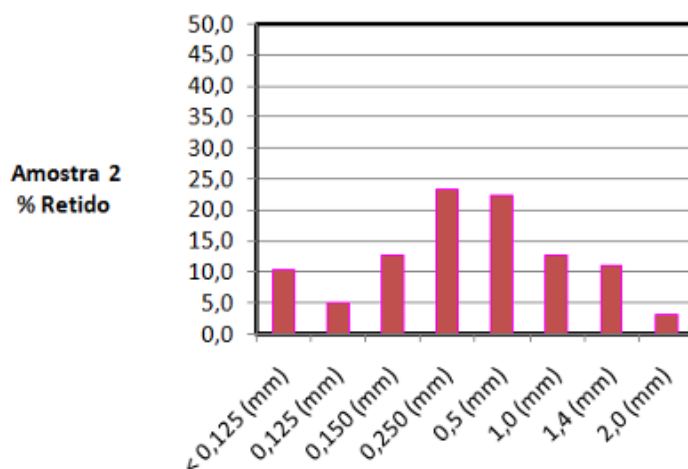


Figura 15: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 2.

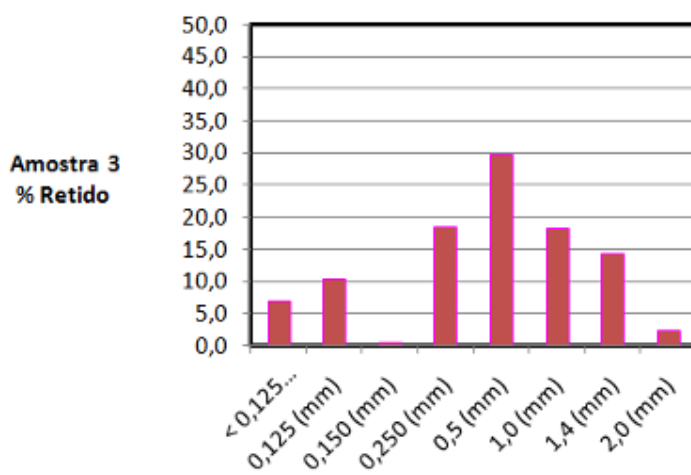


Figura 16: Distribuição granulométrica da fração < 2,0 a mm da amostra 3.

A Tabela 16 apresenta os resultados das análises de massa específica. Pode-se observar que a massa específica real variou de $2,58 \text{ t/m}^3$ a $3,06 \text{ t/m}^3$ e que a massa específica aparente ficou entre $0,81 \text{ t/m}^3$ e $1,21 \text{ t/m}^3$. Esses resultados são muito parecidos com os valores típicos de solo, cuja massa específica real é de $2,70 \text{ t/m}^3$ (SANTOS et al, 2006).

Tabela 16: Análise de massa específica real e aparente da fração < 2,0 a mm.

Amostra	Massa específica real	Massa específica aparente
	(t/m^3)	(t/m^3)
Amostra 1	3,06	1,21
Amostra 2	2,58	0,81
Amostra 3	2,58	0,94
Média	2,74	0,96

Como pode ser observado, a fração do triturador de sucata com granulometria inferior a 2,0 mm apresenta um aspecto terroso, parecido com um solo. A identificação dos materiais não é possível de ser realizada a olho nu. Entretanto, com o auxílio de uma lupa (Figura 17), é possível verificar a predominância de elementos minerais na amostra, com a presença de algumas fibras poliméricas.



Figura 17: Amostra do fluff em granulometria inferior a 2 mm em lupa petrográfica. Aumento de 50X.

A Tabela 17 mostra os resultados dos ensaios de perda ao fogo e teor de umidade. Os valores de perda ao fogo, com um valor médio de 16,58 %, confirmam que o material é predominantemente inorgânico.

Tabela 17: Perda ao fogo e teor de umidade na fração < 2,0 mm.

Amostra	Perda ao fogo (%)	Teor de umidade (%)
Amostra 1	12,07	3,06
Amostra 2	19,59	3,68
Amostra 3	18,09	3,35
Média	16,58	3,36

A Tabela 18 apresenta os resultados da análise elementar. A metodologia analítica empregada visou obter os resultados da composição elementar real do material (C,H,N e S

via instrumental, metais pelo método EPA 3052, Cl e Fl por pirohidrólise e oxigênio calculado por diferença). Pode-se observar que os elementos mais abundantes são o Fe, Si e o O, com valores médios de aproximadamente 25%, 15% e 43%, respectivamente.

Tabela 18: Análise elementar completa nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.

Elemento	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio padrão
C (%)	4,64	7,62	7,72	6,67	1,75
H (%)	1,02	1,44	1,75	1,45	0,35
N (%)	0,16	0,26	0,38	0,21	0,06
S (%)	0,17	0,28	0,25	0,22	0,03
O e EM (%)	42,08	45,49	41,43	42,90	2,16
Al (%)	2,66	2,486	3,42	2,82	0,53
Ca (%)	1,09	1,15	1,00	1,05	0,06
Cl (%)	0,15	0,10	0,13	0,09	0,03
Cu (%)	0,23	0,10	0,21	0,20	0,05
Fe (%)	28,35	19,93	25,73	24,67	4,29
Si (%)	15,57	16,93	13,64	15,30	1,65
Zn (%)	0,88	1,62	1,65	1,30	0,46
As (%)	ND	0,02	ND	ND	ND
Cd (%)	ND	ND	ND	ND	ND
Co (%)	ND	ND	ND	ND	ND
Cr (%)	0,30	0,10	0,15	0,20	0,09
F (%)	0,12	0,10	0,10	0,10	0,01
K (%)	0,44	0,68	0,52	0,50	0,10
Mg (%)	1,14	0,89	0,74	0,91	0,21
Mn (%)	1,11	0,23	0,36	0,52	0,47
Na (%)	0,56	0,95	1,01	0,83	0,27
Ni (%)	0,01	0,00	0,19	0,02	0,02
Pb (%)	0,10	0,20	0,43	0,22	0,13
P (%)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,03
Hg (%)	ND	ND	ND	ND	ND
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	-

EM – elementos minoritários

A Tabela 19 apresenta os resultados da análise elementar de alguns elementos ambientalmente disponíveis (Os elementos S e P, foram analisados via digestão úmida nítrico-perclórica, e a análise de cloretos via extração em água) Observa-se que as concentrações da maioria dos elementos é inferior a listada na Tabela 18, mostrando que muitos elementos estão ambientalmente disponíveis em uma concentração menor.

Tabela 19: Análise de alguns elementos ambientalmente disponíveis nas três amostras de Fluff < 2,0 a mm.

Elemento	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio padrão
N (% NTK)	0,13	0,24	0,27	0,21	0,074
S (%)	0,09	0,17	0,17	0,14	0,046
Ca (%)	3,2	1,8	1,9	2,3	0,781
Cl (%)	0,0136	0,0226	0,0466	0,02	0,017
Cu (%)	0,14	0,12	0,17	0,14	0,025
Fe (%)	4,4	4,6	4,9	4,63	0,252
Zn (%)	0,41	0,98	1,1	0,83	0,369
Cd (%)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,000
Co (%)	0,0037	0,0059	0,0053	0,0049	0,001
Cr (%)	0,13	0,04	0,05	0,07	0,049
K (%)	0,09	0,17	0,13	0,13	0,040
Mg (%)	0,75	0,46	0,46	0,56	0,167
Mn (%)	0,59	0,15	0,19	0,31	0,243
Na (%)	0,15	0,4	0,31	0,29	0,127
Ni (%)	0,0193	0,0294	0,0752	0,0413	0,030
Pb (%)	0,0477	0,0798	0,1000	0,0700	0,026
P (%)	0,1	0,07	0,06	0,08	0,021

A Tabela 20 mostra os resultados da análise semi-quantitativa realizada por fluorescência de raios x. Pode-se observar que, entre os elementos detectados na análise, há um predomínio do Fe, seguido do Si, Ca, Al e Zn; de maneira similar ao observado nas análises elementares via úmida (Tabela 19).

Tabela 20: Análise elementar semi-quantitativa FRX nas três amostras de Fluff < 2,0 a mm.

Elemento (% relativa)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio padrão
Al (%)	6,65	6,53	7,10	6,76	0,30
Ca (%)	9,11	8,72	9,17	9,00	0,24
Cd (%)	0,30	0,28	0,25	0,27	0,02
Cr (%)	0,33	0,20	0,14	0,23	0,09
Cu (%)	0,33	0,30	0,38	0,34	0,04
Fe (%)	54,53	53,03	57,06	54,87	2,03
K (%)	0,89	1,04	0,83	0,92	0,11
Mg (%)	1,05	1,02	0,96	1,01	0,05
Mn (%)	1,05	0,73	0,64	0,80	0,22
Ni (%)	0,09	0,11	0,12	0,10	0,01
Pb (%)	0,38	0,47	0,55	0,47	0,09
S (%)	0,38	0,51	0,55	0,48	0,09
Si (%)	19,06	19,78	14,64	17,83	2,79
Sr (%)	0,11	0,16	0,12	0,13	0,03
Ti (%)	1,36	1,72	1,61	1,56	0,19
V (%)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Zn (%)	4,17	5,22	5,78	5,05	0,82
Zr (%)	0,20	0,18	0,10	0,16	0,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	-

Os resultados da análise elementar mostram que o material é rico em óxidos, principalmente de ferro e silício. Estas observações são confirmadas pelas análises de difração de raios x, apresentados nas Figuras 18, 19 e 20 e resumidos na Tabela 21, que mostram que os componentes cristalinos identificados são óxidos de ferro (como magnetita e hematita) bem como outros minerais presentes no solo como quartzo, plagioclásios, calcita e dolomita.

