

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Tássia Nunes Dias Pereira

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO MERCADO DE RECICLAGEM NO BRASIL

JUIZ DE FORA

2014

Tássia Nunes Dias Pereira

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO MERCADO DE RECICLAGEM NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D.Sc. Bruno Milanez

Co-Orientador: D.Sc. Fernando Marques de Almeida Nogueira

JUIZ DE FORA

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Pereira, Tássia Nunes Dias.  
Avaliação do comportamento do mercado de reciclagem no Brasil / Tássia Nunes Dias Pereira. -- 2014.  
80 f. : il.

Orientador: Bruno Milanez  
Coorientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2014.

1. Reciclagem. 2. Alumínio. 3. Comércio internacional. 4. Catadores. 5. Resíduos sólidos. I. Milanez, Bruno, orient. II. Nogueira, Fernando Marques de Almeida, coorient. III. Título.

TÁSSIA NUNES DIAS PEREIRA

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO MERCADO DE RECICLAGEM NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 26 de junho de 2014

BANCA EXAMINADORA

---

D.Sc., Bruno Milanez (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

D.Sc., Fernando Marques de Almeida Nogueira (Co-Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

D.Sc., Carlos Frederico da Silva Crespo  
Universidade Federal de Juiz de Fora



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, e em especial, à minha mãe que sempre me deu suporte e me fez ser forte o bastante para alcançar meus objetivos.

Aos meus queridos amigos, que mesmo quando longe demonstraram sempre estar ao meu lado.

Aos meus professores, em especial, meus orientadores Bruno Milanez e Fernando Marques de Almeida Nogueira, por terem compartilhado seus conhecimentos comigo.

E finalmente, agradeço a Deus e ao meu pai, que me acompanharam durante essa caminhada iluminando meu caminho.

## RESUMO

A indústria de alumínio se caracteriza como um fator estratégico para a economia nacional, devido à fácil empregabilidade do material em diversos setores econômicos. Em meados de 1990, uma série de fatores impulsionaram as atividades de reciclagem de alumínio no Brasil. Entre esses fatores pode-se citar maior demanda por políticas de proteção ambiental e a rentabilidade obtida da atividade de reciclagem, uma vez que a sucata recuperada pode ser reinserida em processos produtivos em detrimento do alumínio primário, trazendo uma série de benefícios como redução de custos e diminuição dos impactos ambientais. O proposto trabalho avalia — a partir da análise de dados relacionados à economia e à atividade de reciclagem— o impacto causado pelas variações nos preços de commodities no mercado de reciclagem brasileiro levando em consideração a gestão do lixo urbano no Brasil, o panorama em que se desenvolvem as atividades de coleta de materiais recicláveis, o comportamento do mercado de alumínio, e os impactos que os indicadores econômicos do Brasil têm sobre o mercado de reciclagem. A partir da análise das séries históricas, conclui-se que tanto a taxa de reciclagem de latas de alumínio quanto o preço pago pela sucata coletada no Brasil são impactadas pelo comércio internacional, uma vez que ambas são explicadas em termos do preço de importação de sucata e quantidade exportada de sucata. Em uma análise mais geral, o preço pago pela sucata coletada no Brasil é amplamente influenciado pela demanda mundial. Além disso, a taxa de reciclagem de latas de alumínio também é impactada por indicadores econômicos, PIB e pela taxa de desemprego. O resultado desse trabalho ajuda a entender como crises da economia mundial podem impactar o mercado interno de reciclagem de alumínio, causando retração nos preços e podendo levar ao fechamento de cooperativas de catadores

Palavras-chave: Alumínio. Comércio Internacional. Reciclagem.

## **ABSTRACT**

The aluminum industry is characterized as a strategic factor for the national economy due the easy use of the material in various economic sectors. In mid-1990, a number of factors boosted recycling activities of aluminum in Brazil. Among these factors, the increased demand for environmental protection policies and the profitability obtained from the recycling activity, once recovered scrap can be reinserted into the production processes at the expense of aluminum primary, bringing a number of benefits such as reduced costs and reduced environmental impacts. The proposed study aims to assess data related to economics and recycling activities, the impact caused by changes in commodity prices in the recycling market taking into consideration the Brazilian urban waste management in Brazil, the panorama that develops the activities of collecting recyclable materials, the behavior of the aluminum market, as well as the impact that Brazilian economic indicators has upon the aluminum recycling market. By analyzing historical series, it can be concluded that both recycling rates for aluminum cans or the price paid for collected aluminum scrap in Brazil are impacted by international trade, once both are explained in terms of the price of imported of scrap and the amount of exported scrap. In a broader analysis, the price paid for collected aluminum is widely influenced by the world demand. Moreover, the recycling rate of aluminum cans are also impacted by economic indicators, GPD and unemployment rate. The result of this study helps on understanding how crises in the world economy can impact the domestic recycling market of aluminum, making prices decline and so leading to the closure of recycling cooperatives.

keywords: Aluminum. International Trade. Recycling.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Cronograma seguido no desenvolvimento do trabalho.....	16
Figura 2 — Árvore de problematização do trabalho dos catadores de materiais recicláveis...	28
Figura 3 — Pirâmide da cadeia de negociações no mercado de reciclagem.....	30
Figura 4 — Cadeia produtiva do alumínio com seus produtos intermediários e finais .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Consumo aparente de materiais recicláveis em 2005 e 2008 (em mil toneladas)	18
Tabela 2 — Cobertura da coleta direta e indireta de resíduos sólidos em 2001 e 2009 (%)....	19
Tabela 3 — Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de tratamento e destinação final (mil toneladas/dia) .....	20
Tabela 4 — Destinação final de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos por número de municípios .....	20
Tabela 5 — A coleta seletiva no Brasil e sua abrangência nos anos de 2000 e 2008 .....	22
Tabela 6 — Estações de triagem de resíduos recicláveis .....	22
Tabela 7 — Taxa de reciclagem de materiais recicláveis nos anos de 2005 e 2007 .....	23
Tabela 8 — Principais objetivos da Lei Nº 12.305 .....	25
Tabela 9 — Fatores críticos de competitividade internacional .....	34
Tabela 10 — Projeção do consumo mundial e alumínio de 2005 a 2020 ( milhões de toneladas).....	35
Tabela 11 — Produção e consumo mundial de alumínio primário por região em2010.....	35
Tabela 12 — Taxas de Reciclagem de latas de alumínio para diversos países entre 2007 e 2011 .....	38
Tabela 13 — Resumo sobre os trabalhos já realizados sobre o tema.....	44
Tabela 14 — Grau de correlação entre duas variáveis .....	47
Tabela 15 — Lista de variáveis analisadas no estudo .....	48
Tabela 16 — Matriz de correlação para as variáveis analisadas (MS Excel 2013).....	48
Tabela 17 — Resultados para o coeficiente de determinação para as variáveis analisadas.....	50
Tabela 18 — Autovalores maiores que um e suas variâncias antes e após a rotação .....	58
Tabela 19 — Matriz dos componentes rotacionada .....	58
Tabela 20 — Valores adotados para probabilidade de F como critério de escolha das variáveis para o modelo 1 .....	59
Tabela 21 — Variáveis regressoras do modelo1 em cada etapa .....	61
Tabela 22 — Resumo do modelo 1 de taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil.....	61
Tabela 23 — Tabela ANOVA para o modelo 1 da taxa de reciclagem de latas de alumínio ..	62
Tabela 24 — Resultados para o modelo 1 de taxa de reciclagem de latas de alumínio .....	62
Tabela 25 — Valores adotados para probabilidade de F como critério de escolha das variáveis para o modelo 2.....	64
Tabela 26 — Variáveis regressoras do modelo 2 em cada etapa .....	64

Tabela 27 — Resumo do modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil .....	65
Tabela 28 — Tabela ANOVA para o modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil .....	65
Tabela 29 — Resultados para o modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil .....	65

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

- ABAL – Associação Brasileira de Alumínio
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- FIV – Fatores de Inflação da Variância
- FUNASA – Fundação Nacional da Saúde
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
- IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
- LME – London Metal Exchange
- MCidades – Ministério das Cidades
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MNCR – Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis
- PIB – Produto Interno Bruto
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
- UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

## SUMÁRIO

<b><u>1. INTRODUÇÃO.....</u></b>	<b><u>12</u></b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 ESCOPO DO TRABALHO .....	13
1.4 OBJETIVOS .....	14
1.5 METODOLOGIA .....	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
1.7 CRONOGRAMA.....	16
<b><u>2. A GESTÃO DE RSU NO BRASIL E O MERCADO DE RECICLAGEM .....</u></b>	<b><u>17</u></b>
2.1 PRINCIPAIS PESQUISAS SOBRE RSU NO BRASIL E ALGUMAS LIMITAÇÕES .	17
2.2 ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RSU NO BRASIL .....	18
2.2.1A Geração e Coleta de RSU .....	18
2.2.2A Destinação Final de RSU.....	19
2.3 ESTRATÉGIAS DE SEGREGAÇÃO DO RSU: ASPECTOS GERAIS DA COLETA SELETIVA E TRIAGEM DE RSU .....	21
2.4 TRATAMENTO DO RSU: A RECICLAGEM NO BRASIL.....	23
2.5 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	23
<b><u>3. O CATADOR DE MATERIAIS RECICLÁVEIS.....</u></b>	<b><u>27</u></b>
3.1 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS .....	27
3.1.1O Papel do Catador no Mercado de Reciclagem.....	29
<b><u>4. O MERCADO DE ALUMÍNIO.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
4.1 A RELAÇÃO ENTRE O MERCADO DE ALUMÍNIO E A CADEIA DA RECICLAGEM .....	36

<b><u>5. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AOS DADOS COLETADOS E A TRABALHOS PREVIOS REALIZADOS SOBRE O TEMA .....</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>6. O MODELO PROPOSTO .....</u></b>	<b><u>46</u></b>
6.1 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS .....	46
6.2 REGRESSAO MÚLTIPLA.....	52
6.2.1Considerações conceituais referentes ao modelo .....	52
6.2.2Modelo 1: taxa de reciclagem de lata alumínio como variável dependente .....	59
6.2.3Modelo 2: preço pago pela sucata coletada como variável dependente .....	64
<b><u>7. CONCLUSÃO .....</u></b>	<b><u>67</u></b>
<b><u>REFERÊNCIAS .....</u></b>	<b><u>69</u></b>
<b><u>ANEXO 1 – MODELO 1: VARIÁVEIS FORA DO MODELO EM CADA ETAPA.....</u></b>	<b><u>74</u></b>
<b><u>ANEXO 2 — TABELA ANOVA PARA CADA ETAPA DO MODELO 1 .....</u></b>	<b><u>76</u></b>
<b><u>ANEXO 3 – MODELO 2: VARIÁVEIS FORA DO MODELO EM CADA ETAPA.....</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b><u>ANEXO 4 — TABELA ANOVA PARA CADA ETAPA DO MODELO 2 .....</u></b>	<b><u>78</u></b>
<b><u>ANEXO 5 — SÉRIES HISTÓRICAS ANALISADAS .....</u></b>	<b><u>79</u></b>
<b><u>ANEXO 6 — TERMO DE AUTENTICIDADE .....</u></b>	<b><u>80</u></b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diante da importância da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), essa pesquisa tenta relacionar o desenvolvimento de atividades de coleta e reciclagem de alumínio com o cenário econômico internacional.

Essa abordagem é motivada a partir da perspectiva de que atividades de reciclagem não são estimuladas apenas por políticas públicas, mas também por diversos fatores econômicos que influenciam a formação dos preços da sucata. Portanto, essa discussão busca entender o comportamento das atividades de reciclagem no Brasil.

A indústria que emprega materiais reciclados em seus processos produtivos influencia o mercado de reciclagem definindo a demanda por materiais secundários (material reciclado). Assim, a relação entre diferentes fatores como a demanda industrial, o incentivo à coleta seletiva e a oferta de materiais reciclados podem influenciar a formação dos preços da sucata e a rentabilidade de atividades de reciclagem.

Maior clareza sobre o funcionamento do mercado de reciclagem brasileiro pode ajudar no planejamento das atividades de seleção e reciclagem de materiais e, por fim, garantir maior rentabilidade à atividade de recuperação de sucata.

Sendo assim, a pesquisa baseia-se em um levantamento bibliográfico do tema e na análise estatística de séries históricas que representam o comportamento dos preços da sucata de alumínio no mercado de reciclagem brasileiro e as taxas de reciclagem de latas de alumínio entre 1995 e 2011 propondo, ao final do trabalho, uma análise sobre o grau de influência de diferentes variáveis sobre o comportamento do mercado de reciclagem de alumínio.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

O claro conhecimento do funcionamento do mercado de reciclagem, se levados em consideração fatores econômicos, permite um melhor planejamento de atividades de gestão de RSU. Entretanto, esse planejamento não deve se basear apenas nos benefícios econômicos da reciclagem, mas também tratá-la como uma atividade geradora de emprego e renda.

A organização de um sistema mais efetivo de coleta seletiva permite que catadores e cooperativas — que, no contexto brasileiro, são o elo mais frágil da cadeia de reciclagem

diante da dinâmica a qual está inserido (IPEA, 2011a)— tenham um maior acesso ao material potencialmente reciclável, permitindo maior oferta de material reciclado ao mercado.

A reciclagem permite uma série de benefícios econômicos para a sociedade, para o poder público e o setor privado. Esses benefícios são os custos evitados pela reciclagem em termos do consumo de recursos naturais e energia (IPEA, 2010b). Diante disso, a reciclagem tem sido alvo de políticas públicas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) e estudos que tentam entender e explicar como ela tem sido desenvolvida no Brasil.

Assim, diante da atual importância do tema, o presente estudo busca apontar quais variáveis impactam o setor de reciclagem no Brasil, mostrando como o mercado de reciclagem é influenciado pela dinâmica nacional e internacional de comercialização de alumínio primário e sucata. O estudo também tenta avaliar o impacto que variáveis econômicas como o Produto Interno Bruto (PIB), taxa de desemprego, e salário mínimo impactam no setor.

O bom conhecimento do mercado de reciclagem brasileiro permite uma visão mais completa de como variáveis relevantes ao tema impactam as taxas de reciclagem e nos preços pagos aos catadores e cooperativas pelo serviço prestado. Assim como permite determinar com maior clareza como as características estruturais do Brasil influenciam e determinam o panorama do mercado de reciclagem brasileiro.

### 1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O estudo parte do princípio de que a conjuntura da economia mundial influencia diretamente o nível de produção da indústria nacional e o nível em que ocorrem as importações e exportações de *commodities* (metais, petroquímicos, celulose etc.). Assim, diante de cenários de variação dos preços de comercialização do material primário e secundário, e por se tratarem de materiais substitutos, retrações econômicas podem gerar grandes quedas do preço de material secundário.

Nesse trabalho será analisada a hipótese de que variáveis referentes ao comércio externo de alumínio primário e sucata, assim como variáveis referentes à produção nacional de alumínio primário e secundário e variáveis relativas à conjuntura brasileira impactam na reciclagem de alumínio no Brasil.



## 1.4 OBJETIVOS

Diante do pressuposto de que as oscilações nos preços pagos pela sucata coletada no Brasil durante a crise de 2008 foi causada pela retração da economia mundial e pela forma com que a comercialização de sucata de alumínio é estruturada dentro da cadeia de reciclagem, o principal objetivo desta pesquisa é avaliar de que forma as variáveis econômicas influenciam o desempenho do setor de reciclagem de alumínio no Brasil (IPEA, 2009).

Para tanto, é necessário levantar a atual existência de políticas públicas voltadas para a coleta seletiva apontando, inclusive, sua fragmentação e atuais incentivos à reestruturação dos sistemas de coleta, tratamento, e disposição final de resíduos sólidos no país. Assim como, analisar como se desenvolve a dinâmica do mercado de reciclagem brasileiro.

Um segundo ponto de pesquisa, é aprofundar os conhecimentos de estudos que já trataram sobre o tema proposto. Até a presente data, diversos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de relacionar atividades de reciclagem com as condições do mercado internacional em que se desenvolve seu comércio. Sendo assim, é necessária a análise das metodologias e dos resultados encontrados em trabalhos prévios a fim de desenvolver um modelo apropriado que se aplique a realidade brasileira.

Além disso, é necessário o levantamento de séries históricas das variáveis a serem analisadas no presente estudo.

Por fim, o último objetivo específico deste estudo é com base na análise dos dados obtidos, verificar se existe influência de tais variáveis na determinação do panorama do mercado de reciclagem brasileiro.

## 1.5 METODOLOGIA

A metodologia possui uma abordagem qualitativa e quantitativa, pois ao mesmo tempo em que descreve o panorama de como ocorre a gestão da coleta seletiva e da reciclagem no Brasil, tenta explicar, a partir de uma pesquisa empírica, quais variáveis influenciam no mercado de reciclagem, utilizando para isso, séries estatísticas do período de 1995 a 2011.

O alumínio foi tomado como representante devido à sua homogeneidade e importante participação no mercado internacional. Outros materiais, como plástico e papel,

tiveram de ser desconsiderados por serem muito heterogêneos; por outro lado uma possível pesquisa sobre vidro não foi incluída pela baixa presença de vidro secundário no comércio internacional brasileiro. Entretanto, apesar desse trabalho focar no estudo do comportamento do mercado de reciclagem do alumínio no Brasil, foi necessário um levantamento de como a gestão de RSU ocorre para os demais materiais recicláveis a fim de caracterizar o panorama de uma forma mais completa.

Analisando o conteúdo bibliográfico pertinente ao tema, devido ao fato de esse estudo ser elaborado a partir de dados obtidos de diversas fontes bibliográficas, as limitações das bases de dados tornam-se as limitações do estudo proposto, tais como agregação de dados em macro e micro regiões assim como pequenas, médias e grandes cidades.

Outro ponto a ser destacado com relação às pesquisas nessa área é o caráter amostral que as bases de dados adotam. Em geral, as bases de dados relacionadas aos sistemas de coleta seletiva que possuem informações relevantes para se traçar um diagnóstico do país mostram-se limitadas, pois não recolhem os dados sob forma de censo, e sim amostras, como Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) organizado pelo Ministério das Cidades (2010) e Ciclossoft (CEMPRE, 2008), dificultando fazer estimativas sobre como se desenvolve e evolui o trabalho de reciclagem no país.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O estudo se propõe, no segundo capítulo, a descrever as principais fragilidades das atuais iniciativas governamentais voltadas para a coleta seletiva no país. Para isso, é feito um levantamento de como ocorre a reciclagem e a coleta seletiva no Brasil de uma forma geral, abordando todos os materiais potencialmente recicláveis (aço, alumínio, vidro, papel e plástico).

Ainda no segundo capítulo, são discutidas algumas fragilidades das políticas públicas voltadas para as atividades industriais de reciclagem. Nesse sentido, são apresentadas e analisadas as novas regras para a gestão de RSU no Brasil, e qual o resultado deseja-se obter com a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Uma vez caracterizadas as fragilidades do setor público, no terceiro capítulo, o comportamento do mercado de reciclagem no país é analisado, com foco catador de materiais recicláveis.

No quarto capítulo o estudo analisa aspectos da produção do alumínio no Brasil e no mundo e mostra como a indústria de alumínio está estruturada, apontando seus pontos fortes e fraquezas.

O quinto capítulo, tem como objetivo fazer o levantamento de trabalhos já realizados sobre o tema no mundo.

E Por fim, o sexto capítulo trata-se da análise das variáveis econômicas utilizando estudo da correlação e regressão múltipla.

