

A RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL E O MERCADO INTERNACIONAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA

Tássia Nunes Dias Pereira¹

Bruno Milanez²

Roberto Malheiros Moreira Filho³

Fernando Marques de Almeida Nogueira⁴

Este estudo avalia como variáveis econômicas influenciam a reciclagem de alumínio no Brasil. Ele se baseia na regressão múltipla por etapas de dezesseis variáveis para a criação de dois modelos quantitativos. O primeiro descreve o comportamento da taxa de reciclagem de latas de alumínio no período 1995-2011 a partir do produto interno bruto (PIB), da taxa de desemprego, do preço da importação e da quantidade exportada do alumínio secundário. O segundo modelo apresenta o preço pago aos catadores pela sucata de alumínio no período 2001-2009 como função da produção, do preço de importação e da quantidade exportada de alumínio secundário. Os resultados indicam que o contexto internacional pode impactar a demanda por alumínio secundário, devendo seu comportamento ser incorporado na análise de políticas para reciclagem.

Palavras-chave: reciclagem; alumínio; comércio internacional.

ALUMINIUM RECYCLING IN BRAZIL AND INTERNATIONAL TRADE: A QUANTITATIVE ANALYSIS

This study evaluates to what extent economic variables influence aluminium recycling in Brazil. It is based on a stepwise multiple regression of sixteen variables to create two different quantitative models. The first describes aluminium can recycling rates between 1995 and 2011 using the gross domestic product (GDP), unemployment rate, price of imported secondary aluminium and quantity of exported secondary aluminium. The second model presents the price paid to scavengers for aluminium scrap between 2001 and 2009 as a function of production of recycled aluminium, price of imported secondary aluminium and quantity of exported secondary aluminium. Results suggest that international context might impact on the demand for secondary aluminium and its behaviour must be considered in recycling policy analyses.

Keywords: recycling; aluminum; international trade.

1. Graduada em engenharia de produção pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), estudante no curso de MBA em Finanças, Controladoria e Auditoria da Fundação Getúlio Vargas (FGV). *E-mail:* <tassia.nunes@engenharia.ufjf.br>.

2. Graduado em engenharia de produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mestre em engenharia urbana pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) e doutor em política ambiental pela Lincoln University (Nova Zelândia). Professor no Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). *E-mail:* <bruno.milanez@ufjf.edu.br>.

3. Graduado em ciências estatísticas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e em engenharia de produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF), sendo mestre em engenharia de produção e doutor em engenharia de produção pela UFF. Professor no Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da UFJF. *E-mail:* <roberto.malheiros@engenharia.ufjf.br>.

4. Graduado em engenharia cartográfica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), mestre em engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutor em engenharia elétrica pela mesma instituição. Professor no Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica da UFJF. *E-mail:* <fernando@engenharia.ufjf.br>.

EL RECICLAJE DE ALUMINIO EN BRASIL Y EL MERCADO INTERNACIONAL: UN ANÁLISIS CUANTITATIVO

El presente trabajo evalúa cómo variables económicas afectan la actividad de reciclaje de aluminio en Brasil. El estudio se fundamenta en una regresión múltiple por etapas de dieciséis variables para crear dos modelos cuantitativos. El primero, describe el comportamiento de la tasa de reciclaje de latas de aluminio en el período 1995-2011 en relación al producto bruto interno (PBI), a la tasa de desempleo, al precio de importación del aluminio secundario y a la cantidad exportada de aluminio secundario. El segundo modelo presenta el precio pagado a los recicladores por la chatarra de aluminio en el período 2001-2009 como función de la producción de aluminio secundario, del precio de importación del aluminio secundario y de la cantidad exportada de aluminio secundario. Los resultados indican que el contexto internacional puede impactar la demanda por el aluminio secundario, por lo que su comportamiento tiene que ser incorporado en el análisis de las políticas de reciclaje.

Palabras clave: reciclaje; aluminio; mercado internacional.

LE RECYCLAGE DE L'ALUMINIUM AU BRÉSIL ET LE MARCHÉ INTERNATIONAL: UNE ANALYSE QUANTITATIVE

L'étude évalue la façon dont les variables économiques influent sur le recyclage de l'aluminium au Brésil. Elle est basée sur la régression multiple par étapes de seize variables et abouti à la création de deux modèles quantitatifs. Le premier décrit le comportement du taux de recyclage des canettes d'aluminium de 1995 à 2011 en fonction du produit intérieur brut (PIB), du taux de chômage, du prix de l'importation de l'aluminium secondaire et de la quantité exportée d'aluminium secondaire. Le deuxième modèle montre que le prix payé aux ramasseurs de matériaux recyclables pour la ferraille d'aluminium de 2001 à 2009 est fonction de la production de l'aluminium secondaire, du prix à l'importation d'aluminium dit secondaire et de la quantité d'aluminium secondaire exporté. Les résultats indiquent que le contexte international peut influencer sur la demande d'aluminium secondaire, son comportement devant être intégré dans l'analyse des politiques pour le recyclage.