Tabela 21: Compostos cristalinos identificados por DRX nas frações < 2,0 mm.

Fração analisada	Compostos cristalinos presentes nas amostras
Amostra 1	Quartzo*, Plagioclásio, Calcita, Dolomita, Hematita e Magnetita.
Amostra 2	Quartzo*, Feldspato Alcalino, Plagioclásio, Calcita, Dolomita, Hematita
Amostra 3	Quartzo*, Plagioclásio, Calcita, Dolomita e Magnetita

* minerais majoritários

Amostra 1

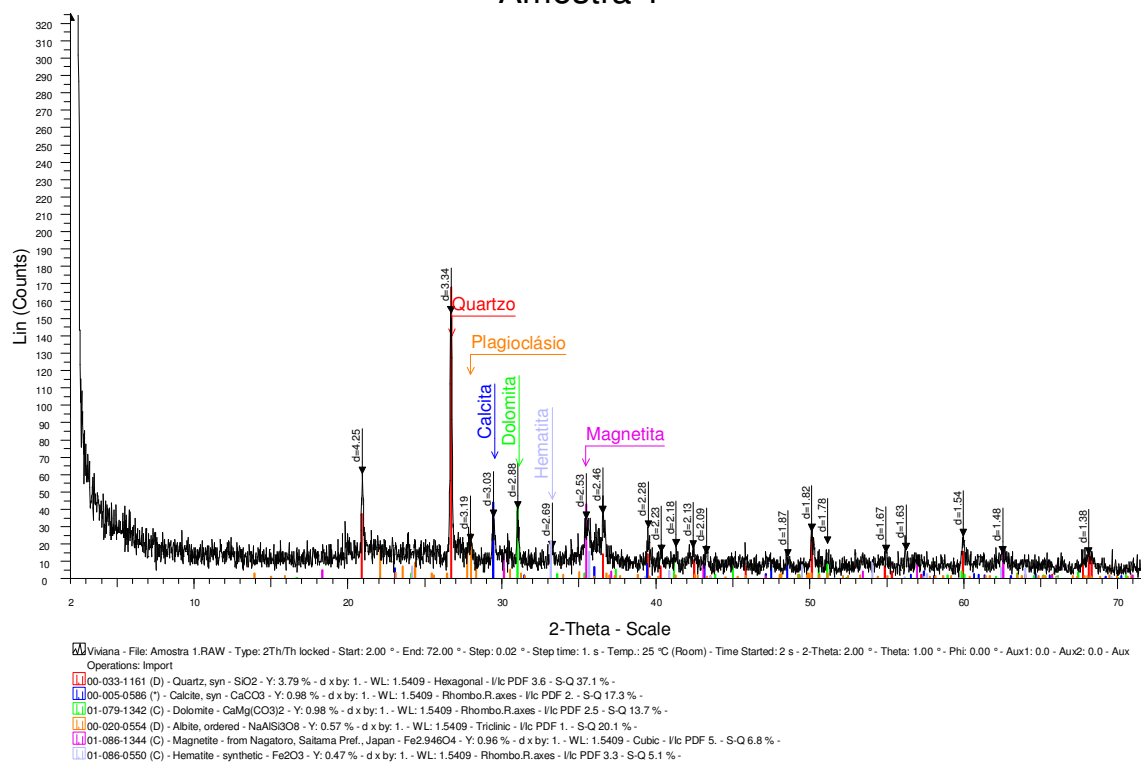


Figura 18: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 1.

Amostra 2

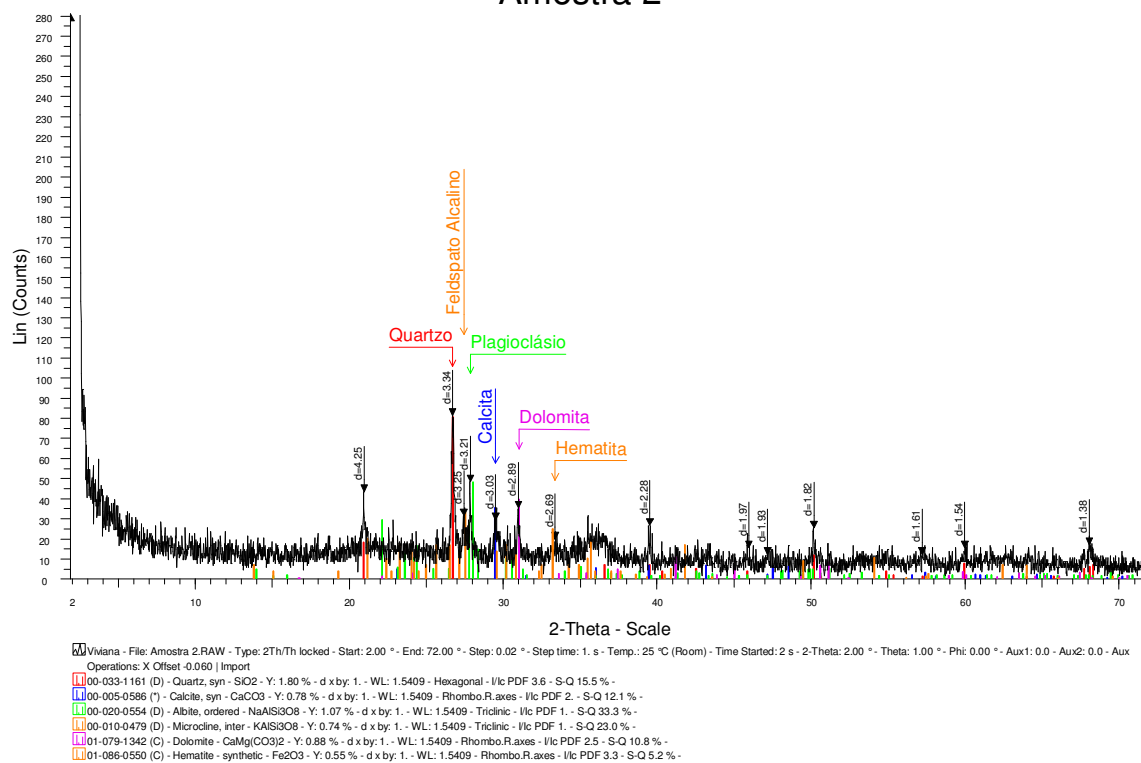


Figura 19: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 2.

Amostra 3

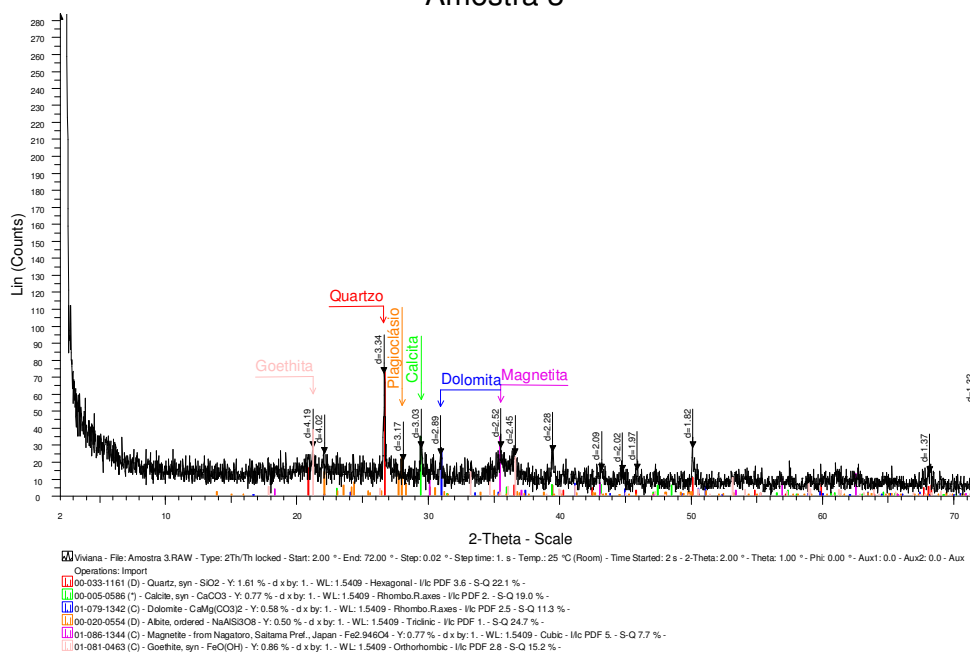


Figura 20: Compostos cristalinos identificados por DRX – Amostra 3.

Os ensaios de Lixiviação e Solubilização, realizados de acordo com as prescrições das Norma Técnicas ABNT NBR 10004, NBR10.005 e NBR 10.006 (ABNT, 2004) permitem determinar a periculosidade do resíduo. Os resultados dos ensaios de Lixiviação e Solubilização estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 22 e 23. As três amostras com granulometria < 2 mm são classificadas como Resíduo Não perigoso - Classe II-A. O material só não foi considerado inerte por exceder no ensaio de solubilização as concentrações de Fe e Mn, elementos com menor preocupação ambiental, pois são normalmente encontrados no solo.

Tabela 22: Resultados dos ensaios de lixiviação nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.

Parâmetros inorgânicos	Resultados			Limites Máximos (NBR 10004)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	
Arsênio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	1,0
Bário (mg/L)	0,8	ND*	0,3	70,0
Cádmio (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,5
Chumbo (mg/L)	ND*	ND*	0,1	1,0
Cromo Total (mg/L)	ND*	ND*	ND*	5,0
Mercurio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,1
Fluoreto (mg/L)	0,7	0,4	0,3	150,0
Prata (mg/L)	ND*	ND*	ND*	5,0
Selênio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	1,0

* Não detectado

Tabela 23: Resultados dos ensaios de solubilização nas três amostras de Fluff < 2,0 mm.