## 1.7 CRONOGRAMA

O calendário de desenvolvimento dessa metodologia segue o cronograma a seguir:

Itens:	2011				2014	
	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Abril	Maio
1 – Escolha do tema	X					
2 – Coleta de dados e delimitação do tema		X				
3 – Revisão bibliográfica: panorama da gestão de RSU e reciclagem no Brasil			X			
4 – Revisão bibliográfica: economia do mercado de reciclagem				X		
5 – Tratamento dos dados					X	
6 – Elaboração do Relatório Final						X

Figura 1 — Cronograma seguido no desenvolvimento do trabalho

Fonte — Elaboração própria

## **2. A GESTÃO DE RSU NO BRASIL E O MERCADO DE RECICLAGEM**

### **2.1 PRINCIPAIS PESQUISAS SOBRE RSU NO BRASIL E ALGUMAS LIMITAÇÕES**

Essa seção visa fazer uma análise crítica do conteúdo bibliográfico disponível relacionado ao tema. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) elabora anualmente o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil visando atualizar anualmente o capital intelectual relacionado à gestão de resíduos no país (ABRELPE, 2012). Apesar de abordar diferentes aspectos relacionados às empresas privadas que realizam atividades de gestão de resíduos sólidos, uma questão que não é desenvolvida nesses estudos é como se estrutura o processo de venda do material secundário depois de coletado seletivamente e recuperado.

Outra fonte de pesquisa, o relatório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2011b) consiste em um estudo que visa servir de apoio técnico para a elaboração da proposta preliminar do Plano Nacional de Resíduos sólidos. Apesar de mais amplo do que os trabalhos da Abrelpe, esta pesquisa não avalia como se estruturaria um sistema de coleta seletiva e reciclagem no caso do Norte e Nordeste. Tais regiões que possuem grandes áreas rurais apresentam peculiaridades no seu padrão de consumo e ocorrência industrial se comparadas às regiões Sudeste e Sul do Brasil. Portanto, as políticas públicas devem considerar esses aspectos na implantação de um sistema de coleta seletiva de larga escala, assim como, deve ser avaliado se haveria demanda por parte das indústrias que empregam material secundário disponível no mercado nos processos produtivos.

Com relação ao consumo, o estudo do IPEA (IPEA, 2011b) se propôs a estimar apenas parcela do consumo aparente representado pelas embalagens. Este foco se justifica, pois as embalagens de uma forma geral apresentam ciclo de vida curto, sendo normalmente descartadas rapidamente após o consumo. Por outro lado, este trabalho não aprofundou a análise dos demais bens que levam esses materiais em sua composição e também não estimou parte da geração do RSU que vem diretamente das atividades das empresas e que não chega ao consumidor, mas também é recolhido pelo sistema público, e pode vir a ser reciclado como as embalagens.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PSNB), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é uma das principais bases de dados do presente estudo. A pesquisa investiga a prestação de serviços de água e esgotos e de manejo de

resíduos sólidos no Brasil e trata-se de um trabalho abrangente, que toma como base todos os municípios do país. Entretanto, o mesmo não é realizado anualmente.

## 2.2 ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RSU NO BRASIL

### 2.2.1 A Geração e Coleta de RSU

A fim de fazer um panorama que reflita a realidade da gestão dos RSU no Brasil deve se considerar as etapas de geração, coleta, tratamento e disposição final. A análise do consumo (geração de RSU) feita em separado da coleta se deve ao fato de que nem todos os resíduos que são gerados são coletados de forma adequada – sendo parte depositada em rios, vertentes, terrenos baldios, etc (IPEA, 2011b).

A tentativa de estimar a geração de RSU no Brasil se dá a partir do cálculo do consumo aparente, ou seja, o que é produzido do material no país somado a quantidade importada do mesmo material e subtraída do que é exportado para outros países. A tabela 1 ilustra o consumo aparente de materiais recicláveis nos anos 2005 e 2008:

Tabela 1 — Consumo aparente de materiais recicláveis em 2005 e 2008 (em mil toneladas)

	Alumínio		Aço		Papel/Papelão		Plástico		Vidro	
	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008	2005	2008
Consumo Aparente	832,6	1126,7	19851,6	27192,3	7328	8755	4174	5391	2482	2482
Embalagens	256,4	347	936	886	3535	4154	605	782	939	939

Fonte — Adaptado de IPEA (2011b)

De um modo geral, de 2005 a 2008 ocorreu um aumento no consumo aparente de materiais recicláveis. A partir da tabela 1, nota-se que embalagens possuem uma grande participação no consumo aparente de alguns materiais, como papel e papelão (47%) e vidro (43%). No caso do alumínio, a participação do consumo de embalagens no consumo aparente total se manteve em torno de 30%, sendo 15% apenas embalagens de latas de alumínio (IPEA, 2011b).

Se comparado aos demais materiais recicláveis, o alumínio é o que apresenta menor consumo aparente. Esse comportamento pode ser explicado pela baixa densidade do alumínio. Assim, a análise por peso não permite avaliar se o material é pouco ou muito empregado no uso de embalagens com relação aos demais.

Com relação à coleta, a taxa de cobertura da coleta regular vem aumentando, chegando a alcançar quase 100% da área urbana do país (98,5%). De acordo com a tabela 2, de um modo geral, áreas urbanas tendem a ter um sistema de coleta regular mais organizado. Assim, a cobertura mostra-se desigual no território brasileiro, sendo as regiões Norte e Nordeste com menor taxa de cobertura na coleta de RSU (IBGE, 2002, 2010).

Tabela 2 — Cobertura da coleta direta e indireta de resíduos sólidos em 2001 e 2009 (%)

Ano	Brasil Total	Urbano	Rural	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
2001	83,2	94,9	15,7	82,2	66,3	92,3	84,4	84,4
2009	88,6	98,5	32,7	82,2	76,2	95,9	91,5	89,9

Fonte — Elaborado a partir de IBGE (2011)

Porém, com o crescimento da economia, o padrão de consumo da população rural vem mudando e assim, com o aumento do descarte de resíduos perigosos torna-se necessária a implantação de uma política de gestão de RSU adaptada às novas necessidades da população rural (IPEA, 2011b).

### 2.2.2 A Destinação Final de RSU

Existem diversos meios que podem ser utilizados para o descarte final de RSU. No Brasil, os mais comuns, e que foram levados em consideração pela PNSB, são os aterros sanitários, aterros controlados, vazadouros a céu aberto (lixão), vazadouros em áreas alagáveis, entre outros, conforme apresentado na Tabela 3. De acordo com o IPEA (2011b), considerando apenas a destinação final no próprio município, pode-se afirmar que a quantidade de resíduos encaminhados para a destinação final aumentou 35% em um intervalo de oito anos.

Tabela 3 — Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de tratamento e destinação final (mil toneladas/dia)

Destino final/Local de tratamento		Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Unid. Compostagem	Unid. Triagem	Unid. Incineração	Outros Locais
2000	Quant.	49,6145	33,8543	45,4847	6,3645	2,1581	0,4831	2,1205
	%	35,4	24,2	32,5	4,5	1,5	0,3	1,5
2008	Quant.	110,0444	36,6732	37,3608	1,5195	2,592	0,0648	0,5602
	%	58,3	19,4	19,8	0,8	1,4	<0,1	<0,5

Fonte — Elaborado a partir de (IBGE, 2002, 2010)

A tabela 3 mostra o percentual dos resíduos sólidos domiciliares e públicos encaminhados para cada uma das formas de destinação final. Como se pode observar, houve uma significativa redução na quantidade de resíduos dispostos em todas as modalidades exceto no caso dos aterros sanitários.

Tabela 4 — Destinação final de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos por número de municípios

Destino final/Local de tratamento		Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Unid. Compostagem	Unid. Triagem	Unid. Incineração	Outros
2000	Número	810	1,074	3,763	157	248	176	185
	% <sup>1</sup>	14,5	19,3	54,61	2,8	4,5	3,2	3
2008	Número	1,540	1,254	2,810	211	643	134	148
	%	27,7	22,5	50,5	3,8	11,6	0,6	3

Fonte — Elaborado a partir de IBGE (2002, 2010)

Entretanto a análise da tabela 4 permite uma melhor compreensão da realidade brasileira, pois apesar de ter aumentado a quantidade de RSU enviados para aterros sanitários, o percentual de municípios que contém esse tipo de destino final representa apenas 27,7% do país, enquanto a disposição final em lixões continua sendo a realidade na maior parte do Brasil, representando 50% dos locais de disposição final. Segundo Campos (2009 apud IPEA, 2010a) o fato de a maior parte dos resíduos serem encaminhados para aterros sanitários ocorre em decorrência de a maior parte desses locais estar situada em municípios grandes, enquanto os lixões são mais utilizados em cidades menores.

<sup>1</sup> No ano de 2000 o somatório das porcentagens referentes aos locais de destinação final resulta em um valor maior que 100% devido ao fato de alguns municípios utilizarem mais de um tipo de local de destinação final

De acordo com Magalhães (2009, apud IPEA, 2010a), o avanço com relação aos locais de disposição final ainda é muito abaixo do necessário para que a disposição de RSU deixe de causar danos ao meio ambiente e à população.

Segundo Brasil (2008, apud IPEA, 2010a), a atuação do Ministério das Cidades (MCidades), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) tem sido incentivadora para a erradicação de lixões, uma vez que essas instituições costumam prover investimentos para a construção de aterros sanitários. Entretanto, a falta de investimento das prefeituras faz com que eles se tornem, com o passar do tempo, lixões.

### 2.3 ESTRATÉGIAS DE SEGREGAÇÃO DO RSU: ASPECTOS GERAIS DA COLETA SELETIVA E TRIAGEM DE RSU

Com relação à coleta seletiva, essa tem sido desenvolvida, na maior parte dos municípios de maneira informal, a partir da organização dos catadores de materiais recicláveis, que são motivados pela rentabilidade da atividade (IPEA, 2010a). Esse fato, no entanto, influencia a qualidade dos dados relacionados à quantidade real de RSU que é recuperada no Brasil. Assim, qualquer estimativa feita deve ser considerada como um patamar inferior, pois não contém todos os dados referentes à coleta que ocorre nos lixões e nas ruas do Brasil.

Estima-se que, a coleta seletiva aumentou 120% no Brasil durante período de 2000 a 2008, porém, mesmo com o aumento, os dados da PNSB revelam que, do total de municípios do Brasil, apenas 18% possuem algum sistema de coleta seletiva, sendo que grande parcela dos municípios que possuem sistemas implantados está situada nas regiões mais ricas e urbanizadas do Brasil (IPEA, 2011b).

Além disso, nem sempre a coleta seletiva abrange todo o território do município, em muitos deles essas atividades abrangem apenas a sede municipal, como mostrado na tabela 5. Assim como, em geral, as atividades de coleta seletiva são desenvolvidas em grande parte dos municípios grandes e médios do Brasil devido à maior demografia e descarte de RSU (IPEA, 2011b).



Tabela 5 — A coleta seletiva no Brasil e sua abrangência nos anos de 2000 e 2008

Unidade de Análise	Nº de Municípios com Coleta Seletiva		Todo município		Somente a Sede Municipal		Outras Áreas	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Brasil	451	994	39%	38%	29%	41%	32%	21%
Norte	1	21	0%	5%	0%	48%	100%	48%
Nordeste	27	80	19%	38%	33%	30%	48%	33%
Sudeste	140	408	38%	32%	18%	42%	44%	26%
Sul	274	454	42%	46%	34%	20%	23%	34%

Fonte — IBGE(2002, 2010)

Outra forma de diminuir o envio de RSU para áreas de despejo final é o encaminhamento dos resíduos coletados direto para usinas ou estações de triagem. Entretanto, devido à existência de alto grau de contaminantes na composição dos rejeitos encaminhados, estes necessitam tratamento (limpeza) para se tornarem adequados à reciclagem (IPEA, 2011b).

De acordo com a tabela 6, de uma forma geral, o número de municípios com estações de triagem aumentou de 2000 para 2008 no Brasil em 135% passando de 189 para 445 no período. Em contrapartida, esse aumento foi desigual, sendo de 124% em municípios pequenos, 206% em municípios médios e 700% em municípios grandes. Entretanto, não se verifica um aumento proporcional, nesse período, da quantidade de resíduos encaminhada para as estações de triagem no Brasil como um todo (IPEA, 2011b).

Tabela 6 — Estações de triagem de resíduos recicláveis

Unidade de Análise	Nº de municípios com estações de triagem		Quantidade de resíduos enviados às estações no próprio município (mil toneladas/dia)	
	2000	2008	2000	2008
Brasil	189	445	2,1483	2,592
Municípios pequenos	173	389	1,7873	1,2233
Municípios médios	16	49	0,361	1,0321
Municípios grandes	0	7	0	336600

Fonte — Elaborado a partir de IBGE (2002, 2010)

## 2.4 TRATAMENTO DO RSU: A RECICLAGEM NO BRASIL

Em relação à reciclagem, não estão disponíveis na literatura os dados de reciclagem do resíduo pré-consumo (pós-industriais) de forma que possa ser analisado separadamente dos resíduos pós-consumo.

De uma forma geral, com exceção do papel, as taxas de reciclagem de materiais vêm aumentando com tempo. Entretanto, houve pouca variação nas taxas de reciclagem em um intervalo de sete anos. A tabela 7 mostra as taxas de reciclagem de materiais recicláveis entre os anos de 2005 e 2007:

Tabela 7 — Taxa de reciclagem de materiais recicláveis nos anos de 2005 e 2007

Material	2005	2011
Latas de Alumínio	96,2%	98,3%
Papeis recicláveis	46,9%	45,5%
Plástico advindo do pós-consumo	20,7%	21,7%
Embalagens de vidro	45,0%	47,0%

Fonte — (ABRELPE, 2012; MME, 2012)

De acordo com o jornal Folha de São Paulo, estima-se que a produção nacional de alumínio primário encerrou o ano de 2011 com queda de 5% com comparação com a produção do ano anterior, enquanto o emprego de materiais reciclados na produção industrial cresceu acima de 34% (VARELLA e FILHO, 2011).

## 2.5 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Até então, foi feito nesse estudo um diagnóstico com relação à gestão de resíduos sólidos no Brasil. Entretanto, no dia 2 de agosto de 2010 foi aprovada a Lei Nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (BRASIL, 2010).

Tal lei dita os principais pontos relativos à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusos os resíduos perigosos. Um dos instrumentos propostos pela lei é a elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos em diversos níveis e esferas do poder (BRASIL, 2010).

De acordo com o capítulo II desta lei, dentre os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos estão relacionadas várias questões que tornam claro que o incentivo à reciclagem e a eficiente gestão de resíduos sólidos é um dos principais objetivos a ser alcançado (BRASIL, 2010).

Segundo as diretrizes da lei, os governos municipais e estaduais deveriam elaborar planos de gestão de resíduos sólidos que incorporem panoramas atuais e metas a serem alcançadas, tal documento é requisito para o estado/município ter acesso a verbas da União (CEMPRE, 2013). Entretanto, mesmo com a assistência do Ministério do Meio Ambiente na elaboração dos planos, até setembro de 2013, nenhum documento havia sido encaminhado ao ministério (NITAHARA, 2013).

Um dos princípios para o alcance dos objetivos da lei é a visão sistêmica na gestão proposta, em outras palavras, devendo considerar diferentes aspectos, incorporando questões de cunho ambiental, social, econômico, entre outros como um todo na elaboração das políticas. Outros pontos citados foram o fomento à indústria de reciclagem visando incentivar o emprego de materiais recuperados, o desenvolvimento de novas formas de gestão relacionado ao aprimoramento dos processos industriais e o incentivo à integração e melhoria das condições de trabalho dos catadores (BRASIL, 2010).

Um dos principais objetivos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a eliminação de áreas inadequadas ao despejo de RSU como lixões a céu aberto até 2014. Assim, os rejeitos passarão ser enviados obrigatoriamente para destinações finais adequadas (CEMPRE, 2013).

A tabela 8, adaptada de CEMPRE (2013), resume os principais objetivos da lei, e o resultado esperado a partir da implementação dos planos de gestão de resíduos sólidos.

Tabela 8 — Principais objetivos da Lei Nº 12.305

Antes	Depois
Falta de prioridade para o lixo urbano	Municípios devem fazer plano com metas sobre resíduos com participação dos catadores
Existência de lixões na maioria dos municípios	Os lixões precisam ser erradicados até 2014
Resíduo orgânico sem aproveitamento	Prefeituras passam a fazer compostagem
Coleta seletiva cara e ineficiente	Torna-se obrigatório controlar os custos e medir a qualidade do serviço
Exploração de catadores por atravessadores que revendem os materiais recicláveis e risco a saúde	Catadores reduzem os riscos a saúde e aumentam renda em cooperativas
Informalidade da atividade de catação	Cooperativas são contratadas pelos municípios para coleta e reciclagem
Problemas de qualidade e quantidade de materiais	Aumenta a quantidade e melhora a qualidade da matéria prima reciclada
Falta de qualificação e visão de mercado	Trabalhadores são treinados e capacitados para ampliar a produção
Inexistência de lei nacional para nortear os investimentos das empresas	Marco legal estimulara ações empresariais
Falta de incentivos financeiros	Novos Instrumentos financeiros impulsionarão a reciclagem
Baixo retorno de produtos advindos do pós-consumo	Obrigatoriedade da implementação de sistemas de logística reversa
Desperdício econômico sem reciclagem	Reciclagem alavancará e gerará mais negócios com o impacto na geração de renda
Não separação do lixo reciclável nas residências	Consumidor fará separação mais criteriosa nas residências
Falta de Informação	Campanhas educativas mobilizarão moradores
Falhas no atendimento da coleta municipal	Coleta seletiva melhorara para recolher mais resíduos
Pouca reivindicação junto as autoridades	O cidadão deverá exercer seus direitos junto aos governantes

Fonte —Elaborado por CEMPRE (2013)

De acordo com a tabela acima, a lei propõe grandes avanços em busca de uma gestão de resíduos sólidos mais eficiente, entretanto, diante da inércia de estados e municípios para elaborar os planos de gestão de resíduos e se adequar as novas diretrizes, nota-se que a lei possui algumas lacunas, que tornam lenta a evolução da gestão de resíduos para um quadro melhor.

Apesar de o fato de ser na esfera municipal que acontece a gestão de resíduos sólidos e assim, onde realmente se aplicam as leis, é necessário ressaltar que a entrega dos

documentos municipais para os estados não é compulsória representando, na verdade, apenas uma condição para o recebimento recursos da união, assim e os municípios que se recusarem a elaborar o plano acabam perdendo, por fim, oportunidades de investimento (NITAHARA, 2013). A mudança de atitude das prefeituras com relação a adequação da gestão do lixo urbano é fundamental para que a lei gere os resultados esperados.

Relacionada a esse fato, outra falha da tentativa de implementação dessa lei diz respeito à participação da população na gestão de RSU. Mesmo que a lei incluía o papel do cidadão, cobrando dele uma adequada separação do lixo nas residências e maior participação na gestão de resíduos urbanos, pouco foi informado à população sobre a lei e suas mudanças. Maior conhecimento sobre a lei, assim como investimentos públicos em educação ambiental e conscientização da população na gestão do lixo urbano, levaria maior cobrança dos poderes para fazer cumprir a lei, e a elaborar o plano de gestão de resíduos sólidos por parte dos municípios.

### 3. O CATADOR DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

Esta seção do estudo visa elaborar um diagnóstico da participação do catador de materiais recicláveis no Brasil. Assim, serão apontadas as questões sociais e financeiras relacionadas à atividade de catação que podem ser afetadas por variações econômicas.

Acredita-se ser necessário o conhecimento de como se desenvolve o papel do catador para entender o comportamento do mercado de reciclagem brasileiro e organizar um eficiente sistema de gestão de RSU. Ainda, por se caracterizar o elo mais frágil, ao gerar mais estabilidade e apoio a essa classe, provavelmente, a cadeia da reciclagem como um todo terá reflexos positivos.

Entretanto, não é de objetivo desse trabalho apontar de forma exaustiva como é desenvolvido o trabalho dos catadores. O desenvolvimento do tema será realizado sob uma perspectiva ampla, apontando as características necessárias e suficientes para o desenvolvimento da análise proposta. Isso, devido ao fato de que, além da informalidade dos catadores, a bibliografia existente sobre o tema é marcada pela ampla utilização de amostragem, gerando dados divergentes e dificultando a construção de um cenário próximo a realidade econômica dos catadores atual.

