



ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PROCESSOS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM FLORIANÓPOLIS-SC PARA REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

1 LUIZ, Bruno Vieira; 2 SUSKI, Cássio Aurélio

1 Instituto Federal de Santa Catarina, e-mail: bruno.comcap@pmf.sc.gov.br; 2 Instituto Federal de Santa Catarina, e-mail: cassio.suski@ifsc.edu.br

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida; Resíduos Sólidos Urbanos; Gases de Efeito Estufa.



Resumo

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem relação direta com o aquecimento global, pois possibilita a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundos da decomposição dos resíduos em sua destinação final. Além disso, ao permitir o reaproveitamento de materiais, a correta gestão dos resíduos reduz a exploração de matérias primas e evita gastos desnecessários de energia, o que diminui a geração de GEE associada aos processos de produção. Este estudo propõe a implantação de alternativas tecnológicas para a gestão dos RSU do município de Florianópolis-SC, utilizando ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para quantificar as emissões atuais de GEE, propondo cenários que contemplem tecnologias de tratamento visando à valorização dos resíduos por meio de compostagem, biodigestores anaeróbios, reciclagem, incineração com geração de energia e disposição em Aterro Sanitário. Foi estabelecido um cenário-base e, após, outros cinco cenários, oriundos da combinação das citadas técnicas em percentuais distintos. Posteriormente, foram analisadas as emissões de GEE de cada cenário por meio do software Waste Reduction Model (WARM). Os resíduos foram categorizados e modelados no software, permitindo a comparação da emissão entre os cenários propostos, nos quais foram incluídas alternativas tecnológicas de valorização de RSU, quantificando assim a redução de GEE. Demonstrou-se, de forma quantitativa e qualitativa, os benefícios ambientais do emprego das alternativas propostas, apresentando um modelo de gestão que se torna uma importante ferramenta para a escolha dos gestores quanto à configuração, ambientalmente mais adequada, a ser adotada. Os resultados obtidos permitem visualizar quais alternativas tecnológicas são potencialmente mais adequadas para a gestão de RSU visando à redução de emissão de GEE resultante do manejo dos RSU. Tal metodologia pretende estimular outros municípios a adotarem tecnologias alternativas, permitindo quantificar o ganho ambiental de acordo com a configuração mais adequada no âmbito local.

Abstract

The management of municipal solid waste (MSW) is directly related to global warming, as it allows the reduction of greenhouse gases (GHG) emissions arising from the decomposition of waste in its final destination. In addition, by allowing the reuse of substances, the correct waste management reduces the exploitation of raw materials and avoids unnecessary energy expenditure, which reduces the generation of GHG associated with production processes. This article proposes the implementation of technological alternatives for USW management in the city of Florianópolis-SC using a Life Cycle Assessment (LCA) methodology to quantify the current GHG emissions, proposing scenarios that promote waste valorization by using treatment technologies as composting, anaerobic digesters, recycling, incineration with energy generation and disposal in landfill. A base scenario will be established and, afterwards, five others, resulting from the combination of the aforementioned techniques in different percentages. Subsequently, the GHG emissions of each scenario will be analyzed using the Waste Reduction Model (WARM) software. The waste was categorized and modeled in the software, allowing the comparison of the emission between the proposed scenarios, in which technological alternatives for MSW valorization will be included, thus quantifying the reduction of GHG. We demonstrate the environmental benefits of the proposed alternatives, quantitatively and qualitatively, that form a management model which becomes an important tool for the manager's choice regarding the most environmentally appropriate configuration. The results allow us to visualize which technological alternatives are potentially more suitable for reduction of GHG emissions in USW management. The objective of this study is to stimulate municipalities to adopt alternative technologies in USW management with a methodology that quantifies the environmental gain according to the most appropriate configuration at the local level.



Introdução

O aquecimento global e a consequente necessidade de redução de emissão de GEE são importantes preocupações relacionadas ao clima e ao meio ambiente. A falta de investimentos, aliado à falta de informações e de projetos práticos por parte do poder público, justifica o lento avanço nas conquistas ambientais nesta área.

Para minorar os impactos negativos referentes à emissão de GEE, políticas públicas e programas governamentais devem ser compatibilizados com os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009.

Dentre os objetivos e metas da PNMC está a redução de emissão de GEE relacionados à decomposição de resíduos sólidos, prevendo a criação de “medidas que estimulem o desenvolvimento de processos e tecnologias, que contribuam para a redução de emissões e remoções de gases de efeito estufa” (Art. 6º, XII).