Mots-clés: recyclage; aluminium; commerce international.

JEL: L72; L78; Q53.

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho argumenta-se que o desempenho do setor de reciclagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil não depende apenas de políticas específicas, mas também de aspectos econômicos, tanto domésticos quanto internacionais. Esse argumento baseia-se na avaliação estatística do impacto de diferentes variáveis econômicas sobre a taxa de reciclagem de latas de alumínio e o preço pago aos catadores de material reciclável pela sucata de alumínio.

A motivação para essa pesquisa surgiu no ano seguinte à crise financeira de 2008. Naquele momento, houve uma forte queda no preço das sucatas de forma geral, desmotivando muitos catadores a continuar o trabalho com resíduos sólidos e colocando em risco a viabilidade de algumas cooperativas que vinham sendo formadas. A principal explicação, sem evidências quantitativas na época,

era a de que a crise internacional havia reduzido a dinâmica industrial, diminuindo a demanda por sucata e, conseqüentemente, o seu preço (MNCMR, 2009). Como consequência, a Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, do Ministério do Meio Ambiente (SRHU/MMA) buscou elaborar uma política de apoio a catadores de materiais recicláveis baseada nos princípios do pagamento por serviços ambientais urbanos (Ipea, 2010). Apesar de a política não ter sido implementada, esse evento deixou em aberto, para o caso brasileiro, o grau de influência que o mercado internacional teria sobre o setor de reciclagem nacional, questão essa que este trabalho busca responder.

Para tanto, este artigo encontra-se organizado em sete seções, incluindo esta introdução. Na seção 2 são traçadas rápidas considerações sobre a estrutura do mercado de reciclagem no Brasil e o papel dos catadores. Na seção 3 há uma breve revisão da literatura que trata da relação entre aspectos econômicos e mercado de reciclagem. Na seção 4 há uma análise sobre como a crise de 2008 afetou a indústria do alumínio no mundo. A seção 5 descreve a metodologia utilizada na pesquisa. A seção 6 apresenta e discute os principais resultados para os modelos desenvolvidos para a taxa de reciclagem de latas de alumínio e para o preço pago aos catadores pela sucata de alumínio. Por fim, a seção 7 sugere elementos a serem incorporados na formulação de políticas públicas voltadas para a reciclagem de resíduos sólidos e aponta para questões a serem desenvolvidas em futuras pesquisas.

2 A RECICLAGEM NO BRASIL E O PAPEL DOS CATADORES

De uma forma geral, a gestão de resíduos sólidos urbanos engloba as etapas de coleta, tratamento e disposição final dos rejeitos depois do descarte. Após a coleta, no entanto, os resíduos podem ser encaminhados para alguma forma de tratamento ou serem direcionados para locais de destinação final (Prado Filho e Sobreira, 2007).

Apesar de avanços significativos dos sistemas formais de coleta seletiva no Brasil, eles ainda se mostram bastante incipientes. Se, por um lado, a coleta seletiva aumentou 120% no Brasil durante o período de 2000 a 2008, por outro lado, menos de 20% dos municípios brasileiros possuem algum sistema de coleta seletiva, dos quais muitos não atendem à totalidade da população (IBGE, 2002; 2010).

Como os programas oficiais de coleta seletiva ainda se mostram restritos, a reciclagem de resíduos sólidos urbanos no país viabiliza-se, principalmente, devido ao trabalho dos catadores de material reciclável. O caso de maior sucesso pode ser associado à reciclagem de alumínio, em particular latas de bebidas, setor no qual o Brasil mantém posição de destaque mundial desde os anos 1990, tendo ultrapassado a marca de 95% em meados dos anos 2000 (Abal, 2012). Layargues (2002) afirma que a coleta seletiva de alumínio no Brasil é impulsionada,

principalmente, pelo alto preço dessa sucata, sendo uma importante fonte de renda para os catadores.

Se os catadores são os grandes responsáveis pelo sucesso do Brasil no setor de reciclagem (Ribeiro *et al.*, 2014), não necessariamente eles são reconhecidos como tal (Lobato e Lima, 2010). Entretanto, apesar das iniciativas para formação de cooperativas e associações, muitos ainda trabalham de forma precária, sendo submetidos a condições de trabalho insalubres, com elevados riscos à saúde (Ferreira e Anjos, 2001; Gonçalves, Oliveira e Silva, 2008).

