

SUSTENTABILIDADE E ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM PARA A CIDADE DE SALVADOR, NO ÂMBITO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Julia Trindade Alves de Carvalho¹

Gervásio Ferreira dos Santos²

Luiz Carlos Santana Ribeiro³

Henrique Tomé da Costa Mata⁴

O objetivo deste trabalho é simular a mudança na estrutura produtiva do estado da Bahia, decorrente da reciclagem de resíduos sólidos urbanos gerados no município de Salvador. Para isso, foram consideradas as rotas tecnológicas da reciclagem mecânica e da reciclagem energética. Utiliza-se a análise de insumo-produto para simular a mudança na estrutura tecnológica de insumos proporcionada pela adoção de cada rota. Os resultados mostram que a reciclagem mecânica é mais eficiente, tanto do ponto de vista econômico quanto do da conservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: reciclagem; resíduos sólidos urbanos; rotas tecnológicas; insumo-produto.

SUSTAINABILITY AND TECHNOLOGICAL RECYCLING ROUTES FOR THE SALVADOR CITY UNDER THE NATIONAL POLICY OF SOLID WASTE

This paper aims to model the change in the productive structure of Bahia state resulting from the recycling of municipal solid waste generated in the city of Salvador. For this, the technological routes of mechanical recycling and energy recycling were considered. The input-output analysis was used to simulate the change in the technological structure of inputs provided by the adoption of each route. The results show that mechanical recycling is more efficient, both from an economic point of view as the conservation of natural resources.

Keywords: recycling; solid waste; technological routes; input-output.

SUSTENTABILIDAD Y ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAJE PARA LA CIUDAD DE SALVADOR EN EL MARCO DE LA POLÍTICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

El objetivo de este trabajo es simular el cambio en la estructura productiva del estado de Bahia derivada del reciclaje de residuos sólidos urbanos generados en el municipio de Salvador. Para ello, se consideran las rutas tecnológicas del reciclaje mecánico y del reciclaje energético. Se utiliza

1. Coordenadora de pesquisas na Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE) do estado da Bahia. *E-mail:* <juliatac81@gmail.com>.

2. Professor associado do Departamento de Economia e do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal da Bahia (PPGE/UFBA). *E-mail:* <gervasios@ufba.br>.

3. Professor adjunto do Departamento de Economia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Coordenador do Laboratório de Economia Aplicada e Desenvolvimento Regional (Leader) e bolsista de produtividade em pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). *E-mail:* <ribeiro.luiz84@gmail.com>.

4. Professor associado do Departamento de Economia do PPGE/UFBA. *E-mail:* <hnrmeta@ufba.br>.

el análisis de insumo-producto para simular el cambio en la estructura tecnológica de insumos proporcionada por la adopción de cada ruta. Los resultados muestran que el reciclaje mecánico es más eficiente, tanto desde el punto de vista económico y de la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: reciclaje; residuos sólidos; rutas tecnológicas; insumo-producto.

DÉVELOPPEMENT DURABLE ET RECYCLAGE TECHNOLOGIQUE POUR LA VILLE DE SALVADOR DANS LE CADRE DE LA POLITIQUE NATIONALE SUR LES DÉCHETS SOLIDES

Cet article a pour objet de simuler les conditions de changement de la structure productive de l'état de Bahia. Ces transformations résultent du recyclage et du traitement des déchets solides urbains générés dans la ville de Salvador. Pour cela, les solutions technologiques du recyclage mécanique et de l'énergie ont été envisagées. L'outil d'évaluation a été le modèle des entrées-sorties pour simuler la modification de la structure technologique du flux des intrants fournie par l'adoption de chaque solution technique. Les résultats montrent que le recyclage mécanique est plus efficace, tant du point de vue économique que de la conservation des ressources naturelles.

Mots-clés: recyclage; déchets solides; solutions technologiques; analyse entrées-sorties.

JEL: C67; Q51; Q53.

1 INTRODUÇÃO

A definição de rotas tecnológicas de reciclagem de resíduos sólidos e, em particular, dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) tem sido necessária pela entrada em vigor da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010. A avaliação das rotas tecnológicas de reciclagem de RSUs tem sido tratada na literatura internacional há pouco mais de duas décadas. Autores como Morris (1996), Connnett (1998) e Nakamura (1999) são precursores da abordagem econômica-ambiental da gestão de resíduos comparada. No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou um estudo com parâmetros para a comparação de rotas tecnológicas de reciclagem de RSUs. A aplicação da análise de insumo-producto às rotas tecnológicas de reciclagem é realizada nos trabalhos de Mata (2001), Pimenteira (2002), Delmont (2007), Freitas e Oliveira Filho (2009), Ipea (2010) e Ribeiro *et al.* (2014).

No âmbito internacional, Morris (1996) realizou a comparação entre os ciclos de vida das rotas da reciclagem mecânica e energética, tendo como objeto de análise a conservação líquida de energia proporcionada por cada rota. Connnett (1998) aprofunda a discussão dos males da incineração e utiliza como contraponto os benefícios da reciclagem mecânica. Esses estudos relatam os resultados de pesquisas que identificam os componentes das emissões advindas dos incineradores instalados na Europa, desde o final do século XIX.

No Brasil, em 2008, a EPE (2008) divulgou parâmetros para a comparação entre rotas tecnológicas de reciclagem, a qual se tornou modelo para outras publicações sobre este tema. As rotas tecnológicas definidas pela empresa são mutuamente excludentes:

i) a reciclagem mecânica com recuperação de gás de aterro e compostagem de resíduos orgânicos “molhados”; e *ii*) a reciclagem energética, pela tecnologia de incineração *mass burn*. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam, 2012) de Minas Gerais e a Climate Works (2012) utilizam os parâmetros construídos pela EPE (2008). A determinação de rotas tecnológicas de reciclagem deve constar nos planos de gestão de resíduos sólidos municipais e intermunicipais exigidos pela PNRS.

O termo resíduo é associado a todo tipo de matéria ou energia não aproveitada no processo de consumo ou produção. Qualquer processo de produção, distribuição e consumo gera resíduo, seja na forma de matéria em estado físico, seja na de energia dissipada. Atualmente, os 6,6 bilhões de habitantes do planeta Terra produzem cerca de 3 bilhões de toneladas de RSUs por ano (Cempre, 2010). Os problemas associados à sua gestão se acumulam, e a cada tempo e lugar são encontrados novos desafios a serem superados (Ribeiro *et al.*, 2014). A reciclagem vem sendo uma alternativa, embora não prometa solucionar a maior parte dos problemas associados aos resíduos. A avaliação de rotas tecnológicas de reciclagem surge diante da necessidade de embasamento teórico a um problema empírico enfrentado por formuladores de políticas públicas de gestão de resíduos sólidos, especificamente de RSUs.

A necessidade de racionalizar e normatizar a gestão dos resíduos sólidos com base em eficiência econômica, eficácia ambiental e inclusão social tem sido discutida há mais de uma década. Em função disso, houve o avanço nos marcos regulatório e institucional desta problemática. O principal destes é a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da Lei nº 12.305/2010. Desse modo, é necessário destacar os princípios, os objetivos e os instrumentos da PNRS, considerados de maior importância para a contextualização da proposta de análise deste artigo, centrada na discussão da rota tecnológica de reciclagem mais apropriada para os RSUs, dada a PNRS. Os princípios dessa política são descritos no art. 6º da Lei nº 12.305/2010.

A rota de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIRS) proposta nos princípios da PNRS é inequívoca, ao apontar a ordem de prioridades a ser seguida (Lei nº 12.305/2010, art. 7º, II): *i*) não geração de resíduos; *ii*) redução; *iii*) reutilização; *iv*) reciclagem (mecânica); *v*) incineração – com aproveitamento energético; e *vi*) destinação final dos rejeitos inertes (aterro sanitário). Assim, uma vez triados os RSUs recicláveis, preferencialmente na origem com a coleta seletiva, os “resíduos últimos”⁵ devem ser encaminhados para a incineração, como parte do tratamento final de resíduos, de modo a reduzir ao máximo o peso e o volume dos rejeitos dispostos em aterros.

5. Definição: “resíduo último é aquele que não é mais passível de tratamento, nas condições técnicas e econômicas do momento, principalmente para a extração da parte revalorizável do mesmo, ou até para reduzir o seu caráter poluente ou perigoso” (Menezes *et al.*, 2000, p. 2).

Nesse sentido, a PNRS, ao tempo em que traz avanços na política de gestão de resíduos sólidos no Brasil, também exprime uma controvérsia em relação à ordem de prioridades das ações estratégicas na gestão de resíduos sólidos. Esta ordem de prioridade traz o ideal de conservação energética ecoeficiente. Entretanto, ao se referir à incineração com aproveitamento energético de resíduos sólidos, a lei não deixa claro quais são os limites entre a reciclagem energética e a reciclagem mecânica (convencional) e a (incineração). Isto traz consequências significativas para o planejamento tecnológico e econômico do sistema de gestão.

Considerando a possibilidade de adoção de duas rotas tecnológicas mutuamente excludentes, a saber, reciclagem mecânica e reciclagem energética, para recuperação dos RSUs no município de Salvador, o problema de pesquisa que se coloca é: qual é a melhor rota tecnológica, a ser adotada no âmbito da PNRS para recuperação ecoeficiente dos RSUs em Salvador?

A partir desse problema de pesquisa, o objetivo deste artigo é simular a mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da adoção de duas rotas tecnológicas para o município de Salvador. A teoria utilizada para análise da viabilidade econômica e ambiental das rotas tecnológicas de reciclagem é indicada na PNRS. Esta se baseia na economia ambiental neoclássica, por meio do princípio do poluidor-pagador (PPP) e da teoria da economia ecológica, baseada nos princípios do protetor-recebido (PPR) e da ecoeficiência. O instrumental utilizado para mensurar e caracterizar qualitativamente os efeitos da adoção de cada rota de reciclagem é derivado da análise de insumo-produto aplicada à estrutura produtiva da Bahia em 2009.

Além desta introdução, o artigo é composto de mais seis seções. Na seção 2, será apresentado o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, no estado da Bahia e na cidade de Salvador. A seção 3 revela para o leitor os aspectos econômicos e institucionais da cadeia produtiva da reciclagem, bem como as principais definições e os conceitos técnicos relacionados às rotas tecnológicas de reciclagem. A seção 4 traz a revisão teórica sobre a economia ecológica e a economia ambiental. A seção 5 refere-se à metodologia utilizada para simulação da mudança tecnológica, decorrente da reciclagem. Na seção 6, são mostrados os resultados da simulação do uso de materiais recicláveis como insumos na cadeia produtiva do estado da Bahia. Finalmente, na seção 7, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL E NA CIDADE DE SALVADOR

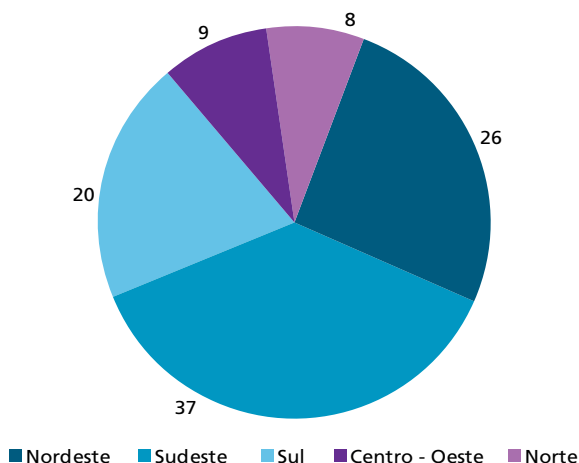
O contexto em que se coloca a reciclagem de resíduos sólidos na cidade de Salvador tem seu enquadramento na coleta seletiva desses resíduos, que é praticada em todo o país. No Brasil, existem 5.553 municípios com existência de serviços de coleta de RSUs. Isso equivale a 99,8% do total de 5.564 municípios brasileiros. Em 2008,

estes municípios geraram, aproximadamente, 183 mil toneladas de RSUs por dia. Esse montante representa aumento de 13,3% em relação a 2000, quando a geração diária de RSUs no Brasil era de aproximadamente 161 mil toneladas/dia (IBGE, 2010). A distribuição da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletada por região do Brasil pode ser observada no gráfico 1.