#### 3.1 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A gestão eficiente de resíduos sólidos, estruturada de forma a incluir a coleta seletiva e reciclagem, permite a geração de empregos gerando benefícios para a sociedade como um todo. Entretanto, sob a forma que está estruturada no Brasil, a maior parte das iniciativas de coleta seletiva e reciclagem são realizadas informalmente, submetendo os trabalhadores a condições de trabalho insalubres, com elevados riscos à saúde Layargues (2002, apud IPEA, 2010a).

Assim, os catadores não são pagos de forma justa e nem reconhecidos pelo trabalho que prestam à sociedade (IPEA, 2010b). A figura 4 aponta todos os aspectos que devem ser considerados com relação à fragilidade social dos catadores de materiais recicláveis.

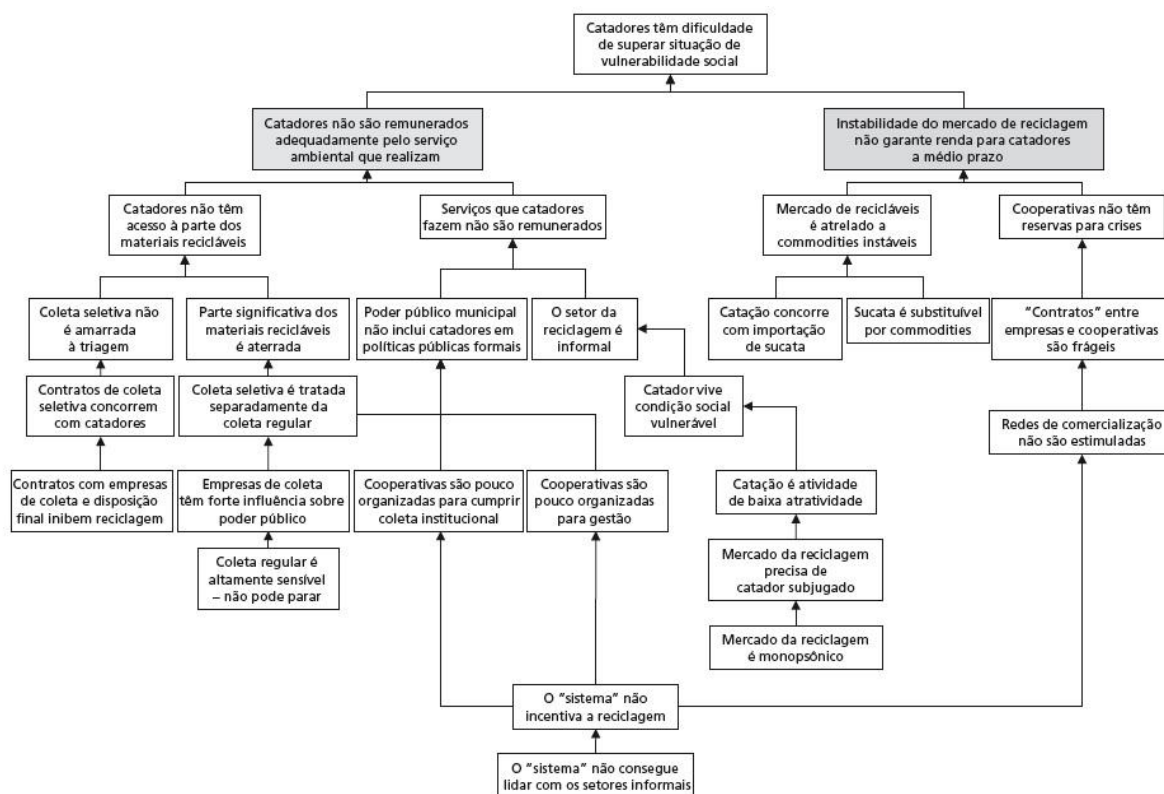


Figura 2 — Árvore de problematização do trabalho dos catadores de materiais recicláveis

Fonte — IPEA (2010b)

Segundo Oliveira (2009, apud IPEA, 2010a), o fato de, até então, a reciclagem ser fruto de reivindicação ambiental colocou o papel do catador em segundo plano. Mesmo diante do fato de que a maior parcela dos materiais que são reutilizados pelo setor industrial seja em decorrência dos catadores, são comumente ignorados, não entrando nas pautas das políticas públicas.

De acordo com IPEA (2010a), o estímulo a criação de políticas públicas em favor dos catadores que ocorreu na década de 90, e se deve fortemente ao apoio da mídia a favor da causa social. O apoio de órgãos como o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) em campanhas proporcionou destaque para a causa entrar na agenda de políticas públicas ao seu favor. Entretanto, a maneira de como gestão de RSU se desenvolve é de responsabilidade das prefeituras, limitando a atuação de órgãos a favor da causa social (IPEA, 2010a).

Com relação às cooperativas e associações de catadores, de acordo com os dados do IBGE (2010), cerca de 5% desses grupos se localizam na Região Norte, enquanto que 40% e 32% atuam no Sudeste e Sul respectivamente. Estas estatísticas fazem sentido, pois o Norte uma região com uma menor organização na gestão de RSU se comparada com as demais.

O catador organizado apresenta uma melhor condição de trabalho se comparado ao catador autônomo, visto que a cooperativa pode propiciar inúmeros benefícios como a

diminuição da insalubridade e melhoria condições de trabalho. Entretanto, são raras as organizações que são reconhecidas legalmente e são capazes de acompanhar toda a legislação que protegeria o catador (IPEA, 2011a).

### **3.1.1 O Papel do Catador no Mercado de Reciclagem**

Como dito em seções anteriores, a cadeia de comercialização da reciclagem se inicia na recuperação de resíduos pós-industriais (pré-consumo) ou pós-consumo. O papel desempenhado pelos catadores de materiais recicláveis é coletar e vender esse material, principalmente os originados do pós-consumo (IPEA, 2011a).

Entretanto, esses resíduos podem ser coletados a partir dos programas de coleta seletiva sem a participação dos catadores — organizados pelas empresas de limpeza urbana, que em geral enviam o RSU para estações de triagem e posteriormente comercializam com depósitos e aparistas —, a partir de programas de coleta seletiva com catadores, a partir de doações das empresas ou porta-a-porta, a partir da coleta regular (sem nenhuma separação do material para posterior tratamento) ou pela catação na rua (IPEA, 2011a).

Os catadores associados possuem uma maior diversificação de locais onde atuam, além de revender a sucata coletada não só para comerciantes, mas também para a indústria recicladora. Os catadores que trabalham isolados, em geral, atuam apenas nos locais de disposição final e na coleta em ruas, além disso, sua comercialização é feita somente com comerciantes e atravessadores, que de uma forma geral, pagam baixos preços pela sucata recolhida (IPEA, 2011a).

Damáσιο (2010 apud IPEA,2011a) aponta que o maior entrave aos catadores organizados é superar os desafios existentes para aumentar o acesso aos materiais recicláveis, como por exemplo, a competição da atuação do catador com a empresa terceirizada para coletar os resíduos urbanos.

Entretanto, esse entre outros desafios, constitui o cenário no qual os catadores de recicláveis estão inseridos. Como visto em seções anteriores, no Brasil as políticas públicas de incentivo a criação de programas de reciclagem e triagem de materiais ainda se mostra pouco eficientes.

Em 2006, segundo o Departamento de Economia da Universidade Federal da Bahia — Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais (Geri) —, a média nacional arrecadada pelos catadores mensalmente variava entre R\$70 e R\$140 (IPEA, 2009). Entretanto, alguns



profissionais que atuam no seguimento da reciclagem argumentam que a grande variação na remuneração dos catadores se deve ao fato de que a formação do preço da sucata ser altamente influenciada pela forma em que o setor de reciclagem se organiza no Brasil, marcada pelo grande poder das grandes empresas comerciantes de material reciclado (IPEA, 2009).

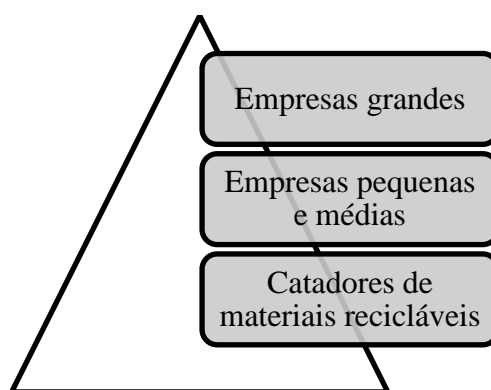


Figura 3 — Pirâmide da cadeia de negociações no mercado de reciclagem  
Fonte — Elaboração própria

De acordo com a figura 3, percebe-se que o mercado de reciclagem se comporta de forma oligopsônica<sup>2</sup>. A economia de escala constitui um fator importante para o setor, necessitando de grande quantidade de sucata nos processos de reciclagem. Esse fato, além da possibilidade de importação de sucata, dá a essas empresas, que em geral são poucas e de grande porte, um poder de negociação elevado, que vai diminuindo à medida que se aproxima base da pirâmide de negociações, onde se situam os catadores (IPEA, 2010a).

Sendo assim, a grande empresa compradora de material secundário possui o maior poder de barganha da cadeia, e, portanto, pressiona a empresa da qual ela compra a sucata, que pressiona empresas menores, e assim, à medida que a cadeia vai se aproximando da origem, a margem de lucro de cada estágio vai diminuindo e pressionando os catadores a venderem a sucata recolhida a preços baixos (BOSI, 2008; GIOVANNINI; KRUGLIANSKAS, 2008; OLIVEIRA, 2009).

Como a prioridade desses trabalhadores é a obtenção de renda própria para o sustento de suas famílias, sua urgência na venda reduz ainda mais seu poder de negociação. Assim, vendem seu trabalho diário a preços baixos aos comerciantes intermediários e atravessadores, não gerando nenhuma perspectiva de crescimento (IPEA, 2011a).

<sup>2</sup> Oligopsônio: estrutura de mercado em que há poucos compradores para muitos vendedores (VICECONTI; NEVES, 2010).

Dessa forma, a fragilidade dos catadores na cadeia causada pela informalidade, falta de instrução e baixa organização e representatividade dos mesmos, faz com que as variações econômicas seja repassada a eles rapidamente, como visto na figura 3. Segundo IPEA (2009), uma possível solução a essa problemática é o incentivo à associação dos catadores para aperfeiçoá-los na atividade de catação e regularizar a mesma. Entretanto, para tanto as organizações de catadores precisam de investimentos para melhorar a eficiência de seu trabalho e aumentar a recuperação de materiais no Brasil.

Diante dessa problemática, o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) propôs a criação de uma Câmara Técnica do Setor de Reciclagem para investigar o dinamismo do mercado de reciclagem, com o objetivo de gerar mais equilíbrio ao setor. Entretanto, de acordo com o MNCR, apenas o conhecimento do funcionamento do setor não é o suficiente, sendo necessária uma ação em conjunto com as prefeituras e alinhamento delas com as cooperativas, apontando a remuneração regular do catador pelo trabalho exercido como fator crucial à segurança econômica ao catador (IPEA, 2009).

Em vez de destinarem recursos financeiros para a implantação de novos aterros, as prefeituras podem gerar renda e segurança para aqueles que trabalham com os serviços de catação (IPEA, 2009).

#### 4. O MERCADO DE ALUMÍNIO

A cadeia produtiva do alumínio inicia-se na mineração da bauxita. Após o tratamento e o processamento do material, obtém-se a alumina, que é beneficiada e transformada em alumínio metálico, através de processo eletrolítico, utilizando-se corrente elétrica contínua (CARDOSO *et al.*, 2011).

Com relação ao mercado consumidor do alumínio primário, diante das diversas características do alumínio, o material pode ser empregado em diversas formas, sendo a indústria de alumínio fornecedora de bens intermediários a vários setores econômicos (CARDOSO *et al.*, 2011).

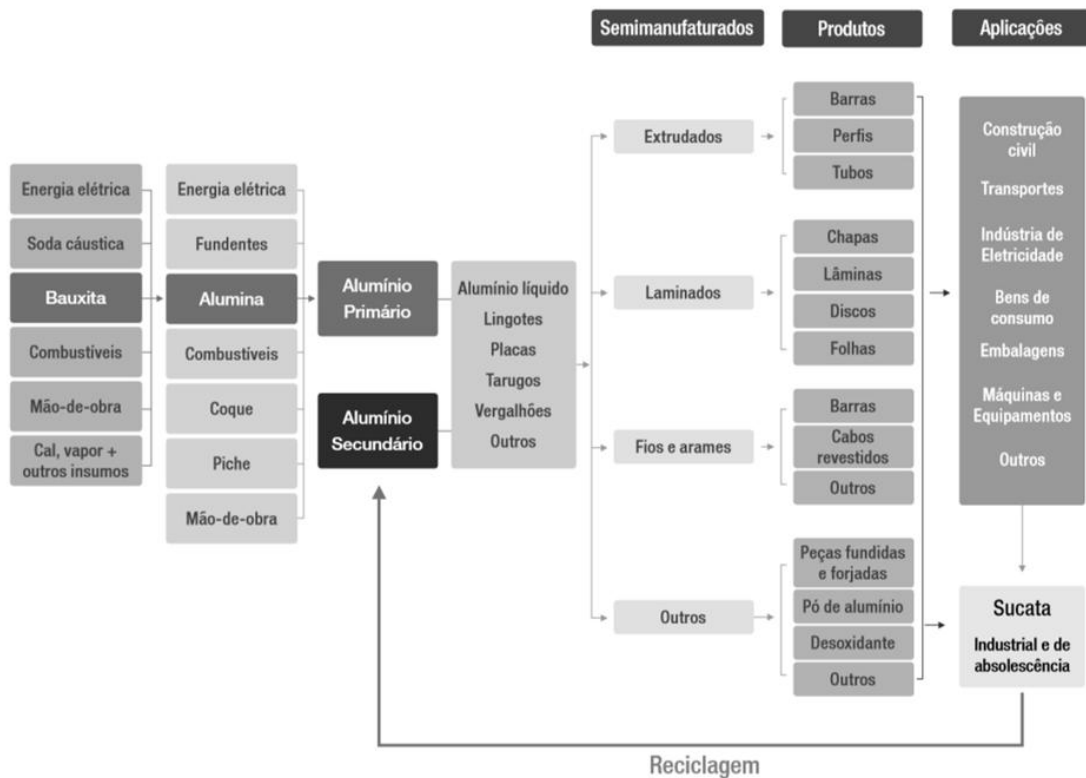


Figura 4 — Cadeia produtiva do alumínio com seus produtos intermediários e finais  
Fonte — ABAL (2012)

A figura 4 mostra a cadeia de produção do alumínio assim como seus produtos intermediários e finais. Mostra inclusive, que o alumínio secundário também pode ser utilizado na produção de bens intermediários.

Em 2009, de acordo com os dados da ABAL (2010a, CARDOSO *et al.*, 2011) as chapas e lâminas tiveram participação de 38,8% do total de produtos acabados e semiacabados de alumínio no país, os extrudados, representaram 20,6%, sendo a maior parte destinada ao setor de construção civil; e fundidos e forjados, 16,84%. O gráfico 1 ilustra o

perfil do consumo do mercado doméstico em 2010. Segundo o Relatório de Sustentabilidade da Indústria de Alumínio (ABAL, 2010b), o seguimento de embalagens é o que mais emprega chapas e folhas de alumínio em seus processos.

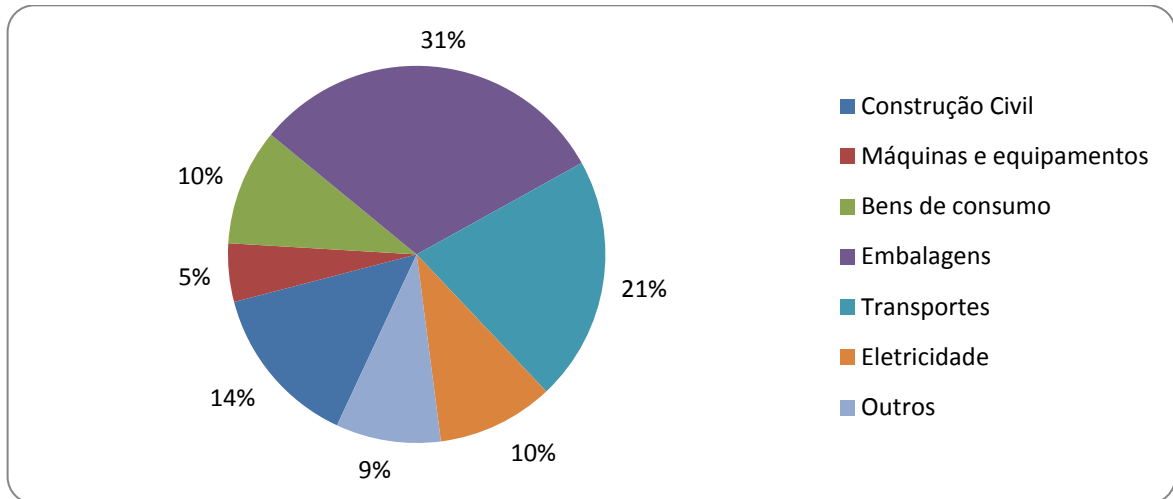


Gráfico 1— Participação dos produtos transformados de alumínio no consumo doméstico em 2010  
Fonte — ABRELPE (2010)

O gráfico 2 mostra a média mundial da participação dos custos com energia no processo produção de alumínio primário. A maior parte da energia é empregada na fase de transformação da alumina em alumínio primário em um processo eletrolítico. De acordo com o gráfico abaixo, o custo da alumina e da energia elétrica representam 60% dos custos totais de produção.

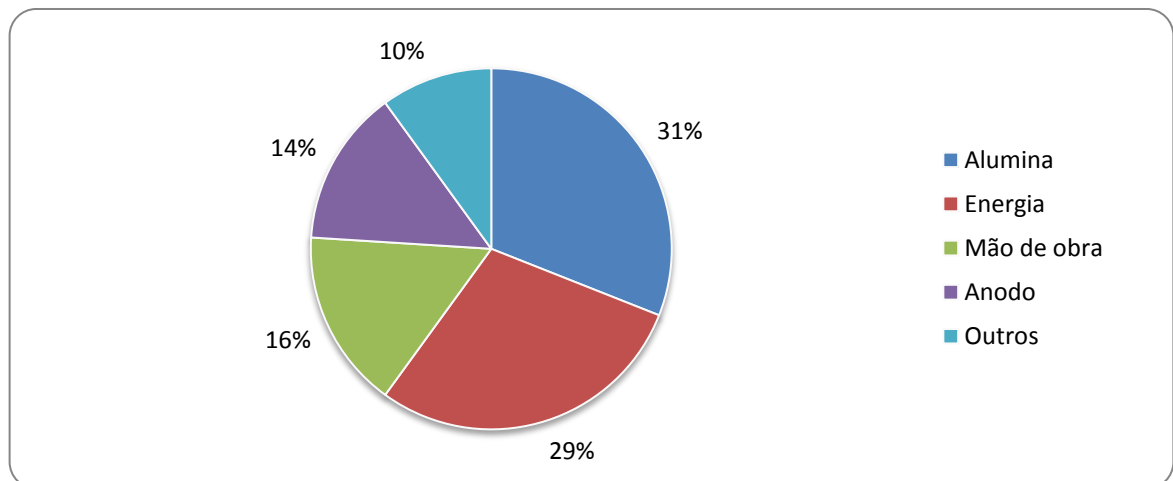


Gráfico 2 — Custo de produção médio mundial de alumínio no primeiro trimestre de 2009  
Fonte — Cardoso *et al.* (2011)

A tabela 9 resume os fatores críticos para a competitividade no mercado internacional. A qualidade da bauxita e investimentos em tecnologia para aprimorar os processos de transformação para obter um bom rendimento da alumina são fatores cruciais para a competitividade no mercado mundial (XAVIER, 2012).