Entretanto, o mercado de reciclagem comporta-se de forma oligopsônica, exercendo grande pressão sobre os catadores. A economia de escala constitui um fator importante para o setor e esse fato dá às empresas recicladoras, que em geral são poucas e de grande porte, um grande poder de negociação. Esse poder vai diminuindo à medida que se aproxima da base da cadeia, em que se situam os catadores. Desta forma, a grande empresa compradora de material secundário pressiona a empresa da qual ela compra a sucata, que pressiona empresas menores e, assim, a margem de lucro de cada estágio vai diminuindo e pressionando os catadores a venderem a sucata recolhida a preços muito baixos (Bosi, 2008; Giovannini e Kruglianskas, 2008; Oliveira, 2009).

Dessa forma, a vulnerabilidade dos catadores na cadeia, causada pela informalidade, faria com que as variações nos preços das sucatas fossem repassadas a eles rapidamente. Uma possível estratégia para minimizar esse problema seria o incentivo à formação de associações e cooperativas de catadores, uma vez que isso permitiria aos catadores ganhar escala e reduzir o número de intermediários entre eles e as empresas recicladoras (MNCMR, 2009). Todavia, a atuação coletiva ainda não se mostrou suficientemente forte a ponto de mudar a estrutura oligopsônica do mercado.

3 RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS ECONÔMICAS E MERCADO DE MATERIAL SECUNDÁRIO

Análises da relação entre fatores econômicos e mercado de reciclagem têm sido pouco desenvolvidas na literatura nacional, principalmente devido à grande informalidade dos sistemas de coleta seletiva no país e à pequena quantidade de dados disponíveis. Entretanto, a literatura internacional apresenta uma série de estudos que tentam entender os efeitos de variações no comércio internacional no grau de sucesso dos programas de coleta seletiva e reciclagem nos diferentes países.

Por exemplo, Blomberg e Hellmer (2000) analisaram a oferta e a demanda da indústria de alumínio secundário na Alemanha, na França, na Itália e no Reino Unido entre 1983 e 1997. Os autores relacionaram a quantidade de alumínio secundário ofertada às indústrias com o preço do alumínio recuperado, os preços dos fatores de produção, a capacidade de refino de alumínio secundário instalada

e a demanda dos principais consumidores, e verificaram uma baixa elasticidade da oferta e da demanda de alumínio secundário em relação ao preço do produto, e uma forte correlação entre a demanda por sucata de alumínio e a produção automobilística. Os resultados indicam a pequena chance de sucesso de políticas de estímulo à reciclagem baseadas em preço e sugerem a integração entre tais políticas e iniciativas de estímulo à demanda.

Em outra pesquisa, Berglund e Söderholm (2003) estudaram a relação entre aspectos econômicos e reciclagem de papel e papelão entre os anos 1990 e 1996 em 49 países. Em uma de suas análises, que teve como variável dependente a taxa de recuperação de papel e papelão, os autores consideraram o produto interno bruto (PIB) *per capita*, a taxa de urbanização, a densidade populacional e o preço do papel reciclado como variáveis explicativas. O estudo concluiu que fatores econômicos e demográficos são determinantes no nível de sucesso dos programas de coleta seletiva e que, portanto, tais aspectos devem ser levados em consideração no desenho de políticas públicas específicas.

Blomberg e Söderholm (2009) analisaram a oferta de alumínio secundário na Europa ocidental no período entre 1983 e 2000. Os autores utilizaram séries de dados de diferentes países, levando em consideração os preços de alumínio secundário, os preços dos recursos para a produção do alumínio secundário e o tamanho do estoque de sucata pós-consumo. Entre os principais resultados do trabalho, é notada a baixa elasticidade da oferta de alumínio secundário em relação ao próprio preço, bem como ao nível dos estoques de sucata. Como conclusão, os autores recomendam a busca de alternativas às políticas focadas somente no aumento da oferta de sucata.

Por fim, Mansikkasalo, Lundmark e Söderholm (2014) realizaram um estudo de revisão, discutindo os resultados de 21 artigos que tratam da elasticidade-preço do papel reciclado. Os autores encontraram uma elasticidade positiva, porém pequena, e a associaram à alta volatilidade do preço desse produto. A partir de seus estudos, eles recomendam uma melhor avaliação das políticas de resíduos sólidos baseadas em preço ou quantidade de material. Os autores sugerem que novas pesquisas busquem focar questões específicas do mercado de material reciclável, como poder de barganha e assimetrias de informação, além de indicarem a necessidade de pesquisas sobre o tema em países periféricos.

