

Artigo

Comparação das Emissões de Gases de Efeito Estufa em uma Cooperativa de Reciclagem de Materiais

Longo, G. L.; Nunes, A. O.; Barrios, C. C.; Paiva, J. M. F.;*Moris, V. A. S.

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (1), no prelo. Data de publicação na Web: 28 de janeiro de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Comparison of Greenhouse Gas Emissions in a Cooperative of Recycling of Materials

Abstract: In last decades, the consumption of natural resources and the generation of solid waste have increased due to the population increases. In addition, the rapid obsolescence and disposal of products has contributed to increase the environmental impacts. A major challenge today is the reuse of solid waste in order to add value to these discarded materials and to reinsert them in the production chain. It is possible to reduce greenhouse gas emissions (GHG) through recovery and recycling. The Brazilian cooperatives have an important role in these processes, collecting, sorting, cleaning, storing, selling and sometimes even recycling waste. Thus, the present study aimed to analyze the contribution of cooperatives in the reduction of GHG emissions, as well as to highlight their importance in current scenario. A simplified methodology was used to quantify avoided emissions using the recycling process, comparing it with emissions from the production of virgin materials. In addition, emissions from the production of virgin materials were also quantified using Simapro, which covers all processes involved. The results presented significant for the use of recyclable materials in relation to virgins. This way it was possible to evaluate the emissions from the cooperative's shed, which were smaller when compared to the manufacturing process using virgin resources.


Keywords: Solid waste; recycling; greenhouse gas; emissions.

Resumo

Nas últimas décadas, o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos aumentaram de maneira acelerada devido ao aumento da população. Além disso, a rápida obsolescência e descarte de produtos contribuiu para aumentar os impactos causados ao meio ambiente. Um grande desafio atual é a reutilização desses resíduos, de forma a agregar valor a esses materiais descartados e reinseri-los na cadeia produtiva. É possível reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio da recuperação e reciclagem. As cooperativas brasileiras têm um papel importante nesses processos, coletando, classificando, limpando, armazenando, vendendo e, às vezes, até reciclando resíduos. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a contribuição das cooperativas na redução das emissões de GEE, bem como destacar a sua importância no cenário atual. Uma metodologia simplificada foi utilizada para quantificar as emissões usando o processo de reciclagem, comparando-o com as emissões da produção de materiais virgens. Além disso, as emissões de GEE da produção de materiais virgens também foram quantificadas utilizando o *software Simapro*, que abrange todos os processos envolvidos. Os resultados apresentaram números significativos para a utilização de materiais recicláveis em relação aos virgens. Desta maneira foi possível avaliar as emissões do galpão de triagem da cooperativa, que foram menores quando comparadas ao processo de fabricação com utilização de recursos virgens.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; reciclagem; gases do efeito estufa; emissões.

* Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

 vimoris@ufscar.br

DOI:

Comparação das Emissões de Gases de Efeito Estufa em uma Cooperativa de Reciclagem de Materiais

Graziele Lucca Longo, Andréa Oliveira Nunes, Christian Cuello Barrios, Jane Maria Faulstich Paiva,* Virgínia Aparecida Silva Moris

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

* vimoris@ufscar.br

Recebido em 5 de julho de 2018. Aceito para publicação em 11 de dezembro de 2018

1. Introdução

2. Referencial Teórico

2.1. Os resíduos sólidos e as cooperativas de reciclagem

2.2. Emissão de gases do efeito estufa (GEE)

3. Metodologia

4. Resultados

4.1. Caracterização da cooperativa de reciclagem

4.2. Cálculos do consumo de Energia e de emissões de Gases do Efeito Estufa

5. Conclusões

1. Introdução

Um dos grandes problemas associados ao crescimento da população, industrialização e rápida obsolescência dos produtos está atrelada ao aumento da geração de resíduos e emissões de gases de efeito estufa (GEE).^{1,2}

Diferentes processos relacionados à geração e à gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSUs), direta e indiretamente, emitem os GEE, ou seja, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). As emissões ocorrem na aquisição de matérias-primas virgens e na manufatura de produtos. Ressalta-se, ainda, que o consumo de combustíveis fósseis é maior na extração

de recursos naturais virgens e na manufatura quando não ocorre a reciclagem de materiais. Também, ocorrem emissões devido às várias atividades de gestão de resíduos, incluindo a deposição em aterro e, especialmente, a incineração, além da compostagem e da reciclagem. A maior parte das emissões diretas é aquela de CH₄ e CO₂ resultante da deposição em aterro de recursos biodegradáveis. Há também as emissões de CO₂ e N₂O associadas à incineração, principalmente de plásticos.³

Assim, o gerenciamento desses resíduos sólidos tem sido um desafio para os governos e sociedades locais em todo mundo.⁴

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela lei 12.305

em 2010, tem como objetivo suprir a carência de uma legislação nessa área e proporcionar o gerenciamento adequado do descarte desses resíduos, tendo como base a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto entre o setor empresarial (fabricantes, importadores, comerciantes), o poder público e os demais segmentos da sociedade, no sentido do reconhecimento do resíduo sólido como um bem econômico que propicia trabalho, incentivando a indústria de reciclagem e, portanto, destacando-se o papel das cooperativas de reciclagem, prioritárias na realização de coletas seletivas.⁵

Assim, a gestão dos resíduos sólidos passa a ser de corresponsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana, visando integrar também os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida dos produtos.⁶ Neste sentido, a PNRS abrange a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.⁵

Dessa forma, a atuação das cooperativas de reciclagem torna-se crucial, pois são responsáveis pela destinação de uma quantidade expressiva de resíduos que seguem para os processos de reciclagem e transformação, agregando valor a esses materiais descartados, que podem ser reinseridos novamente na cadeia produtiva.^{7,8}

A reciclagem está diretamente relacionada aos três pilares do conceito de sustentabilidade: ambiental, econômico e social. No que tange a questão ambiental, a reciclagem geralmente contribui para a minimização dos resíduos descartados, diminuição do uso de matérias-primas virgens e redução das emissões de gases, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais.⁹ Em relação aos aspectos

econômico e social, as atividades de reciclagem geram emprego e ganhos financeiros, através da transformação de resíduos em novas matérias primas, como também proporciona geração de renda e inclusão social.¹⁰

Para mitigar qualquer impacto causado ao longo do processo produtivo é preciso conhecer onde este se localiza e seu verdadeiro potencial de nocividade. Neste sentido, existem técnicas de gestão ambiental eficazes que possibilitam uma visão abrangente sobre os potenciais impactos presentes desde a extração da matéria-prima até a disposição final de um produto, oferecendo benefícios além daqueles inerentes ao campo ambiental.¹¹ Para casos em que são avaliadas as emissões de gases do efeito estufa (expressa como CO₂-eq. ou GWP) e que não estão disponíveis os dados necessários para um estudo completo (geralmente países e de baixa e média renda) para a avaliação de todos os impactos ambientais, existem ferramentas que não necessitam dessa abordagem em grande escala.¹² Essas metodologias simplificadas existem e estão disponíveis tais como, Gestão de Resíduos Sólidos: Calculadora de Gases de Efeito Estufa (Solid Waste Management: Greenhouse Gas Calculator – SWM-GHG)¹³; o modelo de redução de resíduos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos¹⁴; e o método de cálculo Recuperação e Reciclagem de Materiais de Resíduos Sólidos (Recovery and Recycling of Material from Solid Waste – AMS-III.AJ).³ Para este estudo de caso serão utilizados valores provenientes de um estudo de Gutberlet e King derivados do último método citado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi identificar e quantificar a contribuição de uma cooperativa de reciclagem, localizada na cidade de Sorocaba-SP, na redução das emissões de GEE, por meio da coleta seletiva e triagem, considerando o encaminhamento dos materiais para processos de reciclagem, em detrimento da utilização de materiais virgens e da destinação destes resíduos sólidos para aterros.