Tabela 9 — Fatores críticos de competitividade internacional

Etapa da produção	Fatores críticos para competitividade Internacional
Extração de bauxita	Qualidade da bauxita, tributação e pagamento de royalties
Produção de alumina	Proximidade das minas de bauxita, despesas com combustíveis e custo de capital
Produção de alumínio primário	Disponibilidade e preço da energia elétrica
Produção de alumínio semimanufaturado	Proximidade do consumidor

Fonte — Xavier (2012)

Entre os desafios e oportunidades, o mercado de alumínio se depara com diversos problemas que dificultam a realização de investimentos no setor, levando ao fechamento de plantas (Valesul em 2009 e Novelis em 2011). Dentre esses problemas, a baixa escala de produção, o cambio desfavorável, e o preço da eletricidade no país (XAVIER, 2012).

Ainda, Xavier (2012) destaca que a solução adotada pelas empresas tem sido a tentativa de geração da própria energia a ser consumida pelos processos.

Com relação ao comércio externo brasileiro, o gráfico 3 mostra a diferença entre a quantidade exportada e importada pelo Brasil para o comércio de alumínio primário e sucata. O comportamento das curvas demonstra que a quantidade exportada de alumínio primário, mostra-se superior a importação, sendo essa relação contrária para o comércio de sucata.

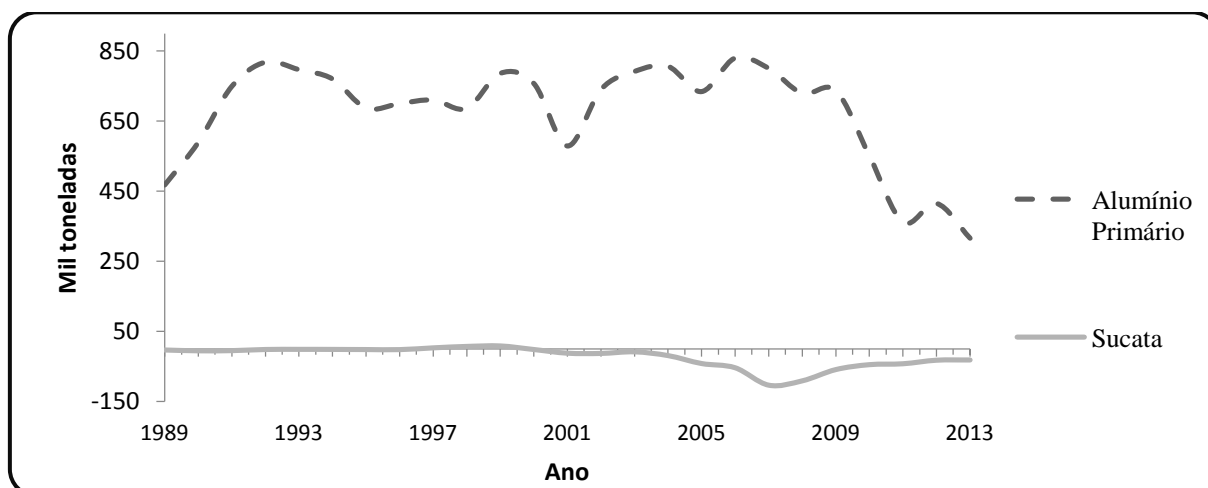


Gráfico 3 — Saldo da Balança Comercial para o alumínio primário e sucata (mil toneladas)

Fonte — Adaptado de MDIC (2014)

A partir de 2009, percebe-se que a diferença entre a quantidade exportada e importada de alumínio está diminuindo, de forma que a quantidade exportada se aproxima cada vez mais da quantidade que é importada. Em outras palavras, a importação vem ganhando destaque.

Com relação ao comportamento do consumo mundial, segundo Xavier (2012), dados apurados da ABAL apontam que entre 2003 e 2010, de uma forma geral, o consumo

apresentou uma tendência de crescimento, sendo consumidos 28 milhões de toneladas em 2003 e atingindo 39,7 milhões de toneladas em 2010. Entretanto, entre 2008 e 2009 houve uma queda do consumo, para 37 milhões de toneladas, decorrente da recessão financeira vigente na época.

Com relação ao crescimento da indústria mundial de alumínio, Xavier (2012) destaca a participação da China, visto a importância do país tanto na produção quanto no consumo mundial de alumínio. Xavier (2012) aponta que entre o período de 2003 a 2010 a China contribuiu em 73,2% do aumento da produção mundial de alumínio primário, e em 88,7% o consumo de alumínio primário.

De acordo com Xavier (2012), estudos elaborados pela consultoria McKinsey estimam que o consumo mundial de alumínio continuará em ascensão nos próximos anos, estimando um aumento médio de 4,5% por ano na produção de alumínio no período.

Tabela 10 — Projeção do consumo mundial e alumínio de 2005 a 2020 ( milhões de toneladas)

Região	2005	2020
Ásia	13,1	31,6
America do Norte	7,2	11,6
Europa Ocidental	6,7	10,8
Europa Oriental, CEI, Africa e Oriente Medio	3,1	5,0
America Latina	1,1	1,7
Total	31,2	60,7

Fonte — Adaptado de Alcoa (2006 apud XAVIER, 2012)

A tabela abaixo mostra que, para o ano de 2010, a Ásia representou mais do que a metade do consumo mundial, destacando-se na importação de alumínio primário. Em contrapartida, a América e a Europa apresentaram produção e demanda de alumínio primário relativamente nivelada (XAVIER, 2012).

Tabela 11 — Produção e consumo mundial de alumínio primário por região em 2010

Região/Participação mundial	Produção (%)	Consumo(%)
África	4%	2%
America	17%	16%
Ásia	52%	60%
Europa	21%	21%
Oceania	6%	1%
Total	100%	100%

Fonte — Abal (2010 apud XAVIER, 2012)

Com relação a produção de alumínio primário, Xavier (2012) aponta a existência de oligopólio formada por cinco grandes empresas (UC Rusal, Rio Tinto Alcan, Alcoa, Chalco e Hydro), que em 2010 representaram cerca de 40% da produção mundial.

#### 4.1 A RELAÇÃO ENTRE O MERCADO DE ALUMÍNIO E A CADEIA DA RECICLAGEM

Com relação ao comércio de alumínio primário, seu preço no mercado nacional é estabelecido com base na cotação do mês anterior na London Metal Exchange (LME), que é somado a um prêmio, sendo esse prêmio de livre negociação entre consumidores e produtores (CARDOSO *et al.*, 2011).

De acordo com a Xavier (2012), a grande variação no preço do alumínio após junho de 2008 pode ser explicado pela crise de crédito internacional que ocorreu na época, resultando em uma queda significativa dos preços atingindo US\$1.496 no final de 2008. De acordo com a fonte, esse fato evidencia a característica de alto risco de negócio desse mercado. Após 2009, o preço recuperou o crescimento e manteve-se ascendente até abril de 2011, quando atingiu US\$2.600 por tonelada, voltando a baixa dos preços. Com relação às cotações recentes, dados apurados do site do LME indicam que, março de 2014 encerrou com a cotação de US\$1.730 por tonelada de alumínio para a categoria “*cash buyer*”(LME, 2014).

Entretanto, os efeitos da crise de 2008 não foram apenas a queda dos preços, mas também elevação dos estoques de alumínio e retração da produção industrial, pois a demanda dos diversos setores consumidores de alumínio teve queda acentuada. Assim, o excedente de produção transformou-se em estoque e a produção industrial foi inferior à capacidade, refletindo grande ociosidade na indústria. De acordo com os dados de Cardoso *et al.* (2011) em 2008, somando todos os cortes da produção mundial, foi totalizada uma queda de 5,8 milhões de toneladas, dos quais 3 milhões ocorreram fora da China.

Essa retração da produção industrial, no entanto, não afeta apenas ao consumo de alumínio primário pela indústria, mas também o emprego de alumínio secundário nos processos produtivos.

Quanto maior o grau de substituição entre os materiais primários e secundários nos processos produtivos, uma pequena variação na demanda do material primário causa uma grande variação na demanda do material secundário (GRACE; TURNER; WALTER, 1978).

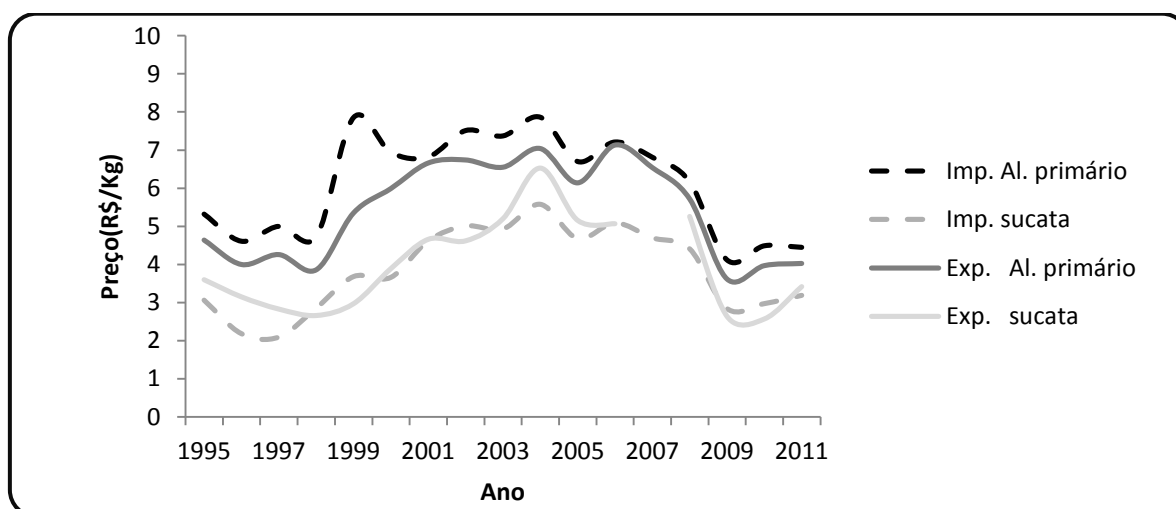


Gráfico 4 — Preço do alumínio primário e sucata <sup>3</sup>entre 1995 e 2011 (R\$/kg)  
 Fonte — Adaptado (MDIC, 2014)

O gráfico 4, que contém dados relativos aos preços de importação e exportação em reais (R\$) deflacionados com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (INPC) com relação ao ano de 2011, permite analisar como ocorreu a variação nos preços de importação e exportação de sucata e alumínio primário.

A partir do gráfico, de uma forma geral, nota-se uma tendência de aleatoriedade nas séries, entretanto, algumas tendências podem ser destacadas. Entre 1998 e 2004 existe uma tendência de alta nos preços de importação e exportação para todas as séries, sendo o preço de importação do alumínio primário o que mais sofreu variações significantes no período. Após o período, nota-se uma tendência de queda desses preços, em especial em 2008. Em 2009 e 2010, os preços alavancam de novo, mas não conseguem recuperar as cotações anteriores a crise econômica.

Essa queda das cotações do alumínio primário e da sucata no mercado internacional tende a pressionar os preços praticados no mercado nacional. Assim, o preço pago pela sucata coletada no Brasil sofre redução, que é repassada diretamente aos catadores e cooperativas. De acordo com o Movimento Nacional dos Catadores de Recicláveis, durante a crise de 2008 que causou grande recessão no mercado de reciclagem brasileiro, levando à queda da renda familiar dos associados a cooperativa, e conseqüentemente, levando à falência de várias cooperativas (IPEA, 2010a).

<sup>3</sup> Nota: o dado relativo a preço de importação de sucata de alumínio para o ano de 2007 foi excluído da análise visto que era um *outlier* advindo, provavelmente, de erro de digitação da fonte.



Entretanto, por mais que o mercado de alumínio primário interfira no comportamento do mercado de reciclagem, existem diferenças entre os dois setores. Primeiro, a escala de operação na indústria de reciclagem é geralmente menor que a de primários. Em segundo lugar, os processos de produção primária são, em geral, intensivos em capital e energia, além de necessitarem de mão-de-obra altamente qualificada. Além disso, a produção de materiais secundários consome relativamente menos energia, assim um aumento dos preços da energia promove a recuperação de materiais assim como sua utilização pela indústria.

Com relação às características estruturais e conjunturais dos países que influenciam nas taxas de reciclagem, Berglund e Söderholm (2003) em seu estudo sobre a reciclagem de papel afirmam que países desenvolvidos tendem a ter uma maior taxa de recuperação se comparados aos países periféricos, devido a maior pressão da sociedade por uma gestão ambiental mais eficiente. Nos países desenvolvidos a reciclagem de materiais é legalmente estruturada e muitas vezes recebe incentivos financeiros (BEUKERING e BERGH, 2006). Entretanto, de acordo com a tabela 12 nos últimos anos a taxa de recuperação de latas de alumínio no Brasil vem sendo a maior do mundo.

Tabela 12 — Taxas de Reciclagem de latas de alumínio para diversos países entre 2007 e 2011

País	2007	2008	2009	2010	2011
Brasil	96,5%	91,5%	98,2%	97,6%	98,3%
Japão	92,7%	87,3%	93,4%	92,6%	-
Argentina	90,5%	90,8%	92,0%	91,1%	-
Estados Unidos	53,8%	54,2%	57,4%	58,1%	65,1%
Média Europa	62,0%	63,1%	64,3%	-	-

Fonte — ABAL(2012)

Com relação à taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil, Layargues (2002) comenta a rapidez em que o Brasil alcançou altos índices de reciclagem. O autor afirma que em pouco tempo do emprego de coleta seletiva no Brasil ultrapassou as taxas de reciclagem de vários países que já possuíam muito mais prática com a recuperação de embalagens de alumínio. Mesmo em países que possuem um padrão de consumo significativamente maior que o brasileiro, as taxas de reciclagem são menores.

Layrargues (2002) afirma que a coleta seletiva da lata de alumínio é impulsionada principalmente pelo fato de ser uma forma de obtenção de renda no Brasil. Assim, os catadores e as cooperativas são responsáveis pela maior parte da coleta e suprimento de sucata de alumínio a indústria de reciclagem.

O gráfico 5 ilustra o impulso tomado pela taxa de reciclagem de latas a partir de 1990. Desde então, a taxa de reciclagem teve uma tendência crescente, de tal forma que, atualmente, quase a totalidade das latas que são consumidas são reaproveitadas.

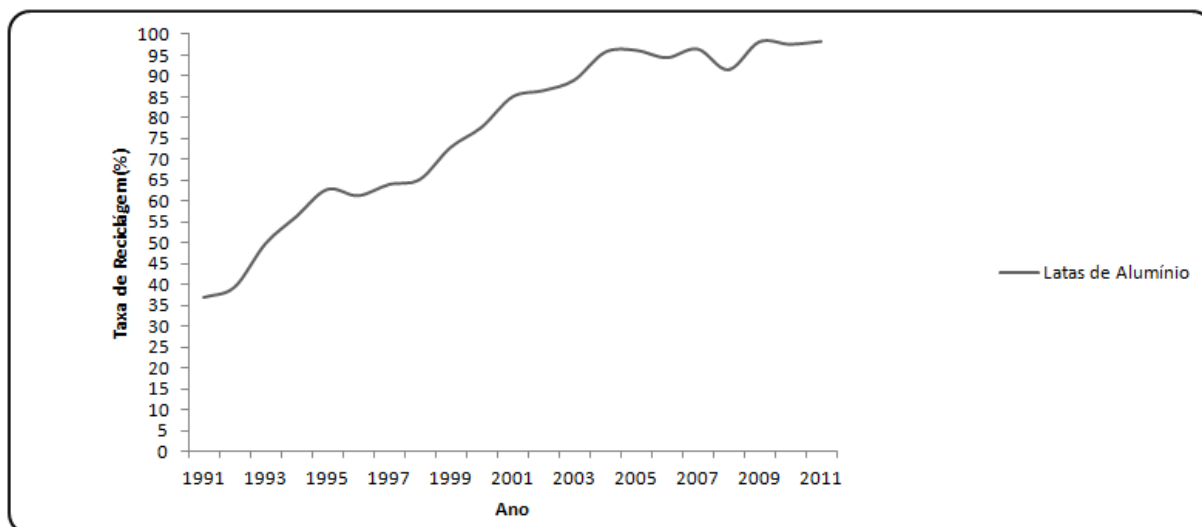


Gráfico 5 — Evolução da taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil(%)  
Fonte: ABAL (2000, 2008, 2012)

Tal aumento nas taxas de reciclagem repercutiu em um aumento na quantidade de matéria-prima (tanto material virgem quanto recuperado) ofertada para o consumo das indústrias.

Entretanto, estudo realizado pelo IPEA (2011b) indica que, devido ao elevado uso do alumínio em bens duráveis, como, automóveis e eletrodomésticos, parte significativa do total de alumínio consumido pela população brasileira é descartada apenas no longo prazo. Além disso, o estudo afirma que ainda existe uma grande quantidade de alumínio que poderia ser reciclado, mas que é disposto em aterros sanitários, lixões, etc.

Assim, torna-se um desafio tanto para as indústrias geradoras de resíduos pós-industriais, quanto para os gestores públicos e catadores, desenvolverem estratégias para recuperação do alumínio que não é reaproveitado, e explorar o potencial da atividade de reciclagem do país, a fim de aumentar a oferta de material secundário para o consumo industrial. Entretanto, tais desafios devem levar em consideração a cadeia de reciclagem como um todo, ou seja, desde o início da cadeia produtiva onde ocorrem a coleta e recuperação de materiais, quanto no final da cadeia, buscando a integração todos os elos.

## 5. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AOS DADOS COLETADOS E A TRABALHOS PREVIOS REALIZADOS SOBRE O TEMA

Após a análise das obras que já trataram o tema discutido até então, nota-se que a análise econômica do mercado de reciclagem brasileiro é pouco desenvolvida na literatura, tal fato pode ser explicado por o mercado de reciclagem ser ainda informal e existirem poucos dados disponíveis que permitam trabalhos de avaliação.

A insuficiência de informações, por sua vez, dificultou e limitou a elaboração da base bibliográfica, visto que muito do que se deseja analisar na pesquisa — o impacto do mercado de commodities no mercado de reciclagem brasileiro — deverá ser explicado apenas de forma empírica, a partir da análise da correlação dos dados.

Assim, espera-se que a análise de dados relativos à taxa de reciclagem, quantidades comercializadas e preços de importação quanto de exportação, assim como o nível de produção nacional de alumínio primário e secundário, colaborem para explicar o comportamento do mercado de reciclagem.

Ainda, será analisada a relação dos dados que caracterizam o mercado de reciclagem, como as taxas de reciclagem de latas de alumínio e o preço pago pela sucata recolhida no Brasil, com indicadores econômicos, como PIB, PIB/capita, salário mínimo e taxa de desemprego.

Com relação aos trabalhos desenvolvidos em outros países, a abordagem tomada por esses trabalhos em geral é comumente voltada para a União Europeia, que possui características políticas e estruturais bastante diversas do cenário brasileiro. Assim, a aplicabilidade desses trabalhos para tentar explicar o comportamento do mercado de reciclagem no Brasil é reduzida e seus conceitos devem ser usados com cautela.

Blomberg e Söderholm (2009) analisam a oferta de alumínio secundário na Europa ocidental. Para tanto foi utilizado o método dos mínimos quadrados em dois estágios para a elaboração do modelo. Os autores utilizaram séries de dados de variados países entre o período de 1983 a 2000, tendo como *inputs* do modelo os preços de alumínio secundário, preços dos recursos para a produção do alumínio secundário e o tamanho do estoque de sucata pós-consumo disponível.

Entre os principais resultados do modelo, a elasticidade estimada para a oferta de alumínio secundário em relação ao preço é considerada baixa (0,21). Ou seja, uma variação de 1% no preço do *output* produz uma variação de 0,21% na produção de alumínio

secundário. Ainda, com relação à energia, o resultado do estudo aponta que um aumento de 1% no custo de energia induz uma queda na reciclagem de alumínio de 0,25%.

