

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ERIC PEREIRA DA SILVA
JORGE PARRA
LUCAS CORREIA CELANDRONI
PEDRO ROMÃO VERTAMATTI
YAN EIKI AKAKI

**ANÁLISE DA LOGÍSTICA REVERSA DA BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA, A PARTIR DA QUEIMA DO BIOGÁS**

São Bernardo do Campo

2020

ERIC PEREIRA DA SILVA
JORGE PARRA
LUCAS CORREIA CELANDRONI
PEDRO ROMÃO VERTAMATTI
YAN EIKI AKAKI

**ANÁLISE DA LOGÍSTICA REVERSA DA BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA, A PARTIR DA QUEIMA DO BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Orientado pelo Professor Dr. Wilson de Castro Hilsdorf.

São Bernardo do Campo

2020

Análise da logística reversa da biomassa para produção de energia, a partir da queima do biogás / Eric Pereira da Silva...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2020.

54 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Wilson de Castro Hilsdorf.

1. Sustentabilidade. 2. Logística. 3. Circuito fechado da cadeia de suprimentos. I. Pereira da Silva, Eric. II. Parra, Jorge. III. Correia Celandroni, Lucas. IV. Romão Vertamatti, Pedro. V. Eiki Akaki, Yan. VI. de Castro Hilsdorf, Wilson, orient. VII. Título.

ERIC PEREIRA DA SILVA
JORGE PARRA
LUCAS CORREIA CELANDRONI
PEDRO ROMÃO VERTAMATTI
YAN EIKI AKAKI

**ANÁLISE DA LOGÍSTICA REVERSA DA BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA, A PARTIR DA QUEIMA DO BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Orientado pelo Professor Dr. Wilson de Castro Hilsdorf.

Comissão julgadora

Orientador e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

Data de aprovação

Família é o nosso maior bem. Exemplo de luta e perseverança, à Ana Lúcia Camargo Correia, querida tia e amiga, que tanto admiramos, dedicamos postumamente o resultado do esforço realizado ao longo deste trajeto.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não representa somente o fim de nossa graduação, mas sim o encerramento de uma etapa crucial em nossas vidas. Também pode ser entendido como o início de novos desafios e oportunidades. Neste momento, precisamos olhar para trás e sermos gratos à todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram para que findássemos esta jornada.

Neste sentido, agradecemos primeiramente à Deus, por nos conceder a vida, saúde e força necessária para que tivéssemos foco e persistência.

Gratidão aos nossos familiares, que são a base de nossas vidas. Sem o apoio destes, em diversas ocasiões, não seria possível que chegássemos tão longe. O amor incondicional de nossa família traz segurança e confiança para sempre buscarmos mais.

Por fim, agradecemos também a generosidade de nosso orientador, Professor Doutor Wilson de Castro Hilsdorf em compartilhar seu conhecimento, tempo e disposição a este trabalho. Este agradecimento se estende também a todo corpo docente do Centro Universitário FEI, que durante todo o período de nossa graduação se manteve à nossa disposição para que nos tornássemos profissionais e pessoas melhores.

“Sucesso não é o final. Fracasso não é fatal. O que conta é a coragem para continuar.”

Winston Churchill

RESUMO

A exploração indiscriminada que o homem vem fazendo do ambiente natural, além dos efeitos de práticas empresariais e do comportamento de consumo tem prejudicado o meio ambiente no qual habitamos. Para tentar atenuar os impactos negativos dessas atividades, tem ocorrido um crescente interesse sobre o tema consciência ambiental, logística reversa e sustentabilidade. Baseado nesses assuntos, este trabalho busca analisar a participação e responsabilidades dos indivíduos geradores de resíduos alimentares, no descarte apropriado e de forma sustentável, bem como sua interdependência, além de analisar como os stakeholders envolvidos no processo de recolhimento e transporte dos resíduos estão seguindo as diretrizes apropriadas. Para tal, foram analisadas as atuações das empresas LOGA e Essencis, sendo a primeira atuante no setor de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos domiciliares e de saúde urbanos gerados no Agrupamento Noroeste do Município de São Paulo e a segunda promovendo a destinação adequada de tais resíduos a partir da geração de energia renovável. Dessa forma foi realizado um estudo sobre a logística reversa da biomassa a qual ambas as empresas empregam esforços e concluído que tal atuação gera um impacto ambiental positivo, especialmente pela redução significativa de gás metano (CH₄) emitido graças às suas atividades.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Logística. Circuito fechado da cadeia de suprimentos.

ABSTRACT

The indiscriminate exploitation of the natural environment that man has been making, in addition to the business effects of practices and consumption behavior, has harmed the environment in which we live. In an attempt to mitigate the negative impacts of these activities, there has been a growing interest in the topic of environmental awareness, reverse logistics and sustainability. Based on these issues, this work seeks to analyze the participation and responsibilities of individuals that generate food waste, in appropriate and sustainable disposal, as well as their interdependence, in addition to analyze how the stakeholders involved in the process of collecting and transporting waste are following the appropriate guidelines. To this end, the performance of the companies LOGA and Essencis will be analyzed, being the first active in the sector of collection, transportation, treatment and final disposal of household and urban health waste generated in the Northwest Group of the Municipality of São Paulo and the second promoting the adequate destination adequate of such residues by renewable energy generation. Thus, a study was carried out on reverse biomass logistics, which both companies use efforts and concluded that such action generates a positive environmental impact, especially due to the significant reduction of methane gas (CH_4) emitted thanks to their activities.

Key words: Sustainability. Logistics. Closed loop supply chain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Relação das três atividades do CLSC | 21 |
| Figura 2 - Fluxos dos materiais dentro do CLSC | 22 |
| Figura 3 - As quatro alavancas estratégicas do CLSC..... | 24 |
| Figura 4 - Processo das usinas de triagem e compostagem..... | 28 |
| Figura 5 - Área de atuação da LOGA..... | 34 |
| Figura 6 - Ilustração do fluxo logístico estudado | 36 |
| Figura 7 - Fluxograma da logística reversa do material | 37 |
| Figura 8 - Reação de combustão completa do gás metano..... | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Relação de resíduo (<i>i</i>) com sua respectiva DOC..... | 32 |
| Tabela 2 - Cálculos de emissão de gases na coleta e transporte da biomassa | 40 |
| Tabela 3 - Cálculos de emissão de gases na decomp. da biomassa no aterro da Essencis | 42 |
| Tabela 4 - Cálculos de emissão de gases gerados pelo maquinário utilizado pela Essencis | 43 |
| Tabela 5 - Cálculos de emissão de gases gerados pela destin. do chorume gerado no aterro .. | 44 |
| Tabela 6 - Potencial de Aquecimento Global (PAG), com referência à resposta atualizada do decaimento para o modelo de Berna, do ciclo do carbono e concentrações atmosféricas futuras de CO ₂ mantidas constantes nos níveis atuais..... | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; |
| CLSC | Circuito Fechado da Cadeia de Suprimentos (do inglês: <i>Closed-Loop Supply Chain</i>); |
| CSS | Cadeia de Suprimentos Sustentáveis; |
| GCSS | Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentáveis; |
| GEEs | Gases do efeito estufa; |
| Limpurb | Limpeza Pública Urbana da Cidade de São Paulo; |
| LOGA | Logística Ambiental de São Paulo S.A.; |
| PAG | Potencial de Aquecimento Global; |
| UVS | Unidade de Valorização Sustentável; |
| WIOD | <i>World Input-Output Database</i> . |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---------------|--|
| $E_{i,g,y}$ | Emissões ou remoções de GEE do tipo g atribuíveis à fonte i durante o ano y , em t de CO ₂ ; |
| $C_{i,y}$ | Consumo do combustível i para o ano y , na unidade de medida u , sendo u igual a m ³ ou kg; |
| $PCI_{i,y}$ | Poder calorífico interno do combustível i para o ano y , na unidade de medida TJ/ u ; |
| $FE_{i,g,y}$ | Fator de emissão do GEE do tipo g aplicável ao combustível i no ano y , em t de GEE g /TJ; |
| PAG_g | Potencial de aquecimento global do GEE do tipo g , em t de CO ₂ e/t de GEE g ; |
| KM_y | Quilômetros rodados por ano y ; |
| $K_{i,y}$ | Consumo médio do combustível i por KM_y ; |
| N_i | Quantidade de caminhões participantes do CLSC no ano y ; |
| $E_{CH_4,y}$ | Emissões de CH ₄ atribuíveis à decomposição do resíduo disposto em aterros no ano y , em t de CH ₄ ; |
| QR_y | Quantidade de resíduos destinada ao aterro no ano y , em t; |
| $L_{o,y}$ | Potencial de geração de metano no ano y , em t de CH ₄ /t de resíduos; |
| OX_o | Fator de oxidação, adimensional; |
| MCF_o | Fator de correção do metano baseado na qualidade do aterro, adimensional; |
| $DOC_{média}$ | Valor do carbono orgânico degradável médio; |
| DOC_i | Carbono orgânico degradável no resíduo i ; |
| $\%_{o,i,y}$ | Fração da quantidade do resíduo i no ano y ; |
| $DOC_{f,y}$ | Fração de resíduo que se decompõe, adimensional; |
| F_{CH_4} | Fração de metano no biogás, adimensional. |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | OBJETIVOS DE PESQUISA..... | 16 |
| 1.2 | METODOLOGIA..... | 16 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 2.1 | SUSTENTABILIDADE..... | 17 |
| 2.1.1 | Sustentabilidade na cadeia de suprimentos | 19 |
| 2.2 | CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN..... | 20 |
| 2.3 | LOGÍSTICA REVERSA..... | 25 |
| 2.4 | LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS URBANOS..... | 26 |
| 2.4.1 | Coleta e transporte | 27 |
| 2.4.2 | Transbordo e triagem | 28 |
| 2.4.3 | Disposição final | 28 |
| 2.5 | ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL DA CADEIA ATRAVÉS DE CÁLCULOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA..... | 29 |
| 2.5.1 | Emissão de CO₂ nas etapas que compõem a cadeia | 30 |
| 2.5.2 | Emissão de CH₄ na etapa da decomposição de resíduos em aterros | 31 |
| 3 | PESQUISA DE CAMPO | 33 |
| 3.1 | EMPRESAS AVALIADAS..... | 33 |
| 3.1.1 | LOGA | 33 |
| 3.1.2 | Essencis | 34 |
| 3.2 | COLETA DE DADOS..... | 35 |
| 3.3 | ETAPAS DO CICLO..... | 36 |
| 3.3.1 | Coleta e transporte de resíduos | 38 |
| 3.3.2 | Decomposição, captação e tratamento dos gases | 38 |
| 3.3.3 | Geração de energia elétrica através do biogás | 39 |
| 3.4 | ANÁLISE DA PESQUISA DE CAMPO..... | 39 |
| 3.4.1 | Coleta e transporte da biomassa | 39 |
| 3.4.2 | Decomposição da biomassa no aterro da Essencis | 40 |
| 3.4.3 | Maquinário utilizado na empresa Essencis | 43 |
| 3.4.4 | Destinação do chorume gerado no aterro | 43 |
| 3.4.5 | Resultados | 45 |
| 4 | CONCLUSÃO | 47 |

| | |
|--|-----------|
| REFERÊNCIAS..... | 48 |
| APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS..... | 53 |

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem ocorrido um maior interesse sobre o tema “consciência ambiental”, o qual pode ser creditado ao amplo reconhecimento da atual crise pela qual passa o meio ambiente. Segundo Azevedo et al. (2010), tal crise se dá pela exploração indiscriminada que o homem vem fazendo do ambiente natural, além dos efeitos de práticas empresariais e do comportamento de consumo. Apesar do descarte inadequado de lixo ser proibido no Brasil desde 1954, pela Lei 2.312 de 3 de setembro (BRASIL, 1954), pelo Código Nacional da Saúde, a situação real no país tem lacunas.

Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2013) cerca de um terço dos alimentos produzidos para consumo humano, aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas, são desperdiçados anualmente. Tal desperdício alimentar acarreta a emissão de gases, os quais são equivalentes à poluição por dióxido de carbono gerada por todo o parque automotivo do mundo, pois, o óxido nitroso e o metano, resultantes da degradação do material orgânico, são muito mais nocivos à camada de ozônio do que o gás carbônico.