Sendo assim, estudos sobre impactos de fatores econômicos sobre taxas de reciclagem realizados no exterior mostram o quanto avaliações dessa natureza podem ser importantes na orientação das políticas públicas. Embora no Brasil ainda não haja tradição de avaliações dessa natureza, o desenvolvimento dessa linha de pesquisa mostra-se uma importante tática para melhoria das políticas públicas voltadas para a recuperação de resíduos sólidos urbanos.

4 O COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ALUMÍNIO E A CRISE DE 2008

Historicamente, o Brasil tem mostrado saldo positivo no comércio internacional de alumínio primário (produzido a partir da bauxita) e saldo negativo de alumínio secundário (sucata), sendo exportador líquido do primeiro e importador líquido do segundo. O volume de alumínio primário comercializado, porém, mostra-se bastante superior ao de sucata. Em 2011, as quantidades exportadas e importadas de alumínio primário foram, respectivamente, 524,4 mil toneladas e 163,1 mil toneladas; naquele mesmo ano, o Brasil exportou 853 toneladas de sucata e importou 42,3 mil toneladas (Brasil, [s.d.]). Esse cenário sugere uma significativa abertura, e consequente vulnerabilidade, do setor nacional de reciclagem de alumínio às dinâmicas do mercado internacional.

Entre 2003 e 2010, de uma forma geral, a demanda internacional por alumínio apresentou uma tendência de crescimento, sendo consumidas 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 crise financeira. Após a crise, a demanda voltou a crescer e estudos indicam que o consumo mundial continue em ascensão, estimando um aumento médio de 4,5% por ano. A variação no volume comercializado no final dos anos 2000 esteve intimamente ligada à alteração do preço do alumínio. Naquele momento, houve também uma queda significativa dos preços, atingindo US\$ 1.496 no final de 2008. Dois anos mais tarde, o preço voltou a subir, atingindo o patamar de US\$ 2.600 por tonelada (Xavier, 2012).

A oscilação no comércio internacional repercutiu, necessariamente, na dinâmica das empresas. Como consequência da retração da produção industrial, houve elevação dos estoques de alumínio e aumento da capacidade ociosa, bem como redução da demanda por sucata. Esta retração não afetou apenas o consumo de alumínio primário, mas também a demanda por alumínio secundário. De forma geral, uma pequena variação na demanda do material primário tende a causar uma grande variação na demanda do material secundário (Grace, Turner e Walter, 1978). No caso específico do alumínio, deve-se levar em consideração que a sucata de alumínio pode substituir, em várias situações, o alumínio primário, e ainda que os contratos de compra de sucata tendem a ser mais flexíveis do que de alumínio primário, aspectos que potencializam os impactos sobre o setor de alumínio secundário.

5 METODOLOGIA

Ao longo desta pesquisa buscou-se investigar o efeito que diferentes variáveis econômicas poderiam ter sobre o comportamento do mercado de reciclagem de alumínio no Brasil, com foco naquelas associadas ao comércio internacional. 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; ao mesmo tempo, uma possível pesquisa sobre vidro não foi incluída pela baixa presença de vidro secundário no comércio internacional brasileiro.

Para tanto, tendo como base os trabalhos mencionados na seção anterior, foram acrescentadas, ainda, outras variáveis relativas à importação e à exportação de alumínio primário e secundário. Desta forma, a lista das variáveis consideradas é apresentada no quadro 1.

QUADRO 1
Lista de variáveis analisadas

Variável	Unidade	Período	Fonte de dados
PIB ¹	Trilhões de R\$	1995-2011	Ipea ((s.d.))
PIB <i>per capita</i> ¹	Mil R\$	1995-2011	Ipea ((s.d.))
Salário mínimo ¹	R\$	1995-2011	Ipea ((s.d.))
Taxa de desemprego	Percentual	1995-2011	Ipea ((s.d.))
Taxa de reciclagem de latas de alumínio	Percentual	1995-2011	Abal (2012)
Produção de alumínio primário	Milhão de toneladas	1995-2011	Brasil (2012)
Produção de alumínio secundário	Milhão de toneladas	1995-2009	Brasil (2012)
Preço pago aos catadores pela sucata de alumínio ¹	R\$/kg	2001-2011	Cempre (2011)
Quantidade importada de alumínio primário	Mil toneladas	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Quantidade importada de alumínio secundário	Mil toneladas	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Quantidade exportada de alumínio primário	Mil toneladas	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Quantidade exportada alumínio secundário	Mil toneladas	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Preço de importação de alumínio primário ¹	R\$/kg	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Preço de importação de alumínio secundário ¹	R\$/kg	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Preço de exportação de alumínio primário ¹	R\$/kg	1995-2011	Brasil ((s.d.))
Preço de exportação de alumínio secundário ¹	R\$/kg	1995-2011	Brasil ((s.d.))