O aumento da temperatura global é potencializado pelas ações antrópicas que interferem no efeito estufa natural do planeta devido ao aumento de emissões de GEE oriundos da queima de combustíveis fósseis pela exploração de recursos naturais em busca de matérias primas para fabricação de novos produtos e pela decomposição de resíduos em aterros sanitários e outras formas de disposição inadequadas. Os principais gases gerados pela decomposição dos RSU são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e gás metano (CH₄).

A gestão dos resíduos sólidos tem relação direta com o aquecimento global, seja minimizando as emissões de carbono pela decomposição dos resíduos, seja com o reaproveitamento dos materiais evitando partes significativas dos processos de produção, os quais emitem direta ou indiretamente partículas que contribuem para o aumento do efeito estufa.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010, coerentemente com a PNMC definiu entre os seus objetivos a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas, como forma de minimizar impactos ambientais (Art. 7º, IV), e o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental empresarial voltados à melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, inclusive a recuperação e o aproveitamento energético (Art. 7º, XIV). O principal instrumento da PNRS, os Planos de Gestão de Resíduos Sólidos deverão incorporar a atenção a estas questões para minimizar os impactos ambientais do transporte de resíduos em geral (neste aspecto, reduzindo a emissão de CO₂) e da destinação dos resíduos orgânicos, como restos de alimentos, podas e rejeitos de indústrias alimentícias e agropastoris.

Portanto, essas políticas, através de suas diretrizes, objetivos e instrumentos se alinham e se unem em busca de um objetivo comum. Entretanto, apesar dos marcos regulatórios serem instituídos, o índice de reciclagem e recuperação energética no Brasil representa de 2 a 3% do total de resíduos gerados no país, sendo que do restante produzido, 59,1% são encaminhados para aterro sanitário, 22,9% para aterro controlado e 18,0% para lixões a céu aberto (ABRELPE, 2017).

No ano de 2019, a Prefeitura Municipal de Florianópolis realizou o beneficiamento de 4.091 toneladas de resíduos orgânicos, encaminhou para reciclagem 13.483 toneladas de recicláveis secos e destinou 194.729 toneladas de rejeitos para o aterro sanitário. Portanto, de todos os resíduos produzidos no município, apenas 7,15% foram desviados do aterro sanitário, muito aquém daquilo que poderia ser reaproveitado, muito embora esteja acima da média nacional (COMCAP, 2019).

Do ponto de vista de impacto ambiental, o aterramento de resíduos, mesmo que em aterros sanitários, é o pior cenário para disposição de resíduos sólidos urbanos em termos de emissão de gases de efeito estufa (IQBAL *et al.*, 2019; MOULT *et al.*, 2018).

Por isso, deve-se buscar alternativas tecnológicas que sejam mais eficientes do que a simples disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, que contemplem a reutilização, reciclagem e recuperação energética. A adoção de alternativas combinadas reduzem significativamente a emissão de metano, gás carbônico e outros gases. Portanto, a geração de conhecimento e pesquisas na área é fundamental para subsidiar decisões de gestores quanto à adoção de alternativas tecnológicas. Ao contrário de outras áreas do saneamento, como tratamento de água e de esgoto, a temática de resíduos sólidos é insuficientemente estudada, havendo escassos investimentos e poucos pesquisadores nesta área.

Este estudo pretende avaliar, quantitativamente, o potencial de implantação de tecnologias alternativas com a consequente redução de gases de efeito estufa, buscando alcançar resultados satisfatórios no âmbito climático e ambiental.

A disposição de RSU (alimentos, vidro, metal, plásticos, embalagens, podas de árvores e rejeitos em geral) em locais ambientalmente inadequados, ou até mesmo em aterros sanitários, aumentam as emissões gasosas que causam o efeito estufa.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a decomposição desses resíduos no



ambiente gera gás metano, com potencial de aquecimento global 25 vezes maior comparado ao dióxido de carbono.

Se, por um lado, a PNMC estabeleceu a meta de redução entre 36,1 e 38,9% das emissões de GEE até 2020, a PNRS prevê o desvio de 20% de resíduos sólidos domiciliares dos Aterros Sanitários. O Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a PNMC, estabelece, além da adoção de fontes renováveis, a redução de emissão de GEE por meio do tratamento eficiente dos resíduos sólidos domiciliares, procedimento que, além da redução de emissão, incrementa a eficiência energética do processo.