De acordo com os resultados alcançados no estudo “Lixão a Céu Aberto: Implicações Para o Meio Ambiente e Para a Sociedade” (SOUSA *et al.*, 2019), grande parte das cidades brasileiras ainda utilizam o lixão a céu aberto, fazendo o descarte do lixo de maneira inadequada. Além disso, neste estudo comprovou-se que o lixão traz impactos negativos ao meio ambiente e sociedade, comprometendo a qualidade das águas, solos e ar, como também da saúde humana.

Como alternativa para o despejo de resíduos gerados, existem os aterros sanitários. De acordo com a norma NBR 8419/1992 (ABNT, 1992), aterro sanitário é uma técnica utilizada para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, a qual visa prevenir danos à saúde pública e ao meio ambiente, minimizando os impactos ambientais. O método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, recebendo tratamento no terreno (impermeabilização e selamento da base com argila e mantas de PVC). Assim, o lençol freático e o solo ficam protegidos da contaminação do chorume, que é coletado e tratado no local ou por empresas especializadas, e o gás metano é coletado para armazenamento ou queima.

Para o material orgânico chegar no aterro sanitário utiliza-se a especialidade administrativa da logística para coordenar e facilitar o transporte desse material. Dessa forma, análises sobre Circuito Fechado da Cadeia de Suprimentos (do inglês: *Closed-Loop Supply*

Chain, CLSC) se tornam relevantes em virtude da necessidade iminente de se reduzir os danos ambientais em todo o planeta e solucionar questões sanitárias, as quais impactam negativamente o bem estar e saúde de grande parte da população. Este modelo está fundamentado nos conceitos de economia circular, possuindo o objetivo de reutilizar, consertar e reciclar produtos no final do ciclo de vida, dando um novo destino: a reinserção na cadeia produtiva (MILLER, 2013).

1.1 OBJETIVOS DE PESQUISA

O estudo em questão teve como objetivo mensurar o impacto ambiental da logística reversa da biomassa gerada em uma região da Grande São Paulo para produção de energia a partir da queima do biogás, utilizando cálculos de emissão dos gases de efeito estufa envolvidos neste processo.

Para balizar este estudo, 2 objetivos específicos foram definidos:

- a) analisar a participação e responsabilidade dos indivíduos geradores de resíduos alimentares no descarte apropriado e de forma sustentável, bem como sua interdependência;
- b) analisar como os *stakeholders* envolvidos no processo de recolhimento e transporte dos resíduos estão seguindo as diretrizes apropriadas a fim de corroborar com um menor impacto ambiental e entender as barreiras e os motivadores inerentes à sua prática.

1.2 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, foram estudados os fatores que envolvem a geração da matéria prima utilizada na produção do biogás. A partir do estudo desses fatores, entendeu-se onde se inicia a cadeia de suprimentos, a qual torna-se cíclica, e a responsabilidade intrínseca a cada uma das partes envolvidas, desde os geradores de resíduos alimentares até a logística empregada no transporte de tais resíduos para aterros. Posteriormente, a partir da identificação dos *stakeholders* de uma empresa real, que utiliza da biomassa para a produção de energia a partir da queima do biogás, foi mapeada a logística reversa da cadeia de suprimentos e compreendido a atividade realizada por cada empresa, além de como estas conectam e se sobrepõem, para dessa forma avaliar os impactos ambientais da obtenção de biogás.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Ribeiro (2011), o referencial teórico é responsável por permear o trabalho de pesquisa, construindo o artigo empírico. É a base sólida que possibilita a criação de um conhecimento que seja pautado pelo valor acadêmico. Esse instrumento visa ser o apoio imprescindível para que nenhum conceito importante que componha a pesquisa seja excluído.

O referencial teórico contido no presente trabalho foi construído tendo como alicerce as plataformas: Mendeley, *Web of Science* e Google Acadêmico. Em termos de estrutura organizacional, a divisão se deu entre os subtemas Sustentabilidade, *Closed Loop Supply Chain*, Logística Reversa, Biomassa e Logística Reversa da Biomassa.

2.1 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade tornou-se presente no entendimento da sociedade a partir da assimilação perante a existência de uma crise ambiental global. As raízes dessa consciência se deram na década de 1950, momento em que a poluição nuclear se mostrou um dano ambiental mundial. A partir dessa percepção, um longo caminho foi percorrido até a composição e conscientização atual sobre os impactos ambientais e sociais por consequência do desenvolvimento (NASCIMENTO, 2012).

Para que seja plausível agregar de forma saudável o desenvolvimento socioeconômico com os impactos gerados na natureza pelo mesmo, criou-se o conceito de sustentabilidade.

Sustentabilidade é o conjunto de processos e ações destinadas a manter a vitalidade e a integridade do Planeta Terra, abrangendo a preservação dos ecossistemas e os elementos físicos, químicos e ecológicos que os compõem, possibilitando a existência e a reprodução da vida, concomitantemente ao atendimento das necessidades das presentes e também futuras gerações, e a continuidade a expansão e realização das potencialidades da civilização humana em suas expressões (BOFF, 2017).

Sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável popularizou-se mundialmente a partir de 1987, quando foi utilizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas em seu relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundtland. O relatório dessa Comissão vem difundindo, desde então, o conceito de desenvolvimento sustentado, que passou a figurar sistematicamente na semântica de linguagem internacional, servindo como eixo central de pesquisas realizadas por organismos multilaterais e, mesmo, por grandes empresas (CLARO *et al.*, 2008).

Sendo assim, entende-se inicialmente que a sustentabilidade abrange o equilíbrio entre ascensão e aperfeiçoamento necessário no contexto socioeconômico realizando exploração de

diversos recursos, com a responsabilidade de resguardar e gerir corretamente a fonte de provimento dessa ascensão, que é o meio ambiente.

Ainda, é relevante mencionar que a população mundial cresce exponencialmente. Segundo o relatório *Perspectivas Mundiais de População 2019: Destaques*, publicado por ONU (2019), “a população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos”. Com viés de que as próximas gerações tenham meios de dar continuidade à vida, é necessário buscar o ponto de equilíbrio entre a utilização dos recursos naturais, em benefício do próprio bem estar, e a conservação e preservação do meio ambiente (TEIXEIRA, 2007).

Para tanto, é primordial que o conceito de sustentabilidade seja implementado de forma eficaz, sendo concretizado nos mais diversos setores sociais e estimulando a consciência coletiva para que seja desenvolvida a educação ambiental. Cavalcanti (2001) entende que para uma política ser efetivamente envolvida com a sustentabilidade, deve desencorajar aquilo que cause ameaças à saúde de longo prazo, ao ecossistema e à base biofísica da economia, elencando a ineficiência, lixo, poluição, uso excessivo ou garimpo de recursos renováveis, dissipação de recursos esgotáveis.

Sendo assim, é fundamental que haja a modificação de diversos aspectos da vida social e também econômica, e segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, é essencial que os padrões de consumo sejam mantidos dentro do limite de interferência que o meio natural é capaz de suportar; que as necessidades humanas sejam atendidas de modo igualitário, assegurando a todos as mesmas oportunidades; que a evolução demográfica esteja em equilíbrio com o potencial produtivo dos ecossistemas; que os recursos não-renováveis sejam utilizados de modo racional, com ênfase na reciclagem e no uso eficiente, de modo que não se esgotem antes de haver substitutos adequados; entre outros (AFONSO, 2006).

Três vertentes de sustentabilidade podem ser elencadas, nomeadas de Tripé da Sustentabilidade (em inglês: *Triple Bottom Line*). De acordo com Nascimento (2012), essas vertentes abrangem a esfera ambiental, econômica e social. A primeira defende o modo de consumo a partir da produção com a cautela de proteger os ecossistemas, para que eles sejam capazes de se autorreparar. A sustentabilidade econômica defende o desenvolvimento de produção e consumo da economia por meio de recursos naturais, incentivando a inovação tecnológica com o viés de reduzir e eliminar o combustível fóssil de energia. Por fim, Nascimento (2012) também discorre sobre o desenvolvimento sustentável social, que abrange o entendimento de que à sociedade seja assegurado o necessário para uma vida digna,

juntamente com a postura de não absorção de bens, recursos naturais energéticos que sejam prejudiciais a terceiros.

Como dispõe Oliveira (2012), pode-se refletir que a questão ambiental e sua força no âmbito social atual, assegura uma postura mais cautelosa por parte do ser humano e sua relação com a natureza e o meio ambiente, uma vez que todos esses universos estão estreitamente ligados. A sociedade, apropriando-se do papel de consumidor, deve reexaminar suas noções e condutas tendo em vista a necessidade de sustentabilidade. Para tanto, há técnicas e tecnologias disponíveis para a necessidade de proteção do meio ambiente, tais como a racionalização do consumo, destinação de dejetos e conservação de ambientes essenciais.

2.1.1 Sustentabilidade na cadeia de suprimentos

Cadeia de suprimentos pode ser definida como uma rede capaz de englobar diversas empresas que são responsáveis por diversas etapas, sendo elas de formação e comercialização de certo serviço ou produto, visando a entrega à um cliente final (SCAVARDA; HAMACHER, 2001).

Como destacado por Pagell e Wu (2009 apud DIAS, 2014), a sustentabilidade imposta na prática, no âmbito da cadeia de suprimentos, exige o cultivo e integração de valores novos, aliados às capacidades e comportamentos. Para tanto, é imprescindível que haja uniformidade entre os modelos de negócio e os elementos socioambientais, por meio da capacidade organizacional de inovação, bem como da orientação gerencial que trará a sustentabilidade.

Dias (2014) discorre sobre a Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentáveis (GCSS), que é feita através da gestão de fornecedores e de produtos, possibilitando a obtenção de inovações que sejam voltadas para a sustentabilidade, abrangendo melhorias ou novos produtos, além de processos e negócios que promovam benefícios econômicos, ambientais e sociais.

Estamos vivendo em uma época de crescimento em ritmo exponencial. A população do mundo aumenta, mas os recursos naturais continuam sendo explorados e consumidos de forma desenfreada. Como consequência, as matérias-primas estão ficando cada vez mais caras e escassas, obrigando as empresas a procurarem novos métodos de produção. Para solucionar esse problema, criou-se o conceito da Cadeia de Suprimentos Sustentável (CSS). O objetivo é desenvolver uma cadeia capaz de se sustentar, sem afetar o meio ambiente (ABRANTES; GANDOLPHO, 2015).

Lastres et al. (2012) discorrem sobre o fato da responsabilidade do destino do produto, posteriormente à entrega do mesmo aos clientes, ligando-se ao fato do impacto ambiental que é produzido pelos resíduos que são gerados ao longo de todo o processo de produção,

juntamente do momento após o consumo do produto. Nesse entendimento se complementa a visão sustentável em relação à cadeia de suprimentos, tendo em vista que o pensamento moderno está cada vez mais alinhado com as perspectivas de um mundo preenchido pelo desenvolvimento sustentável, onde os consumidores atentam-se cada vez mais para o produto que está sendo consumido desde sua essência.

Nessa linha de raciocínio, portanto, entende-se pela necessidade da presença da sustentabilidade na execução de produtos e serviços, servindo como critério fundamental no momento de conquista do mercado (FARIAS; CAMPOS, 2015).