GRÁFICO 1

Distribuição dos resíduos domiciliares e públicos coletados e gerados diariamente – Grandes Regiões

(Em %)



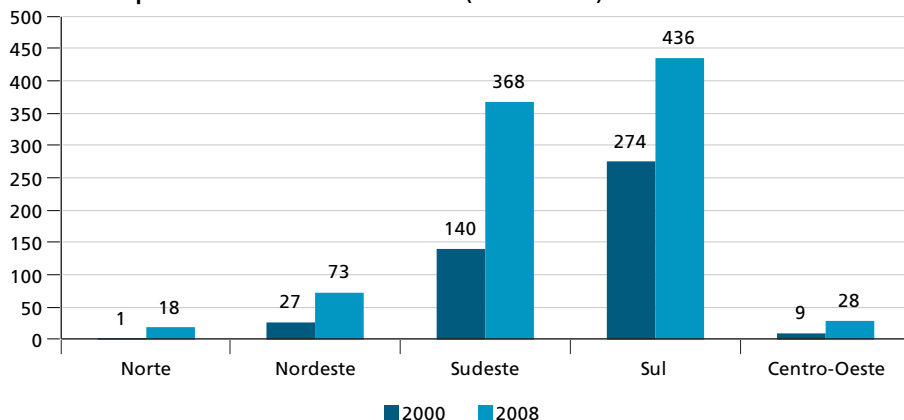
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Elaboração dos autores

A região Sudeste, com 1.665 municípios, é a região com maior volume de resíduos coletados, com 68.181 t/dia ou 37% do total. A região Norte tem a menor participação, uma vez que apenas 449 municípios são atendidos pelos serviços de coleta de RSUs, somando 14.639 t/dia de RSUs ou cerca de 8% do total nacional. A região Nordeste, com 1.788 municípios, está na segunda posição entre as regiões, sendo a responsável pela geração de 47.206 t/dia ou 26% do total de RSUs coletados diariamente no Brasil.

GRÁFICO 2

Municípios com coleta seletiva – Brasil (2000 e 2008)



Fonte: IBGE (2000; 2010).

Elaboração dos autores.

A coleta seletiva cresce em todas as regiões brasileiras, no tocante à quantidade de municípios atendidos. É possível observar no gráfico 2 o crescimento da coleta seletiva nas macrorregiões brasileiras. A região Norte apresentou maior crescimento, cerca de 1.700%, saindo de um para dezoito municípios; em segundo lugar, está a região Centro-Oeste, com crescimento de 211%, passando de nove para 28 municípios com coleta seletiva. A região Nordeste teve crescimento de 170% no número de municípios com coleta seletiva, saindo de 27 para 73. O menor aumento foi verificado na região Sul, com acréscimo de 59% no número de municípios com coleta seletiva. Vale a ponderação de que a região Sul já possuía um número elevado de municípios participantes da coleta seletiva, além de ser pioneira neste serviço e na reciclagem no Brasil. No estado da Bahia, apenas 25 dos 417 municípios têm programas de coleta seletiva, o que representa 6% do total de municípios. A capital do estado, Salvador, é um destes municípios. Apesar de baixo, este número representa um incremento de mais de 100% em relação a 2000, quando o número de municípios com coleta seletiva no estado não ultrapassava doze. O trabalho dos catadores de materiais recicláveis de triagem de RSUs pós-consumo é computado explicitamente pelo Ministério das Cidades (MCidades) desde 2007. O montante recuperado pelos catadores de Salvador varia entre 0,3% e 0,5% do total de RSUs gerados anualmente. Este é um percentual pouco expressivo do ponto de vista do potencial de recicláveis verificado nos RSUs do município, que supera os 40%, segundo dados da Prefeitura Municipal de Salvador (Salvador, 2012a).

O município de Salvador coleta pouco mais de 2,7 mil toneladas de resíduos por dia ou cerca de 830 mil toneladas/ano, o que representa 19% do total coletado no estado. Salvador atingiu, em 2010, um total de 2.480.790 habitantes. O município

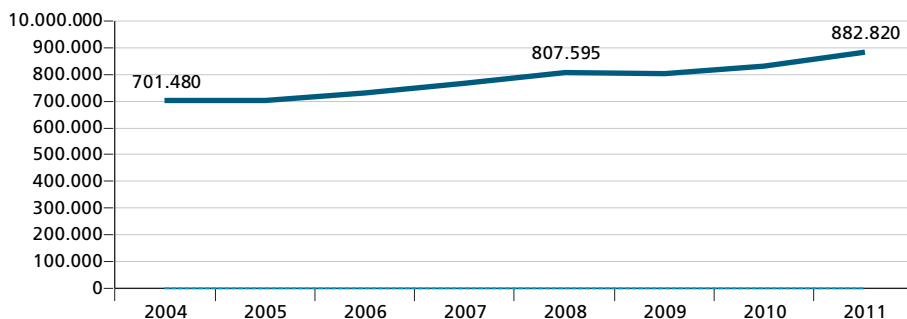
responde por aproximadamente 25% do produto interno bruto (PIB) do estado da Bahia (IBGE, 2010). Dados da pesquisa da Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (Limpurb) indicam que, em 2010, a geração *per capita* de RSUs no município chegou a 1,10 kg/hab./dia. Este valor está acima do divulgado pelo Ministério das Cidades, que foi de 0,92 kg/hab./dia (Brasil, 2011). O valor da geração *per capita* de RSUs divulgado pela Prefeitura Municipal de Salvador (Salvador, 2012a) será o parâmetro utilizado nesta pesquisa e equivale a uma geração de aproximadamente 830 mil toneladas/ano ou cerca de 2.710 t/dia de RSU no município, já que 99,9% da população é atendida pelo Sistema de Limpeza Urbana de Salvador.

O gráfico 3 apresenta a quantidade coletada de RSUs em Salvador entre 2004 e 2011. A tendência é crescente, com exceção do montante registrado no biênio 2008-2009, que apresentou queda suave na quantidade coletada no município. Em 2008, houve crescimento de 25,9% da quantidade de resíduos gerada em comparação com 2004.

GRÁFICO 3

Quantidade de RSUs (RDOs + RPU) coletada por ano – Salvador (2004-2011)

(Em t)



Fonte: Brasil (2011).

Elaboração dos autores.

O Plano Básico de Limpeza Urbana,⁶ elaborado pela prefeitura municipal, divulgado em 2012, indica que apenas 1% dos RSUs é coletado seletivamente pelas cooperativas cadastradas na prefeitura de Salvador (Salvador, 2012b). Este valor não contabiliza os materiais coletados pelos chamados “catadores predatórios”. Estes últimos exploram os resíduos dispostos não seletivamente nos logradouros urbanos e espalham resíduos pelas ruas, causando proliferação de vetores patogênicos. O Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do Sistema

6. A comissão executiva responsável pela elaboração desse documento é composta pelos representantes dos seguintes órgãos: Secretaria Municipal de Transportes e Infraestrutura; Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio Ambiente; Secretaria Municipal de Saúde; Empresa de Limpeza Urbana de Salvador; Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A.

Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), realizado pelo Ministério das Cidades, informa que, do total coletado anualmente em Salvador, 2.600 t (0,3%) são coletadas por cooperativas de catadores apoiadas pela prefeitura (Brasil, 2011). Segundo a Prefeitura Municipal de Salvador (Salvador, 2012a), o potencial de reciclagem dos resíduos secos (RSD) é de 46,11% dos RSUs, o que representaria 380 mil toneladas/ano. Nesse contexto, é importante analisar qual seria a melhor rota tecnológica para recuperação dos RSUs no município de Salvador no âmbito da PNRS.

Na próxima seção, são apresentadas as duas principais vertentes teóricas da economia do meio ambiente que abarcam os conceitos utilizados no decorrer deste trabalho. Os aspectos teóricos da economia do meio ambiente norteiam os princípios da PNRS, bem como as escolhas dos formuladores de políticas públicas ambientais; em particular, os gestores dos RSUs.

3 ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM

O resíduo sólido possui valor econômico na medida em que pode ser reinserido na cadeia produtiva como matéria-prima secundária para a produção de novas mercadorias. Desta forma, os resíduos sólidos têm um preço positivo, uma vez que são várias as possibilidades de ganhos que a sociedade e o meio ambiente podem obter com sua reintrodução na cadeia produtiva (Freitas e Oliveira Filho, 2009; Ipea, 2010 e Ribeiro *et al.*, 2014). O tipo específico de resíduo que é objeto de análise neste artigo é o RSU. Esta classificação engloba os resíduos sólidos urbanos domiciliares (RDOs) e públicos (RPU). Estes resíduos são considerados inertes⁷ e coletados na fase do pós-consumo.

A literatura utiliza o conceito de rota tecnológica de reciclagem para descrever as tecnologias alternativas utilizadas para a recuperação dos RSUs (EPE, 2008; Feam, 2012). Cada rota tecnológica tem consequências econômicas, sociais e ambientais distintas. O relatório da Feam (2012) e o trabalho da Climate Works (2012)⁸ definem duas rotas. As principais características que delineiam cada uma das rotas são descritas a seguir.

3.1 Rota de reciclagem energética

A primeira rota (rota A) é baseada na reciclagem energética de RSUs por meio dos incineradores de combustão em grelha, que utiliza o processo *mass burn* (queima massiva), baseado na queima de todos os RSUs, orgânicos e secos (Feam, 2012).

7. Resíduos classe III ou inertes são aqueles que não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

8. Os trabalhos da EPE (2008) e da Feam (2012) são utilizados como referência, pois são uns dos poucos na literatura destinados a embasar estudos de viabilidade de alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos nas administrações públicas municipais. Assim, são trabalhos que contêm os parâmetros técnicos das alternativas tecnológicas associadas ao tratamento de RSUs.

Desta forma, a reciclagem energética pode ser definida como a queima ou incineração de RSUs para sua transformação em energia elétrica utilizada pelos mais diversos setores da economia. Assim, a reciclagem energética de RSUs substitui a energia elétrica de outras fontes termoeletricas, como o carvão, por exemplo, pois reduziria a utilização destas mesmas fontes. Neste artigo, tal substituição é vista como uma redução na produção no setor de energia termoeletrica e entendida como economia de recursos naturais na forma de biomassa. A partir desta premissa, o artigo analisa o efeito da reciclagem energética de RSUs sobre o setor produtor de energia elétrica, sendo o RSU substituto de outros tipos de biomassa.

Na reciclagem energética, a tecnologia *mass burn* é a mais difundida e não necessita de triagem prévia de materiais recicláveis por grupo (EPE, 2008; Feam, 2012). Do material encaminhado para incineração, são retirados apenas alguns metais por meio de peneiras magnéticas automatizadas. Após a combustão, a energia térmica gerada é transformada em eletricidade e entra nas linhas de transmissão até as distribuidoras; em seguida, destina-se ao consumidor final ou é utilizada por autoprodutores.