O tratamento diferenciado dos resíduos permitirá ganhos ambientais, com a redução da quantidade emitida de GEE, salientando o equilíbrio entre a PNMC e a PNRS, bem como está relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) “Cidades e comunidades sustentáveis” (ODS11) e “Energia acessível e limpa” (ODS7).

O poder público possui papel fundamental no processo de gestão deste impacto negativo e deve contribuir à proteção ambiental, propondo e implantando políticas e ações práticas. O Decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a PNRS, estabelece no Art. 35º que, “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deverá ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Portanto antes de se buscar alternativas de destinação e disposição final para os RSU, deve ser pretendida ao máximo a redução da geração de RSU.

Em relação ao tratamento e disposição final, a principal alternativa deve ser o tratamento diferenciado destes resíduos, aplicando-se técnicas de recuperação energética que tenham por objetivo a redução das emissões provocadas pela decomposição orgânica, promovendo tratamento em ambientes controlados, além do reaproveitamento de recicláveis secos e recuperação energética dos rejeitos. Processos como o reaproveitamento energético através geração de energia elétrica e/ou térmica com digestores, bem como com incineradores com geração de energia contribuem com a eficiência energética e o controle sobre a emissão de GEE, evitando o lançamento do gás metano na atmosfera, que representa o gás com maior potencial de provocar o efeito estufa.

O estudo propõe a utilização de tecnologias em cenários plausíveis, quantificando o quanto representa a redução de GEE em cada um deles, ou seja, alternativas que sejam possíveis de serem efetivamente implementadas, demonstrando a vantagem ambiental de cada uma delas em relação ao cenário-base.

Busca-se demonstrar a necessidade de investimento por parte dos gestores públicos em tecnologias de tratamento de resíduos para que seja possível alcançar metas e resultados esperados no controle de emissão de GEE relacionados ao aproveitamento energético e ao tratamento de biomassa. Também se espera que as ferramentas de modelagem e ACV deste trabalho possam ser difundidas para propor mudanças de gestão dos RSU em outros municípios.

Material e Métodos

O presente estudo utilizou a ferramenta de ACV desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*) dos Estados Unidos da América, voltado à gestão municipal de RSU, especialmente nos processos de valorização dos resíduos sólidos domiciliares - recicláveis, orgânicos e rejeitos, permitindo o comparativo entre um cenário base e cenários alternativos, fornecendo aos gestores uma modelagem de tecnologias de modo a obter a melhor configuração, visando à redução da emissão de gases de efeito estufa.

O desenvolvimento do estudo foi dividido em 3 etapas:

- Etapa 1: estabelecimento dos cenários;
- Etapa 2: análise da emissão de GEE de cada cenário; e
- Etapa 3: comparação quantitativa entre os cenários.

Na etapa 1, o estabelecimento dos cenários foi construído propondo a combinação de diferentes tratamentos: reciclagem, compostagem, digestão anaeróbica, aterro sanitário e incineração com geração de energia (GE). Os cenários foram construídos aplicando gradativamente novas tecnologias e ampliando os quantitativos em cada uma delas.

Esta combinação permitiu, por meio de modelagem, utilizando ferramentas de ACV dos resíduos, quantificar em termos de emissão de toneladas de CO₂ equivalente qual o melhor cenário do ponto de vista ambiental, o seja, identificando a combinação de tecnologias que representará a menor taxa de emissão de GEE.

O cenário-base representa a opção de utilização exclusiva do aterro sanitário para encaminhamento de todos os RSU e servirá como base para comparação dos benefícios ambientais progressivos adotados pelo uso das tecnologias propostas.

O cenário 1 foi construído com os valores que atualmente o município apresenta em sua gestão, tendo como base



o ano de 2019, sendo 91,72% encaminhados ao Aterro sanitário, 6,35% à reciclagem e 1,93% à compostagem (COMCAP, 2020).

O cenário 2 está próximo à gestão atualmente aplicada em Florianópolis, utilizando as mesmas tecnologias adotadas atualmente, aumentando apenas os quantitativos, servindo como uma visão de curto prazo. Já o cenário 3 representa o alcance às metas de desvio do aterro sanitário a longo prazo, mantendo as alternativas de reciclagem e compostagem, e incluindo a digestão anaeróbia para tratamento dos resíduos orgânicos.

No cenário 4 entra a alternativa de reaproveitamento energético através de incineração com geração de energia. O cenário 5 representa a aplicação total das tecnologias propostas, excluindo o encaminhamento de resíduos para aterro sanitário.