2.2 CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN

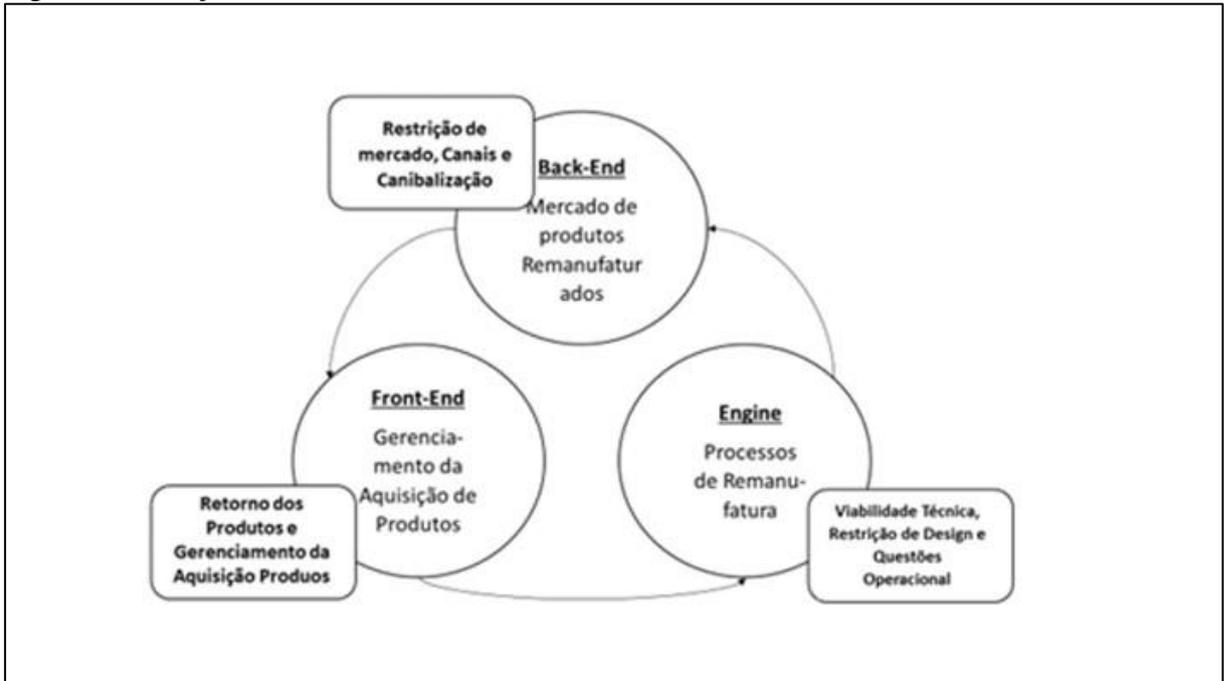
O *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) vem, com o passar do tempo, ganhando relevância tanto no meio acadêmico quanto no meio corporativo, devido ao crescimento de iniciativas e preocupações ambientais, e necessidades das empresas de se tornarem mais competitivas, aliando dois aspectos importantes da sustentabilidade: melhor rendimento econômico e diminuição dos impactos ambientais (GURTU *et al.*, 2016).

O CLSC define o design otimizado da cadeia, controla e opera o sistema com o intuito de maximizar a criação de valor de um produto durante todo ciclo de vida (GUIDE; WASSENHOVE, 2009). Também denominado pelas literaturas como Circuito Verde da Cadeia de Suprimentos (do inglês: *Green Loop Supply Chain*), visa à prevenção da poluição e do impacto que os materiais provenientes de fábricas podem causar para o meio ambiente (SHEKARI *et al.*, 2011). Estima-se que com a implementação do CLSC, há uma redução de 45% a 60% nos custos empresariais, pelo uso de insumos reutilizados, evitando cerca de 300.000 toneladas de materiais em aterros sanitários (SAVASKAN *et al.*, 2004).

Segundo Gurtu *et al.* (2016) as atividades desse modelo de suprimentos podem ser divididas em três grandes etapas (Figura 1):

- a) *front end*: envolve a área de gerenciamento da coleta de produtos devolvidos, e devido à alta complexidade e diversidade em que os materiais retornam em todo seu ciclo de vida, torna-se atividade fundamental para uma boa estratégia de CLSC;
- b) *engine*: consiste na recuperação de valor, pelos quais os produtos são remanufaturados dentro das conformidades técnicas para que possam ser reinseridos no mercado;
- c) *back end*: nessa etapa os produtos já passaram pelo processo da refabricação e são recolocados no mercado para um novo ciclo de vida.

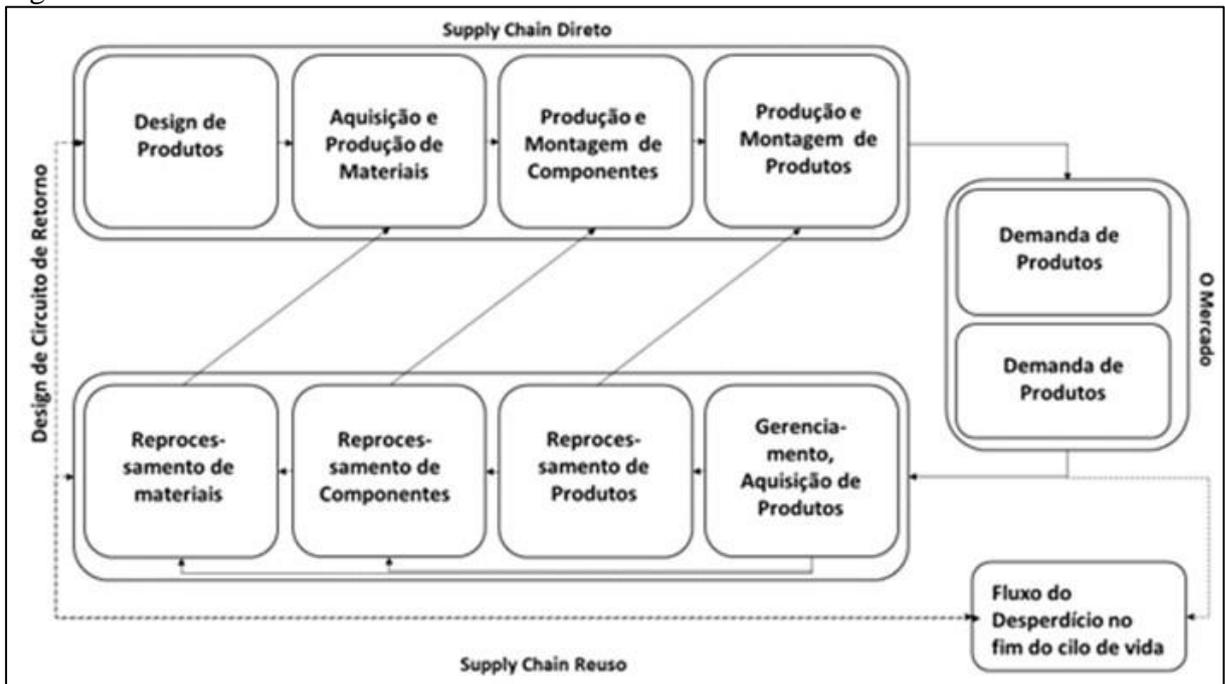
Figura 1 - Relação das três atividades do CLSC



Fonte: Autores “adaptado de” Gurtu et al., 2016

Para que se consiga aplicar ou melhorar as estratégias de CLSC de suas respectivas empresas, maximizando a reutilização de produtos, materiais, ou componentes de uma cadeia produtiva, os responsáveis são expostos a alguns desafios do setor. Dentre esses desafios podemos citar, principalmente, as especificidades de cada componente reutilizado, seja ele na recuperação ou na recolocação no mercado. Na Figura 2 é possível visualizar os diversos caminhos que os materiais podem ter durante o ciclo (GURTU *et al.*, 2016).

Figura 2 - Fluxos dos materiais dentro do CLSC



Fonte: Autores “adaptado de” Gurtu et al., 2016

Em comparação com os meios tradicionais de cadeia de suprimento e a logística reversa, o CLSC possui uma gama maior de atividades relacionadas, pelo fato de gerenciar tanto o abastecimento quanto o fluxo reverso (SHEKARIAN, 2020). Segundo Khor e Udin (2012), o objetivo do CLSC consiste na recuperação de valor. As atividades seguintes têm como objetivo maximizar a capacidade econômica e funcional de componentes e materiais. Existem cinco opções para recuperação:

- a) reparo: há correção e substituição dos componentes defeituosos a fim de restaurar e retornar sua funcionalidade;
- b) reforma: quando alguns componentes de um conjunto são desmontados e substituídos por peças, a fim de retornar às especificidades do produto;
- c) remanufatura: é o processo em que quase todos os componentes são substituídos, mantendo-se a qualidade do conjunto original;
- d) reciclagem: é o processo em que são recuperados materiais reciclados de produtos usados, e transformando em um novo produto;
- e) canibalização: é o processo em que alguns componentes após passar por um reparo ou remanufatura, são realocados em outro conjunto.

Devido à alta complexidade de coordenação dos participantes do CLSC, a implementação dessa cadeia de abastecimento é dependente do interesse de todos. Portanto,

segundo Kazemi et al. (2019), há diversos fatores que afetam quantitativamente a formulação de um CLSC, os quais podem ser divididos em cinco grandes grupos:

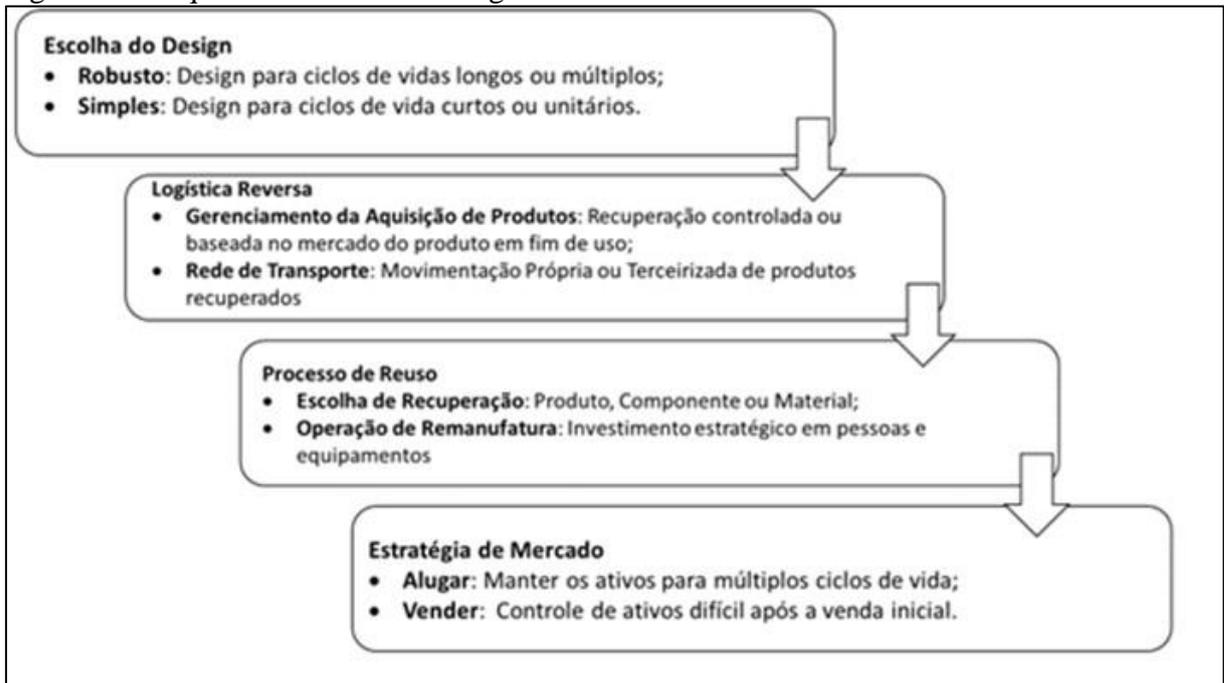
- a) econômicos: envolvem custos empresariais com o propósito de favorecer e incentivar o retorno dos produtos, sendo eles propagandas, descontos e serviços de pós-venda;
- b) ambientais: envolvem fatores que estão ligados às questões socioambientais, visando à diminuição da poluição que as atividades empresariais podem causar ao meio ambiente, sendo eles a quantidade de emissão de carbono, impactos ambientais e regulações restritivas, e atividades sustentáveis;
- c) incentivos: envolvem mecanismos que incentivam e aumentam a produtividade do CLSC, podendo ser provida pelo Governo ou pelas partes integrantes da cadeia, através de subsídios, contratos, recompensas e penalidades;
- d) financeiros: são fatores que estão correlacionados ao fluxo de caixa das empresas, tornando preços de insumos e taxas voláteis, conseqüentemente impactando nas decisões estratégicas do CLSC. Sendo esses fatores o coeficiente de aversão aos riscos, taxas de licenciamento e taxas de franquias;
- e) outros: são fatores que não se enquadram nos grupos anteriores mas que impactam na funcionalidade da cadeia, como o sistema de informação em que os fluxos de informações necessitam estar integrados entre todos os participantes; controle de estoques que auxiliaria o aproveitamento evitando desperdício; as taxas dos 3D's que englobam as taxas dos itens defeituosos, taxa de deterioração e taxa de depreciação que impactam na necessidade de estrutura para absorver o volume do retorno dos materiais; entre outros.