Assim, concluem que os resultados do modelo ajudam a entender as flutuações dos preços do alumínio secundário. Além disso, com relação ao comércio internacional de sucata, os autores afirmam que incentivos à produção relacionados aos preços do *output* possuem impactos limitados nas taxas de reciclagem de um dado país, não afetando significativamente níveis de produção de alumínio secundário internacionalmente.

Com relação a relevância do trabalho desenvolvido pelos autores ao tema, é pertinente a análise do impacto que o preço do alumínio secundário tem sobre sua produção. Entretanto, os resultados do estudo tem limitada aplicabilidade para se tirar conclusões com relação ao cenário brasileiro. O estudo utiliza dados de países que possuem uma realidade socio-econômica distinta do Brasil (Alemanha, França, Itália e Reino Unido) para a elaboração do modelo.

Blomberg e Hellmer (2000), por sua vez, buscam investigar tanto a oferta quanto a demanda de alumínio secundário analisando os fatores que determinam a oferta e a demanda da indústria de alumínio secundário em países do Oeste Europeu. Os autores escolheram o método dos mínimos quadrados em dois estágios e utilizam séries de dados do período entre 1983 e 1997 para elaborar o modelo.

Os autores analisam a relação entre a quantidade de alumínio secundário ofertada às indústrias como função do preço da liga de alumínio recuperados e os preços dos fatores de produção e a capacidade de refino de alumínio secundário instalada. Já a demanda do mercado é relacionada o preço do alumínio secundário, com o PIB dos países, com o preço do Magnésio (substituto ao alumínio) e com o nível de produção da indústria automobilística no país (tomada no trabalho como referência, devido sua grande demanda por alumínio).

No resultado do estudo, tanto para o modelo da oferta e da demanda de alumínio secundário o coeficiente estimado para a elasticidade com relação ao preço do alumínio secundário é muito baixo, (0,17 e 0,07 respectivamente), sendo assim apresentam comportamentos praticamente inelásticos. Com relação ao modelo de suprimento de alumínio secundário à indústria, foi verificado a inelasticidade com relação aos preços dos insumos de produção visto ao pequeno impacto destes na quantidade ofertada. Entretanto, com relação a capacidade produtiva, os resultados mostraram que o aumento de 1% na capacidade de produção de alumínio secundário, geram na verdade um aumento de 0,91% de real utilização desse aumento.

Com relação ao modelo de demanda do alumínio secundário, os resultados mostraram que a demanda da produção automobilística de alumínio tem relativa importância no mercado de reciclagem, sendo que um aumento de 1% na quantidade produzida pelo setor automotivo gera um aumento de 0,52% na demanda. Os autores não apontaram nenhum resultado relevante que relacionam o PIB dos países e os preços dos produtos substitutos à demanda por material secundário.

Apesar de o estudo realizado pelos autores fazer uma análise relevante para o estudo aqui proposto, os resultados devem ser levados em consideração com cautela vistos as diferenças estruturais do Brasil e dos países analisados (Alemanha, França, Itália e Reino Unido), principalmente no que diz respeito remuneração dos trabalhadores.

Apesar de o estudo desenvolvido por Beukering e Bouman (2001) se relacionar a análise do comércio de papel e chumbo, algumas conclusões citadas pelos autores é relevante a análise do mercado de reciclagem de alumínio. Segundo os autores, países desenvolvidos têm recentemente exportado materiais reciclados para países periféricos. Para explicar essa hipótese os autores utilizam a taxa de recuperação<sup>4</sup>, a taxa de utilização<sup>5</sup>, e de outras variáveis que se relacionam com o comércio internacional de materiais virgens, materiais recuperados e *commodities* finais<sup>6</sup>, além de variáveis demográficas<sup>7</sup> e por fim variáveis relacionadas ao mercado<sup>8</sup>. Na elaboração do modelo os autores utilizaram o método dos mínimos quadrados

---

<sup>4</sup> Taxa de recuperação é definida como a quantidade de materiais recuperados domesticamente dividida pela quantidade produzida em um dado país somado à quantidade importada e subtraída da quantidade exportada do mesmo material.

<sup>5</sup> Taxa de utilização é definida como a soma da quantidade de material recuperada em um país subtraída da quantidade de material recuperado que é exportada e somada com a quantidade de material recuperado que é importado pelo país, dividido pela produção total de uma dada *commodity*.

<sup>6</sup> A taxa de dependência da importação é definida como a quantidade de materiais primários, secundários e *commodities* finais importadas por um dado país dividido pelo consumo total daquela *commodity* no país (quantidade importada somada à produzida e reduzida da exportada). A dependência ao comércio é definida como o grau em que uma economia depende do comércio internacional. Assim, é mensurada pelo valor que é agregado ao PIB de um dado país pelo setor.

<sup>7</sup> As variáveis demográficas utilizadas são a densidade populacional, a dependência à importação de energia do setor, e a posse de *commodities* primárias de um dado país

<sup>8</sup> Dentre essas variáveis estão os salários pagos aos trabalhadores, a taxa de crescimento do consumo per capita de um dado produto e a razão entre o preço do material recuperado e do material primário, mensurando a atratividade relativa à escolha de um material secundário em detrimento do primário.

em dois estágios generalizado, sendo analisados para o papel dados relativos ao período entre 1970 e 1997 e para o chumbo dados do período entre 1974 e 1997.

Dentre as conclusões do modelo criado, de uma forma geral, países periféricos tendem a se aperfeiçoar na utilização de resíduos de papel e sucata de chumbo, enquanto que países ricos focam-se na reciclagem destes materiais. Os autores também apontam que as características econômicas e demográficas dos países em análise têm grande impacto na reciclagem interna. Entretanto, o nível dessa influência varia de material para material e de país para país, limitando essa generalização para o caso da reciclagem alumínio no Brasil.

O artigo de Berglund e Söderholm (2003) teve como principal objetivo estudar fatores que caracterizam os países com relação à recuperação e utilização de materiais reciclados, com base em dados relacionados ao papel e ao papelão.

Assim, os autores apresentam dois modelos, sendo o primeiro deles a taxa de recuperação de papel e papelão ( parcela de resíduos de papel recuperada dividida pelo consumo de papel e papelão) em função do PIB per capita, da taxa de urbanização, da densidade populacional e do preço do papel reciclado. O segundo modelo, trata-se da taxa de utilização (resíduos de papel consumidos dividido pela produção de papel e papelão), definida em termos do metros cúbicos de florestas por habitantes, diferenças de composição de papel e papelão, parcela da produção de papel e papelão para consumo em um dado país e da taxa de recuperação. Para elaborar os modelos são utilizados dados de 1990 à 1996 e o método dos mínimos quadrados ordinários.

Os autores concluem que tanto fatores econômicos quanto políticos impactam nas variáveis dependentes analisadas nos dois modelos. Entretanto, os resultados do modelo evidenciam que fatores econômicos geram uma influencia maior. Segundo os autores, especialmente em países de renda média, as taxas de recuperação são influenciadas por variáveis como densidade populacional e taxa de urbanização (que determinam o custo da coleta e recuperação). No caso dos países mais ricos os autores destacam a preocupação desses países em reduzir custos de gestão de resíduos através da recuperação de materiais.

Tabela 13 — Resumo sobre os trabalhos já realizados sobre o tema

Autores	Variáveis do modelo proposto
Blomberg & Söderholm (2009)	<p>Variável Independente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• quantidade de alumínio secundário produzido</li> </ul> <p>Variáveis independentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• preço do alumínio secundário; preço do input para produzir alumínio secundário (trabalho, capital e energia); tamanho do estoque disponível de sucata pós consumo</li> </ul>
Blomberg e Hellmer (2000)	<p>Modelo 1: Variável dependente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• quantidade de alumínio secundário ofertado</li> </ul> <p>Variáveis independentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• preço da liga de alumínio secundário; preço da sucata pré-consumo e pós-consumo; preço do Silício; custo do trabalho (salários); preço do combustível; custos ambientais; capacidade das refinarias</li> </ul> <p>Modelo 2: Variável dependente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• quantidade demandada de alumínio secundário</li> </ul> <p>VariáveisIndependentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• preço do alumínio secundário; preço do Magnésio; produção automobilística; PIB</li> </ul>
Pieter J.H. Van Beukering & Mathijs N. Bouman (2001)	<p>Variáveis dependentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taxa de reciclagem</li> <li>• taxa de utilização</li> </ul> <p>Variáveis Independentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• variáveis relacionadas ao comércio internacional de materiais virgens, materiais recuperados e commodities finais; variáveis demográficas; relacionadas ao mercado</li> </ul>
Berglund e Söderijolm (2003)	<p>Modelo 1:</p> <p>Variável dependente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taxa de recuperação de papel e papelão</li> </ul> <p>Variáveis independentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PIB per capita; taxa de urbanização; densidade populacional; preço do papel recuperado</li> </ul> <p>Modelo 2:</p> <p>Variável dependente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• taxa de utilização</li> </ul> <p>Variáveis Independentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• metros cúbicos de florestas por habitantes; diferenças na composição na produção de papel e papelão; parcela da produção de papel/papelão para consumo em um dado país ;taxa de recuperação.</li> </ul>

Fonte — Elaboração própria

A revisão de estudos que tiveram como objetivo analisar os fatores que influenciam no mercado de reciclagem, mesmo quando não relacionados diretamente com o alumínio

contribui para o estudo proposto, mostrando as análises já feitas, metodologias adotadas para a elaboração dos modelos e resultados encontrados.

Como visto na revisão bibliográfica, a análise do comportamento do mercado de reciclagem pode se dar a partir de diversas perspectivas. Assim, é possível analisar o impacto dos preços e disponibilidade de insumos de produção do alumínio primário e alumínio secundário na produção nacional, pode-se analisar o impacto da eficiência da gestão pública de resíduos sólidos nas taxas de reciclagem, assim como analisar diretamente como os indicadores econômicos afetam a vida dos catadores.

O estudo proposto tenta, de uma forma genérica, fazer um primeiro levantamento de quais fatores influenciam nas atividades de reciclagem no Brasil. Entretanto, os trabalhos revisados mostram que um olhar mais específico sobre a questão-problema, ainda que sobre diferentes ângulos, pode colaborar para ter uma visão mais completa sobre o mercado de reciclagem brasileiro.



## 6. O MODELO PROPOSTO

O problema aqui proposto tenta investigar a relação entre diferentes variáveis que, em uma primeira análise, aparentam influenciar o comportamento do mercado de reciclagem brasileiro. Alguns métodos estatísticos auxiliam na avaliação sobre a existência de uma relação entre o comportamento de duas ou mais variáveis. Para esse trabalho usaremos o coeficiente de correlação e a regressão múltipla.

O coeficiente de correlação linear simples informa se variações sofridas por um dos parâmetros analisados são seguidas de alterações em outros parâmetros em questão, tal verificação permite inferir sobre o comportamento das variáveis umas em função das outras. Um segundo passo da análise é a elaboração de uma regressão para a série histórica, descrevendo as relações em termos de uma função matemática. A regressão linear é um método capaz de calcular os parâmetros dessa função (SOUZA, 2014).

### 6.1 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

Um primeiro passo do estudo foi verificar a correlação entre as séries históricas de todas as variáveis.

Seja  $(X_i, Y_i)$  variáveis aleatórias distribuídas conjuntamente, tal que essa distribuição seja normal bidimensional e que  $\mu_x$  e  $\sigma_x^2$  e  $\mu_y$  e  $\sigma_y^2$  sejam a média e a variância de X e Y, respectivamente. O coeficiente de correlação linear entre X e Y é dado pela equação 1, tal que  $\sigma_{xy}$  a covariância entre X e Y (equação 2), e  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  os desvios-padrão de X e Y ( raiz quadrada da variância de X e Y) respectivamente (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

$$\sigma_{xy} = E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] \quad (2)$$

A covariância, dada pela equação 2, é uma forma de estimar se existe relação linear entre duas variáveis. Uma vez que  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  são sempre positivos, o sinal do coeficiente de correlação, ou o valor nulo, são dados pela covariância (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Valores de  $\rho$  variam de -1 a +1, sendo que os negativos indicam uma associação inversa entre as variáveis. Ou seja, enquanto a variável X apresentar um comportamento de crescimento, a variável Y apresentará um comportamento de decrescimento. Em contrapartida, quando  $\rho$  resultar em um valor positivo, a associação entre as duas variáveis

ocorre no mesmo sentido. Assim, quando a variável X apresentar um comportamento de crescimento ou decrescimento, a variável Y apresentará o mesmo comportamento (SOUZA, 2014).

Além disso, o fato de a correlação ser uma grandeza adimensional permite avaliar se existe alguma relação linear entre duas variáveis em unidades diferentes (MONTGOMERY; RUNGER, 2009), como por exemplo, quilograma versus metros.

Ainda, com relação ao coeficiente de correlação, seu módulo também indica o grau de correlação entre duas variáveis, nesse estudo o critério de avaliação adotado para analisar o grau de relação linear entre duas variáveis se dará da seguinte forma:

Tabela 14 — Grau de correlação entre duas variáveis

Módulo do valor de $\rho$	Interpretação
0.00	Correlação nula ( não existe relação linear)
0.01 a 0.19	Correlação bastante fraca
0.20 a 0.39	Correlação fraca
0.40 a 0.69	Correlação moderada
0.70 a 0.89	Correlação forte
0.90 a 0.99	Correlação muito forte
1.00	Correlação perfeita

Fonte – Adaptado de Shimakura (2006) e Souza( 2014)

Para esse estudo foi construída uma matriz de correlação, que resume os valores encontrados para os coeficientes de correlação para o cruzamento de todas as variáveis. A tabela abaixo mostra as variáveis estudadas assim como suas fontes e tamanho da série de dados

Tabela 15 — Lista de variáveis analisadas no estudo

Var.	Definição	Unidade <sup>9</sup>	Fonte de dados	Ano
A	Quantidade importada de alumínio primário	Mil toneladas	Aliceweb	1995-2011
B	Quantidade importada de sucata	Mil toneladas	Aliceweb	1995-2011
C	Quantidade exportada de alumínio primário	Mil toneladas	Aliceweb	1995-2011
D	Quantidade exportada de sucata	Mil toneladas	Aliceweb	1995-2011
E	Preço de importação de alumínio primário	(R\$)	Aliceweb	1995-2011
F	Preço de importação de sucata	(R\$)	Aliceweb	1995-2011
G	Preço de exportação de alumínio primário	(R\$)	Aliceweb	1995-2011
H	Preço de exportação de sucata	(R\$)	Aliceweb	1995-2011
I	Preço pago pela sucata coletada no Brasil	(R\$)	Adaptado de Cempre	2001-2011
J	Produção de alumínio primário	Milhão de toneladas	MME/ABAL/DNPM	1995-2011
K	Produção alumínio secundário	Milhão de toneladas	MME/ABAL/DNPM	1995-2009
L	Taxa de reciclagem de latas de alumínio	(%)	ABAL	1995-2011
M	PIB	Trilhões de R\$	IPEA	1995-2011
N	PIB/capita	Mil R\$	IPEA	1995-2011
O	Salário mínimo	R\$	IPEA	1995-2011
P	Taxa de desemprego	(%)	IPEA	1995-2011

Fonte – Elaboração própria

A tabela abaixo representa a matriz de correlação para todas as variáveis, ou seja, contém o coeficiente de correlação para cada relação entre variáveis.

Tabela 16 — Matriz de correlação para as variáveis analisadas (MS Excel 2013)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	1,00															
B	0,26	1,00														
C	-0,66	0,16	1,00													
D	-0,21	-0,37	0,04	1,00												
E	-0,42	-0,05	0,60	0,01	1,00											
F	-0,17	0,29	0,47	-0,32	0,84	1,00										
G	-0,34	0,14	0,54	-0,30	0,92	0,93	1,00									
H	-0,17	0,29	0,47	-0,48	0,74	0,91	0,88	1,00								
I	-0,38	-0,16	0,54	-0,47	0,83	0,85	0,83	0,82	1,00							
J	0,24	0,90	0,32	-0,40	0,09	0,43	0,25	0,41	-0,07	1,00						
K	0,53	0,79	0,35	-0,27	0,20	0,49	0,33	0,51	-0,16	0,83	1,00					
L	0,40	0,70	0,05	-0,51	0,20	0,59	0,37	0,47	-0,40	0,82	0,75	1,00				
M	0,68	0,76	-0,28	-0,34	-0,30	0,08	-0,15	0,01	-0,58	0,79	0,87	0,81	1,00			
N	0,70	0,74	-0,33	-0,28	-0,40	-0,05	-0,27	-0,10	-0,58	0,74	0,84	0,73	0,99	1,00		
O	0,61	0,80	-0,20	-0,39	-0,28	0,12	-0,11	0,05	-0,57	0,83	0,84	0,84	0,99	0,97	1,00	
P	-0,48	-0,22	0,43	0,29	0,67	0,53	0,56	0,32	0,37	-0,08	0,08	0,16	-0,27	-0,36	-0,25	1,00

Fonte – Elaboração própria

<sup>9</sup> As variáveis E, F, G, H, I, M, N, O tiveram seus valores deflacionados para 2011 com base no valor do INPC.

O preço pago pela sucata coletada no Brasil é, na verdade, a média dos preços encontrados para os preços pagos para o quilograma de sucata coletada em São Paulo.

Entretanto, o coeficiente de correlação indica apenas se há relação linear ou não entre as variáveis analisadas, não implicando que haja uma influência de uma variável sobre a outra (UFSC, 2014).

Para ilustrar esse fato, duas variáveis X e Y podem ter uma relação de linearidade em seus comportamentos e não explicativa devido ao fato de, uma mudança em uma terceira variável Z implicar em mudanças nas variáveis X e Y analisadas, assim, a relação causa-efeito não é direta entre X e Y, mas sim entre X e Z e entre Y e Z. Além disso, a relação observada entre duas variáveis também pode ser aleatória, sendo ao acaso. Pode acontecer de duas variáveis analisadas nesse estudo apresentarem uma correlação moderada e positiva, mas se analisados os próximos 20 anos a partir dessa data, mudanças no comportamento entre as duas variáveis podem gerar um coeficiente de correlação completamente diferente do resultado que se obteve até então (UFSC, 2014).

Se X e Y são duas variáveis aleatoriamente distribuídas conjuntamente, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é definido pelo quadrado do coeficiente de correlação (equação 3), pode ser utilizado para avaliar o ajuste do modelo em análise (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$R^2 = \rho^2 \quad (3)$$

Entretanto, o valor de  $R^2$  deve ser analisado com cautela, especialmente em casos em que há mais de uma variável no modelo. Isso, pois o valor de  $R^2$  sempre aumenta com a inserção de variáveis ao modelo, entretanto, nem sempre esse incremento no valor de  $R^2$  indica que um modelo com mais variáveis seja melhor. Para avaliar tal fato é necessário analisar o que ocorre com a média quadrática dos erros à medida que se adiciona variáveis (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Sendo assim, quando analisado com cuidado, quanto mais o valor do coeficiente de determinação se aproxima de 1, e se afasta de 0, há indícios de que o modelo proposto é adequado, uma vez que isso indica que uma boa parcela da variabilidade dos dados é explicada pelo modelo (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Tabela 17 — Resultados para o coeficiente de determinação para as variáveis analisadas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	1,00															
B	0,07	1,00														
C	0,44	0,03	1,00													
D	0,04	0,14	0,00	1,00												
E	0,18	0,00	0,36	0,00	1,00											
F	0,03	0,08	0,22	0,10	0,71	1,00										
G	0,12	0,02	0,29	0,09	0,84	0,87	1,00									
H	0,03	0,08	0,22	0,23	0,54	0,83	0,78	1,00								
I	0,15	0,03	0,30	0,22	0,69	0,72	0,68	0,67	1,00							
J	0,06	0,81	0,10	0,16	0,01	0,19	0,06	0,17	0,00	1,00						
K	0,28	0,63	0,12	0,07	0,04	0,24	0,11	0,26	0,03	0,69	1,00					
L	0,16	0,48	0,00	0,26	0,04	0,34	0,14	0,22	0,16	0,67	0,56	1,00				
M	0,46	0,58	0,08	0,12	0,09	0,01	0,02	0,00	0,34	0,62	0,77	0,66	1,00			
N	0,49	0,55	0,11	0,08	0,16	0,00	0,07	0,01	0,34	0,55	0,71	0,53	0,98	1,00		
O	0,37	0,65	0,04	0,15	0,08	0,02	0,01	0,00	0,33	0,69	0,70	0,70	0,98	0,95	1,00	
P	0,23	0,05	0,19	0,09	0,45	0,28	0,31	0,10	0,14	0,01	0,01	0,03	0,07	0,13	0,06	1,00

Fonte — Elaboração própria

Com relação à taxa de reciclagem, esta apresentou uma correlação forte com relação à importação de sucata, com coeficiente de determinação de 0,48. O resultado gerado condiz com o esperado, visto que indica que quando a quantidade de sucata importada cresce, a taxa de reciclagem de latas de alumínio apresenta o mesmo comportamento.