A Tabela 1 e a Figura 1 a seguir apresentam o quantitativo de encaminhamento de RSU para cada tipo de tratamento para cada uns dos cenários:

Tratamento	Cenário Base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Aterro Sanitário	100,00%	92,85%	75,00%	50,00%	30,00%	0,00%
Reciclagem	0,00%	5,22%	10,00%	20,00%	30,00%	30,00%
Compostagem	0,00%	1,93%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%
Digestão Anaeróbia	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%	10,00%	10,00%
Incinerção com GE	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	20,00%	50,00%

Tabela 1: Cenário base e propostos.

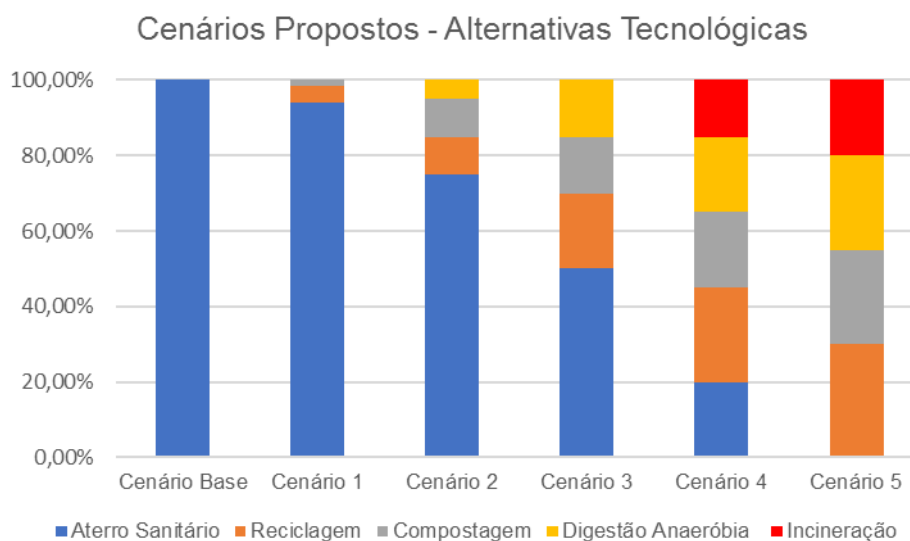


Figura 1: Cenário base e os 5 cenários propostos com a distribuição das tecnologias propostas.

Na etapa 2 foi realizado o cálculo da emissão de GEE utilizando o software WARM, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o qual possui base de dados contendo a ACV dos diversos resíduos que compõe os RSU e considera o balanço de massa de gases de efeito estufa em termos de emissão de dióxido de carbono equivalente expresso em toneladas, para cada cenário proposto.

A entrada de valores no software consistiu no lançamento da quantidade de resíduos coletados por tipo de material, sendo disponíveis 60 materiais, produtos e categorias mistas (plásticos, metais, papéis, orgânicos, por exemplo). O quantitativo de RSU foi o total coletado no município de Florianópolis, com dados fornecidos pela COMCAP, o qual possui dados históricos das coletas convencional, seletiva, de resíduos orgânicos, de rejeitos, etc. Também foi possível a segregação dos valores em termos das diferentes categorias de materiais para entrada no software, já que o município realizou em 2017 a caracterização dos resíduos produzidos, através de seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) instituído pelo Decreto nº 17.910/2017.

Na etapa 3 foi realizado o comparativo dos quantitativos de geração de GEE de cada cenário e de cada tipo de tratamento proposto, avaliando a configuração mais vantajosa, permitindo visualizar a contribuição de cada



alternativa tecnológica.

Resultados e Discussão

Conforme estabelecido na metodologia, a geração de RSU em Florianópolis-SC, que no ano de 2019 representou 212.303 toneladas, foi distribuída pelos cenários propostos, conforme figuras 3 a 8:

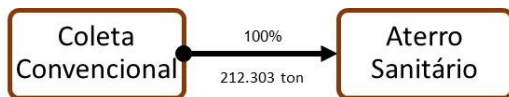


Figura 2: Cenário Base.



Figura 3: Cenário 1.

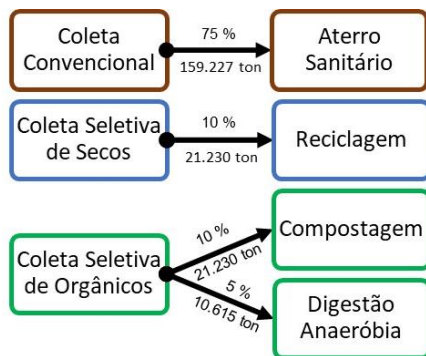


Figura 4: Cenário 2.