2. Referencial Teórico

2.1. Os resíduos sólidos e as cooperativas de reciclagem

De acordo com a ABNT NBR 10004:2004, são considerados resíduos sólidos, os restos das atividades humanas de origem doméstica, hospitalar, comercial, industrial, agrícola, de serviços e de varrição, apresentados sejam no estado sólido ou semissólido (lodo), considerados inúteis, indesejáveis ou descartáveis, e não passíveis de tratamento convencional. São, ainda, incluídos nesta definição os lodos gerados de sistemas de tratamento de água, aqueles oriundos de equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.¹⁵

Sabe-se que o gerenciamento correto dos resíduos sólidos é um grande desafio no cenário atual e que, diferente do que acontecia há algum tempo, a disposição e o tratamento dos resíduos sólidos urbanos tornou-se uma preocupação, não se restringindo apenas à limpeza urbana, como anteriormente. De acordo com os dados do IBGE, apesar da evolução do número de municípios brasileiros que dispõem de maneira correta seus resíduos em aterros sanitários de 1,1 % em 1989 para 27,7 % em 2008, o problema ainda afeta grande parte do país, principalmente, os pequenos municípios.¹⁶

Para Reichert e Mendes¹⁷, a solução para esse desafio está no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, ou seja, uma maneira diferenciada de manejo dos materiais descartados, alinhada aos métodos de coleta e tratamento para lidar com todos os resíduos, desde a geração até o descarte dos mesmos, de modo a respeitar o tripé da sustentabilidade, ou seja, sendo ambientalmente efetivo, economicamente viável e socialmente aceitável.

Fagundes¹⁸ afirma que esse gerenciamento dos resíduos deve ser baseado em ações para se obter um sistema integrado de gestão de resíduos, proporcionando uma destinação adequada para os mesmos, sensibilização da comunidade para agir ao encontro da cidadania, através da educação ambiental. Além disto, deve-se viabilizar a coleta seletiva, organizando os catadores já existentes, propiciando emprego e geração de renda, visando desenvolvimento ambiental e social.

O trabalho das cooperativas de materiais ou resíduos sólidos pode envolver desde a separação/triagem desses materiais até os processos de reciclagem. Previamente a esses processos é essencial a coleta seletiva, na qual os cidadãos devem separar os resíduos recicláveis. Essa coleta consiste em uma separação primária, onde os materiais orgânicos (encaminhados para compostagem) são separados dos demais materiais, e esses para uma segunda separação (vidros, metais, plásticos, papeis, dentre outros). Finalmente, uma terceira separação ocorre nas cooperativas de reciclagem, já que alguns materiais podem ser divididos em subclasses, por exemplo, por diferença de cores, tipos, etc.¹⁹

Além disto, é papel das cooperativas de triagem armazenar os resíduos coletados, e separá-los de acordo com sua tipologia e, por fim, os resíduos são prensados e enfardados para serem comercializados.²⁰ Desta forma, as cooperativas se apresentam essenciais para o canal reverso dos resíduos sólidos, uma vez que contribuem para a redução do impacto ambiental provocado por esses resíduos, caso fossem descartados de maneira inapropriada ou até mesmo em aterros, enquanto poderiam ser reutilizados.²¹

2.2. Emissão de gases do efeito estufa (GEE)

Assim como processos produtivos estão relacionados à emissão direta ou indireta de GEE, a geração dos resíduos sólidos urbanos também está associada à emissão desses gases que contribuem para as mudanças climáticas. Os principais gases que contribuem para o efeito estufa e, conseqüentemente, nas mudanças climáticas são: o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂) e o óxido nitroso (N₂O), geralmente representados e apresentados nos cálculos de impactos ambientais na forma de CO₂ equivalentes - CO₂eq.^{22,23}

A emissão desses gases envolve desde a obtenção da matéria prima, revelando maior consumo de combustíveis fósseis quando da extração de recursos naturais virgens em detrimento dos provenientes de reciclagem, até a gestão de resíduos que pode ser: deposição em aterros, incineração, compostagem e reciclagem.²⁴⁻²⁸

Perceber e entender os resíduos como possíveis recursos materiais e valorizá-los, reduziria a geração dos mesmos, associados a uma mudança nos padrões de consumo.²⁹ Concomitantemente, o processo de reciclagem revela-se como uma prática para redução de emissões de GEE e conservação de energia quando comparado aos demais métodos de descarte, como a deposição em aterros ou incinerações, com exceção de quando a energia é recuperada durante esse último processo, substituindo os combustíveis fósseis.^{28,30-33}

Outro aspecto positivo do processo de reciclagem está relacionado à possibilidade do aumento da vida útil dos aterros. Também pode-se salientar as vantagens socioeconômicas, tais como as oportunidades de emprego, desde a coleta até a inserção do material reciclado no ciclo produtivo.^{34, 35}

No entanto, apesar dos processos de reciclagem permitirem tais benefícios, ainda é necessária uma avaliação do seu desempenho ambiental. A reciclagem é

considerada adequada para o meio ambiente quando os impactos ambientais do processo são menores que os impactos gerados pelas práticas de disposição em aterros sanitários e incineração, ou ainda menores que os impactos da produção de material virgem.³⁶

Atualmente estão disponíveis *softwares* que permitem a modelação e a análise de ciclos de vida complexos, de forma sistemática, como é o caso do *SimaPro*,³⁷ que também foi utilizado para avaliar as emissões de gases de efeito estufa no presente trabalho.

Em relação ao *SimaPro*, trata-se de um dos softwares mais utilizados para avaliar os impactos ambientais de produtos e serviços em todos os estágios do ciclo de vida e identificar os *hotspots* em todos os aspectos da cadeia de suprimentos, desde a extração de recursos, passando por produção, distribuição e utilização até o descarte final.³⁸ O *SimaPro* possui muitos conjuntos de dados de inventários de ciclo de vida (LCI),³⁹ dentre os quais o Ecoinvent 3, que foi utilizado neste estudo.