Parâmetros	Resultados			Limites Máximos (NBR 10004)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	
Alumínio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,2
Arsênio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,01
Bário (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,7
Cádmio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,005
Chumbo (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,01
Cianeto (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,07
Cloreto (mg/L)	39,5	61,7	120,0	250,0
Cobre (mg/L)	0,1	ND*	ND*	2,0
Cromo Total (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,05
Fenóis Totais (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,001
Ferro (mg/L)	1,8	1,8	1,3	0,3
Fluoreto (mg/L)	0,4	0,6	0,3	1,5
Manganês (mg/L)	0,1	0,4	0,4	0,1
Merúrio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,001
Nitrato (mg/L)	0,3	0,4	0,3	10,0
Prata (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,05
Selênio (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,01
Sódio (mg/L)	36,6	94,3	108,0	200
Sulfato (mg/L)	41,2	161	84,0	250,0
Surfactantes (mg/L)	ND*	ND*	ND*	0,5
Zinco (mg/L)	0,2	0,9	0,6	5,0

* Não detectado

Os resultados acima expostos demonstram que o material apresenta aspecto terroso, similar a um solo. Para fins de destinação, algumas possíveis hipóteses foram levantadas, tais como:

- disposição em solo;
- cobertura diária em aterros sanitários;
- coprocessamento para a produção de cimento;
- aglomerados autorredutores.

Em função do seu aspecto, o material inicialmente foi considerado para uso como solo fabricado. A Tabela 24 traça um comparativo entre os valores médios de metais das três amostras considerando a análise dos elementos totais e dos elementos ambientalmente disponíveis. Na Tabela 24 também estão apresentados os níveis de referência para solos contaminados conforme a Resolução Conama 420/2009. Pode-se verificar que uma

substancial fração dos metais contidos na amostras estão ambientalmente disponíveis. Os valores de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn excedem os valores de investigação; tanto para solos agrícolas, residenciais como industriais. Assim, o material não apresenta composição química adequada para uso como solo.

O emprego do material para a cobertura diária de aterros poderia ser uma solução plausível, pois o material é inodoro e não apresenta matéria orgânica em decomposição. Os custos de destinação para aterros sanitários são menores do que para aterros industriais. Ainda, permitiria a redução na remoção de argila de jazidas de empréstimo normalmente empregadas na cobertura diárias de aterros. Contudo, a legislação do Estado do Rio Grande do Sul não permite que resíduos industriais sejam destinados para aterros sanitários.

Tabela 24: Valores de metais médios, totais e ambientalmente disponíveis, da fração do fluff < 2,0 mm; e valores de prevenção e investigação de solos conforme a Resolução Conama 420/2009.

Elemento	Valor médio		Valor de Prevenção	Valor de Investigação		
	Total	Amb.Disp.		Agrícola	Residencial	Industrial
Al (mg/kg)	28200	-	-	-	-	-
Cu (mg/kg)	2000	1400	60	200	400	600
Cd (mg/kg)	ND	ND	1,3	3	8	20
Co (mg/kg)	81	49	25	35	65	95
Cr (mg/kg)	2000	700	75	150	300	400
Fe (mg/kg)	246700	46300	-	-	-	-
Ni (mg/kg)	462	413	30	70	100	130
Pb (mg/kg)	2200	700	72	180	300	900
Zn (mg/kg)	13000	8300	300	450	1000	2000

A outra possível aplicação seria em cimenteiras, como sugerido por Boughton & Horvath (2006). Os valores de elementos desejáveis encontrados neste trabalho foram: 24% de Fe, 15% de Si, 2,8% de Al e 1,05% de Ca. Os valores de elementos indesejáveis foram: 0,09% de Cl e 0,21% de S. Nos estudos de Boughton & Horvath, com a fração do resíduo do triturador de sucata com granulometria inferior a 2,5 mm, os valores foram semelhantes. A concentração dos elementos desejáveis foi determinada como: 22% de Fe, 17% de Si, 8% de Al e 4% de Ca. O teor de elementos indesejáveis foi: 1,1% de Cl e 0,25% de S.

O cloro é um dos elementos nocivos ao processo de produção de cimento, pois proporciona a corrosão de equipamentos e a formação de compostos nocivos a boa qualidade do cimento. Embora esse limite não seja fixo (pois o uso seguro depende do tipo

de cimento, proporção de cimento, relação água/cimento, conteúdo de umidade, entre outras variáveis); há algumas normas ou recomendações de alguns países com valores orientativos. Um exemplo é a norma Americana ACI 318-05, que limita a concentração de íons cloreto em 0,10% no concreto. De acordo com o CEB (1984), o limite permitido para utilização de materiais contendo cloro na indústria cimenteira é de 0,4%. O valor médio de cloro encontrado neste trabalho, de 0,09%, permite a utilização do material na indústria cimenteira; podendo ser essa uma possível destinação segura para este resíduo.

A utilização de óxidos de metais em aglomerados autorredutores (SAXENA, 1995) em fornos de fusão é uma possível perspectiva de aplicação do resíduo de trituração. O emprego da tecnologia da autorredução na recuperação de resíduos metálicos ainda está em desenvolvimento e possui excelentes perspectivas futuras. Alguns processos mais recentes promovem o aproveitamento de finos de minério e carvão, além de outros resíduos siderúrgicos com alto teor metálico. Estes resíduos são utilizados na fabricação de gusa. Dentro os processos há o TecnoRed, desenvolvido no Brasil, e que segundo seus idealizadores propõe o aproveitamento de finos de minério de ferro, carepas e outros resíduos siderúrgicos contendo ferro, na forma de pelotas ou briquetes autorredutores, juntamente com carvão como combustível auxiliar, para a fabricação de ferro gusa (NOLDIN & D'ABREU, 2005) Esse tipo de recuperação utilizando óxidos de Shredder ainda não foi devidamente explorada existindo poucos trabalhos nesta linha.

4.4 Caracterização das amostras com granulometria superior a 2 mm

As Figuras 21, 22 e 23 mostram os resultados da análise granulométrica em três amostras do material. Pode-se observar que, em todas as amostras, a maior parte do material concentra-se na faixa entre 6,3 mm e 15,9 mm.

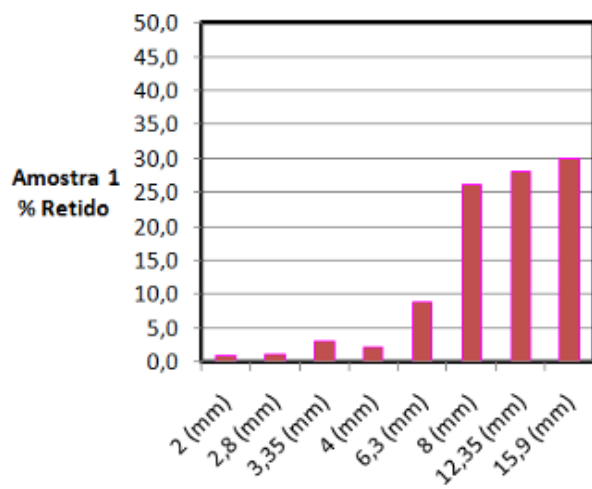


Figura 21: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 a mm da amostra 1.

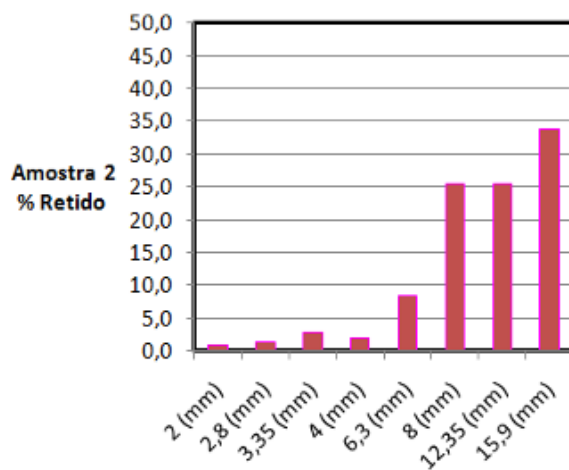


Figura 22: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 a mm da amostra 2.

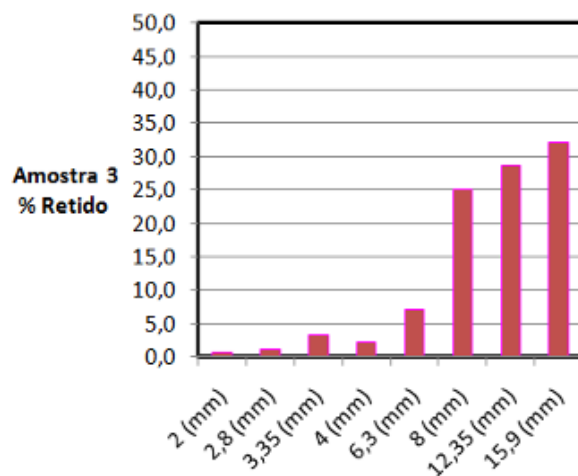


Figura 23: Distribuição granulométrica da fração > 2,0 mm da amostra 3.

A Figura 24 mostra uma outra imagem da fração com granulometria superior a 2,0 mm. Verifica-se a presença de diferentes tipos de materiais, como madeira, plásticos, resíduo têxtil, borracha entre outros. A fração com granulometria superior a 2,0 mm já se apresenta em condições de, pelo menos parcialmente, ser caracterizada visualmente em relação aos diferentes tipos de materiais presentes.



Figura 24: Resíduo do triturador de sucata fração > 2,0 mm.

A Tabela 25 apresenta os resultados das análises de massa específica. A massa específica real da fração com granulometria superior a 2,0 mm foi medida em 0,78 t/m³ e a massa específica aparente em aproximadamente 0,54 t/m³, resultados típicos de materiais plásticos (FISHER, 1999).