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Variáveis deflacionadas para o ano de 2011 com base no Índice Nacional de Preço ao Consumidor (INPC).

A análise, então, foi feita a partir da regressão linear para as séries históricas dessas variáveis, usando para tanto o programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS®), versão 15.0.0. O mercado de reciclagem de alumínio foi definido a partir de dois modelos: o modelo 1 foi construído tendo como variável dependente a taxa de reciclagem de latas de alumínio, e o modelo 2 teve como variável dependente o preço pago aos catadores pela sucata de alumínio. Tais variáveis não foram incluídas entre as variáveis independentes. No caso do modelo 2, devido às dificuldades de se encontrar valores agregados para o Brasil, usou-se como aproximação o valor pago na região metropolitana (RM) de São Paulo.

Apesar de ser apenas uma amostra, como São Paulo consiste no principal mercado de material secundário do país, assumiu-se que as variações de preço naquela região seriam semelhantes às variações ocorridas no país como um todo. Devido à fragilidade de alguns dados, optou-se por focar a análise em quais seriam as variáveis independentes e no tipo de impacto (positivo ou negativo) que elas teriam sobre a variável dependente.

Para a realização das regressões, utilizou-se o método de regressão por etapas (*stepwise* no SPSS®), que cria diversos modelos adicionando e retirando variáveis em cada etapa de acordo com valores predeterminados. Nesse processo foi utilizado como critério de avaliação para a inclusão de uma variável a contribuição que ela incorporaria à explicação do modelo. Essa contribuição estaria relacionada à correlação parcial da variável candidata a entrante com o modelo e com as demais variáveis já incluídas (Montgomery e Runger, 2009).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Modelo 1: taxa de reciclagem de latas de alumínio como variável dependente

Uma vez que quase a totalidade das variáveis disponíveis possui 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, dois modelos foram inicialmente elaborados, considerando e não considerando estas duas variáveis. O modelo que continha como variáveis de entrada apenas séries históricas com a mesma amplitude resultou em uma opção mais apropriada para estimar um modelo que explique a taxa de reciclagem de latas de alumínio, se levados em consideração o resultado dos testes para os coeficientes individuais e a forte multicolinearidade encontrada para o modelo descartado.

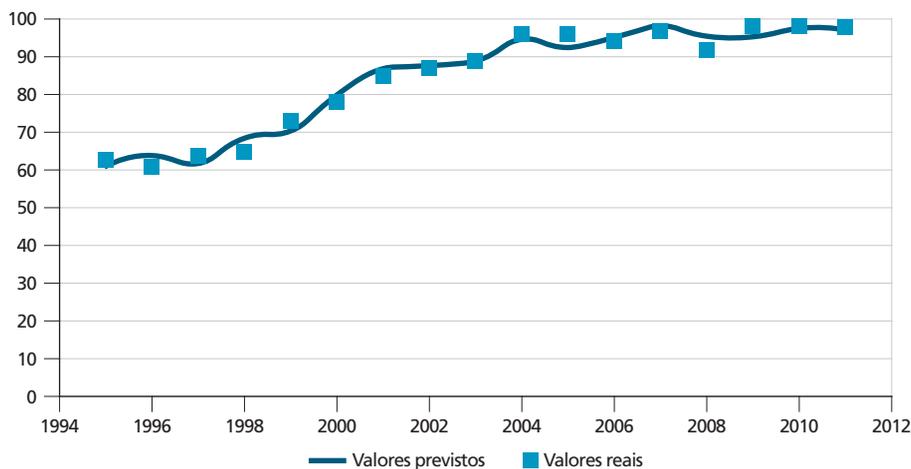
O gráfico 1 compara o comportamento da curva teórica com os dados empíricos. Para se chegar a esse modelo, foram realizadas oito etapas de regressão, com entradas e saídas de diferentes variáveis dependendo do grau de impacto que tinham sobre o coeficiente de determinação (R^2). O modelo final encontrado teve um coeficiente R^2 de 0,977 e um $R^2_{ajustado}$ de 0,969, o que significa que o modelo explica 97% da variação possível na variável dependente, ou seja, há uma forte correlação entre os valores reais e previstos, o que é bom para o modelo em questão.