Gutberlet e King,³ quantificaram os fatores de emissão de CO₂ para geração de energia elétrica e consumo de combustíveis fósseis na produção de novos produtos para os seguintes plásticos: polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PEBD), politereftalato de etileno (PET) e poliestireno (PS); papel, papelão, vidro, alumínio e aço utilizando o método de Recuperação e Reciclagem de Materiais de Resíduos Sólidos. O estudo possibilitou os cálculos das reduções de emissões de GEE, resultantes dos processos de reciclagem que foram subtraídas daquelas que ocorreriam se esta atividade não existisse. O trabalho avaliou o consumo específico de combustível e eletricidade tanto para o material virgem quanto para o reciclado. O processo de reciclagem estudado³ envolveu a atividade realizada numa cooperativa na cidade de Ribeirão Pires – SP.

Para o cenário de referência, onde o processo de reciclagem inicialmente não foi

considerado, a quantidade obtida de novos produtos partiu de matéria-prima virgem. Já no segundo cenário, em que ocorre o processo de reciclagem, admitiu-se que todos os recursos foram reciclados e transformados em novos produtos, ocorrendo uma redução da energia necessária para a fabricação de novos recursos, diminuindo assim a emissão de GEE.³

Nos cálculos de Gutberlet e King,³ constam somente as emissões provenientes do processo de produção, considerando o consumo de combustíveis fósseis e energia elétrica. Esse estudo reportado na literatura³ é diferente da utilização de alguns *softwares*, como o *SimaPro*. No caso de softwares consegue-se aplicar a metodologia completa, que compreende todos os processos envolvidos, até mesmo transportes e perdas e consumo de água, por exemplo, sendo mais completo.³⁸ Para a avaliação das emissões de papel e papelão em aterro, foram considerados: cenários aeróbicos, fração de oxidação de CH₄ e fração de carbono degradável.³

Em outro trabalho reportado na literatura⁴⁰ foram analisadas qualitativamente as fontes de emissões de GEE na produção de um capacete de polipropileno (PP) em relação a um capacete de PP com fibras vegetais (CFV) de sisal. Nesse trabalho ressaltou-se a importância do pensamento do ciclo de vida, a partir de diferentes abordagens de escopo, fundamentais para a implementação de medidas no sentido de redução dos GEE e outros impactos ambientais. Como conclusão, os autores do trabalho⁴⁰ apontaram a necessidade de se quantificar as emissões de GEE associadas à cadeia do petróleo e à produção das fibras de sisal, através de uma avaliação do ciclo de vida (ACV), para poderem comparar de forma absoluta as emissões de GEE no escopo do ciclo de vida dos capacetes de PP e CFV. Assim, considera-se que a análise quantitativa poderia ser realizada através de banco de dados, encontrado em alguns softwares, como o *Simapro*.

3. Metodologia

O método adotado para condução deste trabalho foi o reportado no estudo de Miguel,⁴¹ primeiramente foi realizado o mapeamento de dados na literatura contemplando conceitos bases, assim como da quantidade de emissões geradas com a manufatura de novos produtos por meio da reciclagem ou de recursos virgens. Logo, foi realizado o planejamento do caso a ser estudado, definindo a cooperativa de reciclagem, localizada na cidade de Sorocaba - SP, como unidade de análise. Determinado isso, foram realizados contatos com o representante da cooperativa e visitas no local para obtenção e coleta de dados, por meio de observações e entrevistas. Concluídas essas etapas, o processo de triagem foi mapeado e as emissões de GEE e cálculos do consumo de energia elétrica para os materiais que passam pelo processo de triagem na cooperativa foram comparadas através do método de análise simplificado e também com a utilização de um *software*, no caso o *SimaPro*.

Através do método simplificado, é possível obter a quantidade de energia consumida seja na produção de materiais virgens ou reciclados, assim como a quantidade evitada (economizada) ao se usar matéria-prima reciclada. Para o cálculo das quantidades de cada material pelo método, os resíduos sólidos foram agrupados de acordo com tipo de material encontrado na literatura, sendo possível identificar a estimativa de quanto seria evitado de emissão de GEE na produção de novos produtos ao se utilizar materiais reciclados em detrimento dos materiais virgens, caso todo o material vendido pela cooperativa e que passou pelo seu processo de triagem fosse encaminhado para a reciclagem.

Para o método simplificado, os cálculos foram realizados conforme a equação (1).³

$$\left[\frac{\text{Emissões (CO}_2\text{ - eq)}}{\text{t de recursos brutos naturais}} * \text{Qtde de Material vendido (Caso fossem virgens)} \right]$$

$$- \left[\frac{\text{Emissões (CO}_2\text{ - eq)}}{\text{t de recursos reciclados}} * \text{Qtde de Material vendido (Os enviados para reciclagem)} \right]$$

= Estimativa da Redução de emissão de gases do efeito estufa. (1)

Através da utilização do *software*, é possível para todos os tipos de materiais obter valores das emissões por tonelada de recursos virgens, considerando os processos relacionados à obtenção do material desde a sua extração até o seu processo produtivo. No caso desses materiais serem encaminhados para o processo de reciclagem como se espera, se estaria evitando a produção de novas matérias-primas virgens, ou seja, deixarão de ser emitidos X toneladas de CO₂eq para produção de novos recursos.

Além disso, também é possível identificar as emissões de GEE que envolvem o processo de triagem da cooperativa. Para isso, foram coletados os gastos de energia e água do galpão de separação. Estes dados foram fornecidos em reais e a quantidade foi obtida através das taxas da CPFL Piratininga (que fornece energia elétrica para a cidade de Sorocaba-SP) e do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE – que fornece água para a cidade de Sorocaba-SP), adaptados de acordo com o consumo de cada mês.

No caso da água, esta é utilizada na alimentação, chuveiros e bebedouros disponibilizados no galpão. Já a energia elétrica, apresenta variação não só relacionada ao número de cooperados, mas também em função da diferença na quantidade de materiais, bem como os tipos, pois alguns não demandam processos que utilizam energia. Dentre os processos que utilizam energia elétrica na área de triagem estão: esteira, prensa, picotador, balança, bebedouro, *freezer* e chuveiro.

Para chegar aos valores somente para os materiais avaliados, foram divididos todos os gastos de energia e água igualmente para

tudo que é recuperado e vendido pela cooperativa em cada mês. Em seguida, foram multiplicados tais valores unitários encontrados pela quantidade de cada tipo de material avaliado nos métodos acima (Papel e Papelão, Alumínio, Vidro, PEAD, PP, PEBD, PET e PS).

Para esses valores totais de energia e água referente aos materiais reciclados pela cooperativa, com seu processo de separação (triagem), é possível estabelecer as toneladas de CO₂eq provenientes da energia elétrica e da água envolvida no processo.