A reciclagem energética é a rota tecnológica de reciclagem mais utilizada pelos países asiáticos e europeus. Desde as décadas de 1960 e 1970, todavia, novos paradigmas ambientais foram formulados. De acordo com Connert (2013), o incentivo às tecnologias limpas e o desenvolvimento do setor de reciclagem mecânica têm aumentado significativamente. Isto porque a legislação ambiental alemã passou a proibir a incineração de resíduos que podem ser reciclados mecanicamente. O resultado foi a redução drástica dos resíduos que chegam para as usinas de valorização térmica na Alemanha. Este fato gerou um problema para os administradores públicos, os quais não mais conseguiam garantir a viabilidade técnica e econômica mínima estabelecida em contrato com as usinas de incineração. A solução adotada foi a importação de resíduos de outros países, para manter as operações em patamares minimamente viáveis nas usinas. Como resultado, a Alemanha é, atualmente, um importador de resíduos destinados a alimentar as usinas de tratamento térmico.

3.2 Rota de reciclagem mecânica

A segunda rota (rota B) é a de reciclagem mecânica e combina a geração de energia elétrica a partir da biodigestão anaeróbica dos RSUs orgânicos “molhados” e da triagem dos resíduos “secos” para encaminhamento à reciclagem mecânica. Esta última consiste no processamento de RSUs para a fabricação de matéria-prima utilizável pela indústria de transformação. A escolha desta rota tem como resultado a redução de matéria-prima virgem utilizada pela indústria de transformação em substituição à matéria-prima reciclada. Desse modo, cabe ressaltar que este artigo também simula os efeitos da substituição de matéria-prima virgem (plásticos, papéis, metais e vidros virgens) pela matéria-prima reciclada (plásticos, papéis,

metais e vidros reciclados) utilizada na indústria de transformação de bens. Esta rota demanda um plano municipal de gerenciamento de RSUs, com coleta seletiva de forma mais intensiva, o que no longo prazo tende a reduzir o montante gasto em investimentos iniciais. Neste artigo, a rota B é avaliada apenas na parte da reciclagem mecânica dos RSUs secos.

Na reciclagem mecânica, a etapa inicial da reciclagem é a coleta e a triagem dos RSUs. Segundo Freitas e Oliveira Filho (2009), o conjunto de ações requeridas no processo pré-industrial de reciclagem é chamado de “recuperação da matéria-prima”, que inclui sua limpeza e prensagem e/ou seu enfardamento. Este processo deixa o material pronto para ser utilizado pela indústria de transformação como matéria-prima secundária. Cada material é processado em uma indústria com tecnologia de transformação específica. Desse modo, a ordem de apresentação das etapas 1 a 6 expressa o fluxo pelo qual passa o material reciclável.

3.3 Desafios para a adoção das rotas tecnológicas

De acordo com o Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais (Geri) e Carvalho (2009), existem diversos tipos de agentes econômicos envolvidos no mercado de reciclagem, os quais podem ser agrupados em seis categorias distintas. São elas: *i*) fonte geradora; *ii*) serviço de limpeza urbana (SLU); *iii*) catadores; *iv*) intermediários;⁹ *v*) indústria recicladora; e *vi*) indústria de embalagens (Geri, 2009). Esses atores desempenham funções bem-definidas na articulação da coleta, separação, comercialização e transformação dos materiais recicláveis. O processo inicial (etapas *i* e *ii*) é o mesmo para ambas as rotas de reciclagem, energética e mecânica. A diferenciação na rota tecnológica começa na presença ou não do catador de materiais recicláveis para efetuar a triagem do material. As indústrias recicladoras e de embalagens (categorias *v* e *vi*) são substituídas pela indústria de produção de energia elétrica.

A composição e a quantidade de RSUs gerados dependem do nível de desenvolvimento dos países. Por este motivo, a geração *per capita* de RSUs no Brasil representa, aproximadamente, metade do montante gerado nos países da Europa (Cempre, 2010). Nestes países, no entanto, são registradas as maiores taxas globais de reciclagem. Na Suécia, por exemplo, este índice chega a 43,6% dos RSUs gerados, enquanto no Brasil se recicla apenas 12% dos RSUs.

A escala de operação de equipamentos associados à gestão de RSUs é uma questão a ser equacionada. Para Tello (2001) e Figueiredo (2012), a gestão de resíduos fundamentada no uso intensivo de tecnologias que trabalham em escala muito elevada de produção deve ser encarada com cautela. A escala pode incentivar a ampliação da geração de resíduos, já que a eficiência deste modelo de gestão depende de quantidades crescentes

9. Também denominados como sucateiros, deposeiros ou atravessadores.

de resíduos. Nesse contexto, os formuladores de políticas públicas devem estar atentos para que a escolha das tecnologias de tratamento de resíduos não gere um *feedback* positivo na geração. Em outras palavras, as tecnologias devem operar em escalas que não dependam de quantidades crescentes de resíduos para viabilizá-las economicamente.

Um exemplo contundente dos problemas associados à escala de operação de determinadas tecnologias de reciclagem é a questão da incineração na Alemanha. Na década de 1960, cidades como Stuttgart, Colônia e Bremen optaram pela incineração de resíduos sólidos, com geração de energia elétrica para enfrentar o problema do tratamento de RSUs. A usina de Bremen, por exemplo, tem a capacidade de incinerar 550 mil toneladas de lixo por ano, enquanto a de Stuttgart tem capacidade para incinerar 225 mil toneladas/ano. Em Bremen, são gerados 270 GWh por ano de energia elétrica. O preço mínimo pago por tonelada incinerada é garantido em contrato (Connett, 2013).

4 OS PRINCÍPIOS DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Esta seção apresenta os três princípios que norteiam a PNRS aplicada no Brasil. Esta política é o marco legal da gestão de resíduos sólidos no país, desde 2010. Esta é fundamentada em princípios identificados com o arcabouço teórico da economia ambiental, que engloba duas correntes teóricas, paradoxalmente, opostas e complementares: de um lado, a economia do meio ambiente, baseada na microeconomia neoclássica, de outro, a economia ecológica, baseada na análise da física termodinâmica. Entre os princípios da PNRS, destacam-se aqui: *i*) poluidor-pagador; *ii*) protetor-recebedor; e *iii*) ecoeficiência. Além destes, são também princípios da PNRS a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor e a priorização em aquisições e contratações governamentais para produtos reciclados e recicláveis de bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis. Estes são os princípios que ajudam a compreender a orientação econômica e social da política analisada.

Georgescu-Roegen, considerado o “pai” da economia ecológica, discorre sobre a entropia dos resíduos do processo econômico. O problema da geração e disposição destes seria uma questão mais urgente do que o da exaustão dos recursos naturais. Um processo chamado de “poluição térmica” se antecipará à finitude dos “recursos acessíveis” (Georgescu-Roegen, 1976, p. 14), pois a Lei da Entropia vaticina a impossibilidade de resfriamento do planeta aquecido, devido ao aumento da entropia que ocorre em função das atividades de produção e consumo. Neste processo, ocorre a transformação irreversível de energia útil, de baixa entropia, em energia inútil caracterizada por alta entropia. Capital e trabalho dependem de energia de baixa entropia para serem produzidos e mantidos. Os resíduos de alta entropia seriam o resultado final do processo econômico.

A oposição entre economia do meio ambiente neoclássica e a economia ecológica se dá basicamente na forma como as duas aplicam os instrumentais analíticos da física à economia. A economia do meio ambiente neoclássica, de um lado, utiliza a física mecânica clássica, que tem como pressuposto a reversibilidade do processo e a ausência de análise qualitativa deste processo. De forma contrária, a economia ecológica, ao utilizar a física termodinâmica, enfatiza a irreversibilidade dos processos ecológicos, por meio do conceito de seta do tempo e do nível de entropia da energia e da matéria. De acordo com estas duas correntes teóricas, são definidos a seguir os princípios que norteiam a PNRS.

4.1 Princípio do poluidor-pagador

O PPP é o instrumento da economia do meio ambiente mais próximo do modelo de internalização das externalidades negativas, proposto originalmente por Pigou (1920). O modelo pigouviano indica aos formuladores de políticas públicas ambientais formas de corrigirem as externalidades negativas geradas por determinadas atividades produtivas e que originam um custo marginal social. Desta forma, é um ônus a ser arcado pelo poluidor, de forma a igualar o custo marginal privado com o custo marginal social.

Em um mercado de concorrência perfeita, a curva de oferta e a curva de custo marginal são iguais, e o ponto de equilíbrio deste mercado (preço e quantidade de equilíbrio) ocorre no intercepto entre a curva de oferta global e a curva de demanda global. Desta forma, a abordagem pigouviana aplica-se em um mercado de concorrência imperfeita, no qual há a presença de externalidades negativas derivadas da atividade produtiva que geram custos para a sociedade.

A curva de oferta global do mercado pigouviano deve considerar o custo marginal total, que é a soma do custo marginal privado e do custo marginal social derivado da poluição. Esta nova curva de oferta, na presença de externalidades negativas, deverá se situar à esquerda da curva de oferta de concorrência perfeita, gerando um novo ponto de equilíbrio com preço mais alto e quantidades demandadas menores do que antes. Para tanto, o estado teria de impor um tributo equivalente à externalidade negativa e, assim, induziria o produtor a internalizá-la na sua estrutura de custos, refletindo o verdadeiro custo da produção.

O PPP diz respeito ao mecanismo de aplicação da tarifa sobre a poluição imposta pelo estado para incitar o produtor-poluidor a abater a poluição da sua atividade. No PPP, de modo geral, o produtor se depara com dois custos: *i*) o da tarifa sobre a poluição por unidade produzida; e *ii*) o de investimento em tecnologias limpas. A tarifa antipoluição terá efetividade enquanto for maior ou igual ao custo marginal da inovação tecnológica. A reciclagem é reconhecida na literatura como uma forma economicamente vantajosa de reduzir os níveis de poluição, induzindo, mais facilmente, o empresário a optar por tecnologias de redução de poluição ao invés de pagar pelo direito de poluir.

Os agentes industriais e comerciais assumem o papel de poluidor-pagador ao atuarem em atividades que geram resíduos pós-consumo. A indústria tem que financiar a logística reversa do material reciclável, em consonância com a ordem de prioridades da gestão integrada de resíduos sólidos.¹⁰ As taxas de financiamento da logística reversa seriam imputadas de forma obrigatória às “empresas que vendem seus produtos no mercado” (Brasil, 2012a, p. 46). Segundo a teoria, o valor da taxa deve ser calculado com base no volume e peso dos resíduos descartados, dado o custo marginal de coleta e destinação final. Esta taxa funciona como um mecanismo incitativo à redução da quantidade de resíduos gerados. Desse modo, atendem aos objetivos dos instrumentos econômicos como o PPP, que é o incentivo à redução “voluntária” dos resíduos.

4.2 Princípio do protetor-recebedor

O princípio do protetor-recebedor prevê remuneração destinada a quem protege o meio ambiente, devido às externalidades positivas que esta ação gera à sociedade. Se no PPP o poluidor é punido, no PPR o protetor é recompensado. Desta maneira, de acordo com o PPR, o benefício social decorrente da preservação de bens e serviços ambientais deve ser recompensado financeiramente a quem a promove. Em outras palavras, o PPR funciona como incentivo para os agentes econômicos escolherem utilizar a matéria-prima reciclada em detrimento da matéria-prima virgem, com o objetivo de reduzir a demanda por recursos naturais na atividade econômica.