A tabela 1 apresenta as variáveis consideradas relevantes durante o processo de regressão por etapas para o modelo 1. Os valores estimados para os coeficientes das variáveis encontram-se na primeira coluna. Uma vez que o p -valor mostrou-se inferior a 0,5%, a hipótese H_0 (que nenhuma variável regressora contribui significativamente para o modelo) é rejeitada para todos os coeficientes estimados, e se aceita a hipótese alternativa H_1 , de que os coeficientes

contribuem significativamente. Como nenhum deles contém, no seu intervalo de confiança, o valor zero, há indícios de que os coeficientes são uma boa estimativa. Com relação aos valores do fator de aumento de variância (VIF, do inglês *variance inflation factor*) para os coeficientes, não há indícios de multicolinearidade a ponto de distorcer a variável estatística de regressão (Hair *et al.*, 2009).

GRÁFICO 1

Taxa de reciclagem de latas de alumínio: comparação entre valores previstos e valores reais
(Em %)



Elaboração dos autores.

TABELA 1

Resultados para o modelo 1

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão	T ¹	P ²	Intervalo de confiança (95%)	VIF
PIB	17,050	1,048	16,268	0,000	(14,767; 19,334)	1,271
Preço da importação do alumínio secundário	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 exportada de alumínio secundário	-0,744	0,203	-3,675	0,003	(-0,303; -0,509)	1,659
Constante	-8,759	7,209	-1,215	0,248	(-24,400; 6,948)	-

Fonte: Dados gerados pelo SPSS® 15.0.0.

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ A coluna T representa a divisão do valor do coeficiente pelo seu erro-padrão. Quanto maior for esse resultado, mais distante, considerando o erro-padrão, está o coeficiente do valor zero. Ao ser diferente de zero, pode-se afirmar que há uma relação deste coeficiente com a variável de interesse no modelo (Hair *et al.*, 2009).

² A coluna P representa a probabilidade de aceitar o valor zero como pertencente ao intervalo de confiança do coeficiente, o que tornaria a variável irrelevante ao modelo. Um baixo valor de P indica que as variáveis são altamente relevantes (Hair *et al.*, 2009).

De acordo com os resultados do modelo, quando há variação no valor do PIB brasileiro, esta variação é repassada para a taxa de reciclagem de latas no Brasil. Esse resultado faz sentido, uma vez que uma economia mais dinâmica tende a estar vinculada à maior atividade industrial e, conseqüentemente, a uma maior taxa de reciclagem.

A segunda variável com maior impacto é o preço da importação do alumínio secundário. De acordo com o modelo, toda variação que ocorre nesta variável é repassada de forma positiva para a taxa de reciclagem. Isso sugere que o aumento do preço do alumínio secundário no mercado internacional tende a tornar a sucata produzida no país mais atrativa, aumentando sua taxa de reciclagem.

A taxa de desemprego, por sua vez, tem ainda impacto sobre a taxa de reciclagem. A princípio, uma maior taxa de desemprego significaria mais pessoas dispostas a trabalhar como catadores de materiais recicláveis e, portanto, maior quantidade de resíduos coletados pelos sistemas informais.

Por fim, a quantidade exportada de alumínio secundário é a única variável que apresentou coeficiente negativo estimado na regressão. Assim, se todas as variáveis forem mantidas constantes, e a quantidade de sucata exportada apresentar uma tendência de crescimento, esse acréscimo tenderá a diminuir a quantidade de sucata disponível no Brasil, reduzindo a taxa de reciclagem de latas.

6.2 Modelo 2: preço pago aos catadores pela sucata coletada como variável dependente

Assim como para o modelo 1, dois modelos foram elaborados, *a priori*. 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. O gráfico 2 compara os valores previstos e os valores reais. Para gerar este modelo, foram necessárias três etapas na regressão até se alcançar valores de 0,952 para R^2 e 0,923 para $R^2_{ajustado}$.

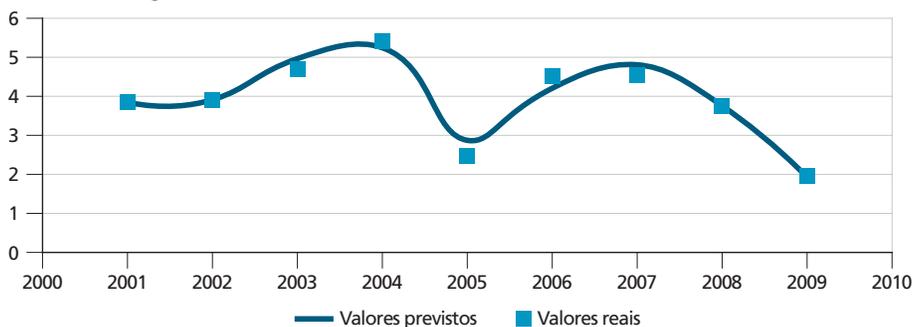
A tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes encontrados. De acordo com o p -valor, os coeficientes foram aceitos pelo teste de confiabilidade, rejeitando a hipótese H_0 . Os intervalos de confiança não contêm o valor zero e os valores de VIF para os coeficientes estimados são menores que 10.