Tabela 25: Análise de massa específica real e aparente da fração > 2,0 a mm.

Amostra	Massa específica real (t/m ³)	Massa específica aparente (t/m ³)
Amostra 1	0,78	0,54
Amostra 2	0,78	0,55
Amostra 3	0,77	0,52
Média	0,78	0,54

A Figura 25 mostra a distribuição dos materiais presentes, onde se pode observar que o resíduo é rico em compostos poliméricos, como borracha, papel, tecidos e plásticos. Apresenta ainda componentes metálicos, eletrônicos, vidro e pedregulhos (rocha e concreto). Entretanto, 51% do material não pode ser identificado, por apresentar granulometria muito baixa, abaixo de 8 mm (Figura 26).

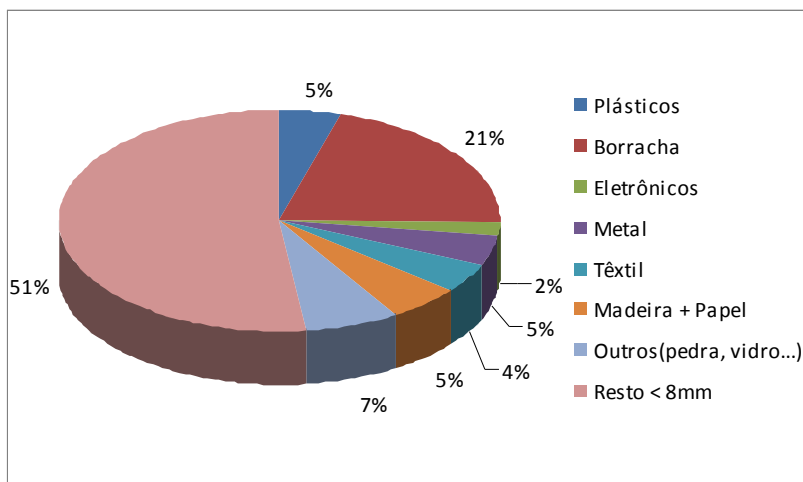


Figura 25: Composição em massa de materiais na fração do fluff com granulometria > 2 mm.



Figura 26: Fração não identificada do material, predomínio de materiais com granulometria entre 2 e 8 mm.

A fração com granulometria superior a 2,0 mm foi quarteada e moída para a realização das análises químicas, elementar e mineralógica. A Figura 27 mostra o aspecto do material antes e após a moagem no moinho micronizador. A distribuição média da granulometria antes e após a micronização é apresentada na mesma Figura. Pode-se observar que a maior parte do material, mais de 50% da amostra moída, possui a granulometria menor que 0,150 mm.

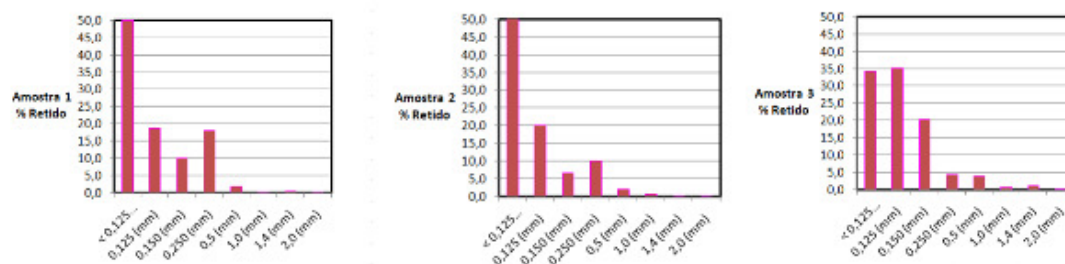


Figura 27: Imagens da amostra > que 2mm antes e após o processo de micronização, bem como a distribuição granulométrica média do material.

A Tabela 26 apresenta os resultados da análise elementar. A metodologia analítica empregada visou determinar a composição elementar real do material. Pode-se observar que nesta fração há uma maior fração de compostos poliméricos, com valores de C, O, e H com valores médios de aproximadamente 39%, 10% e 4%. A presença de metais também é significativa, com valores de: 5,5% Fe, 4,5% Cu, 3,4% K, 5,6% Na, 3,4% Pb, 2,3% Al, 2,5% Ca e 1,8% Zn. A concentração média de N, S e Cl foram de 0,75%, 0,47% e 2,56%, respectivamente. O valor médio de silício foi de 5,3%. O valor de O foi calculado por diferença.

Tabela 26: Análise elementar das três amostras de “fluff” do triturador de sucata em granulometria > 2 mm.

Elemento	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio padrão
C (%)	39,26	39,25	39,99	39,48	0,43
H (%)	4,49	4,56	4,54	4,53	0,03
N (%)	0,74	0,74	0,77	0,75	0,02
S (%)	0,55	0,44	0,43	0,47	0,06
O e EM (%)	10,00	10,00	8,00	10,00	0,00
Al (%)	2,55	2,23	2,28	2,35	0,17
Ca (%)	2,44	2,55	2,55	2,51	0,06
Cl (%)	1,99	2,62	3,08	2,56	0,54
Cu (%)	4,48	4,29	4,87	4,54	0,29
Fe (%)	5,45	5,61	5,6	5,55	0,09
Si (%)	5,1	5,25	5,61	5,32	0,26
Zn (%)	2,68	1,31	1,36	1,78	0,77
As (%)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00
Cd (%)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00
Co (%)	0,02	0,02	0,04	0,03	0,00
Cr (%)	0,62	0,41	0,47	0,49	0,10
F (%)	0,49	0,55	0,48	0,51	0,03
K (%)	3,23	3,37	3,57	3,39	0,17
Mg (%)	5,86	6,08	6,33	6,08	0,23
Mn (%)	0,65	0,65	0,74	0,68	0,05
Na (%)	5,38	5,65	5,96	5,66	0,29
Ni (%)	0,29	0,21	0,31	0,27	0,05
Pb (%)	3,23	3,54	3,70	3,48	0,24
P (%)	0,37	0,45	0,50	0,44	0,06
Hg (%)	ND	ND	ND		

A Figura 28 mostra os resultados da análise termogravimétrica, que permite analisar a variação da massa em função do tempo e temperatura. O ensaio foi realizado a atmosfera oxidante até a temperatura de 1000°C. Observa-se nesta figura que as amostras da fração do Fluff > 2 mm perdem mais de 60% da totalidade da sua massa até a temperatura de 550°C, típico da decomposição térmica da maioria dos polímeros orgânicos.

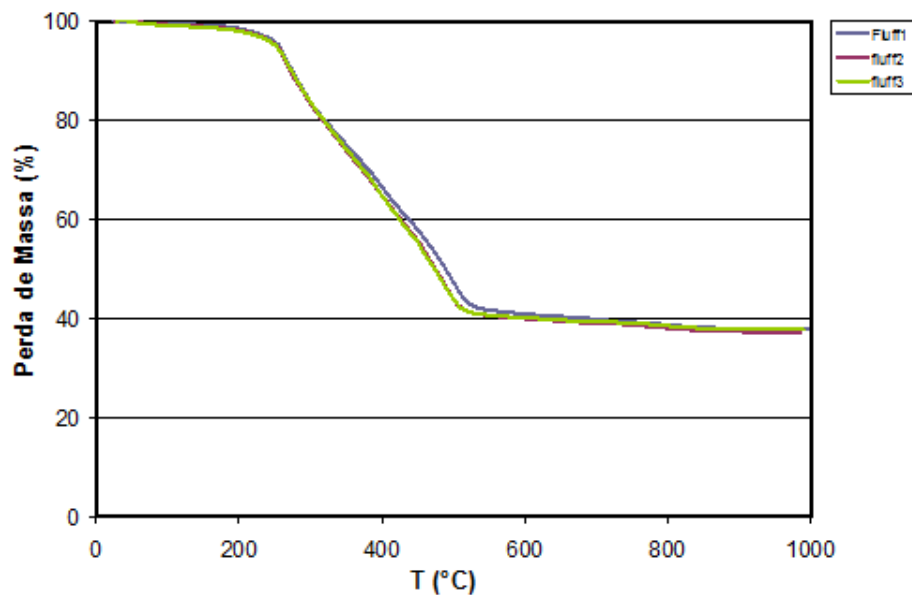


Figura 28: Resultados do ensaio termogravimétrico da fração > 2 mm.

A Tabela 27 apresenta os valores de umidade, de perda ao fogo e de poder calorífico da fração com granulometria acima de 2,0 mm, obtida nas três amostras, coletadas de “fluff”. A perda ao fogo, com um valor médio de 37,0 %, foi inferior ao da análise termogravimétrica (TGA). Isso pode ser decorrente da pequena massa de amostra empregada na análise TGA, onde a amostra pinçada pode não representar corretamente a amostra total. Contudo, os valores de perda ao fogo igualmente indicam que o material possui uma fração orgânica significativa e que possui potencial para uso na geração ou co-geração de energia. O valor do poder calorífico médio foi determinado em 3.781 cal/g, de acordo com o esperado em resíduos de trituradores de sucata (vide teores de C e H, S).

Tabela 27: Perda ao fogo, teor de umidade, PC na fração > 2,0 mm.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	DP
Umidade (%)	0,065	0,056	0,038	0,053	0,013
Perda ao fogo (%)	36,5	35,3	39,2	37,03	1,974
Poder calorífico (cal/g)	3.682	3.787	3.873	3780,667	0,957

Os resultados de caracterização da fração grosseira deste trabalho estão de acordo com as conclusões encontradas na literatura. Jody et al. (2006) mostraram que cerca de 40-50% do resíduo do shredder é baseado em materiais contendo hidrocarbonetos (tais como plásticos, fibras, madeira, papel, alcatrão, óleos e borracha). De acordo com

Brunner et al. (1999), o cobre e o cloro são principalmente encontrados nas frações mais grosseiras, que estão de acordo com os dados da literatura.