4.3 Ecoeficiência

O conjunto de recomendações técnicas para as empresas que desejem se enquadrar nas premissas da Agenda 21¹¹ pode ser definido por ecoeficiência (Gomes, 2009). Trata-se de um conceito que descreve o processo empresarial de reflexão, discussão e promoção da integração entre desempenho econômico e ecológico. A ecoeficiência faz parte do conjunto de estratégias de gerenciamento ambiental das empresas, proporcionando vantagem competitiva para quem a adota. Segundo a PNRS, este princípio exige, de forma geral, a compatibilização entre critérios econômicos e ambientais nas atividades produtivas.

O objetivo da ecoeficiência seria, então, a geração do menor impacto ambiental possível, por meio do menor consumo de recursos naturais e energia, respeitando a capacidade de resiliência do planeta e a viabilidade econômica do processo, para um

10. Segundo a PNRS, art. 3º, a definição de gestão integrada de resíduos sólidos é um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

11. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a “Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica”. Disponível em: <<https://is.gd/JoAISq>>. Acesso em: 6 maio 2014.

dado nível de bem-estar econômico. Neste estudo, o conceito de ecoeficiência da conservação energética formulado por Morris (1996) é utilizado como parâmetro de análise para identificar qual a melhor rota tecnológica de reciclagem. O conceito de ecoeficiência aqui se enquadra como a busca por maior conservação de energia e materiais, com a mais baixa entropia possível, de forma economicamente viável.

A próxima seção descreve a metodologia utilizada para mostrar os resultados da aplicação dos princípios da PNRS sobre a matriz de consumo intermediário (CI) do estado da Bahia. A metodologia simula o resultado produtivo da adoção de duas rotas distintas de reciclagem de RSUs, visando verificar qual delas proporcionaria maior economia de recursos.

5 METODOLOGIA E TRATAMENTO DOS DADOS

A metodologia utilizada para a simulação de mudança da estrutura tecnológica de insumos é baseada na análise de insumo-produto. Este método produz resultados compatíveis com as identidades macroeconômicas da contabilidade social e permite analisar o comportamento dos setores de atividade diante da adoção das duas rotas de reciclagem. A estratégia empírica adotada é a de mensurar a redução da oferta de matéria-prima virgem, causada pela sua substituição por matéria-prima reciclável. Esta substituição levaria a um processo de mudanças tecnológicas na estrutura de insumo, pois alteraria a composição de insumos por unidade de produto. Desta forma, a matriz de insumos da economia se tornaria mais “limpa”, devido à redução do ritmo de depleção de recursos naturais.

Para verificar essa hipótese, é utilizada a matriz de relações intersetoriais (MRI) do estado da Bahia, calibrada para 2009. Esta matriz é também conhecida como matriz *Q* quadrada, ou matriz tecnológica expressa em valores monetários. Este instrumento foi escolhido porque permite entender as implicações da adoção de cada rota de reciclagem sobre a depleção de recursos naturais. Com este resultado, será possível responder questões cruciais sobre a contribuição da reciclagem para o meio ambiente, a saber: quais setores são mais estimulados a aumentar sua produção e quais reduziram sua produção em função da adoção dos métodos de reciclagem?

O modo mais direto de construção de uma MRI é a partir das tabelas de recursos e usos (TRUs). As tabelas de insumo-produto são construídas a partir dos dados obtidos nas TRUs (IBGE, 2007). Os recursos econômicos correspondem à oferta total de bens e serviços da economia. A oferta total da economia é dividida da seguinte forma: *i*) oferta intermediária, que é composta por insumos domésticos ou produção intermediária (PI); insumos importados, que correspondem à parcela de bens e serviços importados consumidos produtivamente, e insumos primários (trabalho, capital e terra) (Miller e Blair, 2009); e *ii*) oferta final, que é a soma dos produtos finais de origem doméstica com os produtos importados consumidos pelas famílias (Guilhoto, 2008).

É possível destacar na TRU duas matrizes: matriz de consumo intermediário setorial e matriz de produção doméstica setorial. A matriz de consumo intermediário, doravante denominada como matriz Q , mostra o consumo do produto i pelo setor j , para a produção de uma unidade monetária do bem j . A matriz de produção setorial, denominada de P , revela a produção do produto i pelo setor j . Ambas as matrizes são retangulares e necessariamente devem ter as mesmas dimensões. Na composição desse sistema de produção e consumo intermediário setorial, o número de produto é maior do que o número de setores, uma vez que cada setor produz mais de um produto (Aquino, 2004; Pereira, 2007; Guilhoto, 2008).

A partir dessa representação das ofertas e das demandas setoriais na forma de matrizes, é possível formular sistemas de equações que podem ser manipuladas com a ajuda da álgebra matricial. Entretanto, assim como outros instrumentos quantitativos, possui limitações. Uma destas limitações é a impossibilidade de realizar várias operações algébricas com matrizes retangulares. Gigantes (1970) elaborou a solução para este problema. Para tanto, o autor adota duas hipóteses adicionais ao modelo básico. A primeira é a de *marketshare* médio, cujo objetivo, segundo Aquino (2004, p. 45) é “explicitar a participação de cada setor econômico na produção dos produtos analisados, chamando a atenção para o fato de que nem todos são produzidos por um único setor, assim como muitos setores não produzem um único produto”. A matriz de *marketshare* (MS) indica, portanto, a razão entre a produção setorial de cada produto e sua produção total. Esta razão é obtida a partir da pré-multiplicação da matriz de produção (P) pelo vetor de produção setorial total (qp). A segunda hipótese é a de tecnologia de setor ou estrutura de insumos do setor, na qual os bens consumidos por cada setor são uma proporção da sua produção total. Esta estrutura pode ser descrita matematicamente pela multiplicação da matriz de consumo intermediário (Q) pelo vetor de consumo intermediário setorial total (qs).¹²

Tomando então as matrizes de *marketshare* e da estrutura de insumos (J), a MS é dada pela pré-multiplicação da matriz P pelo vetor qp diagonalizado e invertido. A matriz J é obtida pela pós-multiplicação da matriz Q pelo vetor qs diagonalizado e invertido, da seguinte forma:

$$MS = (\hat{q}_p)^{-1} \cdot P. \quad (1)$$

Transpondo a matriz MS representada na equação 1, tem-se que:

$$MS^T = P^T \cdot ((\hat{q}_p)^{-1})^T. \quad (2)$$

12. Esse procedimento será descrito na próxima seção.

A pós-multiplicação da matriz MS pela matriz Q gera a matriz Q quadrada, que é a matriz tecnológica em valores monetários. Ela expressa os fluxos monetários totais entre os setores. Esta matriz será muito útil na especificação do modelo de análise da economia da reciclagem pela “ótica da oferta”:

$$Q_{\text{quadrada}} = MS.Q. \quad (3)$$

A MRI do estado da Bahia para 2009, apresentada neste artigo, tem abertura de 49 setores. Para sua elaboração, é utilizado o método RAS de matrizes biproportionais, desenvolvido nos anos 1970 por Stone (1966) e Bacharach (1970) e modificado por Silveira (1993). Vale ressaltar que diversos trabalhos no Brasil utilizam variantes do RAS para estimação de matrizes de insumo-produto (MIPs), especialmente matrizes regionais (Leite e Pereira, 2010; Ribeiro e Leite, 2012; 2014; Ribeiro, Andrade e Pereira, 2013; Ribeiro, Montenegro e Pereira, 2013; Martinez, 2014; Ribeiro *et al.*, 2014).

O método RAS é utilizado para a construção de matrizes Q quadradas regionais na ausência de TRUs, a partir de uma matriz original, não negativa. Para tanto, utilizam-se os vetores de valor bruto da produção (VBP), CI e valor adicionado (VA) do estado e do país no mesmo período, além das matrizes de produção e consumo intermediário da TRU do Brasil, que servirá de matriz original para a construção da Q quadrada do estado da Bahia calibrada para 2009. Na ausência do vetor de produção intermediária estadual, é utilizado o método de construção de uma *proxy* deste vetor, apresentado por Silveira (1993).¹³ Os setores das contas regionais foram desagregados pela Pesquisa Industrial Anual (PIA).¹⁴

A descrição sucinta do processo de multiplicação iterativo do método RAS de matrizes biproportionais é feita a seguir.

$$1^{\circ} \text{ passo: } Q^I = \langle r^I \rangle . Q q^{BR}, \text{ sendo cada } r_i^1 = \frac{m_i^{Bahia}}{m_i^{BR}} \quad (4)$$

$$2^{\circ} \text{ passo: } Q^2 = Q^I . \langle s^I \rangle \text{ sendo cada } s_j^1 = \frac{c_j^{Bahia}}{c_j^1} \quad (5)$$

$$3^{\circ} \text{ passo: } Q^3 = \langle r^2 \rangle . Q^2; \text{ sendo cada } r_i^2 = \frac{m_i^{Bahia}}{m_i^3} \quad (6)$$

13. Mais sobre esse método, ver Silveira (1993).

14. Para verificar a metodologia da construção de *proxy* do vetor de produção intermediária estadual, favor consultar Silveira (1993) e Ribeiro *et al.* (2014).

$$4^{\text{o}} \text{ passo: } Q^4 = Q^3 \cdot \langle s^2 \rangle \text{ sendo cada } s_j^2 = \frac{c_j^{Bahia}}{c_j^3} \quad (7)$$

Em que os vetores r e s representam, respectivamente, a razão entre a PI e o CI estadual e nacional, em termos monetários. O teste de convergência é aplicado, – isto é, se a matriz Q^n não diferir significativamente de Q^{n-1} , então Q^n é a melhor *proxy* de Q^{Bahia} .

5.1 Valoração dos resíduos sólidos urbanos para cada rota de reciclagem

Primeiramente, é calculada a quantidade, medida em toneladas, dos RSUs passíveis de reciclagem mecânica e energética. Este cálculo se baseia na análise gravimétrica dos RSUs produzidos em Salvador, em 2009.¹⁵ Em seguida, é feita a valoração dos resíduos de acordo com seu preço de mercado. O pressuposto é de que, em cada rota, o RSU assuma valores de mercado diferentes, de acordo com o insumo virgem que substituirá na cadeia produtiva. Desta forma, cada rota de reciclagem tem um efeito econômico distinto sobre os setores da matriz.

5.1.1 Valoração dos RSUs na rota tecnológica de reciclagem energética (rota A)

No caso dos resíduos destinados à rota de reciclagem energética, seu valor de mercado é função do seu potencial energético, o qual é determinado pelo poder calorífico inferior (PCI) dos materiais presentes nos resíduos. A equação 8 mostra o cálculo do PCI de determinado volume de RSUs:

$$PCI_{\text{por kg}}/RSU = PL + PA + ME + BO. \quad (8)$$

Em que:

PL = (total de kg de RSU) x (% plásticos) x (PCI plástico - kcal/kg);

PA = (total de kg de RSU) x (% papel) x (PCI papel - kcal/kg);

ME = (total de kg de RSU) x (% metal) x (PCI metal - kcal/kg); e

BO = (total de kg de RSU) x (% borracha) x (PCI borracha - kcal/kg).