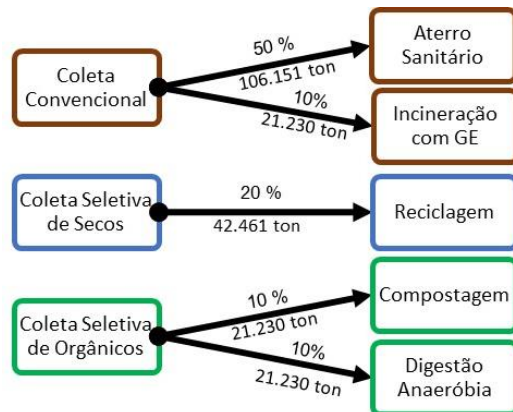


Figura 5: Cenário 3.

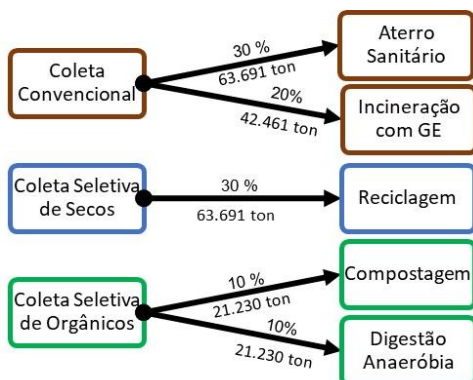


Figura 6: Cenário 4.

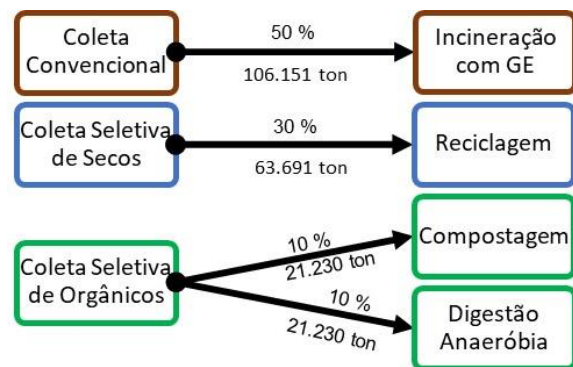


Figura 7: Cenário 5.

Com os dados de geração de RSU no ano de 2019 no município de Florianópolis, os resíduos foram categorizados utilizando como base a caracterização de resíduos, publicado pelo Município através do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (Decreto nº 17.910/2017), o qual realizou amostragem gravimétrica dos resíduos coletados em todas as regiões do município obtendo-se a composição dos RSU em termos percentuais, conforme Figura 8 a seguir.

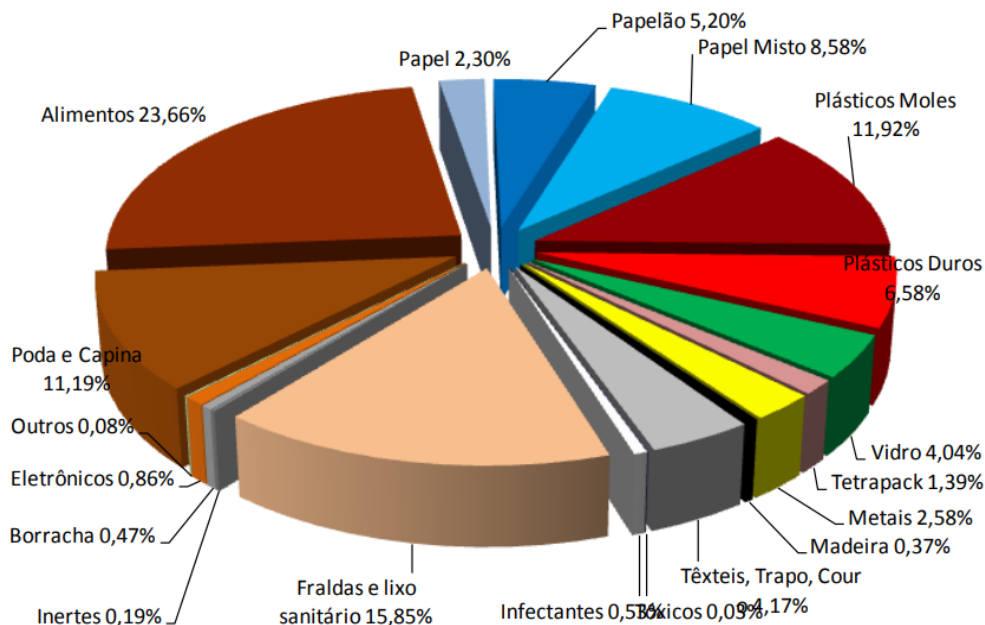


Figura 8: Caracterização dos RSU de Florianópolis-SC.
Fonte: Plano Municipal de Coleta Seletiva de Florianópolis, PMF, 2017.