Entretanto, é necessário ponderar que, entre a sucata importada pelo Brasil existem diversos tipos de sucata, sendo difícil fazer uma relação direta. O que sugere que, de uma forma mais ampla, o aumento da demanda brasileira por sucata, aumenta também a taxa de reciclagem de latas de alumínio.

A taxa de reciclagem de latas se mostrou fortemente correlacionada positivamente tanto com a produção de alumínio primário quanto com a de secundário (coeficientes de determinação 0,67 e 0,56 respectivamente).

O resultado condiz com o esperado para o caso da produção de alumínio secundário, a transformação de sucata de alumínio em alumínio secundário e o conceito de taxa de reciclagem estão intimamente relacionados (mesmo que, nesse caso a taxa de reciclagem seja apenas relacionada a latas de alumínio).

Entretanto, para o caso da relação positiva entre a taxa de reciclagem de latas e a produção de alumínio primário, esse resultado faz sentido visto que a correlação entre a

produção primária e secundária também é positiva. Assim, entre 1995 e 2011, o índice de correlação indica que a produção de alumínio primário e o secundário acompanharam no mesmo sentido diante das variações da demanda de alumínio durante o período.

Observando a matriz de coeficiente de correlação e a matriz de coeficiente de determinação, com relação ao preço pago pela sucata recolhida no Brasil, houve uma correlação positiva e muito forte com relação ao preço de comercialização da sucata e do alumínio primário tanto no caso da importação quanto para a exportação. Isso significa é que quando os preços de transação no comércio internacional sobem, no mercado interno brasileiro também há uma tendência a subir o preço pago pela sucata recolhida, assim como, quando há retração dos preços para as transações no comércio exterior, existe uma tendência de os preços pagos pela sucata recolhida no Brasil também retrair.

Esse resultado indica que a afirmação feita pelo Movimento Nacional dos Catadores de Recicláveis, relacionada à crise de 2008, referente à queda das cotações do alumínio primário e sucata no mercado internacional e nacional durante a crise do período tem sentido. Os coeficientes de determinação para os preços de importação de alumínio primário e sucata são 0,69 e 0,72 e para a exportação dos mesmos é 0,68 e 0,67.

Outro resultado a se destacar, trata da correlação negativa do preço do material reciclado com a taxa de reciclagem de latinhas (-0,40). Tal fato não era esperado, uma vez que, de acordo com IPEA (2010b), a recessão causada no mercado de reciclagem brasileiro levou à falência e ao fechamento de várias de cooperativas de catadores. Neste caso, a desvalorização do preço da sucata coletada no Brasil parece não ter representado repercussão negativa para a coleta de latas de alumínio, e assim, para sua taxa de reciclagem. Entretanto deve-se ressaltar que o coeficiente de determinação entre essas duas variáveis é muito baixo (0,16).

Com relação ao coeficiente de correlação com aos indicadores econômicos, o resultado indicou, para o preço pago pela sucata coletada no Brasil, uma relação negativa e moderada para o PIB, PIB/capita e salário mínimo (coeficiente de correlação aproximadamente -0,58), com coeficientes de determinação fracos (aproximadamente 0,34).

Em um país onde a riqueza não é distribuída de forma igual para a população, e diante da informalidade dos catadores e cooperativas, não é esperado que um aumento das riquezas do país e um aumento no valor do salário mínimo sejam acompanhados por um aumento no preço pago pela sucata de alumínio. Os coeficientes negativos, na verdade indicam que, no decorrer dos anos, à medida que o Brasil tem crescido e se tornado mais rico,

esse crescimento não só não foi repassado para as pessoas que se engajam nas atividades de coleta seletiva como também houve uma diminuição no preço pago a eles por quilo de sucata recolhida.

Com relação à taxa de desemprego, assim como a taxa de reciclagem, essa variável também apresentou um coeficiente de correlação positivo e fraco (0,37), assim como o coeficiente de determinação (0,14).

Outro fato interessante se relaciona às quantidades de alumínio primário e sucata comercializadas no mercado externo. A correlação entre as quantidades importadas de alumínio primário e sucata com as quantidades exportadas é considerada fraca com baixos valores para os coeficientes de determinação. A relação entre quantidade de alumínio primário importado e a quantidade de alumínio primário exportado foi a única que apresentou índices de correlação e determinação moderados (-0.66 e 0.44 respectivamente).

Entretanto, ao analisar a cotação desses materiais no comércio externo nota-se que para todas as relações os coeficientes de correlação foram de fortes a muito fortes (de 0,74 a 0,93), com coeficientes de determinação de 0,54 a 0,87. Todos os coeficientes para essas variáveis apresentaram valores positivos, assim, quando a tendência de crescimento era verificada para uma variável também era verificada a mesma tendência para as demais.

Outro resultado que se pode destacar é a correlação forte e positiva (0,83), com coeficiente de determinação de 0,69, entre a produção nacional de alumínio primário e de alumínio secundário. Demonstrando que, de uma forma geral, entre 1995 e 2011, enquanto a produção de alumínio primário aumentou ou diminuiu, a produção de alumínio secundário apresentou o mesmo comportamento.

## 6.2 REGRESSÃO MÚLTIPLA

### 6.2.1 Considerações conceituais referentes ao modelo

A análise do coeficiente de correlação resulta em uma interpretação limitada com relação à influência que as variáveis analisadas causam no mercado de reciclagem. Ele permite apenas uma análise par a par do comportamento das variáveis com o tempo, assim, nada pode ser afirmado sobre o impacto de uma variável em outra ou sobre como os preços ou taxa de reciclagem são formados.

A regressão múltipla, de uma forma geral, permite estimar o comportamento de uma variável dependente diante do comportamento de outras variáveis através de funções. Nesse trabalho estimaremos a relação entre as variáveis utilizando um modelo de regressão linear múltipla, tal que a variável dependente  $Y$  se relaciona com  $k$  variáveis independentes ou regressoras de forma linear de acordo com a equação 4 (MONTGOMERY; RUNGER, 2009):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (4)$$

Tal que  $Y$  é a variável dependente ou de resposta,  $x_1, x_2, x_k$  são as variáveis regressoras,  $\beta_0$  é um termo constante,  $\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_k$  são os coeficientes de regressão, que, a priori são desconhecidos, mas serão estimados pela regressão e, finalmente,  $\epsilon$  é o termo aleatório da regressão. Com relação ao modelo de regressão, é importante destacar que  $\beta_1$  mede a variação esperada em  $Y$  por unidade de variação de  $x_1$  quando as demais variáveis são mantidas constantes, tal relação pode ser generalizada para todos os coeficientes da regressão (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

O modelo de regressão múltipla gerado é, na verdade, apenas uma estimativa da relação que as variáveis  $x_1, x_2, x_k$  têm com  $Y$ . Entretanto a utilização correta de procedimentos para calcular os parâmetros  $\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_k$  faz com que tais estimativas sejam aproximações adequadas para exprimir a real relação entre as variáveis que compõem o modelo (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

O método dos mínimos quadrados é utilizado para estimar  $\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_k$ . Supondo que a variável  $Y$  possa ser explicada em termos de  $k$  variáveis dependentes, tais que cada uma contém  $n$  observações ( $n > k$ ). Seja  $x_{ij}$  a  $i$ -ésima observação da variável  $j$  a equação 4 pode ser reescrita em termos das observações  $x_{ij}$  e do valor correspondente para  $Y$  da seguinte forma (MONTGOMERY; RUNGER, 2009):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (5)$$

Cada conjunto de observações  $x_{ij}$  para um dado nível  $i$ , se relaciona com  $y_i$  de acordo com a equação acima, que pode ser reescrita de forma matricial do seguinte modo (MONTGOMERY; RUNGER, 2009):

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (6)$$

Sendo os vetores  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{X}$ ,  $\boldsymbol{\beta}$  e  $\boldsymbol{\epsilon}$  respectivamente:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \mathbf{1} & x_{21} & x_{23} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mathbf{1} & x_{31} & x_{33} & \dots & x_{3k} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$



Assim, ao isolar o vetor dos erros do modelo,  $\epsilon$ , dos demais, e multiplicarmos esse vetor por seu transposto, temos:

$$\epsilon = \mathbf{X}\beta - \mathbf{y} \quad (7)$$

$$\mathbf{L} = \epsilon'\epsilon \quad (8)$$

Para a notação matricial, a solução da equação 9 gera os estimadores de mínimos quadrados para os coeficientes.

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = \mathbf{0} \quad (9)$$

A variância é estimada por:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SQ_E}{n - p} \quad (10)$$

E o erro-padrão de um coeficiente  $\hat{\beta}_j$  é calculado a partir da variância estimada e pela matriz  $\mathbf{C}=(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$  a partir da relação:

$$ep(\hat{\beta}_j) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}} \quad (11)$$

A fim de tentar analisar o comportamento do mercado de reciclagem brasileiro, dois modelos de regressão foram elaborados: o modelo 1, cuja variável dependente seria a taxa de reciclagem de latas de alumínio e o modelo 2 cuja variável dependente seria o preço pago pela sucata coletada no Brasil. Entretanto, alguns pontos devem ser levantados na elaboração desses modelos:

- a determinação das variáveis explicativas dos modelos e o método a ser usado para escolher essas variáveis;
- a avaliação do modelo proposto, verificando sua significância;
- a avaliação sobre a consistência do modelo com o que é esperado, a partir da análise do problema.

Com relação à escolha das variáveis dos modelos, este trabalho utilizou como critério de avaliação para a entrada de variáveis ao modelo a contribuição que cada variável incorpora à explicação do modelo. Essa contribuição está relacionada com a correlação parcial das variáveis propostas com a variável dependente. Para tanto, utilizou-se o método de regressão por etapas, que cria diversos modelos adicionando e retirando variáveis em cada etapa de acordo com um teste parcial de F (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

De acordo com os autores, de uma forma mais detalhada, a estatística F adota um valor  $f_{\text{entra}}$  e  $f_{\text{sai}}$ , para adicionar e remover variáveis do modelo. Para isso, deve-se ter  $f_{\text{entra}} \geq f_{\text{sai}}$

e geralmente  $f_{\text{entra}} = f_{\text{sai}}$ . Na primeira iteração, o método de regressão por etapas formula um modelo que contém apenas uma variável. O critério de escolha para a variável regressora é a que tiver a maior correlação com a variável resposta  $Y$ . De forma análoga, automaticamente ela também irá produzir a maior estatística  $F$ .

Supondo que inicialmente tínhamos  $k$  variáveis disponíveis para entrar no modelo, após a escolha da primeira variável para o primeiro modelo, na segunda etapa existem  $k-1$  candidatas a entrarem no próximo modelo. Destas variáveis, a que tiver maior valor de  $f_j$  é adicionada a equação, desde que  $f_j > f_{\text{entra}}$ . A fórmula para o cálculo de  $f_j$  para  $j$  variando de 1 a  $k$ , para a segunda iteração, sendo a variável  $x_1$  a escolhida na etapa anterior, é dada pela equação abaixo. Sendo  $MQ_E$  e  $SQ_R$  a média quadrática do erro do modelo contendo  $x_1$  e a variável  $j$  que está sendo analisada e a soma dos quadrados da regressão, também considerando um modelo com a variável escolhida,  $x_1$ , e a variável  $x_j$ , candidata a entrar.

$$F_j = \frac{SQ_R(\beta_j/\beta_1, \beta_0)}{MQ_E(x_j/x_1)} \quad (12)$$

Da mesma forma, em cada etapa, após a adição de cada variável ao modelo, as variáveis que já se encontram no modelo têm o seus valores de  $f_j$  testados novamente, desta vez levando em consideração a entrada da nova variável. Assim, se o novo valor de  $f_j$  for tal que  $f_j < f_{\text{sai}}$ , a variável  $x_j$  será removida. A equação para o cálculo de  $f_j$  para o caso de uma variável  $x_1$ , que foi escolhida na primeira etapa é dada pela equação abaixo. O procedimento de análise de  $f_j$  continuará até que não haja regressores candidatos a serem adicionados ou removidos do modelo (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$F_1 = \frac{SQ_R(\beta_1/\beta_2, \beta_0)}{MQ_E(x_1/x_2)} \quad (13)$$

Entretanto, como visto na seção anterior, cada vez que uma variável é inserida em um modelo de regressão, automaticamente o valor de  $R^2$  sofre um incremento, o que pode comprometer o julgamento sobre a adequação do modelo para representar a relação entre as variáveis. Assim, é necessário analisar o que acontece com o  $R^2$  cada vez que uma variável é adicionada ao modelo, em conjunto com os testes da regressão por etapas para verificar em até que ponto a adição de variáveis beneficia o modelo.

O  $R^2$  para regressões lineares múltiplas pode ser calculado da soma dos quadrados dos erros e da soma total dos quadrados (MONTGOMERY; RUNGER, 2009):

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T} \quad (14)$$

Outro indicador que pode ser usado como critério de parada é a análise do  $R^2_{ajustado}$ , que somente aumenta quando uma dada variável, ao entrar no modelo, reduz a média quadrática do erro. O  $R^2_{ajustado}$  é calculado através da relação abaixo, sendo  $n - p$  o grau de liberdade do resíduo e  $n - 1$  o grau de liberdade total (MONTGOMERY; RUNGER, 2009):

$$R^2_{ajustado} = 1 - \frac{SQ_E / (n - p)}{SQ_T / (n - 1)} \quad (15)$$

A tabela ANOVA, indicará os valores  $SQ_R$ ,  $SQ_E$  e  $SQ_T$ , assim como  $MQ_R$ ,  $MQ_E$  e graus de liberdade para cada modelo estimado (modelo 1 e modelo 2).

Ainda, na tabela ANOVA é indicado o valor encontrado para o teste  $F_0$ , que testa a hipótese de que pelo menos uma das variáveis do modelo contribui significativamente para o modelo, tendo relação linear com  $y$ . O valor de para cada modelo é a razão entre a média quadrática do modelo pela média quadrática dos erros.

Outros dois testes que são relevantes ao estudo são os testes para os coeficientes individuais de regressão. Assim, o teste parcial testa a hipótese de que um dado coeficiente  $\beta_j$  é igual ao valor  $\beta_{j0}$  (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Seja,  $H_0: \beta_j = \beta_{j0}$  e  $H_1: \beta_j \neq \beta_{j0}$  as hipóteses do teste. Tal que  $\beta_j^{\wedge}$  é o valor estimado para o coeficiente e  $ep(\beta_{j0})$  é o erro padrão do coeficiente  $\beta_j^{\wedge}$ .

$$T_0 = \frac{\beta_j^{\wedge} - \beta_{j0}}{ep(\beta_{j0})} \quad (16)$$

Se o módulo de  $T_0$  for maior que o valor de  $t_{\alpha/2, n-p}$  a hipótese nula é rejeitada. Se, no teste  $\beta_{j0}$  for igual a zero e a hipótese  $H_0$  for aceita, isso implica que a variável em análise pode ser excluída.

O teste geral de significância da regressão, por sua vez, testa a contribuição de uma variável regressora, ou um conjunto de variáveis regressoras, ao modelo. Seja  $\beta_1$  e  $\beta_2$  dois subconjuntos de variáveis que juntas definem o conjunto de variáveis candidatas a entrar no modelo, as hipóteses levantadas pelos testes são:  $H_0: \beta_1 = 0$  e  $H_1: \beta_1 \neq 0$ , tal que  $SQ_R$  é a soma do quadrado dos erros de  $\beta_1$  se  $\beta_2$  já estiver no modelo, e  $r$  é o número de graus de liberdade:

$$F_0 = \frac{SQ_R \left( \beta_1 / \beta_2 \right) / r}{MQ_E} \quad (17)$$

Se  $f_0$  for maior que o valor de  $f_{\alpha, r, n-p}$ , ou se o valor de  $P$  (significância) é menor que  $\alpha$ ,  $H_0$  deve ser rejeitada

Ainda, se  $r = 1$  e  $\beta_1$  representar apenas uma variável esse teste equivalerá ao teste  $F_0$  feito pela regressão por etapas. A utilização do teste  $F$  é para apenas uma variável gera resultados condizentes com o teste  $t$  (MONTGOMERY; RUNGER, 2009). Durante os procedimentos da regressão por etapas SPSS 15.0.0 fornece os valores de  $t$  para os coeficientes da regressão.

Entretanto, uma vez que  $f_{\text{entra}}$  e  $f_{\text{sai}}$  podem ser escolhidos arbitrariamente, existem vários modelos possíveis de ser formados. Além disso, dependendo do conjunto inicial de variáveis, o método de regressão por etapas poderá dar prioridade à entrada de uma variável em detrimento de outra, gerando também modelos diferentes.

Assim, diante de centenas de possibilidades de modelos a serem estimados, é preciso avaliar o os modelos com relação ao seu  $f_{\text{entra}}$  e  $f_{\text{sai}}$ ,  $R^2$ ,  $R^2_{\text{ajustado}}$ , erro padrão da regressão e a correlação entre as variáveis independentes ( multicolinearidade).

A multicolinearidade diz respeito ao grau de relação que variáveis explicativas de um modelo apresentam entre si. Segundo os autores, a presença de multicolinearidade pode ser detectada de diversas maneiras (MILOCA; CONEJO, 2013):

- correlação forte entre as variáveis explicativas;
- grandes variações nos coeficientes de regressão estimados durante as etapas da regressão, diante do acréscimo ou retirada de uma variável em uma dada etapa;
- rejeição da hipótese  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ , no teste para ANOVA, e nenhuma rejeição nos testes  $H_0: \beta_i = 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  (teste geral da regressão);
- parâmetros com sinais algébricos opostos ao previsto, a partir de por exemplo, análise do coeficiente de correlação entre a variável dependente e a independente;
- intervalos de confiança muito abrangentes para os parâmetros do modelo

Além desses, também são apontados os fatores de inflação da variância (FIV) para os parâmetros da regressão como um indicador de multicolinearidade. Quanto maior o valor de FIV, maior será a multicolinearidade (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Entretanto, é possível utilizar modelos com multicolinearidade apenas para estimativa, não analisando os efeitos dos coeficientes das variáveis com multicolinearidade sobre a variável dependente, assim, para identificar a influencia entre as variáveis, utilizar os coeficientes de correlação simples (MILOCA E CONEJO, 2013).

Para os modelos em que há indicação de casos de multicolinearidade foi feita uma análise dos componentes principais, que permite dividir todas as variáveis em subgrupos de variáveis mais correlacionadas entre si. O ideal é criar modelos que não contenham variáveis de um mesmo grupo (MILOCA E CONEJO, 2013).

Tabela 18 — Autovalores maiores que um e suas variâncias antes e após a rotação

Comp.	Autovalores iniciais			Distribuição da variância após a rotação varimax		
	Total	variância explicada (%)	% cumulativa	Total	variância explicada (%)	% cumulativa
1	8,848	55,299	55,299	6,819	42,620	42,620
2	3,652	22,825	78,124	5,218	32,609	75,229
3	1,529	9,557	87,681	1,992	12,452	87,681

Fonte — Elaboração própria (a partir de SPSS)

Utilizando o critério de Kayser, existem 3 *eigenvalues* (autovalores) maiores que um, representando 87,7% dos dados e assim, as variáveis serão subdivididas em 3 grupos de fatores. Assim, após a rotação, o fator 1 contém cerca de 43% da variabilidade das 16 variáveis, o fator 2 e cerca de 33% seguido do fator 3 que representa 12%.