Em termos de aplicação, há um consenso que a melhor alternativa de estudo seria na produção de energia. Lanoir et al. (1997b), em seus estudos, realizaram a completa caracterização do resíduo do shredder, visando a combustão em uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos (MSWIP) ou em um forno de cimento. O resultado do estudo apresentou os seguintes valores: poder calorífico 4.538,1 cal/g, teor de cinzas 38% em massa, teor de cloro 3,5% e teores de metais 22% (incluindo ferro 13%). Comparando com o resíduo do shredder analisado nesse estudo, todos os valores são bastante similares. Contudo, alternativas de remoção do cloro devem ser ainda estudadas (BOUGHTON & HORVATH, 2006).

4.5 Tecnologia de Separação do Resíduo do triturador

A partir da análise da revisão bibliográfica e do trabalho de caracterização do material conduzido neste trabalho, constatou-se que a maioria dos processos que visam o aproveitamento do resíduo do triturador de sucata necessitam da separação do resíduo. Assim, a tecnologia de separação escolhida foi a separação do material através de esteira e peneiramento. Figura 29 mostra um desenho da planta sugerida para uma produção estimada em 30 t/h.

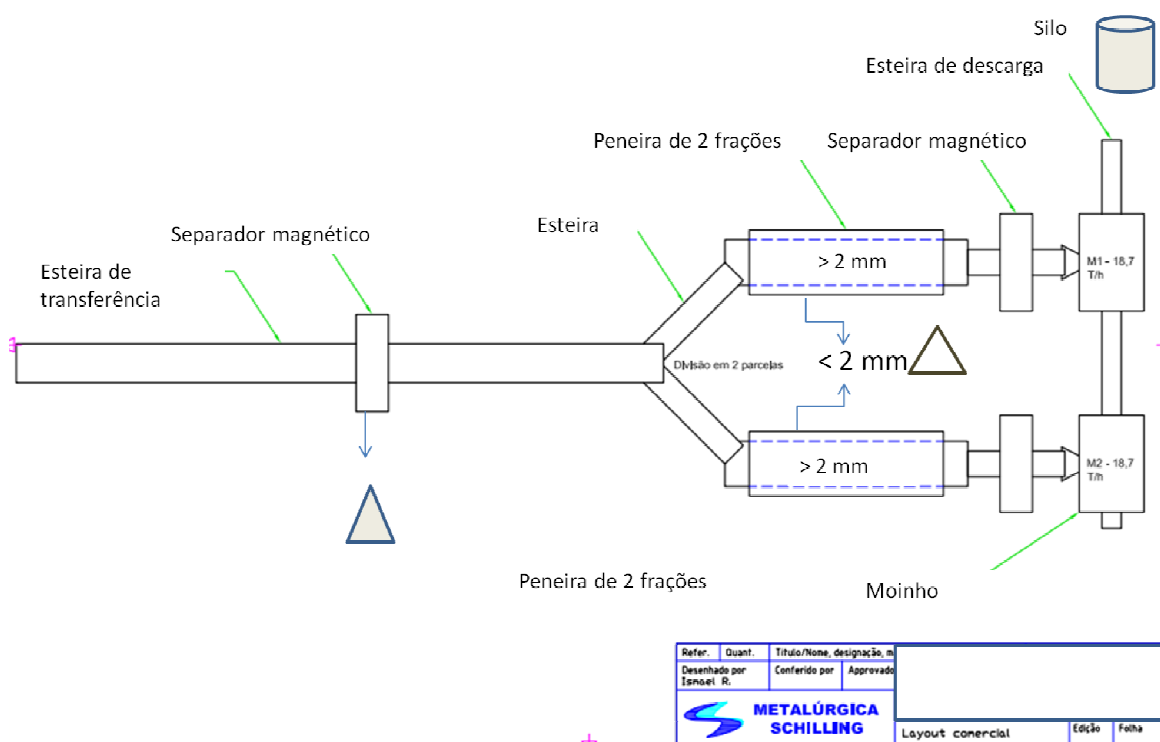


Figura 29: Equipamento de separação dos resíduos do triturador de sucata.

O equipamento é composto por:

- (a) esteira de interligação entre descarga de material no equipamento triturador de sucata até as peneiras de separação;
- (b) separador magnético de materiais ferrosos;
- (c) 2 peneiras para separação dos materiais em 2 frações;
- (d) 2 esteiras para interligação até os moinhos;
- (e) 2 separadores magnético, uma para cada esteira;
- (f) 2 moinhos para a moagem do resíduo;
- (g) 1 esteira de descarga que abrange os 2 moinhos;
- (h) acionamentos e painel elétrico para partida e controle dos motores;
- (i) controle dos equipamentos por CLP e sistema supervisório;
- (j) tensão de funcionamento dos motores 440V;
- (k) cabeamento de ligação entre os equipamentos e o quadro de comando.

4.5 Avaliação econômica da viabilidade de separação do resíduos do triturador de sucata

Atualmente são gerados 3850 t /mês do resíduo do Shredder. Como até o presente estudo nenhuma alternativa de reciclagem foi desenvolvida, a empresa envia mensalmente todo o resíduo para aterro licenciado. Assim, realizou-se uma análise econômica de forma a avaliar o investimento em equipamentos para a separação das frações. Efetuou-se o estudo considerando que a fração dos materiais encontrasse uma aplicação, até o fim da implementação do equipamento.

A Tabela 28 apresenta os custos de investimento para a instalação do equipamento de separação e moagem para o reaproveitamento de resíduos do Shredder e/ou triturador de sucata. Estão listados na tabela os custos de aquisição dos equipamentos e serviços necessários à implantação de um novo sistema de separação (projeto de engenharia, licenciamento da tecnologia, obras civis, equipamentos e materiais, montagem, hospedagem, e alimentação).

Tabela 28: Investimentos necessários para implantação do projeto.

Investimentos para Implantação do projeto de separação dos resíduos	Valor R\$
Projeto de Engenharia	1.000.000,00
Equipamentos e Materiais (conforme descrito no item 4.6)	3.000.000,00
Licenciamento da Tecnologia	100.000,00
Obras Civis (mão de obra)	1.000.000,00
Total	R\$ 5 100.000,00

Fonte: Projetos Schiling

Depois de realizado todo o estudo técnico para avaliar os custos de implementação da tecnologia, faz-se necessário a elaboração de um estudo econômico de forma a se estimar os custos de operação e manutenção dos equipamentos bem como do retorno econômico. No presente trabalho, considerou-se como receita o que se deixa de gastar com o envio para aterro e como despesas os custos com manutenção e de operação. Na Tabela 29 verifica-se as despesas mensais após a implementação do projeto e na tabela 30 verifica-se as receitas mensais após a implementação do projeto.

Tabela 29: Despesas mensais com o projeto implementado.

Despesas mensais após a implementação do projeto			
Despesas	Consumo	Valor unitário	Total
Energia elétrica	92.000	0,25 kWh	R\$ 23.000,00
Funcionários	2	R\$ 900,00	R\$ 2.000,00
Total de despesas			R\$ 25.000,00

Tabela 30: Receitas mensais com o projeto implementado.

Receita mensal após a implementação do projeto			
Receitas	Consumo	Valor unitário (t)	Total
Não envio de resíduos para aterro	3 850 t /mês	R\$ 91,50 (disposição em aterro e transporte*)	R\$ 352.000,00
Receita Total			R\$ 352.000,00

*Valor de referência (consulta realizada em dois aterros localizados na região metropolitana no estado do Rio Grande do Sul, 10/05/2012)

Na tabela 31 verifica-se o resultado financeiro da receita total já descontada as despesas mensais após a implementação do projeto.

Tabela 31: Receita total após a implementação do projeto

Receita total mensal após a implementação do projeto		
Receita mensal bruta	R\$	352.000,00
Despesa mensal bruta	R\$	25.000,00
Receita total (mensal) líquida	R\$	327.000,00

O cálculo foi realizado considerando 100% de capital próprio. Para realizar a análise do retorno do investimento foi necessário que um índice de juros mensais fosse utilizado com o intuito de considerar a desvalorização monetária. O índice utilizado foi o IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado). No **ANEXO 2**, há um histórico com os juros mensais dos últimos três anos (2009 a 2011). Realizando uma média mensal destes 36 meses, observa-se que a taxa de juros média mensal foi de, aproximadamente, 0,82% ao mês (o que corresponde a aproximadamente 10,56% ao ano de juros compostos). Esse foi o valor considerado nas análises de retorno de investimento.

Estabelecido o montante a ser investido, a amortização e a taxa de juros com base no IGP-M, foi possível determinar o retorno do investimento, seguindo a equação citada no item 3.10. O prazo de conclusão das obras foi assumido em 6 meses.

Portanto, o resultado do retorno de todo o investimento com o pagamento a vista, considerando uma taxa de juros mensal de 0,82%, foi de **21 meses, ou então, 1,75 anos**.

Após essa verificação, foi realizada uma outra simulação considerando o pagamento dividido em 6 parcelas e considerando, além do capital inicial, amortização, juros (taxa de atratividade), montante contabilizado anualmente, 2 % do investimento em manutenção do equipamento, gastos com imposto de renda e depreciação do equipamento. Como resultado dessa avaliação econômica, considerando o pagamento dividido e taxa de manutenção, tem-se um **tempo de retorno de 25 meses**, que representa 2,08 anos.

Através do contato com representantes da área de projetos e investimentos da empresa, verifica-se que esta definiu determinadas normativas que devem ser cumpridas para implantação de novos investimentos e uma delas exige, que o tempo de retorno, “payback”, seja de no máximo 3 anos.