Nas análises que antecederam a regressão do modelo 2, as variáveis “produção de alumínio secundário” e “preço pago aos catadores pela sucata coletada” tiveram uma correlação negativa. Assim no modelo 2, a “produção de alumínio secundário” apresenta sinal oposto ao que era esperado. Esse fato pode ser explicado a partir da análise dos componentes principais, que permite dividir todas as variáveis em

subgrupos de variáveis mais correlacionadas entre si. Como nesta análise tanto a variável “produção de alumínio secundário” quanto a “quantidade exportada alumínio secundário” foram alocadas em um mesmo subgrupo, seu uso em um mesmo modelo pode gerar efeitos de multicolinearidade (Miloca e Conejo, 2013).

GRÁFICO 2

Preço pago aos catadores: comparação entre valores previstos e valores reais
(Em R\$/kg)



Elaboração dos autores.

TABELA 2

Resultados para o modelo 2

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

Fonte: Dados gerados pelo SPSS® 15.0.0.

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ A coluna T representa a divisão do valor do coeficiente pelo seu erro-padrão. Quanto maior for esse resultado, mais distante, considerando o erro-padrão, está o coeficiente do valor zero. Ao ser diferente de zero, pode-se afirmar que há uma relação deste coeficiente com a variável de interesse no modelo (Hair *et al.*, 2009).

² A coluna P representa a probabilidade de aceitar o valor zero como pertencente ao intervalo de confiança do coeficiente, o que tornaria a variável irrelevante ao modelo. Um baixo valor de P indica que as variáveis são altamente relevantes (Hair *et al.*, 2009).

Apesar dessa questão, ambas as variáveis foram mantidas no modelo devido à sua capacidade de explicação. Todavia, para tanto, tais variáveis não podem ser analisadas individualmente; o que significa que, para o modelo, as duas variáveis formam um único conjunto de variáveis (Hair *et al.*, 2009). Uma vez que a produção de alumínio secundário no Brasil é inteiramente absorvida pela demanda interna, argumenta-se que a produção interna de alumínio secundário

equivale à demanda interna de alumínio secundário e a quantidade exportada de alumínio secundário representa uma aproximação da demanda internacional. Assim, quando a demanda de material secundário no Brasil e no exterior variam, existe um impacto significativo no preço da sucata coletada no Brasil.

Além dessas duas variáveis, a terceira componente do modelo, “preço de importação de alumínio secundário”, também tem um impacto sobre o preço pago. Esta variável já havia sido incluída no modelo 1, o que reforça a importância do mercado internacional sobre o desempenho do setor de reciclagem do Brasil. Esse comportamento faz sentido, uma vez que o aumento do preço da sucata importada tende a aumentar a demanda por sucata doméstica e, conseqüentemente, o seu preço.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar de que forma variáveis econômicas influenciariam o desempenho do setor de reciclagem de alumínio no Brasil. Este artigo teve como principal motivação o argumento apresentado, após a crise financeira de 2008, de que mudanças no cenário internacional estariam interferindo na viabilidade econômica de programas de coleta seletiva, em geral, e das cooperativas de catadores de material reciclável, especificamente.

Tendo por base trabalhos realizados no exterior, porém pouco debatidos no contexto brasileiro, buscou-se avaliar, estatisticamente, o grau do impacto que variáveis econômicas, em particular relacionadas ao comércio internacional, teriam sobre a taxa de reciclagem de latas de alumínio e sobre o preço pago aos catadores pela sucata de alumínio. Os modelos demonstraram haver impactos estatisticamente relevantes tanto de variáveis domésticas (PIB, taxa de desemprego, produção de alumínio secundário) quanto de variáveis relacionadas ao mercado internacional (quantidade exportada de alumínio secundário, preço da importação de alumínio secundário). Como resultado da análise, entre as dezesseis variáveis pesquisadas, as duas relacionadas ao mercado internacional foram as únicas a aparecer como variáveis explicativas em ambos os modelos. Desta forma, a hipótese de que o mercado doméstico de reciclagem de alumínio é influenciado pela dinâmica do mercado internacional é confirmada.