Segundo Gurtu et al. (2016), empresas que desejam aplicar o CLSC devem balizar suas escolhas em quatro alavancas estratégicas (Figura 3):

- a) escolha do design: nesse processo, pelo produto e seus respectivos componentes é possível determinar o valor recuperável e a definição do design da cadeia, podendo ser simples ou robusta;
- b) logística reversa: nessa etapa há o gerenciamento do retorno dos produtos, onde precisa-se mapear os meios de recuperação e de destino, além da parte de transporte para movimentação do material na cadeia;
- c) processo de reutilização: envolve a escolha do nível de reutilização, podendo ser por componentes, produtos ou materiais, o que está estreitamente ligado ao investimento necessário tanto em mão de obra, quanto em recursos;

- d) estratégia de mercado: nessa última etapa, a reinserção dos produtos está diretamente comprometida com a existência de um mercado, e a definição de se a empresa irá comercializar ou alugar, estão relacionadas a estratégia que a empresa irá usar.

Figura 3 - As quatro alavancas estratégicas do CLSC



Fonte: Autores “adaptado de” Gurtu et al., 2016

No entanto, alguns estudos indicam que, em certos casos, apenas os benefícios advindos do CLSC não são suficientes para a implementação (JABER *et al.*, 2013). Segundo Zhang et al. (2018) o auxílio do Governo, seja por uma política de recompensas ou política de penalidades, tornam-se essenciais para atratividade e ganho de competitividade por parte das empresas que implementaram o CLSC. Por exemplo, na província de Liuyang, na China, o Governo disponibilizou um subsídio para motivar empresas a construírem uma área de remanufatura cobrindo 20% de todo investimento em construção e em equipamentos.

Em seu estudo, Wang e Deng (2016) desenvolveram dois modelos de CLSC, um deles sem auxílio do Governo e o outro com o mecanismo de recompensas e penalidades (RPM). Analisando a decisão, o modelo utilizando o RPM foi mais efetivo e favoreceu a prática de remanufatura e reciclagem.

2.3 LOGÍSTICA REVERSA

De acordo Leite (2003), logística reversa é definida como:

uma nova área da logística empresarial, a qual objetiva-se a equacionar a multiplicidade de aspectos logísticos do retorno ao ciclo produtivo destes diferentes tipos de bens industriais, dos materiais constituintes dos mesmos e dos resíduos industriais, por meio da reutilização controlada do bem e de seus componentes ou da reciclagem dos materiais constituintes, dando origem a matérias-primas secundárias que serão reintegradas ao processo produtivo.

A natureza do processo de logística reversa, ou seja, quais as atividades serão realizadas, dependem do tipo de material e do motivo pelo qual estes entram no sistema. Dessa forma, Shibao et al. (2010), resumem as atividades da logística reversa em cinco funções básicas:

- a) implantação, planejamento e controle do fluxo de informações e de materiais do ponto de consumo ao ponto de origem;
- b) movimentação de produtos na cadeia produtiva, na direção do consumidor para o produtor;
- c) busca de uma melhor utilização de recursos, seja reduzindo o consumo de energia, seja diminuindo a quantidade de materiais empregada, seja reaproveitando, reutilizando ou reciclando resíduos;
- d) recuperação de valor;
- e) segurança na destinação após utilização.

Segundo Lacerda (2002), o escopo e a escala das atividades de reciclagem e reaproveitamento de produtos e embalagens têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, apontando fatores estimulantes como:

- a) questões ambientais: existe uma clara tendência de que a legislação ambiental caminhe no sentido de tornar as empresas cada vez mais responsáveis por todo ciclo de vida de seus produtos. Outro aspecto é o aumento da consciência ecológica dos consumidores que esperam que as empresas reduzam os impactos negativos de suas atividades ao meio ambiente. Isto tem gerado ações por parte de algumas empresas que visam comunicar ao público uma imagem institucional “ecologicamente correta”;
- b) concorrência e diferenciação por serviço: Os varejistas acreditam que os clientes valorizam as empresas que possuem políticas mais liberais de retorno de produtos;

- c) redução de custo: as iniciativas relacionadas à logística reversa tem trazido consideráveis retornos para as empresas.

Em contrapartida ao aumento do reaproveitamento de produtos, é crescente a “descartabilidade” dos bens de consumo (LEITE, 2002). Um dos indicadores em que essa afirmação se baseia é o aumento do lixo urbano em diversas partes do mundo, conforme comprovam os dados da Prefeitura Municipal de São Paulo, através do Departamento de Limpeza Pública Urbana da Cidade de São Paulo (Limpurb). De acordo com o órgão, o lixo urbano cresceu de 4450 t por dia no ano de 1985, para 16000 t por dia no ano 2000, na cidade de São Paulo. O aumento da descartabilidade dos produtos tende a tornar mais expressiva a atuação da logística reversa.

Tal atuação do produto logístico e os Canais de Distribuição Reversos pelos quais fluem, bem como os objetivos estratégicos e técnicas operacionais se distinguem de acordo com cada produto, assim divide-se logística reversa em pós-venda e de pós-consumo.

Leite (2002) define Logística Reversa de Pós-Venda como atuante nas informações logísticas correspondentes de bens de pós-venda, tendo como objetivo estratégico agregar valor a um produto logístico que é devolvido por razões comerciais, erros no processamento dos pedidos, garantia dada pelo fabricante, defeitos ou falhas de funcionamento no produto, avarias no transporte, entre outros motivos.

Já a Logística Reversa de Pós-Consumo, definida por Rodrigues et al. (2002), é motivada pelo reaproveitamento de componentes e materiais, incentivo para novas aquisições através do benefício proposto na troca de um bem usado para aquisição de um novo e pela revalorização ecológica: decisão de responsabilidade ética empresarial a fim de promover sua imagem vinculada ao destino final adequado dos seus produtos. Leite (2002) coloca que a Logística Reversa de Pós-Consumo deve planejar, operar e controlar o fluxo de retorno dos produtos ou de seus materiais constituintes classificados em função de seu estado de vida e origem: “Em condições de uso”, “Fim de vida útil” e “Resíduos Industriais”. Segundo o referido autor, no caso de não haver condições logísticas, tecnológicas ou econômicas de reutilização, serão direcionados ao “Destino Final”, ou seja, os aterros sanitários, lixões e incineração com recuperação energética, como acontece com a biomassa.

2.4 LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS URBANOS

Biomassa é considerada uma das fontes de energias renováveis que pode reduzir de maneira significativa as emissões de gases de efeito estufa, estando entre suas vantagens: a

geração de diferentes tipos de energia como eletricidade, calor, biocombustíveis, etc.; a capacidade de armazenamento, o que caracteriza-se como uma etapa importante e complexa do CLSC, pois possibilita a geração de energia sob demanda (RENTIZELAS *et al.*, 2009). Uma vez que biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, existem considerações a serem seguidas para garantir que as propriedades energéticas não sejam perdidas pela decomposição durante as etapas da logística reversa.

O estudo sobre a absorção de umidade da biomassa é importante para a colheita, manuseio, transporte e armazenamento de biomassa. Portanto, são necessárias operações adequadas de secagem e armazenamento para preservar a qualidade das matérias-primas de biomassa (CAI *et al.*, 2017).

Nota-se que o percentual de umidade se caracteriza como um fator considerável de ser controlado nas etapas desse ciclo, principalmente quando existe a necessidade de armazenamento intermediário. Os motivos estão atrelados aos impactos que a umidade ocasiona na efetividade da produção do biogás.

2.4.1 Coleta e transporte

Segundo Schalch *et al.* (2002), na maioria dos municípios brasileiros há uma negligência no manuseamento dos resíduos gerados, por se tratar de um processo complexo que precisa ser orientado por princípios de engenharia. O manuseamento incorreto pode gerar desconforto e riscos para a sociedade e causar danos ambientais, ainda mais quando existe um alto volume de resíduos. Segundo dados de 2008 de IBGE (2010), o Brasil gerou aproximadamente 188814,9 t/dia de resíduos domiciliares e públicos, quase 1 kg de resíduo gerado por pessoa todos os dias segundo a população estimada pelo IBGE no mesmo ano. Sendo assim, devido à grande parcela de matéria orgânica em decomposição presente, faz-se necessário o transporte ágil.

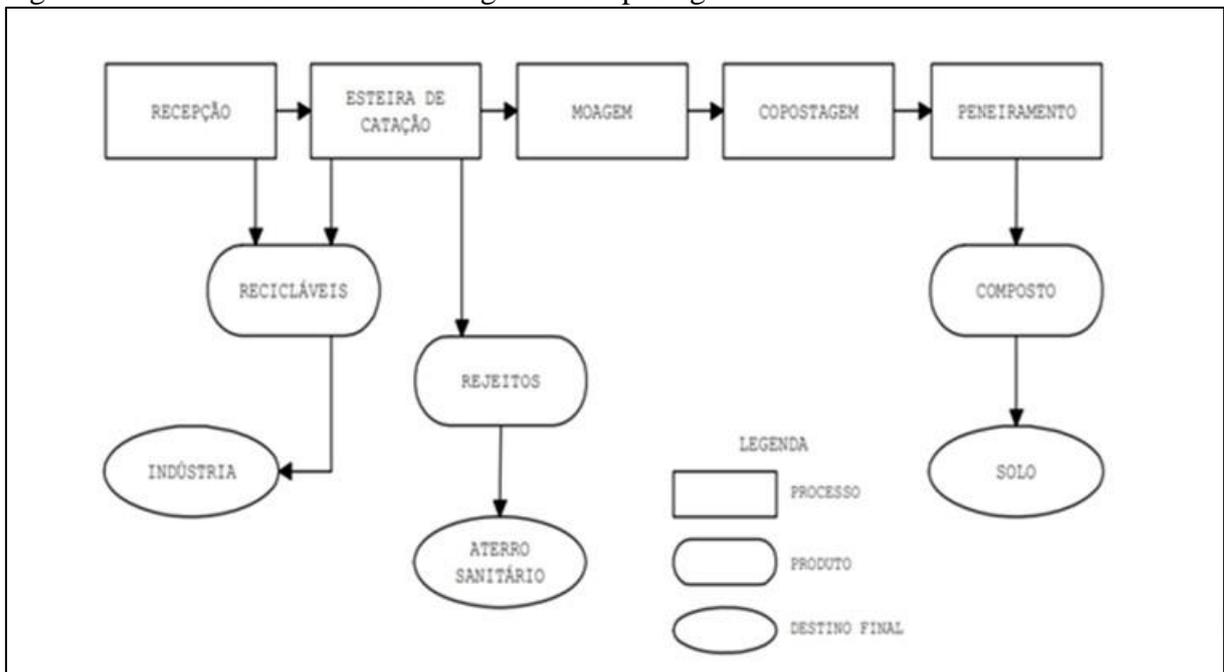
Os diferentes tipos de resíduos exigem técnicas diferentes de coleta. O mais comum no Brasil é a utilização de caminhões adaptados para realizar a coleta e transporte do lixo em uma frequência semanal determinada. Segundo Jardim e Wells (1995), estima-se que 25% da porcentagem em peso do lixo doméstico pode ser reciclado, porém a média indica que somente 4,6% tem este destino. Uma forma de otimizar este número é a coleta seletiva, entretanto este processo depende da separação feita pelas fontes geradoras para ser eficiente.

2.4.2 Transbordo e triagem

Transbordo é a passagem de carga e/ou passageiros de um meio de transporte para outro. Este tipo de processo é utilizado pelas empresas de coleta de lixo para consolidar os resíduos coletados e transportá-los para o destino final. Normalmente é feita a troca por veículos maiores que transportam maior quantidade, gerando uma redução no custo de frete.

Normalmente, na etapa de transbordo é realizada a triagem dos resíduos (Figura 4). O processo de triagem possibilita a reutilização de materiais que iriam diretamente para o aterro sanitário (SCHALCH *et al.*, 2002). As usinas de triagem separam os resíduos em frações orgânicas e inorgânicas, podendo haver ou não o sistema de compostagem.