Até o momento desse estudo, foi possível comprovar a viabilidade econômica de implantação do projeto.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- A geração dos resíduos do processo de trituração da sucata, no equipamento Shredder, é dividida em quatro frações distintas: Fluff (< 15 mm), Fluff (entre 15 e 100 mm) Fluff (> 100mm) e a sucata metálica não ferrosa.

- A quantificação da massa de entrada de sucata e dos fluxos de materiais nas diferentes baias do equipamento triturador de sucata possui a seguinte distribuição: 9,8% Fluff (< 15 mm), 87,1% Fluff (entre 15 e 100 mm), 1,0% Fluff (> 100 mm) e 2,1% sucata metálica não ferrosa, única fração atualmente enviada para reciclagem.

- No balanço de um corrida de operação do triturador de sucata, verificou-se que para cada tonelada de sucata processada, são gerados 250 kg de fluff, ou seja, 25% de resíduo.

- As amostras do fluff, teoricamente entre 15 e 100 mm, apresentam uma significativa quantidade de material abaixo de 15 mm. Essa fração como um todo pode ser peneirada em uma granulometria de corte de 2,0 mm, de forma a se obter uma fração terrosa < 2 mm (42%) e uma fração de materiais particulados grosseiros > 2 mm (58%).

- Na fração < 2 mm do resíduo do triturador de sucata predominam grãos de origem mineral que se concentram na faixa granulométrica entre 0,25 mm e 1,00 mm. A massa específica real variou entre 2,58 t/m³ a 3,06 t/m³ e a massa específica aparente entre 0,81 t/m³ e 1,21 t/m³. A análise elementar demonstrou que os elementos mais abundantes são: Fe (25%), Si (16%) e O (42%). Contudo, o material apresenta concentrações elevadas de alguns metais, como: Cu (0,2%), Cr (0,2%), Ni (0,02%), Zn (1,3%) e Pb (0,22%). Os níveis de Cl foram quantificados em 0,09%. Os componentes cristalinos identificados por DRX foram óxidos de ferro (magnetita e hematita) bem como outros minerais presentes no solo como quartzo, plagioclásios, calcita e dolomita; indicando que o material é rico em óxidos, principalmente de ferro e silício.

- Os ensaios de Lixiviação e Solubilização de acordo com as prescrições da NBR 10.004 (2004) classificaram o resíduo do triturador de sucata com granulometria < 2 mm como Resíduo Não perigoso - Classe II-A. O material só não foi considerado inerte por exceder no ensaio de solubilização as concentrações de Fe e Mn, elementos com menor preocupação ambiental e normalmente encontrados na composição dos solos.

- A fração < 2 mm do resíduo do triturador de sucata apresenta características compatíveis para uso na indústria cimenteira. Os valores de cloro encontrados de 0,09% são inferiores ao limite estabelecido pela indústria cimenteira que é de 0,4%, afim de evitar corrosão e compostos deletérios na composição do cimento.

- Na fração > 2 mm do resíduo do triturador de sucata ocorre uma mistura muito heterogênea de materiais, incluindo plásticos, borrachas, couros, resíduos têxtil, componentes eletrônicos, fragmentos metálicos e pedaços de rocha e concreto. O material apresenta uma massa específica real em 0,78 t/m³ e a massa específica aparente em aproximadamente 0,54 t/m³. A análise elementar demonstrou que os elementos mais abundantes são: C (39%), O (10%) e H (4%). A presença de metais também é significativa: Fe (5,5%), Cu (4,5%), K (3,4%), Na (5,6%), Pb (3,4%), Al (2,3%), Ca (2,5%) Zn (1,78%). Outros elementos de interesse ambiental quantificados foram: N (0,75%), S (0,47%), Cl (2,56%) e Si (5,3%).

- A fração > 2 mm do resíduo do triturador de sucata, por apresentar uma grande fração de compostos poliméricos a base de carbono, apresenta potencial de uso para a produção de energia. O poder calorífico médio do material foi determinado em 3781 cal/g. Estudos de perda ao fogo do material indicaram que em atmosfera oxidante a redução em massa do material pode chegar a 60% em temperaturas acima de 550°C. Entretanto, os níveis de cloro, enxofre e nitrogênio exigem estudos adicionais para evitar problemas ambientais, principalmente no que tange as emissões gasosas.

- Dados de literatura bem como as constatações deste trabalho indicam que para o aproveitamento do resíduo do triturador de sucata é necessária a separação do resíduo. Propõe-se neste trabalho uma unidade de processamento do resíduo uma planta que inclui operações de transporte, separação magnética, peneiramento e moagem da fração polimérica. A fração fina < 2 mm com destinação para a indústria cimenteira e a fração grossa com destinação para a produção de energia.

- O retorno econômica do investimento de uma planta para o processamento do resíduo do triturador de sucata foi estimado em aproximadamente em dois anos, considerando economia nos custos de aterros e a destinação do material sem retorno financeiro.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se a oportunidade dos seguintes trabalhos futuros:

- Avaliar a eficiência do peneiramento da planta de processamento de sucata da Empresa em estudo.
- Realização de estudos para o aproveitamento da fração < 2 mm na produção de cimentos e em briquetes autorredutores no processo siderúrgico.
- Realização de testes de combustão em planta piloto com a fração > 2 mm com análise de gases e quantificação e qualificação das cinzas geradas.
- Estudos utilizando a fração > 2 mm em plantas de cogeração de energia.
- Avaliar o peneiramento inicial utilizando a peneira de 1 mm.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 1984, 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, Rio de Janeiro, 1986. 9p.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8289:1983 (versão Corrigida: 1987) -Carvão mineral - Determinação do teor de cinzas. 1983. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro, 2004. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 10.007, ABNT – Amostragem de resíduos sólidos.. Rio de Janeiro, 21, 2004a.

AMBROSE, C.A.; HOOPER, R.; POTTER, A.K.; SINGH, M.M.. Diversion from Landfill: Quality Products from Valuable Plastics. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 36, n. 4, p. 309-318, 2002.

AMBROSE, C.A, Singh, M., Harder, M., The material composition of shredder waste in the UK, IWM Scientific & Technical Review, November, p 27-35, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. **Aciaria elétrica**. ABM: 2004. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/>>. Acesso em: 20 set 2009.

BANKS, M.E.; LUSK, W.O.; OTTINGER, R.S. **New Chemical Concepts for Utilization of Waste Plastics**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1971.

BATISTA, E. A gestão de co-produtos na Arcelor Mittal Tubarão. IN: 2ª Workshop de Sustentabilidade do Setor Siderúrgico Brasileiro. **Anais do 2ª Workshop de Sustentabilidade do Setor Siderúrgico Brasileiro**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/cim/download/20080327_2workshoppagregado_EltonBatista.pdf. 2008>. Acesso em: 17 dez 2011.

BELLMANN K.; KHARE A. Economic issues in recycling end-of-life vehicles. **Technovation**. V. 20, n. 12, p. 677-690, 2000.

BETTINELLI, M.; BEONE, G.M.; SPEZIA, S.; BAFFI, C. Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. **Analytica Chimica Acta**. V. 424, n. 2, p. 289-296, 2000.

BORN, M.; BERGHOFF, R. (Eds.). **Gasification processes for waste treatment** (in German: Vergasungsverfahren für die Entsorgung von Abfällen). Düsseldorf: Springer/VDI Verlag, 1998.

BOUGHTON, B.; HORVATH, A.. Environmental assessment of shredder residue management. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 47, n. 1, p. 3–25, 2006.

BOUGHTON B., Horvath A. Evaluation of shredder residue as cement manufacturing feedstock 2006 *Resources, Conservation and Recycling* 51 621–642, 2007.

BRASLAW, J.; GERLOCK, J. L. Polyurethane Waste Recycling 2, Polyol Recovery and Purification. **Industrial and Engineering Chemistry**. V. 23, n. 3, p. 552-557, 1984.

BRUNNER, M.; MARK, F.; ACKERMAN, R.; WIRZ, C.. Characterization and possibilities for recovery of automotive shredder residues. **Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration**. Geneva (Switzerland):1999.

BUTLER, J.; HOOPER, P.. Dilemmas in optimising the environmental benefit from recycling: A case study of glass container waste management in the UK. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 45, n. 4, p. 331-55, 2005.

CIUCCIO, Marialice Thibes Ponzoni. **Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para a reciclagem de veículos e seus materiais**. 2004. 191p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, UFSCar, São Carlos, 2004.

CEB - COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON. Structural effects of time-dependent behavior of concrete. **Bulletin d'information**, n. 142/142 Bis, 1984.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Site**. CSN:2008. Disponível em: <<http://www.csn.com.br>>. Acesso em: 18 set 2009.

CURLEE, T.R. **The Economic Feasibility of Recycling: A Case Study of Plastic Wastes**. New York: Praeger Publishers, 1986.

D'ALMEIDA, M.L.O; SENA, L.B.R. **Reciclagem de Outras Matérias - Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 2000.

DAS, S.; CURLEE, T.R.; RIZY, C.G.; SCHEXNAYDER, S.M. Automobile recycling in the United States: energy impacts and waste generation. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 14, n. 3-4, p. 265-284, 1995.

DAY, Michael. Auto shredder residues—a waste or a valuable resource? **Society of Automotive Engineers Paper #930562 - SAE Special Publication**, p. 73-80, 1993.

DEAN, K. C.; STERNER, J. W.; SHIRTS, M. B.; FROISLAND, L. J. Bureau of Mines research on recycling scrapped automobiles. **Bulletin 684**. Washington: U.S. Department of the Interior. 46 p. 1985.