O resultado da equação 8 expressa o poder calorífico inferior do resíduo sólido urbano como a soma da contribuição de cada material ao PCI total por kg de RSU incinerado. Os valores são dados em quilocaloria por quilo de RSUs (kcal/kg). A próxima etapa é a quantificação da capacidade de geração de energia elétrica, medida em MWh por tonelada de RSUs, proporcional ao PCI do RSU de Salvador. Para cada valor de PCI, existe uma quantidade de MWh correspondente. Tomando-se

15. Parâmetros retirados da Prefeitura Municipal de Salvador (Salvador, 2012a).

por base o PCI de São Paulo (1.973 kcal/kg), que gera 0,5 MWh, realiza-se uma regra de três simples com o valor do PCI do resíduo analisado; isto é:

$$1.973 \text{ kcal/kg} \text{ ----- } 0,5 \text{ MWh/ ton}$$

$$Y \text{ kcal/kg} \text{ ----- } X \text{ MWh/ ton}$$

A última etapa para a valoração energética dos RSUs é a precificação do seu potencial energético. Essa precificação é feita pela multiplicação da quantidade de MWh potencialmente contida nos RSUs de Salvador pelo preço praticado no mercado de geração e transmissão de energia de fonte termoeletrônica. A escolha do preço de compra e venda da energia potencialmente gerada foi embasada igualmente nos estudos de referência. A EPE (2008) sinaliza o preço da energia ou custo de referência da energia para o “dimensionamento da expansão da oferta de energia elétrica”, com o objetivo de realizar projetos de geração de energia termoeletrônica.

5.1.2 Valoração dos RSUs na rota tecnológica de reciclagem mecânica (rota B)

Na rota de reciclagem mecânica, o valor de mercado dos resíduos é o preço do material por quilo. Assim, como exemplo, o valor do plástico do RSU em Salvador pode ser calculado a partir da equação 9:

$$Z = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (9)$$

Em que:

X_1 = total de RSUs gerado em um ano (em toneladas);

X_2 = percentual de plástico presente no RSU (gravimetria);

X_3 = percentual de plástico reciclável; e

X_4 = preço de mercado do plástico reciclável.

Fazendo-se esse cálculo para todos os três grupos de materiais recicláveis mecanicamente (plástico, papel e metais) e somando-se os resultados, encontra-se a quantidade total de materiais recicláveis por ano, expressa em toneladas, e o valor de mercado destes materiais (Z).

5.2 Simulação da mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da reciclagem

O processo de incorporação dos efeitos econômicos das rotas no modelo de insumo-produto é chamado aqui de *simulação da mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da reciclagem*. Após a valoração dos RSUs recicláveis mecanicamente e energeticamente, o passo seguinte é verificar a mudança tecnológica na estrutura de insumos da cadeia produtiva do estado da Bahia, simulando uma redução do VBP do setor produtor de matéria-prima virgem. Esta redução correspondente ao valor

do material reciclável substituto. A partir destas etapas, é possível chegar ao resultado que mostra a redução na depleção de recursos naturais, além de outros insumos economizados na produção de matéria-prima virgem, a exemplo de energia, água etc.

De acordo com o modelo básico de insumo-produto, uma redução no VBP de um dado setor provoca a redução do CI e do VA, na proporção em que se apresentam neste setor. Assim, com a adoção de cada rota de reciclagem, há a redução do VBP e a respectiva redução no CI e VA dos setores ofertantes de matéria-prima virgem. Como consequência desta operação algébrica, é gerada uma nova matriz Q quadrada pós-reciclagem, que pode ser considerada mais “limpa” e comparável à matriz Q quadrada original.

O método que simula a mudança tecnológica na estrutura de insumos busca mensurar a economia de recursos naturais causada pela reciclagem, na ótica da oferta de matéria-prima virgem. Tomando o exemplo do grupo de materiais plásticos reciclados, é possível descrever este método em seis etapas: *i*) calcula-se o valor do material reciclável;¹⁶ *ii*) identifica-se o setor ofertante da matéria-prima virgem;¹⁷ *iii*) subtrai-se o valor da matéria-prima reciclada do VBP referente ao setor ofertante de matéria-prima virgem;¹⁸ *iv*) distribuem-se os R\$ 51 milhões entre CI e VA do setor ofertante de matéria-prima virgem, na mesma proporção em que eles se dividem no setor; *v*) com os novos vetores de VBP, CI e VA, é gerada uma nova matriz Q quadrada pós-reciclagem pelo método RAS, que necessariamente terá alguns elementos iguais ou menores que os elementos da matriz Q quadrada original;¹⁹ e *vi*) subtrai-se, da matriz Q quadrada original, a nova matriz Q quadrada pós-reciclagem, gerada com a redução do VBP, CI e VA (apêndice A) do setor ofertante de matéria-prima virgem.

O resultado é uma matriz Q quadrada de diferenças, cujas células expressam as diferenças entre a matriz Q quadrada original e a matriz Q quadrada pós-reciclagem. Este resultado expressa a economia em termos monetários de recursos naturais que deixaram de ser consumidos pelos setores produtores de matéria-prima virgem. Desta forma, é feita uma simulação para a reciclagem energética e outra para a reciclagem mecânica, a fim de verificar qual das duas rotas proporcionam maior economia de recursos na matriz.

Devido à linearidade dos coeficientes da matriz Q quadrada, espera-se da matriz de diferença que a soma das suas linhas ao longo dos vetores-coluna – no setor

16. O plástico reciclável, por exemplo, teve o valor de R\$ 51 milhões ao ano (a.a.).

17. No caso do plástico virgem que compete diretamente com o plástico reciclado, assume-se que o setor ofertante é o de fabricação de resinas e elastômeros.

18. Nesse exemplo, são subtraídos R\$ 51 milhões do VBP do setor de fabricação de resinas e elastômeros, que passa de R\$ 2,279 milhões para R\$ 2,227 milhões.

19. Pelo terceiro teorema de Perron - Frobenius, $\lambda = f(A_{ij})$, isto significa que o autovalor dominante da matriz A é uma função contínua crescente de todos os elementos da matriz A . Para mais detalhes, ver Pasinetti (1977).

que sofre alteração – seja igual ao valor do CI reduzido do referido setor. Quanto à soma das colunas ao longo das linhas, esta representa o montante reduzido do produto intermediário dos setores afetados com a redução do VBP.

As indústrias de transformação, ao utilizarem os materiais recicláveis, deixariam de pressionar os setores de atividade a montante – isto é, aqueles que lhes fornecem matérias-primas virgens. Com isso, a reciclagem de metal reduziria a oferta do setor (202) + (203) – outros da indústria extrativa. A reciclagem de papel reduziria a oferta do setor (307) – celulose e produtos de papel. Quanto à reciclagem de plástico, esta impactaria negativamente a oferta do setor (312) – fabricação de resina e elastômeros. Em relação à reciclagem energética, o mesmo grupo do setor (351) – geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é, ao mesmo tempo, o setor que oferta (geração) e demanda (transmissão/distribuição) energia elétrica. Não obstante, a energia gerada pela queima de RSUs substituiria a energia gerada por outras fontes energéticas, a exemplo de hidroelétricas, usinas termoeletricas a gás, usinas eólicas, entre outras fontes. Assim, cada rota tecnológica produz impactos em setores específicos da matriz de insumo-produto.

5.3 Banco de dados

O banco de dados utilizado foi construído a partir de diversas fontes de informações. A MRI da economia baiana calibrada para 2009 baseou-se nos dados divulgados pelo Sistema de Contas Nacionais (SCN) e pelo Sistema de Contas Regionais (SCR), obtidos junto ao IBGE. Os dados sobre a quantidade gerada e a gravimetria de RSUs de Salvador, em 2010, foram obtidos junto à Prefeitura Municipal de Salvador.

Os parâmetros de PCI de cada grupo de material, bem como o preço de mercado da energia gerada por fonte termoeletrica, foram obtidos junto à Empresa de Pesquisa Energética e à Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais.

As informações sobre os preços de venda dos materiais recicláveis à indústria de transformação foram pesquisadas no *site* do Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre). Os dados sobre o potencial mínimo de reciclagem associado aos RSUs foram compilados a partir de informações encontradas no *site* do Cempre, bem como informações divulgadas pela Associação Brasileira de Produtores de Celulose e Papel (Bracelpa) e pelo Instituto Plastivida.

Na próxima seção, são mostrados os resultados alcançados com a aplicação da metodologia descrita. Como resultado do cálculo, é obtido o valor monetário a preços correntes dos recursos naturais economizados, a partir da simulação das diferentes rotas de reciclagem na economia baiana no período analisado. Desta forma, são fornecidos subsídios para a escolha da rota tecnológica de reciclagem que proporcione maior economia de recursos naturais na matriz produtiva do estado da Bahia, considerando a tecnologia disponível para realizar a reciclagem.

6 RESULTADOS

Os modelos de insumo-produto fornecem uma gama diversificada de possibilidades para se reportar os resultados; por isso, é sempre um desafio fazê-lo. Ao longo desta seção, será feito um esforço para apresentar, da melhor forma possível, os resultados das simulações. Vale ressaltar que essas simulações são alimentadas com os dados dos materiais recicláveis apresentados anteriormente.

A quantidade de RSUs gerados no município de Salvador, durante todo o ano de 2010, foi de, aproximadamente, 828 mil toneladas. A partir deste montante, são especificadas as quantidades dos resíduos que possuem valor econômico, quando submetidos à reciclagem mecânica e à reciclagem energética. Considerando-se os parâmetros especificados na subseção 4.1 para cada rota de reciclagem, têm-se as quantidades de resíduos recicláveis em Salvador, bem como o valor que estes resíduos assumem em cada rota tecnológica.

6.1 Reciclagem mecânica

Na rota de reciclagem mecânica, os RSUs recicláveis assumem valor global de R\$ 83 milhões. Do total de 828 mil toneladas de RSUs produzidas anualmente em Salvador, os percentuais médios de reciclagem mecânica encontrados na literatura variam entre 35%, no caso do plástico, papel e metais não ferrosos, e 73%, no caso no caso do papelão, tal como exposto na tabela 1.

TABELA 1
Parâmetros de cálculo para reciclagem mecânica

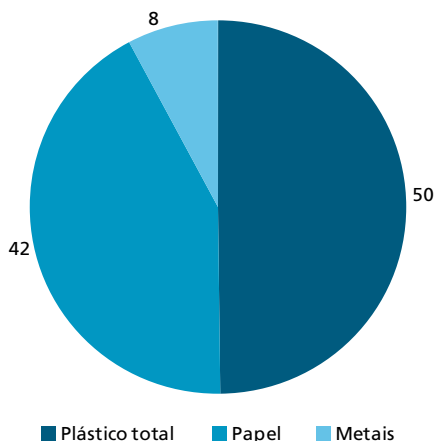
Material	Composição gravimétrica (%)	Composição gravimétrica absoluta (t)	Reciclável máximo (%)	Total reciclável por ano (t)	Preço médio por tonelada (R\$)	Valor total dos RSUs recicláveis (R\$)
Plástico total	22,1	183.072		64.075		51.154.907
Plástico duro	4,9	40.223	35	14.078	733	10.323.869
Plástico mole	17,3	142.849	35	49.997	817	40.831.037
Papel	12,1	99.978		54.508		24.848.651
Papel branco	8,3	68.776	46	31.637	530	16.767.622
Papelão	3,8	31.202	73	22.871	353	8.081.029
Metais	2,6	21.766,70		10.101,24		7.088.384
Metais ferrosos	2,0	16.553	50	8.276	357	2.951.884
Metais não ferrosos	0,6	5.214	35	1.825	2.267	4.136.500
Total	36,8	304.816		128.684		83.091.942

Fontes: Cempre (2010), Plastivida (2012) e Salvador (2012).
Elaboração dos autores.