Figura 4 - Processo das usinas de triagem e compostagem



Fonte: Schalch et al., 2002

2.4.3 Disposição final

A disposição final é a fase em que os resíduos que foram descartados na triagem, são dispostos em áreas reservadas à essa atividade. Os três principais métodos de disposição final utilizados no Brasil são:

- a) lixões;
- b) aterros sanitários;
- c) aterros controlados.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), 50,0% das cidades brasileiras utilizam lixões, 27,7% aterros sanitários e 22,3% aterros controlados. A predominância de lixões em países em desenvolvimento é resultado do crescimento acelerado das cidades e da falta de recursos para infraestrutura (COSTA *et al.*, 2016). Neste contexto, quando disposto de maneira incorreta, os resíduos urbanos podem impactar negativamente o meio ambiente e as civilizações circunvizinhas. Alguns dos impactos que podem ser observados são emissão de gases de efeito estufa, contaminação do solo, redução da biodiversidade nativa e proliferação de micro e macro vetores causadores de doenças (COSTA *et al.*, 2016).

O recomendado é que a disposição final seja feita em aterros sanitários ou em aterros controlados, pois estes possuem as técnicas e infraestrutura adequadas para a disposição e controle dos resíduos (MONTEIRO *et al.*, 2001).

2.5 ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL DA CADEIA ATRAVÉS DE CÁLCULOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Diversos gases são responsáveis pela progressão do efeito estufa, dentre eles, segundo o *World Input-Output Database* (WIOD), enfatiza-se o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) (ESTEVES *et al.*, 2017).

Nesse sentido, segundo Martins *et al.* (2003), a produção de dióxido de carbono tem como uma das origens a queima de combustível e trocas consecutivas entre carbono e a atmosfera, solo e oceanos. Dentro da cadeia de resíduos urbanos, identificam-se essas emissões no transporte de resíduos desde a coleta domiciliar até o despejo em aterros.

O metano, da mesma forma, é emitido em larga escala se ligado às atividades humanas, exemplificando primordialmente a queima de biomassa e decomposição de lixos em aterros sanitários (MARTINS *et al.*, 2003). Dentro desse contexto, Ensinas (2012) prevê, exemplificando o aterramento de resíduos orgânicos, que tal destinação para decomposição final dos lixos acarreta diversos entraves ambientais, visto que tal deterioração ocasiona na emissão dos gases elencados acima na atmosfera. Portanto, o gás metano proveniente da decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários, torna-se um cúmplice para a ascensão do efeito estufa (ENSINAS, 2003).

2.5.1 Emissão de CO₂ nas etapas que compõem a cadeia

O cálculo das emissões de gases do efeito estufa (GEEs), em destaque o CO₂, provém da queima do combustível dos caminhões e demais máquinas utilizadas na logística dos resíduos alimentares, desde a coleta destes no meio estudado até a sua disposição final, bem como de seus produtos e derivados. Para esse cálculo é usada a Equação 1 (BITTENCOURT *et al.*, 2018):

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} \times PCI_{i,y} \times FE_{i,g,y} \times PAG_g \quad (1)$$

onde:

- i denota o tipo de combustível;
 - g denota um tipo de GEE;
 - y é o ano de referência do relatório (2020);
 - $E_{i,g,y}$ são as emissões ou remoções do GEE g atribuíveis à fonte i durante o ano y , em t de CO₂e;
 - $C_{i,y}$ é o consumo do combustível i para o ano y , na unidade de medida u , sendo u igual a m³ ou kg;
 - $PCI_{i,y}$ define o poder calorífico interno do combustível i para o ano y , na unidade de medida TJ/ u ;
 - $FE_{i,g,y}$ é o fator de emissão do GEE g aplicável ao combustível i no ano y , em t de GEE g/TJ;
 - PAG_g indica o potencial de aquecimento global do GEE g , em t de CO₂e/t de GEEg
- Para o cálculo do $C_{i,y}$ para quantificar as emissões do GEE, foi usada a Equação 2:

$$C_{i,y} = \frac{KM_y}{K_{i,y}} \times N_i \quad (2)$$

em que:

- KM_y são os quilômetros rodados no ano y ;
- $K_{i,y}$ é o consumo médio do combustível i por KM_y ;
- N_i é a quantidade de caminhões participantes do CLSC no ano y .

2.5.2 Emissão de CH₄ na etapa da decomposição de resíduos em aterros

Para quantificar as emissões de GEE, em destaque o CH₄ provenientes da decomposição dos resíduos destinados à um aterro sanitário, são utilizadas as Equações 3, 4 e 5 (BITTENCOURT *et al.*, 2018):

$$E_{CH_4,y} = QR_y \times L_{o,y} \times (1 - OX_o) \quad (3)$$

$$L_{o,y} = MCF_o \times DOC_{média} \times DOC_{f,y} \times F_{CH_4} \times \frac{16}{12} \quad (4)$$

$$DOC_{média} = \sum \%_{i,y} \times DOC_i \quad (5)$$

sendo:

- y o ano de referência do relatório (2020);
- i o tipo de resíduo;
- $E_{CH_4,y}$ as emissões de CH₄ atribuíveis à decomposição do resíduo disposto em aterros no ano y , em t de CH₄;
- QR_y a quantidade de resíduos destinado ao aterro no ano y em t;
- $L_{o,y}$ o potencial de geração de metano no ano y em t de CH₄/t de resíduos;
- OX_o o fator de oxidação, adimensional;
- MCF_o o fator de correção de metano baseado na qualidade do aterro, adimensional;
- $DOC_{média}$ o valor de carbono orgânico degradável médio (valor calculado de acordo com a composição média dos resíduos sólidos urbanos na América Latina);
- DOC_i o carbono orgânico degradável no resíduo i (Tabela 1);
- $\%_{i,y}$ a fração da quantidade do resíduo i no ano y ;
- $DOC_{f,y}$ a fração de resíduo que se decompõe, adimensional (valor padrão de 50%);
- F_{CH_4} a fração de metano no biogás, adimensional (valor padrão de 50%);
- $16/12$ a conversão da massa de C em CH₄.

Tabela 1 - Relação de resíduo (*i*) com sua respectiva DOC

| Tipo de resíduo <i>i</i> | Porcentagem (%) | DOC_{<i>i</i>} |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Resíduos alimentares | 44,9% | 0,15 |
| Madeira | 4,7% | 0,43 |
| Papel | 17,1% | 0,40 |
| Metal | 2,9% | 0 |
| Plástico | 10,8% | 0 |
| Têxteis | 2,6% | 0,24 |
| Borracha/couro | 0,7% | 0 |

Fonte: Bittencourt et al., 2018

3 PESQUISA DE CAMPO

O estudo de caso normalmente é usado para uma pesquisa histórica ou experimental, no qual busca-se uma explicação para o modelo em questão, respondendo perguntas de “como” e “por que”, sendo um modelo que tem o âmbito de entender fenômenos sociais complexos (YIN, 2015).

Em trabalhos de pesquisa de campo é seguido um plano lógico, que se inicia pela delimitação de perguntas essenciais a serem abordadas, através de coletas e análises de dados a fim de chegar às conclusões de questões pré estabelecidas. Segundo Yin (2015), a pesquisa de campo pode ser dividida em 5 etapas:

- a) perguntas a serem respondidas referente ao estudo de caso;
- b) proposições;
- c) unidades de análises;
- d) lógica que une as proposições;
- e) os critérios de análise de dados.

3.1 EMPRESAS AVALIADAS

As empresas que compõem o circuito fechado da cadeia de suprimentos estudado são a Logística Ambiental de São Paulo S.A. (LOGA) e a Essencis. A LOGA é responsável pela coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares, levando estes até estações de transbordo ou aterros sanitários. A empresa Essencis realiza a gestão do aterro onde os resíduos são decompostos e a gestão da termelétrica de geração de energia. Sua responsabilidade está na captação e tratamento dos gases provenientes dessa decomposição, onde ocorre a captura do biogás para posteriormente ser transformado em energia elétrica. Entre os tratamentos realizados está a coleta do gás metano gerado pela decomposição, em que parte é destinada para a planta de biogás e outra parte queimada de maneira controlada nos poços.

3.1.1 LOGA

A concessão pública Logística Ambiental de São Paulo foi fundada em 2004 com o objetivo de oferecer serviços especializados de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos domiciliares e de saúde urbanos gerados no Agrupamento Noroeste do Município de São Paulo. Ela tem como missão executar com responsabilidade, planejamento e qualidade

serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos domiciliares e dos serviços de saúde da região noroeste da cidade de São Paulo, valorizando as pessoas e utilizando recursos tecnológicos e logísticos, além de desenvolver a conscientização ambiental das comunidades que atende e promover o desenvolvimento sustentável da cidade.

A LOGA conta com mais de 2000 colaboradores, uma frota de aproximadamente 300 veículos, atendendo a 1,6 milhão de residências, equivalente a 7 milhões de pessoas, sendo incluída a população flutuante no último valor mencionado. A empresa possui uma capacidade de triagem de 250 toneladas/dia e atua em diferentes segmentos de coletas: a domiciliar, seletiva (foco em reciclagem), mecanizada, de resíduos de serviços de saúde (RSS) e comunidade (Figura 5). Para efeito do estudo em questão, será aprofundado o segmento domiciliar.

Figura 5 - Área de atuação da LOGA



Fonte: LOGA, 2020

3.1.2 Essencis

A Essencis Soluções Ambientais é uma joint venture formada pelos Grupos Solví e Cavo. Fundada em 10 de setembro de 2001, a Essencis é o grupo líder do mercado em soluções ambientais para a promoção do desenvolvimento sustentável. Cuidar do meio ambiente faz parte do negócio das indústrias e a Essencis é a parceira certa na co-criação de soluções ambientais desenvolvidas para eliminar desperdícios e produzir com mais eficiência, maximizar o uso de todo o tipo de recurso e matéria-prima, valorizar, reaproveitar e tratar resíduos. Aliada

à indústria, a Essencis oferece soluções ambientais integradas e personalizadas pensando na cadeia produtiva e no ciclo de vida total dos produtos.

No trabalho em questão se deu maior ênfase na Unidade de Valorização Sustentável (UVS) Caieiras, local onde destinam-se todos os resíduos coletados na cadeia fechada em estudo. Localizada nas proximidades da região metropolitana de São Paulo, a qual fica sob responsabilidade da empresa Essencis, estima-se que são recebidos cerca de 60% dos resíduos urbanos coletados da cidade de São Paulo, além de receber de maneira adequada os resíduos de outros 16 municípios. A Essencis também oferece as melhores tecnologias e soluções ambientais para os resíduos do polo industrial paulista.

Os aterros presentes na UVS Caieiras são obras de engenharia de ponta, oferecendo total segurança para as operações que garantem proteção ao meio ambiente. Também sob sua responsabilidade está manter 150 hectares de cinturão verde em torno dessa localidade, uma floresta com vegetação da mata atlântica que serve como habitat para centenas de espécies de mamíferos e aves. A valorização de resíduos é seu principal diferencial de sustentabilidade, sendo que a UVS Caieiras possui um parque integrado de tecnologias e soluções ambientais, a saber:

- a) aterros Classe I para resíduos Industriais;
- b) aterros Classe II para resíduos não perigosos;
- c) unidade de dessorção térmica para recuperação de solos contaminados;
- d) logística reversa e reciclagem de eletroeletrônicos;
- e) laboratório para controles ambientais;
- f) captação e tratamento de biogás, além de geração de créditos de carbono;
- g) usina termelétrica para a geração de energia através do biogás.

A Termoverde Caieiras, nome da termelétrica que gera energia a partir da utilização do biogás, considerada a maior do Brasil, também fica sob responsabilidade da empresa Essencis e possui potência instalada de 29,5 MW. Com uma produção anual de 230 mil MWh, gera energia para 300 mil habitantes e reduz a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo com energia alternativa e limpa.