Esta pesquisa consistiu em uma primeira tentativa de se abordar a questão do mercado de reciclagem por tal perspectiva, sendo ainda necessário superar algumas limitações. Em primeiro lugar, surge a necessidade de aprimoramento das bases de dados, principalmente aquelas relativas ao mercado informal. Informações referentes ao real preço pago aos diferentes atores das cadeias de reciclagem precisam ser disponibilizadas. Ao mesmo tempo, para um refinamento

da análise, parece ser necessária a segregação dos dados entre reciclagem interna e externa e, desta, em reciclagem pré-consumo e pós-consumo.

Apesar das limitações identificadas, argumenta-se que este trabalho pode contribuir para a formulação de políticas públicas de estímulo à reciclagem no país. Corroborando estudos realizados em outros países, foi possível identificar a importante influência que aspectos econômicos, em particular associados à demanda, têm sobre a taxa de reciclagem e sobre o preço pago aos catadores. Neste sentido, propõe-se a necessidade da elaboração de políticas de reciclagem que, juntamente às já existentes, tenham como foco a demanda por materiais recicláveis. Ao mesmo tempo, os resultados desta pesquisa indicam que o contexto internacional pode ter impacto significativo na demanda por alumínio secundário e, conseqüentemente, na viabilidade dos programas de coleta seletiva, devendo o comportamento de variáveis associadas ao mercado internacional ser incorporado na análise e na proposição de novas políticas de apoio à coleta seletiva e à reciclagem no país.

Por fim, este artigo abre possibilidades para diferentes estudos futuros. Investigações que se proponham a abordar o problema poderiam considerar questões relacionadas 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. Além disso, ainda é de grande relevância ampliar a análise para verificar a validade dos resultados aqui apresentados para outros materiais, em particular papel e outros metais.

REFERÊNCIAS

- ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Relatório de sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio – 2012**. São Paulo: Abal, 2012.
- BERGLUND, C.; SÖDERHOLM, P. An econometric analysis of global waste paper recovery and utilization. **Environmental and Resource Economics**, v. 26, n. 3, p. 429-456, 2003.
- BLOMBERG, J.; HELLMER, S. Short-run demand and supply elasticities in the West European market for secondary aluminium. **Resources Policy**, v. 26, n. 1, p. 39-50, 2000.
- BLOMBERG, J; SÖDERHOLM, P. The economics of secondary aluminium supply: an econometric analysis based on European data. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 8, p. 455-463, 2009.
- BOSI, A. P. 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.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **AliceWeb**. [s.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://goo.gl/CtxyVu>>.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**. Brasília: MME, 2012.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Preço do material reciclável**. (Cempre Informa). São Paulo: Cempre, 2011. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>.

FERREIRA, J. A.; ANJOS, L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 689-696, 2001.

GIOVANNINI, F.; KRUGLIANSKAS, I. 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, p. 931-951, dez. 2008.

GONÇALVES, J. A.; OLIVEIRA, F. G.; SILVA, D. T. A. Dezoito anos catando papel em Belo Horizonte. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 231-238, 2008.

GRACE, R.; TURNER, R. K.; WALTER, I. Secondary materials and international trade. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 5, n. 2, p. 172-186, 1978.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**. [s.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://goo.gl/h5sdnL>>.

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

LAYARGUES, P. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico 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, 2002. p. 179-220.

LOBATO, K. C. D.; LIMA, J. P. Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 347-356, dez. 2010.

MANSIKKASALO, A.; LUNDMARK, R.; SÖDERHOLM, P. Market behavior and policy in the recycled paper industry: a critical survey of price elasticity research. **Forest Policy and Economics**, v. 38, issue C, p. 17-29, 2014.

MILOCA, S. A.; CONEJO, P. D. Multicolinearidade em modelos de regressão. *In*: SEMANA ACADÊMICA DA MATEMÁTICA, 22., 2013, Paraná. **Anais...** Paraná: Unioeste, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/mbn6EX>>.

MNCMR – MOVIMENTO NACIONAL DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS. A crise financeira e os catadores de materiais recicláveis. **Boletim Mercado de Trabalho: conjuntura e análise**, n. 41, p. 21-24, 2009.

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

OLIVEIRA, C. B. A vida embaixo da reciclagem: disparidades entre os significados de uma mesma questão social. *In*: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 2009, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Anpocs, 2009.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 52-61, mar. 2007.

RIBEIRO, L. C. S. *et al.* Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do estado do Rio de Janeiro. **Nova Economia**, v. 24, n. 1, p. 191-214, 2014.

XAVIER, C. L. **Economia de baixo carbono**: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. São Paulo: EBC/USP, 2012. (Relatório de Estudos Setoriais: alumínio).