Quando os percentuais da tabela 1 são aplicados aos resíduos gerados no município de Salvador, isto aponta para um total de 128.684 t de materiais recicláveis ao ano (a.a.) ou 15,6% do total de resíduos gerados anualmente. Deste total, o plástico responde por 50%, o papel, por 42% e os metais, por 8%, como se pode visualizar no gráfico 4.

GRÁFICO 4

Composição gravimétrica dos materiais para reciclagem mecânica – Salvador (2010)
(Em %)



Fontes: Cempre (2010) e Salvador (2012).
Elaboração dos autores.

A proporção *material reciclável/VBP* mostra quanto o valor do material reciclável, global e por setor representa no VBP global e no VBP dos setores produtores de insumos virgens, respectivamente (apêndice A). Nesta rota tecnológica, o valor global dos recicláveis de Salvador representou 0,04% do VBP global do estado da Bahia em 2009. O setor que teria a maior redução do VBP seria o de fabricação de resinas e elastômeros (S16), que reduziria o valor da sua oferta em 2,2%, em função da entrada de plásticos recicláveis na cadeia produtiva. No outro extremo, o setor que sofreria a menor redução do VBP (0,39%) seria o setor de *outros da indústria extrativa* (S4), que representa a oferta de metais virgens na economia do estado da Bahia. Os vetores-orlas²⁰ da matriz de diferença expressam a diferença no CI (vetor-linha) e a diferença no PI (vetor-coluna). Os resultados serão apresentados por grupo de material para que os efeitos da reciclagem de cada material sejam melhor compreendidos.

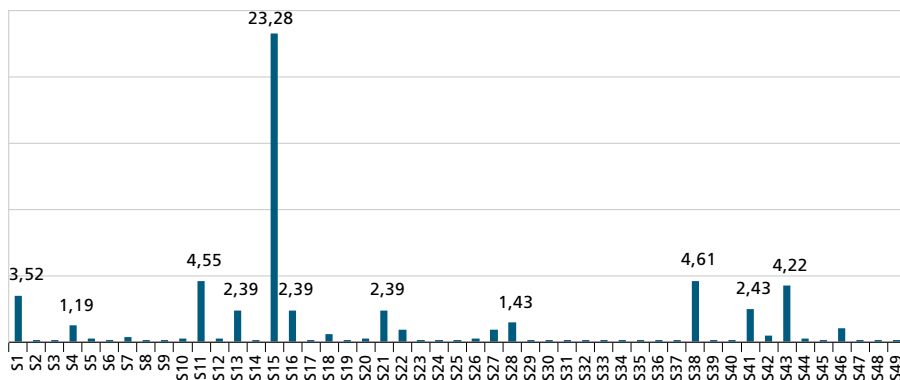
O valor da redução do CI nos três setores fornecedores de matéria-prima virgem poderia atingir R\$ 56,4milhões ou 67,8% da parcela deduzida do VBP. Estes são os valores da diferença entre o CI com o VBP original e o CI com VBP reduzido. O gráfico 5 mostra a distribuição do CI poupado entre os setores de atividade. A matriz *Q* quadrada de diferenças mostrou que o setor com maior diferença global no CI foi *produtos químicos* (S15). Isto significa que os produtos oriundos deste setor iriam perder parcela relativamente maior de mercado com a

20. Denominam-se vetores-orlas de uma matriz a soma dos seus elementos: o vetor-orla linha (soma das linhas ao longo das colunas de uma matriz) e o vetor-orla coluna, soma das colunas ao longo das linhas de uma matriz).

mudança na estrutura tecnológica. Haveria redução de até R\$ 23,28 milhões no consumo de produtos químicos na cadeia produtiva. Considerando que o VA do setor de produtos químicos é de R\$ 3 bilhões por ano, a redução do seu mercado no estado da Bahia atingiria menos de 1% do seu VA.

GRÁFICO 5

Consumo intermediário poupado pela reciclagem mecânica de todos os materiais
(Em R\$ milhões)



Fontes: Cempre (2010), Salvador (2012) e IBGE (2009).
Elaboração dos autores.

A análise por cadeia de material indica que a economia de recursos no setor fornecedor de plásticos virgens, *fabricação de resinas e elastômeros* (S16), poderia economizar até R\$ 39,58 milhões por ano ou 23% do CI total deste setor, sendo que a maior economia se daria no setor de *produtos químicos* (S15), que equivaleria a 56,9% da redução do CI (apêndice A) do setor de *fabricação de resinas e elastômeros* (S16) ou R\$ 22,5 milhões a.a.

No caso do setor fornecedor de papel virgem, *celulose e produtos de papel* (S11), a reciclagem de papel poderia provocar redução de R\$ 24,8 milhões no CI deste setor ou 18% do seu CI total. A maior economia de CI se daria no próprio setor de *celulose e produtos de papel* (S11), no valor de R\$ 14,90 milhões por ano ou cerca de 60% de CI poupado pela reciclagem de papel. No caso do setor fornecedor de metais virgens, *outros da indústria extrativa* (S4), este passaria por redução do CI de R\$ 4,9 milhões, ou 31% do seu CI total. A principal economia de recursos seria referente ao próprio setor de *outros da indústria extrativa* (S4), com possível redução de R\$ 99 mil a.a., ou 20% do CI economizado pela reciclagem de metais.

6.2 Reciclagem energética

Na reciclagem energética, os resíduos considerados recicláveis energeticamente poderiam atingir um valor global de R\$ 45,2 milhões. Levando-se em consideração os materiais com poder calorífico inferior positivo (plástico, papel, matéria orgânica etc.), atingir-se-ia o valor total de 681.141 t de materiais incineráveis a.a. A composição gravimétrica dos RSUs incineráveis gerados em Salvador indica um PCI de 2.579 kcal/kg. Desta forma, seria possível a geração de 442.741 MWh/ano. Os parâmetros utilizados para a mensuração e a valoração do potencial energético dos RSUs gerados no município de Salvador estão expostos na tabela 2.

TABELA 2

Valoração da energia potencial dos RSUs gerados – Salvador

RSUs anuais – total (t)	MWh/t	MWh/ano – total	Preço por MWh	Valor total de venda da energia gerada
681.140	0,65	442.741,00	R\$ 102,18	R\$ 45.239.275,38

Fontes: FEAM (2012), Salvador (2012); Climate Works (2012), EPE (2008).

Elaboração dos autores.

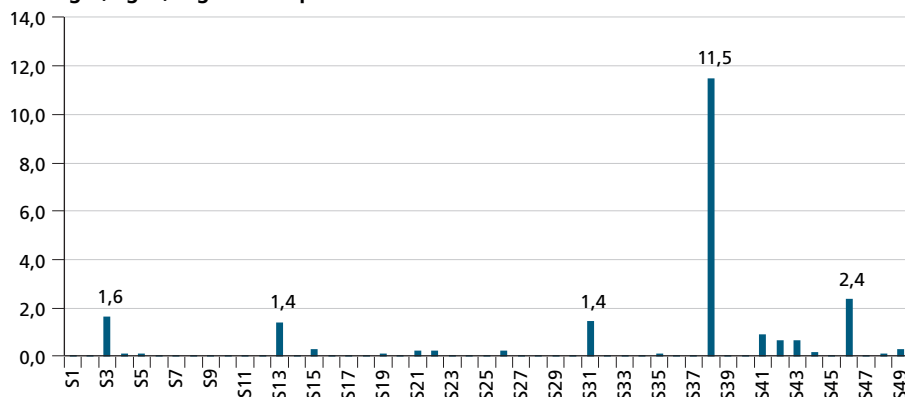
Aos preços de mercado, a energia gerada com a incineração de RSUs atingiria valor de R\$ 45,2 milhões por ano.²¹ Os plásticos representam mais de 70% do total de RSUs com poder calorífico. Em segundo lugar, estaria o grupo de papel e papelão, com 13,5%, seguido pela matéria orgânica, com participação de 11,6%. O grupo de têxteis e couro somam 3,5% do total de RSUs com poder calorífico. Os dois grupos com menor incidência na gravimetria são borracha e madeira, os quais totalizam 1%. Dessa forma, é possível perceber a importância do plástico e do papel na reciclagem energética, tanto pelo seu alto poder calorífico quanto pela sua alta participação na composição física do resíduo.

A redução do fornecimento de insumos ao longo da cadeia de fornecedores do setor de *produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana* (S38) é visualizada no gráfico 6. O setor mais impactado seria o próprio setor, com redução de 49,8%, ou R\$ 11,5 milhões dos insumos fornecidos para o próprio setor. Logo em seguida, estaria o setor *serviços prestados às empresas* (S46), que poderia reduzir em até 10,2% a quantidade de insumos fornecidos para o setor S38, o que equivaleria a aproximadamente R\$ 2,4 milhões.

21. Considerando o preço de leilão de R\$ 102,1 por MWh gerado em termoeletricas. Dados disponíveis no site da Eletrobras.

GRÁFICO 6

Consumo intermediário poupado pelo setor de produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana



Fontes: FEAM (2012), Salvador (2012), Climate Works (2012), EPE (2008) e IBGE (2009).
Elaboração dos autores.

Vale ressaltar que esses resultados estão alinhados com a literatura da economia do meio ambiente. Os resultados obtidos nesta seção indicam que a economia de recursos naturais, em termos monetários, proporcionada pela reciclagem mecânica é significativamente superior à reciclagem energética. Esta constatação vai de encontro aos princípios da PNRS, que prioriza a reciclagem mecânica, relegando papel residual à reciclagem energética de RSUs. Assim, os resultados econômicos obtidos neste trabalho estão de acordo com a orientação da PNRS, que, por seu turno, se baseia na lógica postulada pela teoria da economia ecológica de redução de impactos ambientais da atividade produtiva com a busca de conservação de energia dos materiais.

A próxima seção apresenta a consolidação dos resultados obtidos na simulação das rotas de reciclagem na economia baiana. A partir de resultados que atestam a economicidade da reciclagem mecânica, que normativamente já é tratada como prioritária de acordo com os princípios da PNRS, é indicado como os resultados obtidos neste estudo e nas demais pesquisas do gênero podem subsidiar os formuladores de políticas públicas na área de limpeza urbana. Desta forma, espera-se que a estruturação da reciclagem pelo poder público e dos agentes privados avance no sentido de rotas de tecnológicas de reciclagem conservadoras de energia, que se mostrem economicamente viáveis.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi simular o impacto econômico da adoção de duas rotas tecnológicas de reciclagem no município de Salvador. A hipótese inicial foi que as rotas mecânica e energética são mutuamente excludentes. Isto é, a utilização de uma delas inviabiliza a adoção da outra, pois não é possível haver complementaridades entre elas, dadas suas especificações técnicas. A pesquisa apresentou elementos conceituais e empíricos que pudessem contribuir para entender qual é a melhor rota tecnológica a ser adotada no âmbito da PNRS, tendo em vista o critério de conservação de energia de baixa entropia com economicidade. Para elucidar esta questão, do ponto de vista econômico, foi utilizada a análise de insumo-produto para simular os impactos propiciados pela adoção das rotas tecnológicas de reciclagem na cadeia produtiva da Bahia, a partir dos resíduos gerados em Salvador.

Os resultados mostram que a rota tecnológica de reciclagem mecânica gera uma economia anual de recursos naturais valorados em R\$ 83 milhões, 46% superior, portanto, à economia gerada pela adoção da reciclagem energética (R\$ 45,2 milhões). Esta constatação indica que a reciclagem mecânica é preferível à reciclagem energética também do ponto de vista econômico. Apesar do fato de que a reciclagem mecânica poderia gerar maiores custos logísticos para ser efetivada, ao contrário da reciclagem energética que exige uma logística reversa mais simples, aquela claramente gera maior economia de recursos naturais.