3.2 COLETA DE DADOS

Dado a situação de pandemia que o mundo está passando em 2020, as visitas presenciais às empresas foram suspensas. Com isso, foram contactadas via e-mail cada uma delas,

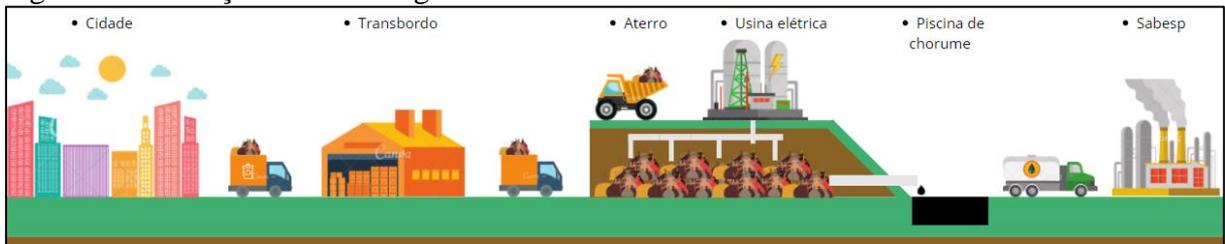
solicitando a resposta do questionário contido no Apêndice A, para avaliar a atuação das empresas dentro da cadeia de suprimentos do circuito fechado.

Através das respostas dos questionamentos apresentados e dos materiais informativos recebidos, foi possível identificar com profundidade os papéis de cada empresa no ciclo, assim como os processos envolvidos em cada etapa, desde a coleta dos resíduos, transporte, armazenamento/decomposição, tratamento e produção de energia elétrica, os quais são explorados nos tópicos adiante.

3.3 ETAPAS DO CICLO

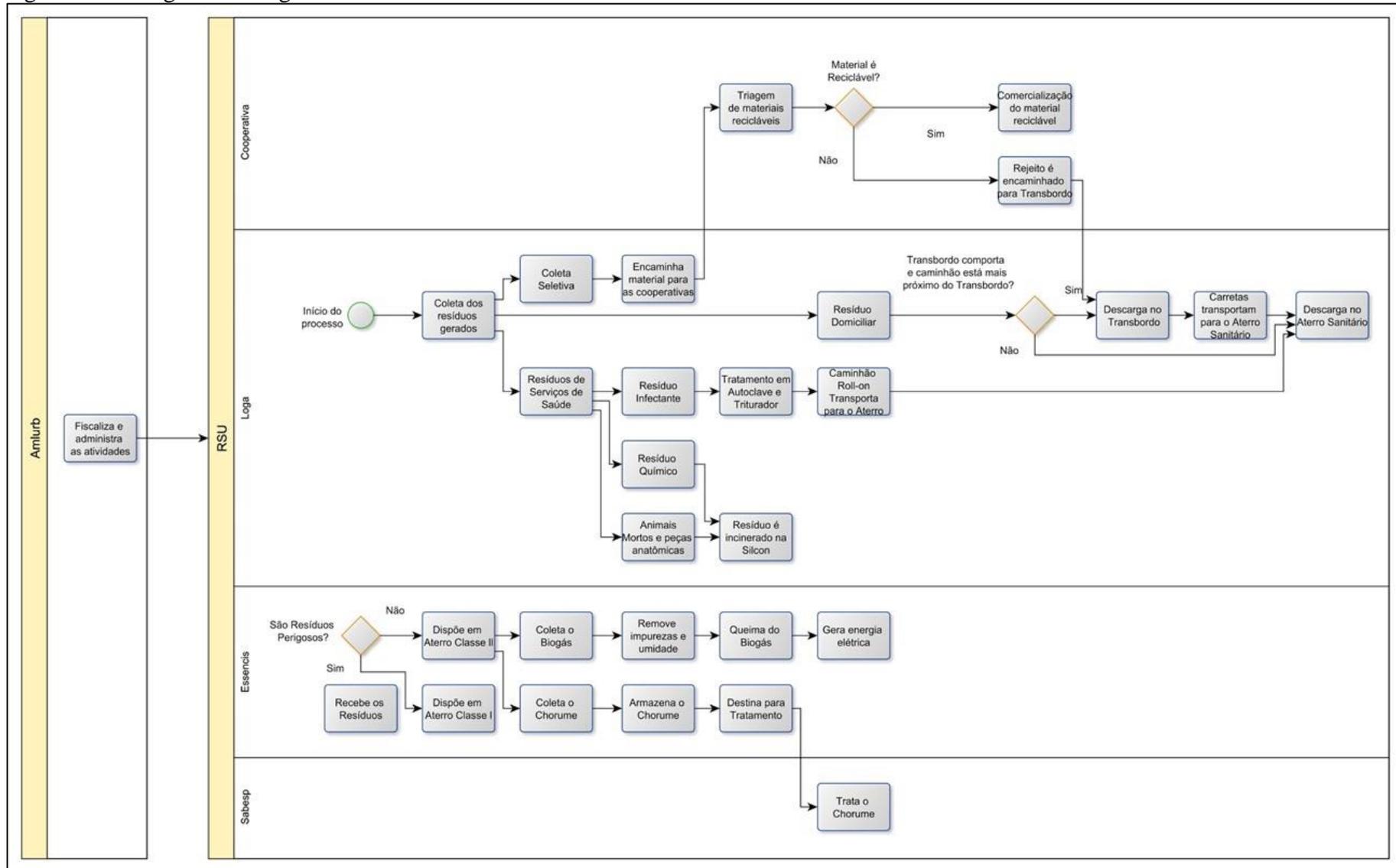
Foi realizado o mapeamento dos processos executados pelas empresas após a coleta dos resíduos conforme demonstrados de maneira ilustrativa na Figura 6 e apresentação do fluxograma na Figura 7.

Figura 6 - Ilustração do fluxo logístico estudado



Fonte: Autores

Figura 7 - Fluxograma da logística reversa do material



Fonte: Autores

3.3.1 Coleta e transporte de resíduos

Conforme apresentado na Figura 6 e na Figura 7, a empresa LOGA fica responsável pela coleta e transporte de resíduos, os quais são provenientes de residências domiciliares da zona noroeste de São Paulo, sendo coletados e transportados através da utilização de caminhões movidos a diesel. A coleta domiciliar atinge o montante de 6 mil toneladas/dia, aproximadamente 180 mil toneladas/mês, em que 66,66% (120 mil toneladas) são destinados ao aterro da empresa Essencis.

Sobre a região atendida nas coletas, o agrupamento representa uma área de 527 km², comportando 770 bairros e 25 mil ruas percorridas por dia, o equivalente a 9,8 milhões de quilômetros por ano. Essa quilometragem, foi considerada para realização dos cálculos de impacto ambiental proveniente dos gases gerados a partir da queima do diesel, combustível utilizado na frota de caminhões.

A coleta domiciliar pode ser realizada em três frequências de periodicidades diferentes, onde os resíduos são coletados dispostos na calçada em frente à residência:

- a) segunda, quarta e sexta;
- b) terça, quinta e sábado;
- c) segunda a sábado.

Já em lugares de difícil acesso para os caminhões, como comunidades, a coleta é realizada com os carrinhos elétricos ou coleta porta a porta com lutocares, que recolhem os resíduos e dispõe em lugares estratégicos para a coleta com caminhão.

3.3.2 Decomposição, captação e tratamento dos gases

A decomposição dos resíduos e captação de gases gerados ocorrem no aterro de Classe I da UVS Caieiras, local de disposição e tratamento ambientalmente adequados de resíduos industriais, e, também, no aterro de Classe II da UVS Caieiras, local de disposição e tratamento ambientalmente adequados de resíduos comuns, ficando ambos sob a gestão e responsabilidade de empresa Essencis.

O local é preparado com uma proteção de solo e água, um sistema de impermeabilização em camadas que impedem a contaminação do solo e de água. Através de tubulações, são captados os gases, além do sistema de coleta de chorume, destinado inicialmente a uma “lagoa” de chorume na própria UVS Caieiras, para posterior tratamento externo.

Todos os resíduos recebidos são compactados e recobertos com solo em uma camada média de 30 cm, para fechamento da célula operacional. Após algum tempo, o material orgânico

inicia sua decomposição anaeróbia gerando o biogás com composição básica de CH₄, CO₂ e H₂S. Esse biogás é captado e direcionado através de pressão negativa para a planta de captação, onde atualmente alimentam 21 motores para geração de energia, enquanto aquele gás excedente é queimado de maneira centralizada e controlada nos *flares*, com destruição de 100% dos gases, possibilitando a geração de 1 milhão de toneladas em crédito de carbono por ano.

3.3.3 Geração de energia elétrica através do biogás

A geração de energia elétrica com a utilização do biogás coletado já pode ser considerada um tratamento ambiental, como ocorre a combustão do gás para funcionamento do motor da termelétrica, essa queima tem que ser de 99.999% do biogás, até mesmo para cumprir com a licença de operação da empresa Essencis.

3.4 ANÁLISE DA PESQUISA DE CAMPO

Para quantificar os impactos ambientais gerados pela cadeia da biomassa, sejam estes positivos ou negativos, as análises foram divididas em quatro frentes: (1) coleta e transporte dos resíduos, (2) decomposição da biomassa no aterro, (3) maquinário utilizado na empresa Essencis e (4) destinação do chorume gerado no aterro. Nestes quatro vértices, foram calculados a emissão dos principais GEEs gerados, em toneladas/ano. Essa disjunção de etapas auxiliou a clarificar a dimensão das consequências deste ciclo na natureza, pois, ainda que sequenciais e complementares, são estágios que trazem diferentes repercussões ao ecossistema no qual o ciclo se dá.

3.4.1 Coleta e transporte da biomassa

O cálculo das emissões de CO₂ emitido pela frota veicular da empresa LOGA é baseado na queima do combustível utilizado nos caminhões usados para a logística, desde a coleta dos resíduos no agrupamento noroeste de São Paulo até a entrega deles no aterro da Essencis. Para o cálculo do consumo do combustível de toda frota usada na logística reversa para produção do biogás foi usada a Equação 6:

$$C_{i,y} = \frac{KM_y}{K_{i,y}} \quad (6)$$

Segundo a empresa, a frota é composta pelos caminhões *VW Constellation*, que possui um consumo médio de 5,57 km/L e percorre cerca de 9800000 km/ano. Com essas variáveis, chegou-se a um consumo de 1759425 L/ano. No entanto, foi necessário converter as unidades de medidas para kg/ano, para bases de cálculo. Para isso dividiu-se por 1000, obtendo-se 1759 m³/ano e multiplicado pela densidade do fluido, que é de 872 kg/m³ (MORAES, 2008), definiu-se o consumo de 1548294 kg/ano de diesel.

Com o consumo do combustível gasto por toda frota em um ano, foi possível quantificar as emissões de CO₂ provenientes do transporte logístico da logística reversa, de acordo com a Equação 1, transcrita na sequência¹:

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} \times PCI_{i,y} \times FE_{i,g,y} \times PAG_g$$

O poder calorífico ($PCI_{i,y}$) do diesel usado foi de 45 MJ/kg (NASCIMENTO *et al.*, 2014), o fator de emissão de CO₂ aplicável ao diesel é de 74,1 t de CO₂/TJ (SVMA, 2012) e, segundo Foster et al. 2007, o potencial de aquecimento global igual é igual a 1. Pelo produto das variáveis apresentadas chegou-se no valor de 5116 t de CO₂e/ano emitidas pela malha logística correspondente à logística reversa da biomassa para produção do biogás (Tabela 2).

Tabela 2 - Cálculos de emissão de gases na coleta e transporte da biomassa

| Tranporte | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| $C_{i,y}$ | 1.534.219 | kg/ano |
| $PCI_{i,y}$ | 0,000045 | TJ / kg |
| $FE_{i,g,y}$ | 74,1 | t GEE g/TJ |
| PAG_g | 1 | tCO ₂ e/t GRR g/TJ |
| KM_y | 9.800.000 | Km/ano |
| $K_{i,y}$ | 5,57 | Km/L |
| N_i | 300 | unid |
| * VW Caminhão Constellation | | |
| Densidade Diesel | 872 | Kg/m ³ |
| $E_{i,g,y} =$ | 5.116 tCO₂e/ano | |

Fonte: Autores

3.4.2 Decomposição da biomassa no aterro da Essencis

Para quantificar o impacto ambiental que é deixado de ser emitido ao meio ambiente, devido a todo processo inferido pela logística reversa da biomassa, foram usadas as Equações

¹ Durante os desenvolvimentos apresentados algumas equações serão lembradas e, portanto, não serão enumeradas novamente.

de 1 a 6 mostradas ao longo das últimas seções. O primeiro cálculo realizado foi do grau de decomposição dos resíduos orgânicos destinados ao aterro. Segundo a Essencis, por meio das respostas fornecidas ao formulário do Apêndice A, 100% são alimentares, logo se tem uma $DOC_{média}$ de 0,15 (de acordo com a Equação 5) (BITTENCOURT *et al.*, 2018).