4. Resultados

4.1. Caracterização da cooperativa de reciclagem

A Cooperativa de Reciclagem de Sorocaba (CORESO) conta com um grupo de 80 trabalhadores envolvidos, onde 30 destes atrelados ao processo de coleta e separação. Além das atividades de coleta e triagem, a CORESO também atua na reciclagem de alguns polímeros, como o PEAD (polietileno de alta densidade), PP (polipropileno), além de óleo de cozinha. No setor dos processos de reciclagem se encontram, aproximadamente, 50 trabalhadores, pois esse número pode oscilar em diferentes épocas do ano.

A cooperativa conta com dois caminhões que fazem a coleta seletiva do tipo porta-a-porta em alguns bairros na cidade de Sorocaba. Na Figura 1 é possível observar o

percentual médio de cada grande classe de material em relação ao total de quilogramas vendidos mensalmente pela CORESO após a triagem/separação, com base nos meses do ano de 2016.

Vale ressaltar que alguns materiais possuem maior peso envolvido como, por exemplo, o vidro; mas, a quantidade em volume desse material que passa pela cooperativa é bem menor que a de outros resíduos, como o papel.

O percentual de materiais dentro do processo de triagem, geralmente, não tem grande alteração e de acordo com a Figura 1 tem-se o papel, seguido do vidro e plásticos, como principais responsáveis pela quantidade em peso dos resíduos sólidos separados. O óleo e alguns tipos de plásticos seguem para o processo de reciclagem dentro da própria cooperativa e os demais são vendidos para outros locais que realizam o processamento desses materiais.

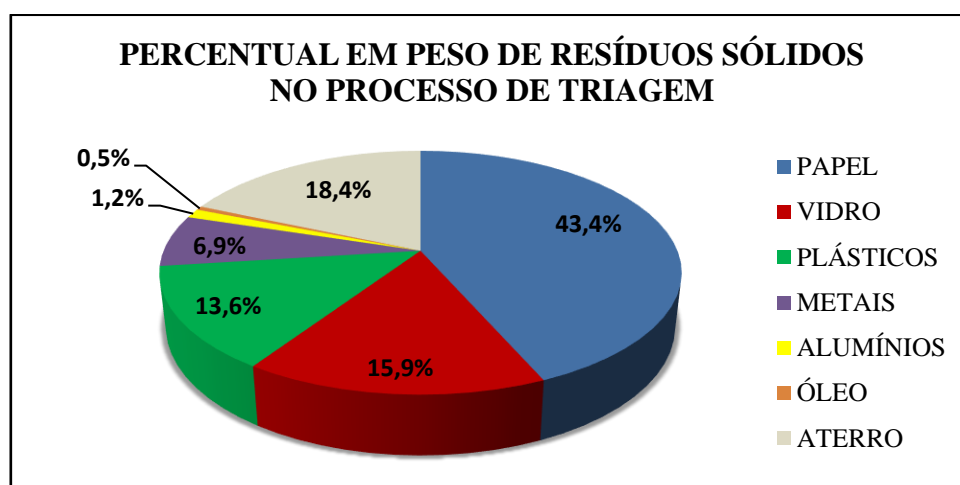


Figura 1. Percentual de Resíduos Sólidos no Processo de Triagem da CORESO

A Tabela 1 apresenta a quantidade em quilogramas (kg) de cada tipo de material

separado na cooperativa entre os meses de janeiro e agosto de 2016.

Tabela 1. Quantidade em Kg de cada tipo material no período entre janeiro e agosto de 2016

	Jan/16	Fev/16	Mar/16	Abr/16	Mai/16	Jun/16	Jul/16	Ago/16
PAPEL (kg)	50034	57800	41167	45029	45310	61063	48691	49633
VIDRO (kg)	0	16250	6460	13750	10360	21930	19292	17178
PLÁSTICOS (kg)	11344	16522	14739	18890	15203	20607	15732	13955
METAIS (kg)	7804	4770	7970	5460	7750	10390	5300	9760
ALUMÍNIOS (kg)	1086	1356	1158	1386	1183	2160	1192	1207
ÓLEO (kg)	600	830	465	560	530	720	780	310
TOTAL (kg)	70868	97527	71959	85075	80336	116869	90986	92043

Em relação ao processo dentro da cooperativa, a chegada do material proveniente da coleta seletiva acontece todos os dias através de dois caminhões da prefeitura do município. Os materiais chegam em *big bags* e são depositados em um grande galpão. Em seguida, os materiais são colocados em uma esteira de alimentação, que os transporta até outra grande esteira, onde ocorre o processo de triagem, de acordo com o tipo de material, em *bags* suspensas. Conforme as *bags*, com os

materiais separados, atingem sua capacidade máxima, alguns destes seguem para espera, até que sejam gerados volumes comerciais para destinação, e os outros são encaminhados para a prensa. No processo de prensagem, um operador é responsável por colocar os materiais de maneira manual na prensa, a fim de serem compactados (reduzindo o volume) em fardos para chegar ao cliente final, facilitando a logística para serem transportados aos clientes, ver figura 2.



Figura 2. Processo produtivo da empresa

4.2. Cálculos do consumo de Energia e de emissões de Gases do Efeito Estufa

Na tabela 2, é possível observar a quantidade em Kg coletada e separada pela CORESO,⁴² de janeiro até agosto de 2016, para os diferentes produtos reciclados e que foram destinados à venda. O alumínio (lata, chaparia, panela, bloco) representa uma pequena quantidade uma vez que a coleta desse material é feita por catadores individuais e já está bem estabelecida no Brasil, onde aproximadamente 98,4 % são reciclados.⁴³

Como na literatura foi encontrado somente valores de emissões de GEE para PEAD, PP, PEBD, PET, PS, Papel e Papelão, Vidro e Alumínio, para este estudo será englobado nessas categorias todos os tipos similares. Dessa forma, os materiais de Embalagem Longa Vida, Metais na sua totalidade, Óleo, PVC, Caixaria, Plásticos para Limpeza, Ráfia, não serão considerados nos cálculos das emissões de gases do efeito estufa.