Os resultados econômicos das simulações corroboram as premissas da PNRS, que prevê a reciclagem mecânica como rota preferencial de reciclagem de RSUs por ser ambientalmente mais conservadora. As políticas públicas voltadas para a organização da logística reversa de materiais recicláveis no município de Salvador necessitam, portanto, levar em consideração também o cálculo econômico do valor monetário dos recursos economizados. Os desafios desta escolha consistem em: *i*) encontrar estratégias logísticas que viabilizem a reciclagem mecânica; e *ii*) normatizar a priorização da rota de reciclagem mecânica na formulação da política estadual de resíduos sólidos do estado da Bahia.

Os resultados das simulações sugerem redução no CI dos setores fornecedores de matéria-prima virgem de até R\$ 59,4 milhões, com a reciclagem mecânica, e de R\$ 23,1 milhões, com a reciclagem energética. Na reciclagem mecânica, o setor que apresentaria maior economia de recursos seria o de *fabricação de produtos químicos*, o qual inclui a indústria petroquímica de segunda geração. Na reciclagem energética, o setor que mais reduziria o fornecimento de insumos foi o próprio setor ofertante de energia – ou seja, o setor de *produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana*.

A reciclagem energética geraria até 442.741 MWH/ano, o que equivale a cerca de 2% da energia elétrica consumida no estado da Bahia em 2013.²²¹ Entretanto, a termoeletricidade, considerada energia não renovável, estaria substituindo a energia renovável, como a hidroelétrica e a eólica.

Verificou-se, ainda, que a economia de recursos monetários obtida com a reciclagem mecânica é mais que o dobro da economia de recursos obtida com a reciclagem energética. À luz da teoria econômica ecológica e da teoria da economia do meio ambiente, a reciclagem mecânica atende às dimensões ambientais, ecológicas e econômicas. Do ponto de vista ecológico e ambiental, a reciclagem mecânica é conservadora de energia de baixa entropia, enquanto a reciclagem energética destrói a energia que a torna indisponível após a queima.

Do ponto de vista dos resultados econômicos, verificou-se que o valor agregado aos resíduos submetidos à reciclagem mecânica é maior do que o valor agregado aos resíduos submetidos à reciclagem energética. Este fato se reflete nos preços de mercado atribuídos aos resíduos em cada rota tecnológica de reciclagem.

A metodologia de estimação de impactos econômicos e mudanças tecnológicas decorrentes da reciclagem sobre determinada estrutura produtiva também pode ser refinada. Uma alternativa é o desenvolvimento de modelos híbridos ou ampliados de insumo-produto que incorporem elementos ambientais, ou, ainda, a criação de coeficientes técnicos específicos para a reciclagem.

REFERÊNCIAS

AQUINO, M. C. **Efeitos dos investimentos recentes no setor calçadista sobre a economia baiana: uma análise insumo-produto**. 2004. 150f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

BACHARACH, M. **Biproportional matrices and input-output change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCidades, 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: versão pós-audiências e consulta pública para conselhos nacionais**. Brasília: MMA, fev. 2012.

CARVALHO, J. T. A. **Análise da apropriação dos excedentes econômicos gerados na etapa de comercialização de materiais recicláveis: estudo de caso na região metropolitana do Rio de Janeiro**. 2009. 150f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

22. Para mais detalhes, ver: <<https://is.gd/wAIXHg>>.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 3. ed. São Paulo: Cempre, 2010.

CLIMATE WORKS. **Estudo de alternativas de tratamento de resíduos sólidos urbanos**: incinerador *mass burn* e biodigestor anaeróbico – subsídios técnicos à elaboração dos planos locais de gestão dos resíduos sólidos. São Paulo: Climate Works, dez. 2012.

CONNETT, P. H. **Municipal waste incineration**: a poor solution for the twenty first century. *In*: ANNUAL INTERNATIONAL MANAGEMENT CONFERENCE, 4., 1998. Amsterdam. **Annals**... Amsterdam, Nederland, 1998.

_____. **The zero waste solution**: untrashing the planet one community at a time. New York: Chelsea Green, 2013.

DELMONT, L. G. **Análise dos impactos econômicos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos urbanos para a economia brasileira no ano de 2004**: uma abordagem insumo-produto. 110f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação preliminar do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: EPE, nov. 2008. (Nota Técnica, n. 6/8).

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**: guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais. Belo Horizonte: Feam, 2012. Disponível em: <<https://is.gd/DTKEBA>>. Acesso em: 3 mar. 2014.

FIGUEIREDO, F. F. Semelhanças na gestão dos resíduos sólidos urbanos em países centrais e periféricos. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 17, n. 975, p. 1-13, 15 mayo 2012.

FREITAS, L. F. S.; OLIVEIRA FILHO, J. D. Potencial econômico da reciclagem de resíduos sólidos na Bahia. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 2, p. 380-396, 2009.

GEORGESCU-ROAGEN, N. **Energy and economic myths**. New York: Pergamon Press, 1976.

GERI – GRUPO DE ESTUDOS DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS. **Cadeia produtiva da reciclagem e organização de redes de cooperativas de catadores**: oportunidades e elementos críticos para a construção de tecnologia social de combate à pobreza e inclusão social no estado da Bahia. Salvador: Geri, 2009. Relatório de pesquisa.

GOMES, R. T. **Produção mais limpa e ecoeficiência aplicada aos plásticos da engenharia**. 2009. Monografia (Graduação) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.

GUILHOTO, J. J. M. **Metodologia de insumo-produto: teoria e fundamentos**. São Paulo: FEA/USP, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Nacionais: matriz de insumo produto Brasil 2000-2005**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Notas técnicas).

_____. **Sistema de Contas Regionais: tabelas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://is.gd/R3bXY1>>. Acesso em: 24 dez. 2013.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://is.gd/j1r9cP>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para a gestão de resíduos sólidos**. Brasília: Ipea, 2010. Relatório de pesquisa. Disponível em: <<https://is.gd/aHGy0c>>. Acesso em: 4 out. 2016.

LEITE, A. P. V.; PEREIRA, R. M. Matriz insumo-produto da economia baiana: uma análise estrutural e subsídios às políticas de planejamento. **Revista Desenvolvimento**, v. 7, p. 99-134, 2010.

MATA, H. T. C. **Impactos da poluição industrial na economia brasileira**. 2001. 277 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MARTINEZ, T. S. Estimacão das tabelas auxiliares de impostos e margens da matriz de insumo-produto com mínima perda de informação: algoritmo RAWs. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 289-336, 2014.

MENEZES, J. *et al.* Estágio atual da incineração no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7., 2000, Curitiba, Paraná. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Limpeza Pública, 2000.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 2nded. New York: Cambridge University Press, 2009.

MORRIS, J. Recycling versus incineration: an energy conservation analysis. **Journal of Hazardous Materials**, Seattle, v. 47, n. 1-3, p. 277-293, May 1996.

NAKAMURA, S. An inter-industry approach to analyzing economics and environment effects of waste. **Ecological Economics**, v. 28, n. 1, p. 133-145, Jan. 1999.

PASINETTI, L. L. **Lectures on the theory of production**. New York: Columbia University Press, 1977.

PEREIRA, R. M. **Aspectos econômicos dos modelos de cobrança da água pelo lançamento de efluentes**: a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

PIGOU, A. C. **The economics of welfare**. 4thed. London: Macmillan and Company, 1920.

PIMENTEIRA, C. P. **Aspectos socioeconômicos da gestão de resíduos sólidos na cidade do Rio de Janeiro**: uma abordagem insumo produto. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

PLASTIVIDA – INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS. **Índice de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil (IRmP)**. São Paulo: Plastivida, nov. 2012. Relatório de pesquisa.

RIBEIRO, L. C. S.; LEITE, A. V. P. Estrutura econômica do estado de Sergipe em 2006: uma contribuição através da matriz de insumo-produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 4, p. 95-117, out./dez. 2012.

_____. Análise estrutural dos investimentos do PAC em infraestrutura logística no estado da Bahia. **Análise Econômica**, v. 32, n. 62, p. 125-154, 2014.

RIBEIRO, L. C. S.; ANDRADE, J. R. L.; PEREIRA, R. M. Estimação dos benefícios econômicos do Prodetur Nacional em Sergipe. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 975-1000, out./dez. 2013.

RIBEIRO, L. C. S.; MONTENEGRO, R. L. G.; PEREIRA, R. M. Estrutura econômica e encadeamentos setoriais de Minas Gerais: uma contribuição para as políticas de planejamento. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 41, p. 261-290, 2013.

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**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 191-214, jan./abr. 2014.

SALVADOR. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Salvador: Prefeitura Municipal de Salvador, maio 2012a. Disponível em: <<https://is.gd/BK11Ls>>. Acesso em: 29 jan. 2014.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria de Serviços Públicos e Prevenção à Violência. **Plano Básico de Limpeza Urbana**. Salvador: Prefeitura Municipal de Salvador, jun. 2012b.

SILVEIRA, A. H. P. Uma variante do método biproporcional para a estimativa de matrizes de relações intersetoriais na ausência de dados sobre produção intermediária. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ECONOMIA, 15., 1993, Belo Horizonte, Minas Gerais. **Anais...** Belo Horizonte: Anpec, 1993.

STONE, R. Input-output and demographic accounting: atool for education planning. **Minerva**, v. 4, n. 3, p. 365-380, 1966.

TELLO, E. Eliminar resíduos o gestionar materials. **Revista del Departament de MediAmbient de la Generalitat de Catalunya**. [En línea], n. 29, jul. 2001. Disponível em: <<https://is.gd/Ps7TBl>>. Acesso em: 14 abr. 2011.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informações sobre geração**: resumo estadual, Bahia – empreendimentos em construção. Brasília: Aneel, 2013.

AZEVEDO, G. O. D. **Por menos lixo**: a minimização dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Salvador/Bahia. 2004. 146f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

BOULDING, K. E. The economics of the coming spaceship Earth. *In*: JARETH, H. (Ed.) **Environmental quality in a growing economy**. Baltimore: Resources for the Future; Johns Hopkins University Press, 1966.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCidades, 2007.

_____. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCidades, 2008.

_____. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCidades, 2009.

_____. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MCidades, 2010.

_____. Presidência da República. Decreto nº 7.619, de 21 de novembro de 2011. Regulamenta a concessão de crédito presumido do Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI na aquisição de resíduos sólidos. Brasília: PR, 22 nov. 2011. Disponível em: <<https://is.gd/gKT17V>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relatório Anual de Informações Sociais**. Brasília: MTE, 2012.

CÁNEPA, E. M. Economia da poluição. *In*: MAY, P. H. **Economia do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2010, p. 79-98.

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. Fundamento central da economia ecológica. *In*: MAY, P. H. **Economia do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2010, p. 34-47.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Informe à imprensa**: leilão de energia A-5/2011. São Paulo: EPE, dez. 2011. Disponível em: <<https://is.gd/YcZRBl>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

GEORGESCU-ROAGEN, N. **Analytical economics**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.

_____. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1971.

GERI – GRUPO DE ESTUDOS DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS. **Análise do custo de geração de postos de trabalho na economia urbana para o segmento de catadores de materiais recicláveis**. Salvador: Geri, 2005. Relatório de pesquisa.