DETRAN, PORTARIA DETRAN/RS Nº 383 DE 22 DE DEZEMBRO DE 2009. Dispõe sobre os procedimentos a serem adotados para a destinação dos veículos e materiais inservíveis sem identificação ou sem possibilidade de qualquer regularização junto ao Órgão Executivo Estadual de Trânsito e não mais procurados nos pátios dos Centros de Remoção e Depósitos – CRDs, do Departamento Estadual de Trânsito - DETRAN/RS, e dá outras providências. Acesso: 10 de abril de 2012.

DIRECTIVE 2000/53/EC the European Parliament and of the Council on 18 September 2000 on End-of-Life Vehicles. Official Journal of the European Communities, 21, October 2000.

DISLER, W., Keller, C. “Co-incineration of non-metallic auto shredder waste (RESH) in solid waste incineration plants” Proceedings of R’97 Recovery Recycling Reintegration, Geneva (Switzerland), A. Barrage, X. Edelmann (Eds.), EMPA, St. Gallen (Switzerland), Vol V pp. 69-73, Feb. 1997

DRESSLER, V. L.; PEREIRA, J. S. F.; ENDERS, M. S. P.; SANTOS, C. M. M.; MÜLLER, E. I.; FLORES, E. M. de M. Pyrohydrolysis of carbon nanotubes for Br and I determination by ICP-MS. **Microchemical Journal**. V. 101, p. 54-58, 2011.

EPA - Environmental Protection Agency. Method 3052: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (compact disc). Washington, 1996.

EPA - Environmental Protection Agency. Method 3050b: acid digestion of sediments, sludges and soils, (compact disc). Washington, 1996.

ENGLWEILER, J. Treatment of municipal solid waste and ASR in the Von Roll RCP 66 process: experimental result and case studies. IN: R’99 Recovery Recycling Re-integration. **Proceedings of R’99 Recovery Recycling Re-integration**. Geneva (Switzerland):1999.

FISHER, M. **The role of plastics in automotive shredder residue**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 1999-01-0664. Detroit, MI: Society of Automotive Engineers; 1999.

FORTON, O; HARDER, M.K; MOLES, N.R. Value from shredder waste: ongoing limitations in the UK. **Resour Conserv Recycling**. V. 46, n. 1, p. 104-113, 2006.

FRUEHAN, R. J.; FORTINI, O.; PAXTON, H. W.; BRINDLE, R. **Theoretical Minimum Energies to Produce Steel for Selected Conditions**. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, 2000.

GALLMEYER, W. et al. **USCAR US Field Trial for Automotive Polymers Recycling**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 2003-01-0645; 2003.

GALVAGNO, S.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G.; CASU, S.; COPPOLA, T.; SHARMA, V.K. Pyrolysis process for treatment of automobile shredder residue: preliminary experimental results. **Energy Conversion and Management**. V. 42, n. 5, p. 573-586, 2001.

GERDAU AÇOS LONGOS. **Relatório Gerdau 2008**. GERDAU:2008. Disponível em <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: out de 2009.

GERRARD J; KANDLIKAR, M. Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on “green” innovation and vehicle recovery. **Journal of Cleaner Production**. V.15, n. 1, p.17–27, 2007.

GOMES V. Material transformation and recycling of automotive shredder residues. **Dev. Chem. Eng. Mineral Process**. V. 14, n. 1/2, p. 183–192, 2006.

GOMES, V.G., Thai, N. “Recycling options for mixed plastics in automotive shredder residues” Proceedings of R'2002 Recovery Recycling Re-integration, Toronto (Canada (CD-ROM) A. Barrage, X. Edelmann (Eds.), EMPA, St. Gallen (Switzerland)), June 2002.

GUNN, P. Shear Power: Learning how Scrap Shears Work is the Best First Step in the Shopping Process. **Recycling Today**, p. 284-90, 2005.

HORII, M.; IIDA, S. Study of spontaneous combustion for automobile shredder residue (ASR). **JSAE Review**. V.20, n. 3, p. 395-400, 1999.

HUANG, C.J.; DALTON, C. Energy Recovery from Solid Waste. **National Aeronautics and Space Administration report NASA-CR-2526**, 1975.

HUBBLE, W.S.; MOST, I.G.; WOLMAN, M.R. Investigation of the Energy Value of Automobile Shredder Residue. **Washington: U.S. Department of Energy Report DOE/ID-12551**, 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Siderurgia Brasileira: Relatório de Sustentabilidade 2010. IBS:2010. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio08_2010.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2011.

INSTITUTO DO AÇO BRASIL. Números de Mercado, Estatísticas. IAB:2012. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>>. Acesso em: 11 mai 2012.

JARDIM, N.S et al. (Coord.). **Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado**. 1ª Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995.

JODY, B.J.; DANIELS, E.J.. **End-of-Life Vehicle Recycling: The State of the Art of Resource Recovery from Shredder Residue**. Department of Energy Laboratory managed by Chicago

Argonne, LLC Energy Systems Division, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, p: 146, 2006.

JUNIPER CONSULTANCY. Pyrolysis and gasification of waste in Europe: A Technology & Business Review. England: Juniper Consultancy Services Limited, 1997.

KELLER, C. Optimised disposal of automotive shredder residue. In: Municipal Solid Waste Management - Strategies and Technologies for Sustainable Solutions. Ludwig, C., Hellweg, S., Stucki, S., (Eds.), Springer-Verlag, Heidelberg (Germany) pp. 294-307,(2003).

KONDOH, M.; HAMAI, M.; YAMAGUCHI, M.; MORI, S.. Study of gasification characteristics of automobile shredder residue. **JSAE Review**. V. 22, n. 2, p. 234-236, 2001.

KUSAKA, K.; IIDA, S. Sorting, compaction and solidification technologies for automobile shredder residue (ASR). **JSAE Review**. V. 21, n. 4, p. 549-554, 2000.

LANOIR, D.; TROUVÉ, G.; DELFOSSE, L.; FROELICH, D.; KASSAMALY, A. Physical and chemical characterisation of automotive shredder residue. **Waste Management & Research**. V.15, n. 3, p. 267-276, 1997.

LANOIR, D.; TROUVÉ, G.; DELFOSSE, L.. Laboratory scale studies on gaseous emissions generated by the incineration of an artificial automotive shredder residue presenting a critical composition. **Waste Management & Research**. V. 17, n. 8, p. 475-482, 1997.

LOHSE, J.; SANDER, K.; WIRTS M. **Country of Report, Sweden. International Workshop on Car Recycling**. Stockholm, Sweden. July 2001.

MARK, F. **Environmentally sound energy recovery from automotive shredder residue**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 1999-01-0990. Detroit, MI: Society of Automotive Engineers; 1999.

MARK, F.E.; FISHER, M.M. Energy recovery from automotive shredder residue through co-combustion with municipal solid waste. IN: R'99 Recovery Recycling Re-integration. **Proceedings of R'99 Recovery Recycling Re-integration**. Geneva (Switzerland): 1999.

MIRABILE, D.; PISTELLI, M.I.; MARCHESINI, M.; FALCIANI, R.; CHIAPELLI, L. Thermal valorisation of automobile shredder residue: injection in blast furnace. **Waste Management & Research**. V. 22, n. 8, p. 841-851, 2002.

MIRANDA, J. **Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho- Amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. 1993. 65p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

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, 2005.

MOURÃO, M. B. **Introdução a Siderurgia**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais. ABM, 2007. 428 p

NISSAN. Eight carmakers form new alliance for shredder residue recycling. NISSAN:2004. Disponível: <<http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2004/STORY/040109-01.html>>. Acesso em: mar 2004.

NOLDIN Jr., J. H.; D'ABREU, J. C. Tecnoed TRIOS - Convertendo custos em lucro. In: Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas. **Anais**. Florianópolis: ABM, 2005. V. 1, p.467-476.

NOURREDDINE, M. Recycling of auto shredder residue. **Journal of Hazardous Materials**. V. 139, n. 3, p. 481-490, 2007.

PASEL, C.; WANZL, W. Experimental investigations on reactor scale-up and optimization of product quality in pyrolysis of shredder waste. **Fuel Processing Technology**. V.80, n. 1, p. 47-67, 2003.

PATIERNO, O.; CIPRIANI, P.; POCHETTI, F.; GIONA, M. Pyrolysis of automotive shredder residues: a lumped kinetic characterization. **Chemical Engineering Journal**. V. 70, n. 2, p. 157-163, 1998.

PEREIRA, E. A. C. Aspectos técnicos da gestão de resíduos nas siderúrgicas integradas a coque. **Metalurgia & Metais**. V. 51, p.122-128, 1995.

PÉRET, A. T.; MIRANDA, F.; FRANCO, J.O.A; RIBEIRO, L.G; CANTARINO, M.V. Gestão de Resíduos Sólidos e co-produtos um estudo de caso: Arcelor Aços Longos. In: 63º Congresso Anual da ABM. **Anais**. Santos: ABM, 2008, P.1733 – 1743.

PIA. **Secondary Reclamation of Plastics Waste, Phase 1 Report Development of Techniques for Preparation and Formulation: Automobile/Appliances Shredder Residue, Mixed Industrial Waste, Curbside Separated Consumer Waste**. Plastics Institute of America, Inc., at Stevens Institute of Technology, Castle Point, Hoboken, NJ. 1987.

PIA. **Maximizing the Life Cycle of Plastics**. Final Report - Plastics Institute of America, Inc., Lowell, Mass. 1980.

RANTA, J. Thermal conversion of automotive shredder residue into energy and raw materials" (in Finnish: Autopaloittelujätteen ja rengasromun terminen konversio energiaksi ja raaka-aineksi). VTT Research notes 1960. 1999.

RAUSA, R.; POLLESEL, P.. Pyrolysis of automotive shredder residue (ASR) - Influence of temperature on the distribution of products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. V. 40-41, p. 383-401, 1997.

RECKZIEGEL, N. V. **Avaliação da viabilidade técnica, ambiental econômica para**

reaproveitamento do resíduo do Shredder em uma indústria siderúrgica. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Ambiental, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2009.