Tabela 2. Quantidade de material separado e vendido pela CORESO em Kg

	MATERIAIS	JAN/16	FEV/16	MAR/16	ABR/16	MAI/16	JUN/16	JUL/16	AGO/16
PAPELÃO	Papelão 1	19700	18954	15215	22028	16174	22325,5	18618,5	18305,5
	Papelão 2	4695	1344	2863	6503	7032	14084	10433,5	5606,5
	Papel Arq. Ensacado	17064	24947,5	12097	9033	7801	9356	8169	15743,5
	Papel Arq. Picotado	2540	0	0	0	0	0	0	2353
	Papel Jornal	1767	310	0	0	0	0	513,5	2079,5
	Papel Jornal Picotado	0	4108,5	1542	2158	4831	5043,5	2716,5	985
	Papel Revista	2438	5802,5	6990	2753	6711	6133	5512	2408
	Embalagem Longa vida	1830	2333	2460	2554	2761	4120,5	2728	2152
ALUMÍNIO	Lata	1085,57	1355,79	1158,32	1385,71	1182,72	2159,55	1191,62	1206,73
	Chaparia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Panela	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bloco	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sucata de ferro	7804	4770	7970	5460	7750	10390	5300	9760
	Cobre Limpo	0	0	0	0	0	0	0	0
METAIS	Cobre Sujo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Persiana	0	0	0	0	0	0	0	0
	Metal Torneira	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inox 304	0	0	0	0	0	0	0	0
	Motor Geladeira	0	0	0	0	0	0	0	0
	Material Limpeza	0	0	0	0	0	0	0	0
ÓLEO	Óleo	600	830	465	560	530	720	780	310

	PET	2919	4495,5	3052	4217	3032	4189	2954,5	2568,5
	PET Óleo	200	459	351	383	516	435	287	824,5
	Aparas Preto	139	186	0	0	0	0	0	0
	Aparas Misto	1930	3390	2364	3351	3028	4582	2939	2004
	Aparas Cristal	1028	1915,5	1984	1692	1744	2536	2232,5	1958,5
	PET Branca	0	0	0	0	0	0	0	0
	PET Colorida	0	0	0	0	0	0	0	0
	PEAD Colorido	807	872	1081	1368	1003	1434	1200	1499,5
	PEAD Leitoso	691	467	719	1077	630	879	666,5	485
	PEAD Transparente	1417	1109,4	1675	1677	1389	1816	1338,5	1026,5
PLÁSTICO	PEAD Preto/Automotivo	22	84	221	82	95	111	49	242
	PP Colorido	1164	2143,5	1526	2239	1903	2572	2030	1357
	PP Branco	705	490	699	816	661	950	919,5	556
	PP Preto	209	292	329	554	165	413	530,5	403
	PP Cadeira	113	150,5	146	205	126	202	102	152
	PP Parachoque	0	0	0	0	0	0	0	0
	PVC/ Rígido	0	334	384	68	0	247	50	465
	PS/ Copinho	0	94	0	75	0	0	0	0
	Caixaria	0	40	208	153	42	11	0	45,5
	Plástico p/ Limpeza	0	0	0	0	0	0	0	0
VIDRO	Ráfia	0	0	0	933	869	230	433	368
	Caco Misto		16250	6460	13750	10360	21930	19292	17178
	Caco Branco	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	70867,57	97527,69	71959,32	85074,71	80335,72	116869,05	90986,62	92042,73

Dessa forma, em média 12,9 % do material reciclado para venda não serão avaliados nesse estudo. Além disso, a cooperativa também recebe grande quantidade de resíduos sólidos, que ao passar pelo processo de triagem, são encaminhados para aterros por não apresentarem valores comerciais (18,4 % em média) como, por exemplo, mangueiras, pneus, isopor, etc.

Para calcular as quantidades de cada material para a realização dos cálculos pelo

método simplificado, os resíduos sólidos foram agrupados de acordo com tipo de material encontrado na literatura.³ O agrupamento realizado está apresentado na Tabela 3. Em seguida, a partir dos dados encontrados na literatura,³ foram obtidos os valores das emissões de GEE e a energia economizada com a atividade de reciclagem.

Dessa forma, as quantidades agrupadas em quilogramas para cada tipo de material agrupado podem ser observadas na Tabela 4

Tabela 3. Agrupamento dos resíduos sólidos de acordo com tipo de material encontrado na literatura.

PEAD e PP	Papel e Papelão	Alumínio	PET e PS	PEBD	Vidro
PEAD Colorido	Papelão 1	Lata	PET	Aparas Preto	Caco Misto
PEAD Leitoso	Papelão 2	Chaparia	PET Óleo	Aparas Misto	Caco Branco
PEAD Transparente	Papel Arq. Ensacado	Panela	PET Branca	Aparas Cristal	
PEAD Preto/Automotivo	Papel Arq. Picotado	Bloco	PET Colorida		
PP Colorido e Preto	Papel Jornal		PS/ Copinho		
PP Branco	Papel Jornal Picotado				
PP Cadeira	Papel Revista				
PP Parachoque					

Para determinar as emissões de gases do efeito estufa através do *software SimaPro*, as quantidades acima para o PEAD, PP e para PET e PS, tiveram de ser separadas, já que o *software* fornece o cálculo para cada tipo de material específico. Como o PS se encontra em quantidades não significativas, não foi realizado o cálculo para este material no *software*. Assim, as quantidades utilizadas para esse método se encontram na Tabela 5.

matéria-prima reciclada, o que pode ser observado na Tabela 6. Para todos os materiais uma quantidade significativa de consumo de energia pode ser evitada com a reciclagem, exceto para o vidro, cuja obtenção de material reciclado também apresenta alto consumo de energia. Ainda assim, considerando todos os materiais obtidos na cooperativa uma redução do consumo de energia de 2125,31 MWh pode ser alcançada com o processamento dos materiais reciclados.

4.2.1. Método Simplificado

Primeiramente, através do método simplificado, foi possível obter a quantidade de energia consumida seja na produção de materiais virgens ou reciclados, bem como a quantidade evitada (economizada) ao se usar

Tabela 4. Quantidade em Kg de cada grupo de material para o cálculo com o método simplificado

Materiais	JAN/16	FEV/16	MAR/16	ABR/16	MAI/16	JUN/16	JUL/16	AGO/16	TOTAL
Papel e Papelão	48204,00	55466,50	38707,00	42475,00	42549,00	56942,00	45963,00	47481,00	377787,50
Alumínio	1085,57	1355,79	1158,32	1385,71	1182,72	2159,55	1191,62	1206,73	10726,01
Vidro	0,00	16250,00	6460,00	13750,00	10360,00	21930,00	19292,00	17178,00	105220,00
PEAD e PP	5128,00	5608,40	6396,00	8018,00	5972,00	8377,00	6836,00	5721,00	52056,40
PEBD	3097,00	5491,50	4348,00	5043,00	4772,00	7118,00	5171,50	3962,50	39003,50
PET e PS	3119,00	5048,50	3403,00	4675,00	3548,00	4624,00	3241,50	3393,00	31052,00

Tabela 5. Quantidade em Kg de cada grupo de material para o cálculo com o *software*

Materiais	JAN/16	FEV/16	MAR/16	ABR/16	MAI/16	JUN/16	JUL/16	AGO/16	TOTAL
Papel e Papelão	48204,00	55466,50	38707,00	42475,00	42549,00	56942,00	45963,00	47481,00	377787,50
Alumínio	1085,57	1355,79	1158,32	1385,71	1182,72	2159,55	1191,62	1206,73	10726,01
Vidro	0,00	16250,00	6460,00	13750,00	10360,00	21930,00	19292,00	17178,00	105220,00
PEAD	2937,00	2532,40	3696,00	4204,00	3117,00	4240,00	3254,00	3253,00	27233,40
PP	2191,00	3076,00	2700,00	3814,00	2855,00	4137,00	3582,00	2468,00	24823,00
PEBD	3097,00	5491,50	4348,00	5043,00	4772,00	7118,00	5171,50	3962,50	39003,50
PET	3119,00	5048,50	3403,00	4675,00	3548,00	4624,00	3241,50	3393,00	31052,00