Com esse valor, foi possível calcular o potencial de geração de metano no ano de 2020 em t de CH_4 /t resíduo ($L_{o,y}$, Equação 4 e rerepresentada abaixo), através do produto do fator de correção de metano baseado na qualidade do aterro (MCF_o), grau de decomposição dos resíduos ($DOC_{média}$), fração de resíduo que se decompõe ($DOC_{f,y}$), fração de metano no biogás (F_{CH_4}) e conversão da massa C em CH_4 .

$$L_{o,y} = MCF_o \times DOC_{média} \times DOC_{f,y} \times F_{CH_4} \times \frac{16}{12}$$

Segundo CETESB (2020), o aterro de Caieiras possui um IQR 9,5 e, segundo Bittencourt *et al.*, 2018, um aterro com essa qualificação tem um fator igual a 1. A fração de resíduo que se decompõe e a fração de metano no biogás são padronizados em 50%, e a conversão da massa carbono em metano é de 1,33. Isso permite obter um valor de 0,049875 t de CH_4 /t de resíduo.

Por fim foi possível quantificar a quantidade de gás metano que é gerada pela decomposição dos resíduos orgânicos, a partir da Equação 3, relembra abaixo:

$$E_{CH_4,y} = QR_y \times L_{o,y} \times (1 - OX_o)$$

onde a quantidade de resíduos destinados ao aterro (QR_y) foi de 120000 t/mês em 2019 (material enviado pela empresa). Por ser um aterro gerenciado, o fator de oxidação (OX_o) é 0 (BITTENCOURT *et al.*, 2018), obtendo uma emissão de 5985 t de CH_4 /mês, e 71820 t de CH_4 /ano (Tabela 3).

Tabela 3 - Cálculos de emissão de gases na decomp. da biomassa no aterro da Essencis

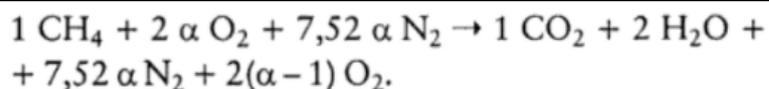
| Decomposição | | |
|--------------|----------|-------|
| QR y | 120.000 | t/Mês |
| L o,y | 0,049875 | - |
| Oxo | 0 | - |
| MCFo | 1 | - |
| DOC média | 0,15 | - |
| DOC i | 0,15 | - |
| % i,y | - | - |
| DOC f,y | 0,5 | - |
| F ch4 | 0,5 | - |
| 16_12 | 1,33 | - |

$$E_{ch_4,y} = 71.820 \text{ t CH}_4/\text{ano}$$

Fonte: Autores

Após a queima do metano para produzir energia, são geradas 197058 t/ano de CO₂. Este valor foi calculado a partir da conversão do volume total de CH₄ produzido pela decomposição dos resíduos depositados no aterro. Para realizar a conversão, dividiu-se a massa em quilos de CH₄ produzida anualmente pela massa molar do CH₄ (16,04 kg/kmol). Segundo a reação química de combustão completa do metano (Figura 8), a proporção em mols de CH₄ para mols de CO₂ é 1:1, portanto, para determinar a massa em toneladas de CO₂, foi multiplicada a massa molar calculada pela massa molar do dióxido de carbono, posteriormente dividindo o resultado por mil, para converter de kg para toneladas, como mostrado na série de passagens enumeradas como Equação 7.

Figura 8 - Reação de combustão completa do gás metano



Fonte: Carvalho, 2003

$$\frac{71820 \text{ t de CH}_4 \times 1000}{16,04 \text{ kg/kmol}} = 4477556,11 \text{ kmol de CH}_4 = \text{kmol de CO}_2$$

$$\frac{4477556,11 \text{ kmol de CH}_4 \times 44,01 \text{ kg/kmol}}{1000} = 197057,24 \text{ t de CO}_2$$

(7)

3.4.3 Maquinário utilizado na empresa Essencis

Para quantificar o impacto ambiental causado pelas emissões dos GEEs na empresa Essencis, partiu-se da queima do diesel dos caminhões, retroescavadeira e máquinas utilizadas em toda produção de energia elétrica advinda do biogás. Para o cálculo foi utilizada a mesma fórmula do transporte (Equação 1, abaixo revisitada).

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} \times PCI_{i,y} \times FE_{i,g,y} \times PAG_g$$

Conforme mostrado anteriormente o poder calorífico ($PCI_{i,y}$) do diesel usado foi de 45 MJ/kg (NASCIMENTO *et al.*, 2014), o fator de emissão de CO₂ aplicável ao diesel é de 74,1 t de CO₂/TJ (SVMA, 2012) e, segundo Foster et al. 2007, o potencial de aquecimento global é igual a 1. Segundo dados da Essencis, o abastecimento de diesel em 2020 será de 2487306 litros até o final do ano. Assim como realizado anteriormente, ajustou-se a unidade de medida para kg, primeiro dividiu-se por 1000 para obter em m³/ano e multiplicou-se pela densidade do diesel que é 872 kg/m³ (MORAES, 2008), por fim, com o produto dessas variáveis obteve-se uma emissão de 7232 t de CO₂/ano (Tabela 4).

Tabela 4 - Cálculos de emissão de gases gerados pelo maquinário utilizado pela Essencis

| Essencis | | |
|---------------------------------|--------------|--------------------------------|
| $C_{i,y}$ | 2.168.931 | kg/ano |
| $PCI_{i,y}$ | 0,000045 | TJ / kg |
| $FE_{i,g,y}$ | 74,1 | t GEE g/TJ |
| PAG_g | 1 | tCO ₂ e/t GRR g /TJ |
| Densidade Diesel | 872 | Kg /m ³ |
| $E_{i,g,y} =$ | 7.232 | tCO₂e/ano |

Fonte: Autores

3.4.4 Destinação do chorume gerado no aterro

O cálculo das emissões de CO₂ emitido pela frota veicular para tratamento adequado do chorume gerado, foi baseado na queima do combustível utilizado nos caminhões usados para a logística, desde a coleta do chorume no aterro da Essencis em Caieiras - SP até a entrega deles na estação de tratamento da Sabesp de Barueri - SP.

Para o cálculo do consumo do combustível de toda frota usada na logística reversa para produção do biogás foi usada a Equação 6, aqui rememorada:

$$C_{i,y} = \frac{KM_y}{K_{i,y}}$$

A distância entre o trecho é de 32 km, e, segundo a Essencis, a frota faz em média de 50 viagens por dia e 7 dias da semana. Sendo assim, considerando o trecho de ida e volta e a quantidade de viagens feitas por dia, chega-se a um total de 3200 km/dia, que multiplicado pela quantidade de dias no ano de 2020, obtém-se um total de 1168000 km/ano. O caminhão utilizado para logística possui um consumo médio de 2,50 km/L, com isso determina-se um consumo de 467200 L/ano de diesel. Ajustando as unidades para m³ e multiplicando pela densidade do diesel, tem-se um consumo de 407398 kg/ano de diesel.

Com o consumo do combustível gasto por toda frota em um ano, foi possível quantificar as emissões de CO₂ provenientes do transporte logístico do CLSC, por meio da Equação 1 novamente destacada:

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} \times PCI_{i,y} \times FE_{i,g,y} \times PAG_g$$

O poder calorífico ($PCI_{i,y}$) do diesel usado foi de 45 MJ/kg (NASCIMENTO *et al.*, 2014), o fator de emissão de CO₂ aplicável ao diesel é de 74,1 t de CO₂/TJ (SVMA, 2012) e, segundo Foster *et al.* 2007, o potencial de aquecimento global é igual a 1. Pelo produto das variáveis apresentadas chegou-se no valor de 1358 t de CO₂e/ano emitidas pela frota veicular para tratamento adequado do chorume gerado (Tabela 5).

Tabela 5 - Cálculos de emissão de gases gerados pela destinação do chorume gerado no aterro

| Transporte Chorume | | |
|------------------------------------|-----------|--------------------------------|
| C _{i,y} | 407.398 | kg/ano |
| PCI _{i,y} | 0,000045 | TJ / kg |
| FE _{i,g,y} | 74,1 | t GEE g/TJ |
| PAG _g | 1 | tCO ₂ e/t GRR g /TJ |
| KM _y | 1.168.000 | Km/ano |
| K _{i,y} | 2,50 | Km/L |
| * VW Caminhão Constellation | | |
| Densidade Diesel | 872 | Kg /m ³ |
| D _y | 365 | dia / ano |
| Viagens | 50 | viagens / dia |
| Km do trecho | 32 | Km distância |
| Km dia | 3200 | Km / dia |

$$E_{i,g,y} = 1.358 \text{ tCO}_2\text{e/ano}$$

Fonte: Autores

3.4.5 Resultados

Somando todas as massas de CO₂ calculadas nos tópicos anteriores, a cadeia emite aproximadamente 211 mil toneladas desse gás na atmosfera por ano.

Segundo um artigo publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o potencial de aquecimento global do CH₄ é 21 vezes maior que o do CO₂, (RIBEIRO; MIGUEZ, 2000), conforme mostrado na Tabela 6. Dado a tal fato, a geração de energia a partir do metano produzido nos aterros sanitários analisada, simultaneamente agrega valor à uma matéria que fora descartada e reduz o impacto ambiental intrínseco a essa atividade humana.

Tabela 6 - Potencial de Aquecimento Global (PAG), com referência à resposta atualizada do decaimento para o modelo de Berna, do ciclo do carbono e concentrações atmosféricas futuras de CO₂ mantidas constantes nos níveis atuais

| Compostos | Fórmula Química | Potencial de Aquecimento Global (Horizonte de Tempo) 100 anos |
|-------------------------|---|--|
| CO ₂ | CO ₂ | 1 |
| Metano | CH₄ | 21 |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 310 |
| HFC-23 | CHF ₃ | 11.7 |
| HFC-32 | CH ₂ F ₂ | 650 |
| HFC-41 | CH ₃ F | 150 |
| HFC-43-10mee | C ₅ H ₂ F ₁₀ | 1.3 |
| HFC-125 | C ₂ H ₂ F ₅ | 2.8 |
| HFC-134 | C ₂ H ₂ F ₄ | 1 |
| HFC-134a | CH ₂ FCF ₃ | 1.3 |
| HFC-152a | C ₂ H ₄ F ₂ | 140 |
| HFC-143 | C ₂ H ₃ F ₃ | 300 |
| HFC-143a | C ₂ H ₃ F ₃ | 3.8 |
| HFC-227ea | C ₃ HF ₇ | 2.9 |
| HFC-236fa | C ₃ H ₂ F ₆ | 6.3 |
| HFC-245ca | C ₃ H ₃ F ₅ | 560 |
| Hexafluoreto de enxofre | SF ₆ | 23.9 |
| Perfluormetano | CF ₄ | 6.5 |
| Perfluoretano | C ₂ F ₆ | 9.2 |
| Perfluorpropano | C ₃ F ₈ | 7 |
| Perfluorbutano | C ₄ F ₁₀ | 7 |
| Perfluorociclobutano | c-C ₄ F ₈ | 8.7 |
| Perfluorpentano | C ₅ F ₁₂ | 7.5 |
| Perfluorhexano | C ₆ F ₁₄ | 7.4 |

Fonte: Ribeiro e Miguez, 2000

Além disso, é atividade da Essencis coletar e enviar para tratamento o chorume proveniente da decomposição dos resíduos. Segundo a empresa, são tratados 639 milhões de m³ de chorume por ano. Sem essa atividade, o chorume poluiria o solo e o lençol freático.

A cadeia analisada é um exemplo de otimização de recursos na logística de descarte através de atividades como separação de materiais reaproveitáveis, transbordo para economia de combustível e geração de energia a partir do biogás. Os lixões são o destino predominante de resíduos urbanos, mas também são fontes inexploradas de biogás. A exploração deste gás pode ser um atrativo para empresas investirem em infraestrutura e reduzirem os impactos ambientais causados pelos descartes.