_____. **Plano executivo estratégico de construção de rede de coleta e comercialização de materiais recicláveis da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**: Projeto Rede Cata Rio. Salvador: Geri, 2008. Relatório de pesquisa.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual (PIA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: <<https://is.gd/Yq4L7H>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

_____. **Sistema de Contas Nacionais**: tabela de recursos e usos, metodologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://is.gd/R3bXY1>>. Acesso em: 24 out. 2013.

LEONTIEF, W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach: an input-output analysis approach. **The Review of Economics and Statistics**, New York, v. 52, n. 3, p. 262-271, Aug. 1970.

MARTINS, L. A. T. P. *et al.* A formação dos preços dos materiais recicláveis numa estrutura de mercado oligopsônica. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 57., Fortaleza, Ceará. **Anais...**Fortaleza: UECE; SBPC, 2005.

MASALÍAS, J. P.; NUREÑA, C. **Evaluación temática regional**: trabajo infantil en la segregación y gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina y el

Caribe. [En línea] OIT, 2004. Disponível em: <<https://is.gd/ufKMwX>>. Acesso em: 14 abr. 2011.

OLIVEIRA FILHO, J. D. **Para uma política pública de pagamentos por serviços ambientais urbanos de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis**: linhas gerais. Salvador: Pangea, 2010.

APÊNDICE A

TABELA A.1

Resultados da redução do VBP, CI e VA da reciclagem mecânica

Número do setor	Percentual reciclável/VBP (%)	Proporção CI/VBP (%)	Proporção VA/VBP (%)	Materiais VBP	Materias CI	Materiais VA	VBP novo	CI novo	VA novo
S1		32	68				10.363,19	3.296,83	7.066,37
S2		32	68				3.376,47	1.068,30	2.308,17
S3		56	44				1.681,51	945,09	736,42
S4	0,39	69	31	7,088	4,91	2,17	1.796,68	1.245,37	551,31
S5		85	15				8.879,41	7.588,56	1.290,85
S6		73	27				78,47	57,44	21,03
S7		75	25				813,59	611,84	201,75
S8		57	43				851,23	488,76	362,47
S9		62	38				1.705,88	1.065,98	639,90
S10		55	45				156,07	86,09	69,99
S11	0,73	60	40	24,849	14,90	9,95	3.361,04	2.015,73	1.345,31
S12		47	53				143,86	68,09	75,77
S13		80	20				19.688,71	15.839,80	3.848,91
S14		70	30				71,41	49,92	21,49
S15		77	23				12.871,88	9.866,39	3.005,50
S16	2,24	77	23	51,155	39,58	11,57	2.227,90	1.723,92	503,98
S17		74	26				43,90	32,60	11,30
S18		81	19				971,00	786,68	184,32
S19		71	29				238,41	169,51	68,89
S20		74	26				37,40	27,66	9,74
S21		75	25				190,25	142,06	48,20
S22		71	29				3.705,37	2.636,69	1.068,68
S23		64	36				189,67	122,09	67,58
S24		61	39				820,06	502,74	317,32
S25		70	30				1.455,83	1.024,64	431,19
S26		40	60				5.130,75	2.053,23	3.077,52
S27		52	48				1.048,62	543,74	504,87
S28		42	58				764,24	320,58	443,66
S29		74	26				407,56	302,35	105,21
S30		80	20				1.942,95	1.558,56	384,39
S31		68	32				634,27	431,50	202,78
S32		69	31				260,60	181,08	79,53
S33		41	59				60,83	24,83	36,00
S34		90	10				5.310,28	4.793,61	516,67
S35		70	30				1.554,21	1.092,51	461,70
S36		77	23				14,22	10,94	3,28
S37		67	33				611,25	411,89	199,35
S38		51	49				9.744,43	4.973,65	4.770,78
S39		44	56				16.422,44	7.293,06	9.129,38

(Continua)

(Continuação)

Número do setor	Percentual reciclável/VBP (%)	Proporção CI/VBP (%)	Proporção VA/VBP (%)	Materiais VBP	Materiais CI	Materiais VA	VBP novo	CI novo	VA novo
S40		30	70				24.119,57	7.304,59	16.814,98
S41		51	49				11.713,33	5.942,87	5.770,46
S42		55	45				5.639,31	3.091,67	2.547,65
S43		35	65				7.528,42	2.636,01	4.892,40
S44		9	91				10.918,43	929,84	9.988,59
S45		44	56				6.750,39	2.956,44	3.793,96
S46		28	72				6.758,21	1.877,26	4.880,95
S47		42	58				6.191,01	2.599,38	3.591,63
S48		35	65				6.756,55	2.335,29	4.421,27
S49		33	67				30.469,25	9.949,95	20.519,30
Total							236.470,33	115.077,57	121.392,75

Elaboração dos autores.

TABELA A.2

Valor da diferença do CI por setor – reciclagem mecânica

Número do setor	Código SCN	Setor	CI poupado – total (R\$ milhões)	CI poupado – total (%)
S1	101	Agricultura, silvicultura e exploração florestal	3,52	6
S2	102	Pecuária e pesca	0,09	0
S3	201	Petróleo e gás natural	0,00	0
S4	202 e 0203	Outros da indústria extrativa	1,19	2
S5	301	Alimentos e bebidas	0,29	0
S6	302	Produtos do fumo	0,00	0
S7	303	Têxteis	0,34	1
S8	304	Artigos do vestuário e acessórios	0,00	0
S9	305	Artefatos de couro e calçados	0,02	0
S10	306	Produtos de madeira – exclusive móveis	0,21	0
S11	307	Celulose e produtos de papel	4,55	8
S12	308	Jornais, revistas e discos	0,19	0
S13	309	Refino de petróleo e coque	2,39	4
S14	310	Álcool	0,04	0
S15	311	Produtos químicos	23,28	39
S16	312	Fabricação de resina e elastômeros	2,39	4
S17	313	Produtos farmacêuticos	0,05	0
S18	314	Defensivos agrícolas	0,62	1
S19	315	Perfumaria, higiene e limpeza	0,06	0
S20	316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,27	0
S21	317	Produtos e preparados químicos diversos	2,39	4
S22	318	Artigos de borracha e plástico	0,91	2
S23	319	Cimento	0,01	0

(Continua)

(Continuação)

Número do setor	Código SCN	Setor	CI poupado – total (R\$ milhões)	CI poupado – total (%)
S24	320	Outros produtos de minerais não metálicos	0,10	0
S25	321	Fabricação de aço e derivados	0,04	0
S26	322	Metalurgia de metais não ferrosos	0,20	0
S27	323	Produtos de metal – exclusive máquinas e equipamentos	0,91	2
S28	324	Máquinas e equipamentos – inclusive manutenção e reparos	1,43	2
S29	325	Eletrodomésticos	0,00	0
S30	326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,07	0
S31	327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,07	0
S32	328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	0,04	0
S33	329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	0,01	0
S34	330 e 0331	Automóveis, camionetas e utilitários	0,00	0
S35	332	Pecas e acessórios para veículos automotores	0,04	0
S36	333	Outros equipamentos de transporte	0,01	0
S37	334	Móveis e produtos das indústrias diversas	0,08	0
S38	401	Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana	4,61	8
S39	501	Construção civil	0,06	0
S40	601 e 1101	Comércio e manutenção e reparação	0,17	0
S41	701	Transporte, armazenagem e correio	2,43	4
S42	801	Serviços de informação	0,45	1
S43	901	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados	4,22	7
S44	1001	Atividades imobiliárias e aluguéis	0,24	0
S45	1102	Serviços de alojamento e alimentação	0,15	0
S46	1103	Serviços prestados às empresas	1,00	2
S47	1104 e 1105	Educação e saúde mercantil	0,02	0
S48	1106 e 1107	Serviços prestados às famílias e associativas e serviços domésticos	0,05	0
S49	1201, 1202 e 1203	Administração, saúde e educação públicas e seguridade social	0,17	0
			59,40	100

Elaboração dos autores.

TABELA A.3

Resultados da redução do VBP, CI e VA da reciclagem mecânica

Número do setor	Proporção reciclável/VBP original (%)	Proporção CI/VBP (%)	Proporção VA/VBP (%)	Valor do VBP descontado	Valor do CI descontado	Valor do VA descontado	VBP novo	CI novo	VA novo
S1		32	68				10.363,19	3.296,83	7.066,37
S2		32	68				3.376,47	1.068,30	2.308,17
S3		56	44				1.681,51	945,09	736,42
S4		69	31				1.803,77	1.250,28	553,49
S5		85	15				8.879,41	7.588,56	1.290,85
S6		73	27				78,47	57,44	21,03
S7		75	25				813,59	611,84	201,75
S8		57	43				851,23	488,76	362,47
S9		62	38				1.705,88	1.065,98	639,90
S10		55	45				156,07	86,09	69,99
S11		60	40				3.385,89	2.030,63	1.355,26
S12		47	53				143,86	68,09	75,77
S13		80	20				19.688,71	15.839,80	3.848,91
S14		70	30				71,41	49,92	21,49
S15		77	23				12.871,88	9.866,39	3.005,50
S16		77	23				2.279,05	1.763,50	515,55
S17		74	26				43,90	32,60	11,30
S18		81	19				971,00	786,68	184,32
S19		71	29				238,41	169,51	68,89
S20		74	26				37,40	27,66	9,74
S21		75	25				190,25	142,06	48,20
S22		71	29				3.705,37	2.636,69	1.068,68
S23		64	36				189,67	122,09	67,58
S24		61	39				820,06	502,74	317,32
S25		70	30				1.455,83	1.024,64	431,19
S26		40	60				5.130,75	2.053,23	3.077,52
S27		52	48				1.048,62	543,74	504,87
S28		42	58				764,24	320,58	443,66
S29		74	26				407,56	302,35	105,21
S30		80	20				1.942,95	1.558,56	384,39
S31		68	32				634,27	431,50	202,78
S32		69	31				260,60	181,08	79,53
S33		41	59				60,83	24,83	36,00
S34		90	10				5.310,28	4.793,61	516,67
S35		70	30				1.554,21	1.092,51	461,70
S36		77	23				14,22	10,94	3,28
S37		67	33				611,25	411,89	199,35
S38	0,47	51	49	45,223	23,08	22,14	9.699,21	4.950,56	4.748,64
S39		44	56				16.422,44	7.293,06	9.129,38

(Continua)

(Continuação)

Número do setor	Proporção reciclável/VBP original (%)	Proporção CI/VBP (%)	Proporção VA/VBP (%)	Valor do VBP des- contado	Valor do CI des- contado	Valor do VA des- contado	VBP novo	CI novo	VA novo
S40		30	70				24.119,57	7.304,59	16.814,98
S41		51	49				11.713,33	5.942,87	5.770,46
S42		55	45				5.639,31	3.091,67	2.547,65
S43		35	65				7.528,42	2.636,01	4.892,40
S44		9	91				10.918,43	929,84	9.988,59
S45		44	56				6.750,39	2.956,44	3.793,96
S46		28	72				6.758,21	1.877,26	4.880,95
S47		42	58				6.191,01	2.599,38	3.591,63
S48		35	65				6.756,55	2.335,29	4.421,27
S49		33	67				30.469,25	9.949,95	20.519,30
Total	0,47	49	51	45,22	23,08	22,14	236.508,19	115.113,89	121.394,30

Elaboração dos autores

Data da submissão: 5/10/2016

Primeira decisão editorial em: 15/5/2017

Última versão recebida em: 23/8/2017

Aprovação final em: 23/8/2017