Tabela 19 — Matriz dos componentes rotacionada

Variável\Componente	1	2	3
A	0,782	-0,227	0,211
B	0,867	-0,161	0,276
C	0,699	0,445	-0,311
D	0,070	0,039	0,857
E	-0,336	0,931	-0,069
F	-0,232	0,968	-0,004
G	-0,288	0,909	-0,036
H	-0,025	0,937	0,161
I	-0,013	0,863	-0,232
J	0,967	0,064	0,161
K	0,585	-0,106	0,719
L	0,835	-0,126	-0,209
M	0,858	-0,448	0,218
N	0,858	-0,422	0,265
O	0,853	-0,476	0,126
P	-0,733	0,226	-0,484

Fonte — Elaboração própria (a partir de SPSS)

A partir da tabela acima, pode-se inferir que as variáveis A, B, C, J, L, M, N, O e P estão contidas no grupo 1. As variáveis E, F, G, H e I estão contidas no grupo 2 e, por fim as

variáveis D está no grupo 3. Entretanto, K apresenta peso 0,585 no grupo 1 e 0,719 no grupo 3, podendo estar nos dois grupos.

Uma vez que esse estudo não se prende em tentar encontrar um modelo ótimo para descrever as variáveis, mas capturar o quanto as variáveis econômicas podem explicar e impactar nas variáveis dependentes do modelo. Esse estudo utilizou como critério de escolha de modelos que contém valores para  $R^2$ ,  $R^2_{ajustado}$  próximos a um, pequeno valor para o erro padrão, e, por fim, deu-se prioridade de análise aos modelos que também não possuem efeitos de multicolinearidade, uma vez que isso dificulta a análise de variáveis do modelo de forma individual.

### 6.2.2 Modelo 1: taxa de reciclagem de lata alumínio como variável dependente

Para modelo 1, que contém a taxa de reciclagem de latas de alumínio como variável dependente, o método da regressão por etapas foi analisado com diversos grupos de variáveis candidatas a entrar no modelo. Uma vez que quase a totalidade das variáveis disponíveis possuem séries históricas de 1995 a 2011, e apenas duas, o preço pago pela sucata coletada no Brasil e a produção de alumínio secundário possuem séries de tamanhos menores, 2001 a 2011 e 1995 a 2009 respectivamente, dois modelos foram elaborados, considerando e não considerando essas variáveis para verificar o efeito que teria a inclusão das séries com menor amplitude à análise.

Entretanto, o modelo que continha como variáveis de entrada apenas séries históricas com a mesma amplitude resultou em um modelo mais apropriado, diante do resultado dos testes dos coeficientes individuais e da forte multicolinearidade encontrada para o outro modelo.

A tabela abaixo mostra os valores de probabilidade de F ( $\alpha$ ), para  $f_{entra}$  e  $f_{sai}$  adotados para os testes.

Tabela 20 — Valores adotados para probabilidade de F como critério de escolha das variáveis para o modelo 1

	$\alpha_{entra}$	$\alpha_{sai}$
Modelo 1	0,2	0,3

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Para a elaboração desse modelo, houve a retirada das séries preço pago pela sucata coletada no Brasil e produção de alumínio secundário antes primeira etapa do método da regressão por etapas.

A primeira variável selecionada para explicar o modelo, na etapa 1, foi o salário mínimo, devido ao fato de seu coeficiente de correlação ser 0,836, maior que o de todas as outras variáveis com a taxa de reciclagem de latas de alumínio.

Após a adição dessa variável, o  $R^2$  indica que a taxa de reciclagem é explicada por 0,699 da variabilidade do salário mínimo. Durante a análise dos valores de  $f_j$  para as variáveis candidatas a entrar no modelo na etapa 2, o preço de importação de sucata foi a que apresentou maior valor para  $f_j$  e também maior correlação parcial, isso indica que essa deve ser a segunda variável a ser adicionada ao modelo visto que sua contribuição para explicar o modelo será maior que a das demais variáveis. Durante a etapa 3, a quantidade importada de sucata foi selecionada, seguida da taxa de desemprego escolhida na etapa 4, da quantidade exportada de sucata, na etapa 5, e finalmente a variável PIB, na etapa 6.

Entretanto, na etapa 7, a variável salário mínimo é retirada do grupo de variáveis explicativas. Isso, devido ao fato de sua estatística  $f_0$  ter resultado no valor 0,1363 ( cuja raiz quadrada é aproximadamente  $t_0=0,369$ , com  $P=0,762$ ), uma vez que  $\alpha_{saída}$  é 0,3 a variável deve ser retirada do modelo. O mesmo acontece na etapa 8, com a variável quantidade importada de sucata, sendo  $f_0 = 0,650$  (  $t_0=-0,806$ , com  $P=0,713$ ).

A saída dessas variáveis mostra que as variáveis quantidade importada de sucata e taxa de desemprego apesar de terem uma relação forte com a taxa de reciclagem de latas de alumínio, quando junto com as demais variáveis não agregam tanta explicação ao modelo, e assim, devem ser retiradas. Como visto na análise dos componentes principais das variáveis, tanto as variáveis, quantidade importada de sucata, salário mínimo, taxa de desemprego e PIB estão no grupo 1, com correlações muito próximas, assim, o ideal, é a retirada de variáveis para a adequação do modelo. A tabela abaixo mostra as variáveis que compõe o modelo 1 em cada etapa.

Tabela 21 — Variáveis regressoras do modelo 1 em cada etapa

Etapa	Variáveis regressoras
1	Salário mínimo
2	Salário mínimo e preço de importação de sucata
3	Salário mínimo, preço de importação de sucata e quantidade importada de sucata
4	Salário mínimo, preço de importação de sucata, quantidade importada de sucata e taxa de desemprego
5	Salário mínimo, preço de importação de sucata, quantidade importada de sucata, taxa de desemprego e quantidade exportada de sucata
6	Salário mínimo, preço de importação de sucata, quantidade importada de sucata, taxa de desemprego, quantidade exportada de sucata e PIB
7	Preço de importação de sucata, quantidade importada de sucata, taxa de desemprego, quantidade exportada de sucata e PIB
8	Preço de importação de sucata, taxa de desemprego, quantidade exportada de sucata e PIB

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

A partir da análise da tabela 21, se levados em consideração os valores de  $R^2$ ,  $R^2_{ajustado}$ , e do erro padrão do modelo parece ser uma boa estimativa de um modelo linear de regressão múltipla para exprimir a relação entre as variáveis econômicas e a taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil.

Tabela 22 — Resumo do modelo 1 de taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil

Etapa	R	$R^2$	Incremento do $R^2$	$R^2_{ajustado}$	Erro padrão da estimativa
1	0,836	0,699	-	0,679	7,92417
2	0,970	0,941	0,242	0,932	3,63563
3	0,977	0,955	0,014	0,945	3,29021
4	0,981	0,962	0,007	0,950	3,14196
5	0,986	0,973	0,011	0,961	2,76442
6	0,989	0,978	0,005	0,965	2,59995
7	0,989	0,978	0,000	0,968	2,49580
8	0,988	0,977	-0,001	0,969	2,45906

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

É importante notar que, apesar da retirada da variável salário mínimo e quantidade importada de sucata nas etapas 6 e 7 não gerar um aumento em  $R^2$ , causa um aumento em  $R^2_{ajustado}$ . O valor negativo para o incremento de  $R^2$  também pode ser considerado erro de aproximação relacionado ao SPSS, uma vez que se seguido o procedimento descrito nesse trabalho para calcular o incremento de  $R^2$  após a retirada das variáveis, para a etapa 7 e 8 esses valores seriam 0,000191 e 0,001226 respectivamente.



A tabela 22 mostra os resultados do teste de ANOVA para o modelo final (etapa 8). De acordo com esse teste, o modelo criado rejeita a hipótese  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_k = 0$ , que indicaria nenhuma variável regressora contribui significativamente para o modelo. E aceitam a hipótese  $H_1: \beta_j \neq 0$  para pelo menos um  $j$ , mostrando a validade do modelo (MONTGOMERY; RUNGER, 2009)

O valor de  $F_{0,05,4,12}$  é 3,26 para a etapa 8. Assim, como 126 é muito maior que 3,26 e a significância é menor que 0,05 a hipótese  $H_0$  é rejeitada.

Tabela 23 — Tabela ANOVA para o modelo 1 da taxa de reciclagem de latas de alumínio

Etapa		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F	Significância
8	Regressão	3.057,319	4	764,330	126,399	0,000
	Resíduo	72,563	12	6,047		
	Total	3.129,882	16			

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Finalmente, a tabela 23 expõe os resultados encontrados para o modelo 1. Os valores estimados para os coeficientes das variáveis encontram-se na primeira coluna. Uma vez que o módulo de  $t_0$  para todas as variáveis é maior que  $t_{0,025,4}$  (2,776), a hipótese  $H_0$  é rejeitada para todos os coeficientes estimados, sendo que nenhum deles contém no seu intervalo de confiança o valor zero. Assim, há indícios de que os coeficientes são uma boa estimativa. Com relação aos valores de VIF para os coeficientes, não há indícios de multicolinearidade.

Tabela 24 — Resultados para o modelo 1 de taxa de reciclagem de latas de alumínio

Variáveis do modelo 1	Coef.	Erro-padrão	T	P	Intervalo de confiança (95%)	VIF
Constante	-8,759	7,209	-1,215	0,248	(-24,4; 6,948)	
Preço de importação de sucata	3,920	0,854	4,592	0,001	(2,060; 5,780)	2,310
Taxa de desemprego	3,437	0,848	4,051	0,002	(1,589; 5,285)	2,380
Quantidade de sucata exportada	-0,744	0,203	-3,675	0,003	(-0,303; - 0,509)	1,659
PIB	17,050	1,048	16,268	0,000	(14,767; 19,334)	1,271

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Analisando os resultados, para o modelo da reciclagem de latas de alumínio, todos os sinais dos parâmetros estimados para as variáveis condizem com os sinais encontrados para o

coeficiente de correlação na análise de correlação. Simplificando os resultados da tabela acima, temos:

$$L = 17,1(M) + 4,0(F) + 3,4(P) - 0,7(D) - 8,8 \quad (18)$$

Assim, as derivadas parciais da função, ou seja, a taxa de variação de L esperada a partir da mudança de valor de uma variável, quando todas as outras são mantidas constantes, são:

$$\frac{\partial L}{\partial M} = +17,1 \quad (19)$$

$$\frac{\partial L}{\partial F} = +4,0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P} = +3,4 \quad (21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial D} = -0,7 \quad (22)$$

Assim, tem-se que quando há variação no valor do PIB brasileiro, essa variação é repassada cerca de 17 vezes maior para a taxa de reciclagem de latas no Brasil. Enquanto que quando há aumento na taxa de desemprego, essa variável tem um impacto menor sobre a taxa de reciclagem, uma vez que ela é multiplicada por um peso de 3,4. Esses resultados fazem sentido, quando confrontados com as correlações positivas entre os indicadores econômicos e a taxa de reciclagem de latas. Ainda, com relação aos coeficientes de correlação entre as variáveis, tem-se que o PIB possui uma relação linear mais forte com a taxa de reciclagem de latas de alumínio (0,81) do que a taxa de desemprego (0,16).

A quantidade exportada, na regressão, é a única variável que apresentou derivada parcial negativa, indicando que cerca de 70% do valor de suas variações é repassado para a taxa de reciclagem de latas, Assim, se todas as variáveis forem mantidas constantes, e a quantidade de sucata exportada apresentar uma tendência de crescimento, os acréscimos na quantidade exportada de sucata tenderão diminuir a taxa de reciclagem de latas de alumínio no Brasil.

Tal relação faz sentido visto que, se a sucata é exportada, ela deixa de ser transformada em alumínio secundário no Brasil, assim impactando negativamente na taxa de reciclagem.

O coeficiente do preço de importação de sucata indica que toda variação que ocorre nessa variável é repassada para a taxa de reciclagem de reciclagem cerca de quatro vezes maior.

### 6.2.3 Modelo 2: preço pago pela sucata coletada como variável dependente

Assim como para o modelo 1, dois modelos foram elaborados a priori, contendo como variáveis candidatas todas as variáveis independente da amplitude das séries históricas e outro que excluía da análise inicial a variável produção de alumínio secundário no Brasil. No entanto, ao comparar tanto os valores de  $R^2$ ,  $R^2_{ajustado}$ , e erro-padrão, assim como os resultados para os testes de hipótese necessários à análise de problema, o modelo que contém todas as variáveis como candidatas a entrar no modelo mostrou-se superior.

A tabela abaixo mostra os valores adotados para a probabilidade de uma variável sair e entrar no modelo em cada iteração do método de regressão por etapas.

Tabela 25 — Valores adotados para probabilidade de F como critério de escolha das variáveis para o modelo 2

	$\alpha_{entra}$	$\alpha_{sai}$
Modelo 2	0,15	0,3

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

A tabela abaixo mostra as variáveis que compõem o modelo 2 em cada etapa. Uma vez que todas as variáveis entraram no modelo sequencialmente, a partir dos testes realizados pelo método, sem necessidade de análise mais profunda devido à exclusão de variáveis, a tabela que contém dados referentes à correlação parcial das variáveis candidatas, os resultados dos testes  $t$  e a tabela ANOVA para as etapas intermediárias estão disponíveis nos anexos do trabalho.

Tabela 26 — Variáveis regressoras do modelo 2 em cada etapa

Etapa	Variáveis regressoras
1	Preço de importação de sucata
2	Preço de importação de sucata e quantidade importada de sucata
3	Preço de importação de sucata, quantidade importada de produção de alumínio secundário

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Os resultados da tabela 26 indicam que a adição das variáveis foram benéficas ao modelo, levando a um valor de 0,952 para  $R^2$  e 0,923 para  $R^2_{ajustado}$ . O valor encontrado para o erro-padrão da estimativa foi de aproximadamente 0,3. De uma forma geral, esses resultados

indicam que o modelo 2 é uma boa estimativa para explicar o preço pago pela sucata no Brasil.

Tabela 27 — Resumo do modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil

Etapa	R	R <sup>2</sup>	Incremento do R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub>	Erro-padrão da estimativa
1	0,812	0,659		0,610	0,67414
2	0,901	0,812	0,153	0,749	0,54095
3	0,976	0,952	0,140	0,923	0,29941

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

A tabela ANOVA abaixo mostra que se comparado com F (aproximadamente 33) é maior que  $F_{0,05,3,5}$  (5,41). Assim, a hipótese de que existe relação linear do preço pago pela sucata coletada no Brasil com pelo menos uma das variáveis selecionadas é verdadeira.

Tabela 28 — Tabela ANOVA para o modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil

Etapa		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F	Significância
3	Regressão	8,878	3	2,959	33,013	0,001
	Residuo	0,448	5	0,090		
	Total	9,327	8			

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Uma vez que o módulo da estatística  $t$  para todos os coeficientes foram maior que  $t_{0,025,3}$  (3,182), os coeficientes passam no teste para os coeficientes individuais, rejeitando a hipótese  $H_0$ . Os intervalos de confiança não contém o valor zero e os valores de VIF para os coeficientes estimados são menores que 10.

Tabela 29 — Resultados para o modelo 2 para o preço pago pela sucata no Brasil

Variáveis do modelo 1	Coef.	Erro-padrão	$T$	P	Intervalo de confiança (95%)	VIF
Constante	-3,855	0,993	-3,882	0,012	(-6,407;-1,302)	
Preço de importação de sucata	1,388	0,150	9,257	0,000	(1,003;1,774)	1,155
Quantidade de sucata exportada	-1,156	0,211	-5,483	0,003	(-1,698;-0,614)	1,572
Produção de alumínio secundário	8,595	2,251	3,819	0,012	(2,810;14,380)	1,698

Fonte — Elaboração própria (dados gerados pelo SPSS 15.0.0)

Entretanto, para o modelo 2, a variável “produção de alumínio secundário” possui sinal contrário. Esse fato é explicado pela alocação da variável “produção de alumínio secundário” e “quantidade de sucata exportada” no grupo 3, indicando que provavelmente há multicolinearidade entre elas. Assim, no modelo 2, tais variáveis não podem ser analisadas individualmente.

$$I = -3,9 + 1,4(F) - 1,2(D) + 8,6(K) \quad (23)$$

A derivada parcial da variável que pode ser analisada isoladamente é dada por:

$$\frac{\partial I}{\partial F} = +1,4 \quad (24)$$

Assim, a partir das derivadas parciais, tem-se cada variação no preço de importação da sucata tem seu valor repassado para preço pago pela sucata coletada no Brasil 40% maior, devido a multiplicação pelo coeficiente 1,4 pressionando o preço no mercado interno subir quando há um aumento na cotação do mercado internacional.

As variáveis referentes à quantidade exportada de sucata e produção de alumínio secundário devem ser analisadas conjuntamente devido aos efeitos da multicolinearidade. Entretanto, se considerarmos que a produção de alumínio secundário no Brasil é inteiramente absorvida pela demanda interna, é possível fazer uma análise tal que a produção interna de alumínio secundário equivalha à demanda interna por alumínio secundário e a quantidade exportada de alumínio secundário seja igual à demanda internacional da sucata recolhida no Brasil. Assim, de uma forma geral, quando o aumento da demanda de material secundário (e sucata) no Brasil e no exterior aumenta ou diminui, existe um impacto significativo no preço da sucata coletada no Brasil.

## 7. CONCLUSÃO

O principal objetivo desta pesquisa é avaliar de que forma as variáveis econômicas influenciam o desempenho do setor de reciclagem no Brasil. Para tanto, foi feito um panorama sobre a gestão de resíduos sólidos no Brasil, apontando suas fragilidades e atuais incentivos à reestruturação dos sistemas de coleta, tratamento, e disposição final de resíduos sólidos no Brasil. Além disso, foi analisado como se desenvolve a dinâmica do mercado internacional alumínio e como é estruturado o mercado de reciclagem brasileiro, com um enfoque no papel desempenhado pelo catador de lixo na cadeia de reciclagem.

Um segundo ponto de pesquisa foi a análise dos estudos já desenvolvidos sobre o tema relacionando atividades de reciclagem com as condições em que se desenvolve seu comércio. Tal revisão mostrou as análises já feitas e metodologias adotadas para a elaboração dos modelos, entretanto, nota-se que os estudos tiveram um caráter muito mais específico que este, tal que cada um delineava o funcionamento do mercado de reciclagem sob uma perspectiva. Tal abordagem apesar de em uma primeira análise aparentar fornecer uma visão incompleta do problema como um todo, permite entender questões mais específicas e juntar as peças do quebra-cabeça, que vai ser completo a partir da análise de todas as questões a serem levantadas.

Assim, foi feito um levantamento das séries relacionadas ao comércio exterior — como quantidades importadas e exportadas de sucata e alumínio primário e seus respectivos preços — e à produção interna, como o nível de produção de alumínio primário e secundário no Brasil, taxa de reciclagem de latas de alumínio, preço pago pela sucata recolhida, entre outras. Entretanto, a disponibilidade de dados para compor as séries históricas a serem analisadas foi um fator limitante, uma vez que políticas públicas voltadas para a reciclagem de alumínio no Brasil são recentes e a coleta e documentação de informações públicas e ainda é frágil no país.

Por fim, o último objetivo específico deste estudo foi a partir da análise da correlação entre as variáveis e dos modelos obtidos, apontar as variáveis mais relevantes na determinação do panorama do mercado de reciclagem brasileiro.

Assim, esse objetivo foi alcançado, devido ao fato que os dois modelos propostos no final do estudo refletem, de uma forma lógica, o comportamento esperado das variáveis em análise. A análise de regressão proporcionou uma melhor visão sobre como algumas variáveis

relevantes impactam tanto da taxa de reciclagem de latas de alumínio, quanto no preço pago pela sucata coletada no Brasil.