Tabela 6. Quantidade evitada de energia em MWh com calculada a partir do método simplificado

Material reciclável	T de material vendido	Recursos Virgens		Recursos Reciclados		Energia Consumida evitada (MWh)
		Energia Consumida (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh)	Energia Consumida (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh)	
PEAD e PP	52,06	5,00	260,28	0,83	43,21	217,08
PEBD	39,00	5,84	227,78	0,83	32,37	195,41
PET e PS	31,05	5,28	163,95	0,83	25,77	138,18
Papel e Papelão	377,79	4,98	1881,38	1,47	555,35	1326,03
Vidro	105,22	4,83	508,21	4,19	440,87	67,34
Alumínio	10,73	17,60	188,78	0,70	7,51	181,27
TOTAL EVITADO						2125,31

Na Tabela 7, é possível identificar a estimativa de quanto seria evitado de emissão de gases do efeito estufa na produção de novos produtos ao se utilizar materiais reciclados em detrimento dos materiais virgens caso todo o material

vendido pela cooperativa e que passou pelo seu processo de triagem fosse, de fato, encaminhado para a reciclagem. Dessa forma, pode ser alcançada uma redução de 336,64 t (toneladas) de CO₂eq.

Tabela 7. Quantidade evitada de emissão de gases do efeito estufa (GEE) em t de CO₂eq

Material reciclável	T de material reciclado	Recursos Brutos Naturais (Virgens)		Recursos Reciclados		Redução de Emissões (t de CO ₂ eq)
		Emissões por t recursos (t de CO ₂ eq)	Emissões Totais (t de CO ₂ eq)	Emissões por t recursos (t de CO ₂ eq)	Emissões totais (t de CO ₂ eq)	
PEAD e PP	52,06	0,77	39,93	0,18	9,53	30,40
PEBD	39,00	0,91	35,34	0,18	7,14	28,20
PET e PS	31,05	0,81	25,25	0,18	5,68	19,56
Papel e Papelão	377,79	0,90	339,25	0,32	122,03	217,23
Vidro	105,22	0,94	98,38	0,92	97,01	1,37
Alumínio	10,73	3,87	41,53	0,15	1,65	39,88
TOTAL EVITADO						336,64

Outra análise realizada através do método simplificado é a quantidade de emissões

evitadas ao se impedir que o papel e o papelão sejam destinados aos aterros. Para o

caso da cooperativa CORESO, caso a quantidade avaliada seja encaminhada de fato para a reciclagem, serão poupados 2220,26 t de CO₂eq.

Somando esses valores, para a cooperativa estudada, seriam evitadas 2556,90 t de CO₂eq. Trata-se de uma quantidade considerável tendo em vista que estamos tratando de uma cooperativa, valor muito baixo de resíduos vendidos e analisados (615 t), quando comparado ao total aproximado gerado pela cidade de Sorocaba que é 16000 t/mês.⁴⁴ Além disso, nem todos os resíduos vendidos pela cooperativa foram analisados e, portanto, o valor poupado de emissões de gases do efeito estufa (GEE) seria possivelmente maior. De acordo com o site do Instituto Brasileiro de Florestas,⁴⁵ são necessárias 6 árvores para capturar 1 tonelada de CO₂. Fazendo uma comparação com a quantidade estimada evitada, caso os materiais não fossem destinados à reciclagem, seriam necessárias em torno de 15340 árvores para captar todos esses gases gerados.

Quando as emissões de GEE por tipo de material estudado são avaliadas, para todos

os casos, a produção a partir da reciclagem torna-se mais viável quando se trata de impactos ambientais. Em outras palavras, para todos os casos a utilização de produtos provenientes da reciclagem emitem menos GEE, em razão da não produção de matérias-primas virgens. Papel e Papelão foram os materiais reciclados que apresentaram uma redução das emissões mais significativa, isso sem considerar ainda suas emissões devido ao descarte em aterro (Figura 3). Por outro lado, o vidro que, embora apresente uma quantidade em quilos relevante do material que passa pelo processo de triagem na cooperativa e é vendido para reciclagem, apresenta baixa diferença quanto às emissões de gases entre reciclados e virgens, como mostrado na Figura 3. Ainda é possível salientar pela Figura 3, a significativa contribuição do alumínio que, apesar de aparecer em baixas quantidades na triagem da CORESO, apresenta grande participação na redução de emissão de gases, uma vez que possui uma taxa muito menor de emissões para reciclados em relação aos materiais virgens.

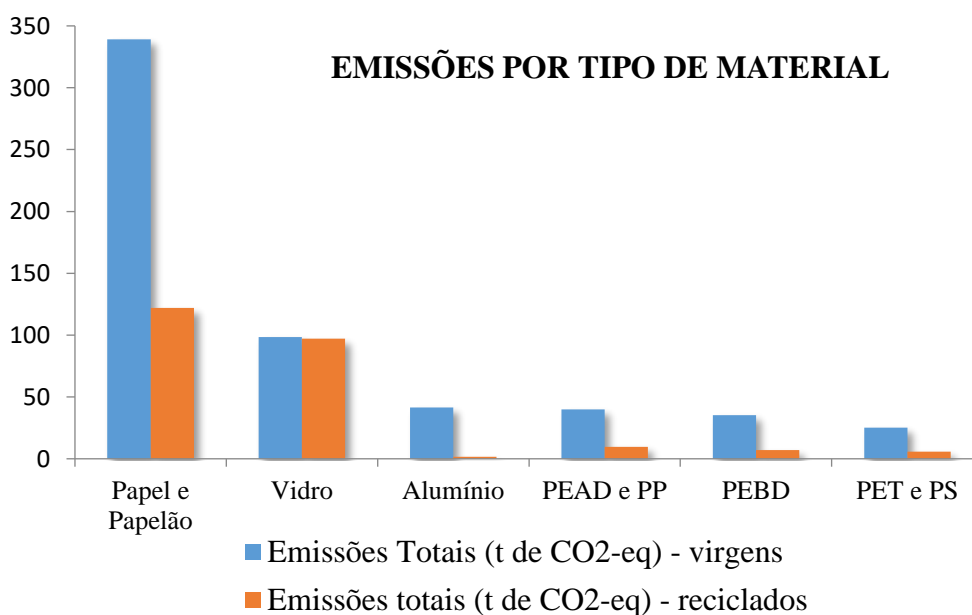


Figura 3. Emissões de gases por tipo de material para virgens e reciclados (método simplificado)

4.2.2. Utilização de Software

Utilizando o *software* SimaPro 8.2, para todos os tipos de materiais, foram obtidos valores maiores de emissões por tonelada de recursos virgens do que no método simplificado utilizado anteriormente, onde agora são considerados os processos relacionados à obtenção do material desde a sua extração até o seu processo produtivo. Além disto, nos dois casos os materiais Papel e Papelão fornecem os mais altos índices de emissão de GEE, lembrando que este tipo de material é o que apresenta maior volume dentre os que passam pela triagem dentro da cooperativa.