ROY, C.; CHAALA, A.. Vacuum pyrolysis of automobile shredder residue. **Resources Conservation & Recycling.** V. 32, n. 1, p. 1-27, 2001.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos,. 306p, 2006.

SATTLER, H.P.; LAAGE, B.. ASR – From waste to products. IN: R'2000 Recovery Recycling Re-integration. **Proceedings of R'2000 Recovery Recycling Re-integration (CD-ROM).** Toronto (Canada): 2000.

SAXENA S; RAO N; REHMAT A; MENSINGER M. Combustion and co-combustion of auto fluff. **Energy.** V. 20, n. 9, p. 877–87, 1995.

SCHUT, J. **Commingled plastic waste: new gold mine for automotive processors.** Plast Technology: 2001. Disponível em: <<http://www.plasticstechnology.com/articles/articleprint1.cfm>>. Acesso em: Fev 2006.

SCHUT, J. **Close-up on recycling: how to turn auto shredder waste into 60 million lb of plastic pelle.** 2004. Disponível em: <<http://www.plasticstechnology.com/articles/200410cu3.html>>. Acesso em: Dez 2005.

SELINGER, A.; STEINER, CH.; FLECK, E.. TwinRec – Energy and material recovery from car shredder residues. IN: R'2002 Recovery Recycling Re-integration. **Proceedings of R'2002 Recovery Recycling Re-integration (CD-ROM).** Geneva (Switzerland):2002.

TARCIZO, A. Gestão de Resíduos portadores de Ferro e Carbono, 2008. In: 2º Workshop de Sustentabilidade do Setor Siderúrgico Brasileiro. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/cim/download/20080327_2workshopagragado_AndreTarcizo.pdf>. Acesso em:17 de dez de 2010

TOYOTA. Toyota and Volkswagen cooperate in recycling and other areas. Toyota:2005. Disponível em: <<http://www.toyota.com/about/environment/partnerships/volkswagoncooperate.html>>. Acesso em: Jan 2005.

UNITED STATES COUNCIL FOR AUTOMOTIVE RESEARCH. USCAR celebrates a decade of automotive progress. USCAR: 2002. Disponível em: <<http://www.uscar.org/Media/2002issue1/p1celebrates.htm>>. Acesso em: Jan. 2005.

USINA VERDE S/A. Compromisso com o meio ambiente Disponível em: <<http://www.usinaverde.com.br>>. Acesso em: 24 ago. 2011

VAN SCHAİK, A., and M.A. Reuter, "The Optimization of End-of-Life Vehicle Recycling in the European Union," *Journal of Metals* 56(8), Aug. 2004.

WIENZEK, B. J.J. Press-Shears for Cutting and /or Baling Scrap Metal. **Metallurgist**. V. 47, n. 11- 12, 2003.

WINSLOW, G.R. et al.. **Advanced Separation of Plastics from Shredder Residue**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 2004-01-0469. 2004,

WINSLOW G, et al. **Study of plastic material recovery form automotive shredder residue**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 980093. 1998.

WINSLOW G, et al. **Recovery of selected engineering plastics from automotive shredder residue using skin flotation technology**. Society of Automotive Engineers (SAE) Technical Study Series 1999-01-0663. 1999.

ZEVENHOVEN, R; SAEED, L. Automotive shredder residue (ASR) and compact disk (CD)waste: options for recovery of materials and energy. **Report TKK-ENY-14, Helsinki University of Technology**. Energy Engineering and Environmental Protection: Finland, 2003. Disponível em: <<http://eny.hut.fi/library/publications/tkk-eny/tkk-eny-14.pdf>>. Acesso em: Jan 2005.

ANEXO 1 - Quantificação do Fluff > 100 mm

Apesar de não ter sido o foco do presente trabalho, a fração > 100 mm, com a geração aproximada de 2 t/dia, é de fácil separação. O material é graúdo e rico em plásticos e borracha. Assim, esse resíduo foi classificado manualmente nos diversos tipos de materiais, os resultados podem ser visto na Figura 30.

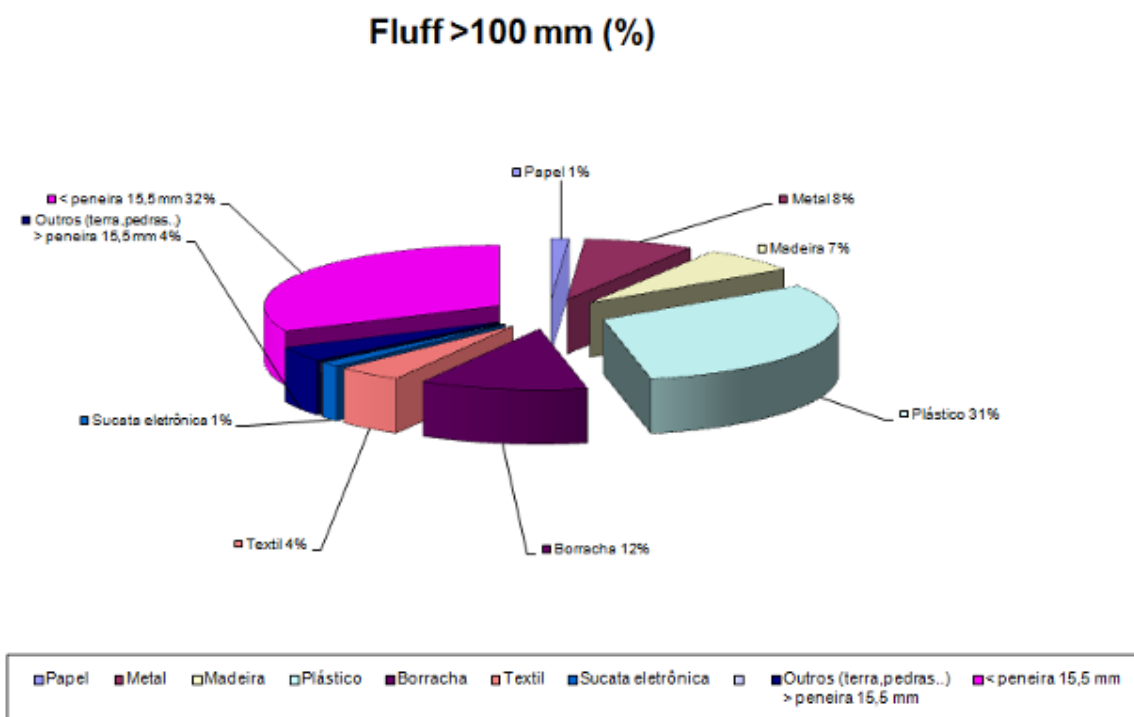


Figura 30: Composição de materiais na fração do fluff com granulometria > 100 mm.

Os resultados mostram que na divisão manual os plásticos estão em maior quantidade. A porcentagem de borracha também é elevada. Mesmo na separação manual o material possui uma fração menor que 15,5 mm, com muita mistura de materiais e de difícil caracterização.



Papel



Plástico



Borracha



Sucata de madeira



Sucata metálica



Sucata metálica



Fração < 15,5 mm

Figura 31: Diversas frações do Fluff > 100 mm

ANEXO 2 – ÍNDICE ECONÔMICO IGP-M

Fonte: Fundação Getúlio Vargas. Disponível em <http://fgvdados.fgv.br/> Acessado em MAIO/2012

Mês/ano	Índice do mês	Índice acumulado	Índice acumulado nos últimos 12 meses	Número índice acumulado a partir
	(em %)	no ano (em %)	(em %)	
dez/11	-0,12	5,0977	5,0977	1.138,86
nov/11	0,5	5,224	5,9501	1.140,23
out/11	0,53	4,7005	6,9516	1.134,56
set/11	0,65	4,1485	7,4622	1.128,58
ago/11	0,44	3,4759	7,9961	1.121,29
jul/11	-0,12	3,0226	8,3509	1.116,38
jun/11	-0,18	3,1464	8,6438	1.117,72
mai/11	0,43	3,3324	9,7649	1.119,73
abr/11	0,45	2,89	10,5955	1.114,94
mar/11	0,62	2,429	10,9478	1.109,94
fev/11	1	1,7979	11,3007	1.103,11
jan/11	0,79	0,79	11,499	1.092,18
dez/10	0,69	11,322	11,322	1.083,62
nov/10	1,45	10,5592	10,2717	1.076,20
out/10	1,01	8,979	8,8043	1.060,82
set/10	1,15	7,8893	7,7702	1.050,21
ago/10	0,77	6,6627	6,9925	1.038,27
jul/10	0,15	5,8476	5,7927	1.030,33
jun/10	0,85	5,6891	5,18	1.028,79
mai/10	1,19	4,7983	4,1892	1.020,12
abr/10	0,77	3,5659	2,8919	1.008,12
mar/10	0,94	2,7745	1,9525	1.000,42
fev/10	1,18	1,8174	0,2556	991,1039
jan/10	0,63	0,63	-0,6559	979,5453
dez/09	-0,26	-1,7123	-1,7123	973,4128
nov/09	0,1	-1,4561	-1,5842	975,9503
out/09	0,05	-1,5545	-1,3089	974,9753
set/09	0,42	-1,6037	-0,3915	974,488
ago/09	-0,36	-2,0152	-0,699	970,4123
jul/09	-0,43	-1,6612	-0,6591	973,9183
jun/09	-0,1	-1,2365	1,5258	978,1243
mai/09	-0,07	-1,1377	3,6397	979,1034
abr/09	-0,15	-1,0684	5,382	979,7893
mar/09	-0,74	-0,9198	6,2686	981,2612
fev/09	0,26	-0,1811	7,8531	988,5767
jan/09	-0,44	-0,44	8,1435	986,013