Dentre as 16 variáveis, o preço de importação de sucata e a quantidade de sucata exportada foram variáveis explicativas em ambos os modelos, sendo que a quantidade de sucata exportada possui parâmetro com sinal negativo, sendo, nos modelos, os únicos fatores que causam diminuição no valor das respectivas variáveis dependentes.

Com o resultado do trabalho, pode-se dizer que o estudo conseguiu analisar alguns fatores do mercado de reciclagem de alumínio no Brasil, e apontar variáveis que têm um impacto nas atividades de reciclagem em maior e menor grau.

A hipótese de que o mercado de reciclagem de alumínio é influenciado pela dinâmica do mercado internacional é confirmada visto que variáveis relacionadas a importação e exportação de sucata entraram em ambos modelos. Em contrapartida, não existe informação suficiente nos modelos para afirmar alguma relação de competição ou até mesmo de influência do mercado do alumínio primário com o secundário. Ao contrário, foi verificado, de uma forma geral, que a demanda por alumínio primário e secundário aumentam ao mesmo tempo, apresentando o mesmo comportamento diante as variações do mercado internacional.

Com relação a produção nacional, também se observa que a produção de alumínio primário e secundário aumentam ao mesmo tempo. Assim, não ficou clara se existe uma posição preferencial do mercado consumidor (indústrias de bens de consumo intermediário e final) por alumínio primário ou secundário, e caso exista, o que definiria essa preferência.

Entretanto, uma vez que a investigação do comportamento mercado de reciclagem brasileiro ainda é recente torna-se necessário o refino da questão-problema. Análises mais específicas sobre o tema poderiam responder questões relevantes de forma mais clara. Assim, trabalhos relacionados ao impacto de variação dos preços dos insumos na produção de alumínio primário e secundário, assim como a análise do impacto da eficiência da gestão de resíduos por parte da prefeitura nas taxas de reciclagem, estudos que tentem descrever o comportamento da demanda e oferta de alumínio primário e secundário no Brasil e análises comparativas do desempenho do mercado de reciclagem brasileiro com outros países, como por exemplo, da América Latina, colaborariam a entender e delinear de forma completa a complexa dinâmica do mercado de reciclagem brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ABAL. **Alumínio para futuras gerações**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2000.
- ABAL. **Anuário Estatístico 2009**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2010a.
- ABAL. **Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Alumínio 2006/2007**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2008.
- ABAL. **Relatório de sustentabilidade indústria brasileira do alumínio - 2010**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2010b.
- ABAL. **Relatório de sustentabilidade indústria brasileira do alumínio - 2012**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2012.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2010.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2012.
- BERGLUND, Christer; SÖDERHOLM, Patrik. An econometric analysis of global waste paper recovery and utilization. **Environmental and Resource Economics**, Holanda, n. 26, p. 429–456, 2003. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AEARE.0000003595.60196.a9>>. Acesso em: 15 dez. 2012.
- BEUKERING, Pieter J.H. Van; BOUMAN, Mathijs N. Empirical evidence on recycling and trade of paper and lead in developed and developing countries. **World Development**, Reino Unido, v. 29, n. 10, p. 1717–1737, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X01000651>>. Acesso em: 15 dez. 2012.
- BEUKERING, Pieter J.H. Van; BERGH, Jeroen C.J.M. Van den. Modelling and analysis of international recycling between developed and developing countries. **Resources, Conservation and Recycling**, [Holanda], n.46, p. 1–26, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344905000789>>. Acesso em: 15 dez. 2012.
- BLOMBERG, Jerry; HELLMER, Stefan. Short-run demand and supply elasticities in the West European market for secondary aluminium. **Resources Policy**, [Suécia], n.26, p. 39–50, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420700000155>>. Acesso em: 14 dez. 2012.
- BLOMBERG, Jerry; SÖDERHOLM, Patrik. The economics of secondary aluminium supply: An econometric analysis based on European data. **Resources, Conservation and Recycling**, Suécia, n. 53, p. 455–463, 2009. Disponível em:



<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909000548>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

BOSI, Antônio de Pádua. A organização capitalista do trabalho “informal”: o caso dos catadores de recicláveis. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 23, n. 67, p. 101–116, jun. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-69092008000200008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-69092008000200008&script=sci_arttext)>. Acesso em: 1 dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, n. 147, p. 22.

BRASIL. **Relatório da reunião com órgãos federais que atuam em saneamento e secretarias do MCidades**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. Gestão de resíduos sólidos urbanos no contexto da Lei de Saneamento Básico. In: **Lei nacional de saneamento básico: perspectivas, para as políticas e a gestão dos serviços públicos**, Livro II: Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico. p. 305–318. Brasília: Programa de Modernização do Setor Saneamento, 2009.

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. **A indústria de alumínio: estrutura e tendências**. Insumos Básicos. BNDES Setorial, n.33, p. 43-88, Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento, mar. 2011.

CEMPRE. *Cempre Informa - Preço do material reciclável*. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

CEMPRE. *Pesquisa Ciclossoft*. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclossoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2008.php)>. Acesso em: 25 fev. 2010.

CEMPRE. *Política Nacional de Resíduos Sólidos: Agora é lei - novos desafios para o poder público, empresas, catadores. e população*. Disponível em: <[http://cempre.tecnologia.ws/download/pnrs\\_002.pdf](http://cempre.tecnologia.ws/download/pnrs_002.pdf)>. Acesso em: 11 maio 2014.

GIOVANNINI, Fabrizio; KRUGLIANSKAS, Isak. Fatores críticos de sucesso para a criação de um processo inovador sustentável de reciclagem: um estudo de caso. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, n. 4, dez. 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-65552008000400003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-65552008000400003&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 30 nov. 2009.

GRACE, Richard; TURNER, R. Kerry; WALTER, Ingo. Secondary materials and international trade. **Journal of Environmental Economics and Management**, Nova Iorque, n. 5, p. 172–186, 1978. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0095069678900256>>. Acesso em: 15 out. 2012.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000/Banco Multidimensional de Estatísticas*. Disponível em: <<http://www.bme.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2011.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008/Banco Multidimensional de Estatísticas*. Disponível em: <<http://www.bme.ibge.gov.br>>. Acesso em: 1 jun. 2011.

IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD); Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 7 maio 2011.

IPEA. A crise financeira e os catadores de materiais recicláveis. **Boletim Mercado de Trabalho**, n. 41, p. 55–58, nov. 2009.

IPEA. **Caderno de Diagnóstico: catadores**. Brasília: Mimeo, ago. 2011a. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/04\\_CADDIAG\\_Catadores.pdf](http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/04_CADDIAG_Catadores.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2011. Apoio técnico para a elaboração de uma proposta preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

IPEA. **Caderno de Diagnóstico: resíduos sólidos urbanos**. Brasília: Mimeo, ago. 2011b. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/01\\_CADDIAG\\_Res\\_Sol\\_Urbanos.pdf](http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/01_CADDIAG_Res_Sol_Urbanos.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2011. Apoio técnico para a elaboração de uma proposta preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

IPEA. **Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas**. Brasília: IPEA, 2010a. 2 v. (Eixos Estratégicos do Desenvolvimento Brasileiro).

IPEA. *Ipea data - Macroeconômico*. Disponível em: <[www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br)>. Acesso em: 3 maio 2014.

IPEA. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**. Brasília: IPEA, 2010b.

LAYARGUES, Philipe. O cinismo da reciclagem: o significado da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. In: LOUREIRO, F.; LAYARGUES, P.; CASTRO, R. (Orgs.). **Educação Ambiental: repensando o espaço da cidadania**. São Paulo: Cortez, 2012, p. 179-200.

LME. London Metal Exchange. 2014 Disponível em: <<http://www.lme.com>>. Acesso em: 5 maio 2014.

MAGALHÃES, Téia. Manejo de resíduos sólidos: sustentabilidade e verdade orçamentária com participação popular. In: MINISTÉRIO DAS CIDADES, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (Ed.). **Lei nacional de saneamento básico: perspectivas, para as políticas e a gestão dos serviços públicos**. Livro III: Prestação dos serviços públicos de saneamento básico. Brasília: Programa de Modernização do Setor Saneamento, 2009. p. 520–528.

MARTIRES. Raimundo Augusto Corrêa. Alumínio. DNPM (Org.) In: **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: DNPM, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/aluminio.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

MDIC. *ALICEWEB*. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 13 maio 2014.

MILOCA, Simone A.; CONEJO, Paulo D. Multicolinearidade em modelos de regressão. In: XXII SEMANA ACADÊMICA DA MATEMÁTICA, 2013, Paraná. *Anais...* Paraná: Unioeste, 2013. Disponível em: <<http://projetos.unioeste.br/cursos/cascavel/matematica/xxiisam/artigos/10.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

MME. **Anuário estatístico do setor metalúrgico**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2010.

MME. **Anuário estatístico setor de transformação de não-metálicos**. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2012.

MME. **Reciclagem de Metais no País**. Estudo da reciclagem de metais no país, n 83. Brasília: Ministério de Minas e Energia - MME, nov. 2009.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NITAHARA, Akemi. Aprovada há três anos, a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos está lenta. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 8 set. 2013 . Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-09-08/aprovada-ha-tres-anos-implantacao-da-politica-nacional-de-residuos-solidos-esta-lenta>>. Acesso em: 11 maio 2014.

OLIVEIRA, Cristiano Benites. A vida em baixo da reciclagem: disparidades entre os significados de uma mesma questão social. In: 33º ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS, 2009, Caxambu. *Anais...* Caxambu: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 2009.

SHIMAKURA, Silvia E. *Interpretação do coeficiente de correlação*. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>>. Acesso em: 27 maio 2014.

SOUZA, Adriano Mendonça. *1 - Correlação linear simples - r<sub>xy</sub>*. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/adriano/aulas/coreg/Aula%2001%20Correla%E7ao%20Linear.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

UFSC. *Correlação e Regressão*. Disponível em: <<http://www.cfh.ufsc.br/gcn3506/documents/AULA5Regressao.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

VARELLA, Juca; FILHO, Venceslau Borlina. Reciclagem ganha mais importância no setor de alumínio. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 30 out. 2011.

VICECONTI, Paulo E.V.; NEVES, Silvério. **Introdução à Economia**. 10. ed. São Paulo: Frase, 2010.

XAVIER. Clésio Lourenço. Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. In: Relatório de estudos setoriais: alumínio. **EBC**. São Paulo: Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono, abr. 2012.

### ANEXO 1 – MODELO 1: VARIÁVEIS FORA DO MODELO EM CADA ETAPA

ETAPA	Variável	T	P	Correlação Parcial
1	A	-1,022	0,324	-0,264
	B	0,311	0,760	0,083
	C	1,723	0,107	0,418
	D	-1,432	0,174	-0,357
	E	5,926	0,000	0,846
	F	7,567	0,000	0,896
	G	6,090	0,000	0,852
	J	1,756	0,101	0,425
	M	-0,803	0,435	-0,210
	N	-4,004	0,001	-0,731
	P	3,807	0,002	0,713
2	H	4,961	0,000	0,798
	A	0,139	0,892	0,038
	B	-2,023	0,064	-0,489
	C	-0,354	0,729	-0,098
	D	-0,755	0,463	-0,205
	E	0,411	0,688	0,113
	G	-0,257	0,801	-0,071
	J	-1,118	0,284	-0,296
	M	0,552	0,590	0,151
	N	-1,149	0,271	-0,304
	P	1,796	0,096	0,446
3	H	-0,365	0,721	-0,101
	A	-0,796	0,441	-0,224
	C	0,642	0,533	0,182
	D	-0,838	0,418	-0,235
	E	0,554	0,590	0,158
	G	0,267	0,794	0,077
	J	0,185	0,857	0,053
	M	-0,085	0,934	-0,024
	N	-0,947	0,362	-0,264
	P	1,502	0,159	0,398
4	H	0,254	0,804	0,073
	A	0,018	0,986	0,005
	C	0,214	0,835	0,064
	D	-2,122	0,057	-0,539
	E	0,236	0,818	0,071
	G	0,395	0,701	0,118
J	0,172	0,867	0,052	

	M	0,169	0,869	0,051
	N	-0,360	0,726	-0,108
	H	1,199	0,256	0,340
5	A	0,660	0,524	0,204
	C	0,236	0,818	0,074
	E	1,269	0,233	0,372
	G	-0,254	0,805	-0,080
	J	0,344	0,738	0,108
	M	1,561	0,150	0,443
	N	1,041	0,322	0,313
	H	0,352	0,732	0,111
6	A	-0,136	0,895	-0,045
	C	0,901	0,391	0,288
	E	0,781	0,455	0,252
	G	-0,511	0,622	-0,168
	J	0,632	0,543	0,206
	N	-0,186	0,856	-0,062
	H	-0,255	0,804	-0,085
7	A	-0,268	0,794	-0,085
	C	1,018	0,333	0,306
	E	0,553	0,592	0,172
	G	-0,622	0,548	-0,193
	J	0,742	0,475	0,228
	N	-0,167	0,871	-0,053
	H	-0,416	0,686	-0,130
	O	0,369	0,720	0,116
8	A	0,310	0,762	0,093
	B	-0,806	0,437	-0,236
	C	0,377	0,713	0,113
	E	0,606	0,557	0,180
	G	-0,799	0,441	-0,234
	J	-0,049	0,961	-0,015
	N	-0,625	0,545	-0,185
	H	-0,610	0,554	-0,181
	O	-0,154	0,880	-0,046

Fonte — Adaptado de SPSS 15.0.0

**ANEXO 2 — TABELA ANOVA PARA CADA ETAPA DO MODELO 1**

ETAPA		Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	Significância
1	Regressão	2.187,994	1	2.187,994	34,845	0,000
	Resíduos	941,888	15	62,793		
	Total	3.129,882	16			
2	Regressão	2.944,833	2	1.472,416	111,396	0,000
	Resíduos	185,049	14	13,218		
	Total	3.129,882	16			
3	Regressão	2.989,151	3	996,384	92,041	0,000
	Resíduos	140,731	13	10,825		
	Total	3.129,882	16			
4	Regressão	3.011,420	4	752,855	76,263	0,000
	Resíduos	118,463	12	9,872		
	Total	3.129,882	16			
5	Regressão	3.045,820	5	609,164	79,712	0,000
	Resíduos	84,062	11	7,642		
	Total	3.129,882	16			
6	Regressão	3.062,285	6	510,381	75,503	0,000
	Resíduos	67,597	10	6,760		
	Total	3.129,882	16			
7	Regressão	3.061,363	5	612,273	98,293	0,000
	Resíduos	68,519	11	6,229		
	Total	3.129,882	16			
8	Regressão	3.057,319	4	764,330	126,399	0,000
	Resíduos	72,563	12	6,047		
	Total	3.129,882	16			

Fonte — Adaptado de SPSS 15.0.0

### ANEXO 3 – MODELO 2: VARIÁVEIS FORA DO MODELO EM CADA ETAPA

ETAPA	Variável	T	P	Correlação Parcial
1	A	-0,339	0,746	-0,137
	B	0,424	0,687	0,170
	C	0,711	0,504	0,279
	D	-2,207	0,069	-0,669
	E	-0,037	0,971	-0,015
	G	0,083	0,937	0,034
	H	0,269	0,797	0,109
	J	0,408	0,698	0,164
	K	0,267	0,798	0,109
	L	0,086	0,934	0,035
	M	0,651	0,539	0,257
	N	0,483	0,646	0,194
	O	0,773	0,469	0,301
	P	-0,852	0,427	-0,328
2	A	0,165	0,875	0,074
	B	1,039	0,347	0,421
	C	0,755	0,484	0,320
	E	-1,435	0,211	-0,540
	G	-0,621	0,562	-0,268
	H	1,140	0,306	0,454
	J	1,228	0,274	0,482
	K	3,819	0,012	0,863
	L	0,276	0,794	0,122
	M	1,845	0,124	0,636
	N	1,664	0,157	0,597
	O	1,637	0,162	0,591
P	-3,002	0,030	-0,802	
3	A	-1,427	0,227	-0,581
	B	-0,858	0,439	-0,394
	C	0,009	0,993	0,005
	E	-0,516	0,633	-0,250
	G	-0,153	0,886	-0,076
	H	-0,643	0,555	-0,306
	J	-0,432	0,688	-0,211
	L	-0,297	0,781	-0,147
	M	0,010	0,992	0,005
	N	-0,102	0,923	-0,051
	O	0,083	0,938	0,042
P	-0,496	0,646	-0,241	

Fonte — Adaptado de SPSS 15.0.0



### ANEXO 4 — TABELA ANOVA PARA CADA ETAPA DO MODELO 2

ETAPA		Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	Significância
1	Regressão	6,145	1	6,145	13,523	0,000
	Resíduos	3,181	7	0,454		
	Total	9,327	8			
2	Regressão	7,571	2	3,785	12,936	0,007
	Resíduos	1,756	6	0,293		
	Total	9,327	8			
3	Regressão	8,878	3	2,959	33,013	0,001
	Resíduos	0,448	5	0,090		
	Total	9,327	8			

Fonte — Adaptado de SPSS 15.0.0

### ANEXO 5 — SÉRIES HISTÓRICAS ANALISADAS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
15,55	2,43	703,01	1,12	5,32	3,06	4,64	3,6	-	1,19	0,12	63	2,00	13	255	7
8,59	2,63	708,97	1,04	4,61	2,18	4	3,15	-	1,20	0,15	61	2,16	14	277	8
5,71	1,33	716,17	4,85	5	2,09	4,26	2,83	-	1,19	0,16	64	2,31	14	289	8
5,82	4,13	692,44	11,71	4,72	2,85	3,86	2,66	-	1,21	0,18	65	2,35	14	304	10
2,11	4,40	788,58	13,38	7,85	3,68	5,35	2,97	-	1,25	0,19	73	2,36	14	287	10
2,33	4,23	759,95	2,97	6,94	3,66	5,99	3,89	-	1,28	0,19	78	2,48	14	310	10
8,73	12,18	587,92	0,42	6,82	4,62	6,66	4,66	3,85	1,14	0,20	85	2,51	14	333	10
8,88	13,52	749,39	1,01	7,51	5,01	6,74	4,62	3,9	1,32	0,22	87	2,53	14	334	10
6,76	8,04	798,80	0,11	7,37	4,93	6,55	5,2	4,73	1,40	0,24	89	2,58	14	349	10
12,02	19,42	818,42	0,71	7,86	5,58	7,04	6,53	5,42	1,46	0,25	96	2,78	15	363	10
18,58	43,12	753,11	1,68	6,7	4,68	6,14	5,16	2,46	1,50	0,25	96	2,92	16	390	10
11,63	54,56	842,06	1,00	7,21	5,09	7,13	5,07	4,5	1,61	0,25	94	3,14	17	447	9
22,40	103,49	823,27	0,02	6,81	4,7	6,54	5	4,51	1,66	0,25	97	3,36	18	471	9
18,48	92,74	747,92	1,79	6,17	4,41	5,72	5,26	3,75	1,66	0,41	92	3,58	19	483	8
16,78	59,24	754,06	0,51	4,12	2,84	3,62	2,64	2,03	1,53	0,28	98	3,67	19	522	9
55,34	46,56	606,43	1,88	4,49	2,97	3,97	2,57	2,38	1,54	-	98	4,02	21	544	8
163,14	42,94	524,43	0,85	4,45	3,19	4,03	3,42	2,86	1,44	-	98	4,14	21	544	7

Fonte — MDIC (2014), CEMPRE (2011), Martires (2001), MME (2009, 2010), ABAL (2000, 2008, 2012) e IPEA (2014)

**ANEXO 6 — TERMO DE AUTENTICIDADE**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA

**Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20 \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

\_\_\_\_\_  
Matrícula

\_\_\_\_\_  
ASSINATURA

\_\_\_\_\_  
CPF

<sup>1</sup> LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.