No método simplificado, o PP foi agrupado ao PEAD para abranger uma maior quantidade de plásticos, e também porque a

cooperativa não possuía informações isoladas do PP. Assim, através da utilização do *software*, pode-se considerar este tipo de material separadamente, tendo em vista seu alto nível de emissões geradas (segundo depois do Papel e Papelão) (Tabela 8). No total, caso esses materiais sejam encaminhados para o processo de reciclagem como se espera, evitando a produção de novas matérias-primas virgens, pode-se dizer que deixarão de ser emitidos 1755,04 t de CO₂eq para produção de recursos novos, como é observado na Tabela 8.

Outro ponto a se destacar é a significativa contribuição do Alumínio nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) em ambos os métodos utilizados (Tabela 8), ainda que apresente a menor quantidade dentre os vendidos pela cooperativa e avaliados nesse estudo.

Tabela 8. Quantidade de emissão de GEE para recursos virgens

Material reciclável	T de material vendido	Emissões por t recursos brutos (t de CO ₂ eq)
Papel e Papelão	377,79	680,71
PP	24,82	509,37
Alumínio	10,73	219,24
Vidro	105,22	110,06
PET	31,05	96,01
PEBD	39	84,97
PEAD	27,23	54,68
TOTAL		1755,04

Foi possível identificar a partir deste *software* as emissões de GEE que envolvem o processo de triagem da cooperativa. Para isso, foram coletados os gastos de energia e água do galpão de separação. Estes dados foram fornecidos em reais e a quantidade foi obtida através das taxas da CPFL Piratininga e do SAAE, adaptados de acordo com o consumo de cada mês.

Como pode ser observado na Tabela 9, o consumo é bastante variável no decorrer do ano. Essa variação é decorrente da mudança no número de cooperados, já que estes insumos estão diretamente ligados ao consumo destes.

Para chegar aos valores somente para os materiais avaliados, foram divididos todos os gastos de energia e água igualmente para tudo que é recuperado e vendido pela

cooperativa em cada mês. Em seguida, foram encontrados pela quantidade de cada tipo de material avaliado (Tabela 9).

Tabela 9. Quantidade de energia e água consumidas pelos materiais avaliados

	JAN/16	FEV/16	MAR/16	ABR/16	MAI/16	JUN/16	JUL/16	AGO/16	TOTAL
ENERGIA (KWh)	1614,00	1645,87	1156,10	1209,28	990,22	1091,96	1640,00	1673,15	11020,58
ÁGUA (m³)	67,93	19,27	10,12	34,56	7,17	19,89	8,10	11,89	178,95

Para esses valores totais de energia e água referente aos materiais estudados, a cooperativa com seu processo de separação (triagem) emite 2,46 t de CO₂eq, sendo 2,36 t provenientes da energia elétrica e 0,10 t da água envolvida no processo. Considerando o método anterior, em que seriam evitadas mais de 330 t de emissões e que de acordo com os resultados indicados pelo *software SimaPro*, caso não fossem reciclados, a produção de novas matérias-primas virgens emitiria 1755 t CO₂eq. Assim, essa quantidade de 2,46 t de CO₂eq emitida pelo processo de triagem da CORESO torna-se irrelevante na contribuição para impactos ambientais, ou seja, emite valores insignificantes para efeitos de cálculo de emissões em CO₂eq, ressaltando a importância do processo de reciclagem.

5. Conclusões

Neste trabalho foi possível identificar e quantificar a contribuição de uma cooperativa de reciclagem na redução das emissões de GEE, considerando a utilização dos materiais reciclados como matéria-prima em novos processos produtivos, em detrimento da utilização de materiais virgens.

Foram comparadas duas metodologias: uma simplificada e outra por meio do *software SimaPro*, com intuito de avaliar e quantificar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) dos materiais triados pela cooperativa, considerando que estes sejam encaminhados para o processo de reciclagem. Na primeira metodologia, os

resultados apresentaram-se significativos e positivos referente ao quesito emissões, quando comparados à produção de novos produtos com utilização de materiais reciclados e com materiais virgens. No caso, destacou-se a menor quantidade de emissões de gases para o meio ambiente com a realização dos processos de reciclagem. Já a segunda, apresentou quão significativas são as emissões geradas para se obter novos materiais através de matéria-prima virgem e o quanto a utilização de materiais reciclados deixaria de gerar em termos de emissões de GEE. Foi possível ainda identificar a partir deste *software* as emissões de GEE que envolvem o processo de triagem da cooperativa, concluído que essas emissões são insignificantes frente as emissões geradas na produção de materiais virgens.

Assim, este estudo contribuiu com dados relevantes envolvendo o processo de separação de resíduos, bem como sua eficiência, proporcionando à cooperativa comprovação positiva de sua atuação, para que obtenha maior credibilidade, devido a importância da reinserção de resíduos sólidos na cadeia produtiva.

Este trabalho desenvolvido pode, ainda, ser utilizado como base para realização de estudos em outras cooperativas que realizam a triagem de materiais, e adaptado para as quantidades de resíduos separadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Cooperativa de Reciclagem de Sorocaba (CORESO) pela

abertura e confiança para realização deste estudo. Os autores agradecem também ao apoio financeiro da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Referências Bibliográficas

- ¹ Gallardo, A.; Carlos, M.; Peris, M.; Colomer, F. J. Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study. *Waste Management* **2014**, *34*, 1920. [CrossRef]
- ² Xu, Z. Elomri, A.; Pokharel, S.; Zhang, Q.; Ming, X. G.; Liu, W. Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint. *Waste Management* **2017**, *64*, 358. [CrossRef]
- ³ Gutberlet, J.; King, M. F. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. *Waste Management* **2013**, *33*, 2771. [CrossRef]
- ⁴ Gutberlet, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. *Waste Management* **2015**, *45*, 22. [CrossRef]
- ⁵ Brasil, Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ⁶ Oliveira, L. N.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012 [Link]
- ⁷ Chaves, G. D. L. D.; Batalha, M. O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. *Gestão e Produção* **2006**, *13*, 423. [Link]
- ⁸ Lourenço, A. Reciclagem faz bem ao bolso e ao meio ambiente. *Jornal Cruzeiro do Sul*. Disponível em: <<https://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/318712/reciclagem-faz-bem-ao-bolso-e-ao-meio-ambiente-na-regiao-de-sorocaba>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ⁹ Hopewell, J.; Dvorak, R.; Kosior, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **2009**, *364*, 2115. [CrossRef]
- ¹⁰ Pacheco, E. B. A. V.; Ronchetti, L. M.; Masanet, E. An overview of plastic recycling in Rio de Janeiro. *Resources, Conservation and Recycling* **2012**, *60*, 140. [CrossRef]
- ¹¹ Finnveden, G.; Hauschild, M.; Ekvall, T.; Guinée, J.; Heijungs, R.; Hellweg, S.; Koehler, A.; Pennington, D. Suh, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* **2009**, *91*, 1. [CrossRef]
- ¹² Barton, J. R.; Issaias, I.; Stentiford, E. I. Carbon Making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Management* **2008**, *28*, 690. [CrossRef]
- ¹³ IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG (2009) Manual: SWM-GHG Calculator – Tool for Calculating Greenhouse Gases (GHG) in Solid Waste Management (SWM). Disponível em: <https://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/Spies.pdf>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ¹⁴ US EPA – United States Environmental Protection Agency. Solid waste management and greenhouse gases: a life-cycle assessment of emissions and sinks. 3. ed. Washington: US EPA. Disponível em: <<https://archive.org/details/solidwastemana ge00unit>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ¹⁵ ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. ABNT NBR 10004:2004. [Link]
- ¹⁶ IBGE - Área territorial oficial. Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02). Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/concla/resolucoes-atas.html>>. Acesso em: 22 novembro 2018.
- ¹⁷ Reichert, G. A.; Mendes, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em

- gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária Ambiental* **2014**, *19*, 301. [CrossRef]
- ¹⁸ Fagundes, D. C. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio – SP. *Sociedade & Natureza* **2009**, *21*. [CrossRef]
- ¹⁹ Zanin, M.; Mancini, S. D.; *Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia*, EdUFSCar: São Carlos, 2004.
- ²⁰ Brasil. Coleta Seletiva. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaeis/reciclagem-e-reaproveitamento>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ²¹ Souza, M. T. S. D.; Paula, M. B. D.; Souza-Pinto, H. D. O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. *Revista de Administração de Empresas* **2012**, *52*, 246. [CrossRef]
- ²² Gentil, E.; Christensen, T. H.; Aoustin, E. Greenhouse gas accounting and waste management. *Waste Management & Research* **2009**, *27*, 696. [CrossRef]
- ²³ Machado, S. L.; Carvalho, M. F.; Gourc, J-P.; Vilar, O. M.; Nascimento, J. C. F. do Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. *Waste Management* **2009**, *29*, 153. [CrossRef]
- ²⁴ Bogner, J.; Pipatti, R.; Hashimoto, S.; Diaz, C. et al. Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report – Working Group III (Mitigation). *Waste Management* **2008**, *26*, 11. [CrossRef]
- ²⁵ Diaz, R.; Warith, M. Life-cycle assessment of municipal solid wastes: development of the WASTED model. *Waste Management* **2006**, *26*, 886. [CrossRef]
- ²⁶ Finnveden, G.; Johansson, J.; Lind, P.; Moberg, A. Life cycle assessment of energy from solid waste – Part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production* **2005**, *13*, 213. [CrossRef]
- ²⁷ Holmgren, K.; Henning, D. Comparison between material and energy recovery of municipal waste from an energy perspective: a study of two Swedish municipalities. *Resources Conservation and Recycling* **2004**, *43*, 51. [CrossRef]
- ²⁸ Mohareb, A.; Warith, M.; Diaz, R. Modelling greenhouse gas emissions for municipal solid waste management strategies in Ottawa, Ontario, Canada. *Resources, Conservation and Recycling* **2008**, *52*, 1241 [CrossRef]
- ²⁹ Gutberlet, J. Informal and cooperative recycling as a poverty eradication strategy. *Geography Compass* **2012**, *6*, 19. [CrossRef]
- ³⁰ Björklund A.; Finnveden G. Recycling revisited – life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling* **2005**, *44*, 309. [CrossRef]
- ³¹ Chen, T. C.; Lin, C. F. Greenhouse gases emissions from waste management practices using life cycle inventory model. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *155*, 23. [CrossRef]
- ³² Campos, H. K. T. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling* **2014**, *85*, 130. [CrossRef]
- ³³ Morris, J. Comparative LCAs for curbside recycling versus either landfilling or incineration with energy recovery. *International Journal of Life Cycle Assessment* **2005**, *10*, 273. [CrossRef]
- ³⁴ Chester, M.; Martin, E.; Sathaye, N. Energy, greenhouse gas, and cost reductions for municipal recycling systems. *Environmental Science & Technology* **2008**, *42*, 2142. [CrossRef]
- ³⁵ Fehr, M.; Santos, F. C. Landfill diversion: moving from sanitary to economic targets. *Cities* **2009**, *26*, 280. [CrossRef]
- ³⁶ Witik, R. A.; Teuscher, R.; Michaud, V.; Ludwig, C.; Manson, J. A. E. Carbon fibre reinforced composite waste: an environmental assessment of recycling,

- energy recovery and landfilling. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* **2013**, *49*, 89. [CrossRef]
- ³⁷ Starostka-Patyk, M. New Products Design Decision Making Support by SimaPro Software on the Base of Defective Products Management. *Procedia Computer Science* **2015**, *65*, 1066. [CrossRef]
- ³⁸ PRé Consultants (2015). Disponível em: <<https://www.pre-sustainability.com/simapro>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ³⁹ Herrmann, I. T.; Moltesen, A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production* **2015**, *86*, 163. [CrossRef]
- ⁴⁰ Medeiros D. L.; Tavares, A. O. C.; Rozados, I. L. G.; dos Santos, E. S.; Viana, J. D. Ciclo de Vida de Compósitos com Fibras Vegetais: Uma Análise Qualitativa das Emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) do Compósito de Polipropileno com Fibra de Sisal. *Revista Virtual de Química* **2016**, *8*, 1166. [CrossRef]
- ⁴¹ Miguel, P. A. C., Adoção do estudo de caso na engenharia de produção. In: Miguel, P. A. C.; Fleury, Afonso; Mello, C. H. P.; Nakano, D. N.; Turrioni, J. B.; Ho, L. L.; Martins, R. A.; Pureza, V. M. M.; Morabito, R. "Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações". 1 ed. Elsevier: Rio de Janeiro, p. 129 – 143, 2007.
- ⁴² COOPERATIVA CORESO. Disponível em: <<http://coreso.webnode.com/>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ⁴³ Moraes, L. O Brasil é campeão. Disponível em: <<http://www.revistaecologico.com.br/materia.php?id=98&secao=1709&mat=1952>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ⁴⁴ Pelegrino, E. A meta é 100 % de coleta seletiva até 2035. Disponível em: <<http://drz.com.br/noticias/423-meta-e-100-de-coleta-seletiva-ate-2035.html>>. Acesso em: 22 junho 2018.
- ⁴⁵ Instituto Brasileiro de Florestas. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/component/content/article/72-uncategorised/64-compensacao-de-co2-com-plantio-de-florestas.html>>. Acesso em: 22 junho 2018