4 CONCLUSÃO

O estudo em questão objetivou mensurar o impacto ambiental da logística reversa da biomassa gerada em uma região da Grande São Paulo, para produção de energia a partir da queima do biogás, utilizando cálculos de emissão dos gases de efeito estufa envolvidos neste processo, sendo estes cálculos embasados na análise da participação e responsabilidades dos indivíduos geradores de resíduos alimentares, no descarte apropriado e de forma sustentável, além da análise de como os *stakeholders* envolvidos no processo de recolhimento e transporte dos resíduos seguem as diretrizes apropriadas, corroborando com um menor impacto ambiental, e entender as barreiras e os motivadores inerentes à sua prática.

Para tanto, contactou-se duas empresas responsáveis pela execução da logística reversa da biomassa gerada. A primeira empresa contactada foi a LOGA, Logística Ambiental de São Paulo S.A, responsável, entre outras coisas, pela coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares gerados no agrupamento noroeste do município de São Paulo, a qual endereça tais materiais coletados a aterros sanitários gerenciados pela Essencis, a segunda empresa contactada para a realização deste trabalho. A gestão dos aterros praticada pela Essencis, inicia-se na correta decomposição dos materiais recebidos, captação e tratamento dos gases provenientes dessa decomposição, onde ocorre a captura do biogás para posteriormente ser utilizado como fonte de energia elétrica.

A partir da análise de quatro frentes distintas, procurou-se compreender a dimensão das consequências deste ciclo na natureza e concluiu-se que estas combinadas, têm um impacto ambiental positivo. Os gases gerados pela malha logística correspondente ao CLSC da biomassa para produção do biogás, emitem 5.116 t de CO_{2e}/ano. Os emitidos por maquinário utilizado na empresa Essencis totalizam 7.232 t de CO₂/ano. A destinação do chorume gerado no aterro sanitário soma 1.358 t de CO_{2e}/ano emitida pela frota veicular utilizada para o tratamento adequado. Por fim, gases provenientes da decomposição da biomassa no aterro da Essencis, somariam 71.820 t de CH₄/ano, porém estes são tratados e utilizados com a finalidade de produzir energia, transformando-se em gás carbônico (CO₂).

Dessa forma, a análise da logística reversa da biomassa para produção de energia a partir da queima do biogás realizada, concluiu que o impacto promovido pela atuação conjunta da LOGA e Essencis tem grande benefício e soma números positivos, especialmente dado ao potencial de aquecimento global 21 vezes maior do gás metano (CH₄), o qual deixa de ser emitido, em comparação ao do gás carbônico (CO₂).

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.
- ABRANTES, N.; GANDOLPHO, A. A. **Cadeias de suprimentos sustentáveis**: como o conceito de sustentabilidade aplicado nos diversos níveis da cadeia pode gerar valor para as empresas. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2015. p. 1-14.
- AFONSO, C. M. **Sustentabilidade**: caminho ou utopia? 1. ed. São Paulo: Annablume, 2006.
- AZEVÊDO, A. C. D. et al. **Consciência ambiental e comportamento do consumidor**. XIII SEMEAD: Seminários em Administração. São Paulo: [s.n.]. 2010.
- BITTENCOURT, F. et al. **Produto 4**: cálculo das emissões de GEE da região metropolitana de Campinas. Campinas: [s.n.], 2018.
- BOFF, L. **Sustentabilidade**: o que é - o que não é. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2017.
- BRASIL. Lei nº 2.312, de 3 de setembro de 1954. Dispõe sobre Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde. **Diário Oficial da União**, seção 1-9/9/1954, 1954.
- CAI, J. et al. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 309-322, Setembro 2017.
- CARVALHO, J. A. D.; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.
- CAVALCANTI, C. (Ed.). **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2001.
- CETESB. **Inventário estadual dos resíduos sólidos urbanos 2019**. São Paulo: CETESB, 2020.
- CHURCHILL, W. In: ABRAHAM, K.; HART, D. **The Prodigal Project Book 1: Genesis**. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- CLARO, P. B. D. O. et al. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **Revista de Administração**, v. 34, n. 4, p. 289-300, 2008.

COSTA, T. G. A. et al. Impactos ambientais de lixão a céu aberto no município de Cristalândia, estado do Piauí, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 4, p. 79-86, Junho 2016.

DIAS, P. **Inovação sustentável na cadeia de suprimentos**. XVI ENGEMA: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo: [s.n.]. 2014.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas-SP**. Univesidade Estadual de Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas. 2003.

ESTEVES, E. G. Z. et al. Análise da decomposição estrutural da emissão de CO₂: 1995 a 2009. **Revista Espacios**, v. 38, n. 42, p. 1-22, Maio 2017.

FAO. O desperdício alimentar tem consequências ao nível do clima, da água, da terra e da biodiversidade: novo estudo da FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/pt/item/204029/icode/>>. Acesso em: 04 Maio 2020.

FARIAS, V. A.; CAMPOS, L. M. S. Gestão verde da cadeia de suprimentos: o papel do engenheiro de produção e a política nacional de resíduos sólidos. **Produção em Foco**, Santa Catarina, v. 5, n. 2, p. 293-318, 2015.

FORSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S., et al. **Climate Change 2007: the physical science basis**. 1. ed. Nova Iorque: Cambridge, 2007. Cap. 2, p. 131-234.

GUIDE, V. D. R.; WASSENHOVE, L. N. V. The evolution of closed-loop supply chain research. **Operations Research**, v. 57, n. 1, p. 10-18, 2009.

GURTU, A. et al. Sustainable Supply Chains. In: KHAN, M.; HUSSAIN, M.; AJMAL, M. M. **Green Supply Chain Management for Sustainable Business Practice**. [S.l.]: Scopus, 2016. Cap. 1, p. 1-26.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

JABER, M. Y. et al. A consignment stock coordination scheme for the production, remanufacturing and waste disposal problem. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 1, p. 50-65, Julho 2013.

JARDIM, N. S.; WELLS, C. (Eds.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1. ed. São Paulo: IPT; CEMPRE, 1995.

KAZEMI, N. et al. A review of reverse logistics and closed loop supply chain management studies published in IJPR: a bibliometric and content analysis. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 4937-4960, Junho 2019.

KHOR, K.-S.; UDIN, Z. M. Impact of reverse logistics product disposition towards business performance in Malaysian E&E Companies. **Journal of Supply Chain and Customer Relationship Management**, v. 2012, n. 2012, p. 1-19, Dezembro 2012.

LACERDA, L. **Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais**. COPPEAD/UFRJ. Rio de Janeiro. 2002.

LASTRES, H. M. M. et al. (Eds.). **A nova geração de políticas de desenvolvimento produtivo: sustentabilidade social e ambiental**. Brasília: CNI, 2012.

LEITE, P. R. **Logística reversa: nova área da logística empresarial**. São Paulo: Columbia Sistemas Integrados de Logística, 2002.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LOGA. **Apresentação Institucional**. Logística Ambiental de São Paulo. São Paulo. 2020.

MARTINS, C. R. et al. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância da química da atmosfera. In: PORTO, P. A.; QUEIROZ, S. L. **Cadernos temáticos de química nova na escola: caderno nº 5 - química, vida e ambiente**. [S.l.]: PubliSBQ, 2003. Cap. 4.

MILLER, S. P. L. C. **Global partners of the Ellen MacArthur Foundation**. Cowes: [s.n.], 2013.

MONTEIRO, J. H. P. et al. (Eds.). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAES, M. S. A. **Biodiesel de sebo: avaliação de propriedades e testes de consumo em motor a diesel**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Química. Porto Alegre. 2008.

NASCIMENTO, D. R. et al. Determination of carbon microresidue at mixtures of diesel/biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 4, p. 911-923, Dezembro 2014.

NASCIMENTO, E. P. D. Trajetória da sustentabilidade: do ambiente ao social, do social ao econômico. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

OLIVEIRA, I. E. R. D. et al. **A importância do desenvolvimento sustentável: trabalhando os conceitos com atitudes práticas**. VII CONNEPI. Palmas: [s.n.]. 2012. p. 1-5.

ONU. População mundial deve ter mais 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos. **ONU News**, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>>. Acesso em: 10 Junho 2020.

RENTIZELAS, A. A. et al. Logistics issues of biomass: the storage problem and the multi-biomass supply chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 887-894, Maio 2009.

RIBEIRO, A. D. Á.; MIGUEZ, J. D. G. (Eds.). **Mudança do clima 1995: sumário para formuladores de políticas e sumário técnico do relatório do grupo de trabalho I**. Brasília: MCT, 2000.

RIBEIRO, L. M. **Artigos de TCC: procedimentos básicos**. Faculdade de Ciências Sociais e Tecnológicas: Instituto de Ensino Superior Social e Tecnológico. Taguatinga. 2011.

RODRIGUES, D. F. et al. **Logística reversa: conceitos e componentes do sistema**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba: [s.n.]. 2002.

SAVASKAN, R. C. et al. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. **Management Science**, v. 50, n. 2, p. 133-279, Fevereiro 2004.

SCAVARDA, L. F. R.; HAMACHER, S. Evolução da cadeia de suprimentos da indústria automobilística no Brasil. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 201-219, Agosto 2001.

SCHALCH, V. et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 2002.

SHEKARI, H. et al. Analyzing the key factors affecting the green supply chain management: a case study of steel industry. **Management Science Letters**, v. 1, n. 4, p. 541-550, Setembro 2011.

SHEKARIAN, E. A review of factors affecting closed-loop supply chain models. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, p. 1-24, Abril 2020.

SHIBAO, F. Y. et al. **A logística reversa e a sustentabilidade empresarial**. XIII SEMEAD: Seminários em Administração. São Paulo: [s.n.]. 2010.

SOUSA, G. L. D. et al. Lixão a céu aberto: implicações para o meio ambiente e para a sociedade. **Revista Valore**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 367-376, 2019.

SVMA. **Quantificação de emissões de GEE pelo setor energia**. Secretaria do Verde e Meio Ambiente. São Paulo. 2012.

TEIXEIRA, A. C. Educação ambiental: caminho para a sustentabilidade. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, Brasília, n. 2, p. 23-31, 2007.

WANG, W.; DENG, W. A comparative study on the government reward-penalty mechanism and the tax-subsidy mechanism in reverse supply chain. **Chinese Journal of Management Science**, v. 24, n. 4, p. 102-110, Abril 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, X. et al. Government reward-penalty mechanism in closed-loop supply chain based on dynamics game theory. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2018, Julho 2018.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS

Questionário enviado a LOGA:

- 1) Onde os resíduos são obtidos (feiras, residências, empresas)?
- 2) Qual a porcentagem de resíduos alimentares que compõem o total de resíduos coletados?
- 3) Para onde os resíduos são levados?
- 4) Qual a finalidade dada aos resíduos coletados?
- 5) Apenas a logística é feita ou o material obtido é tratado?
- 6) Qual o volume de resíduos coletados?
- 7) Os resíduos são vendidos?
- 8) Vocês reciclam o material coletado? Caso não reciclem, trabalham em parceria com alguma empresa de reciclagem vendendo o produto para ela?
- 9) Caso não fosse transportado, qual seria o destino desses resíduos?
- 10) Qual a porcentagem ou o volume de resíduos sólidos coletados que são direcionados para a Essencis?
- 11) Poderiam nos informar qual combustível (diesel, gasolina, gás natural) é utilizado na frota de caminhões da LOGA que realizam a coleta?

Questionário enviado a Essencis:

- 1) Os resíduos domiciliares são encaminhados para a Essencis? Qual a maneira que esses resíduos chegam à empresa (Caminhão, Dutos...?)
- 2) Qual a finalidade dada aos resíduos coletados?
- 3) Há a geração de biomassa com a matéria orgânica obtida?
- 4) Essa biomassa é usada para a produção de biogás?
- 5) Qual o destino dado ao biogás produzido?
- 6) Para o chorume gerado no processo é realizado um tratamento externo. A essencis que realiza esse tratamento? Vocês sabem como que funciona esse tratamento?
- 7) O que ocorre com o metano gerado na decomposição do Biogás?
- 8) É possível saber a quantidade de metano gerado?
- 9) É possível saber a Quantidade de Biogás gerado?
- 10) Existe algum tratamento para os gases que são gerados a partir da utilização do Biogás para produção de energia?