Após a modelagem no software WARM, foram obtidos os totais de GEE, em termos de toneladas métricas de gás carbônico equivalente - $TMCO_2eq$, por cenário e por tratamento, conforme Tabela 2 a seguir:

Tratamento	Cenário Base		Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4		Cenário 5	
	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$	Qtde RSU	Emissão $TMCO_2eq$
Aterro Sanitário	212.303	50.740	197.123	49.467	159.227	37.636	106.151	27.025	63.691	20.195	0	0
Reciclagem	0		11.082	-26.223	21.230	-50.199	42.461	-100.395	63.691	-150.600	63.691	-150.600
Compostagem	0		4.097	-722	21.230	-3.983	21.230	-3.983	21.230	-3.983	21.230	-3.983
Digestão Anaeróbia	0		0		10.615	-739	21.230	-1.478	21.230	-1.478	21.230	-1.478
Incineração	0		0		0	0	21.230	2.015	42.461	4.030	106.151	5.644
Total		50.740		22.522		-17.285		-76.813		-131.836		-150.417

Tabela 2: Quantitativo de resíduos e de emissão por cenário e por tratamento.

Desta forma, com a implantação gradativa de tecnologias para o tratamento, a figura 9 mostra o comparativo entre os cenários:

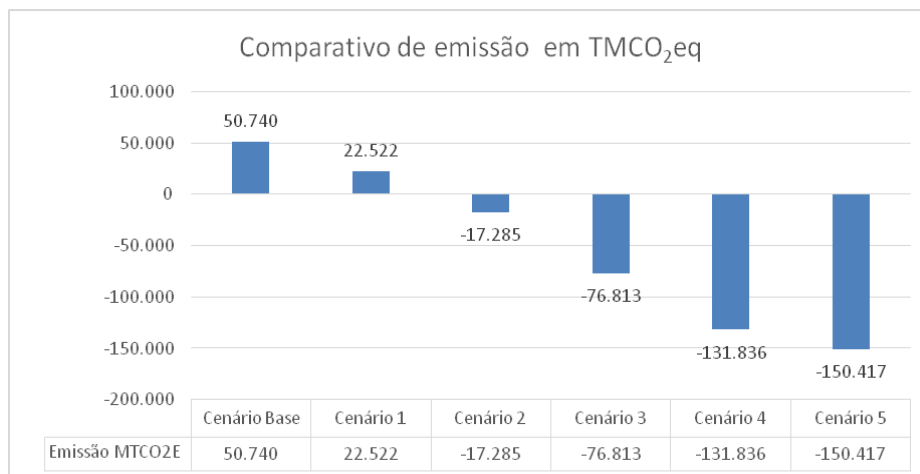


Figura 9: Total de emissão de GEE dos cenários.

Valores negativos de emissão de GEE significam a síntese de carbono pela alternativa proposta. Ou seja, processos que resultam em valores negativos de $TMCO_2Eq$, significam que após realizado o balanço energético, há síntese de carbono ao invés de emissão.

Conforme esperado, o tratamento que mais emite GEE é o aterro sanitário, visto que o cenário base é o que mais emite GEE, na ordem de 50.740 $TMCO_2eq$, e o que menos emite é o cenário 5, o qual não prevê o encaminhamento de nenhum RSU para este destino, ou seja, -150.417 $TMCO_2eq$, sendo 4 vezes mais eficiente em termos de emissão de GEE.

A alternativa de tratamento dos resíduos orgânicos, por meio da compostagem, resulta em eficiência energética não apenas considerando a produção de gases durante o processo de decomposição, pois a aplicação do composto orgânico resultante aumenta a qualidade do solo, resultando em menor quantidade necessária de fertilizantes sintéticos, e, também, diminui a erosão do solo e reduz o uso de herbicidas. Outros benefícios são: a eficiência energética obtida pela diminuição de consumo de água; o aumento da capacidade produtiva do solo; e, o aumento da atividade microbiana, que resulta em um solo de maior qualidade (California Environmental Protection Agency, 2017). Portanto, considera-se a redução de emissão de GEE do processo global, demonstrando a diminuição de emissão nas demais etapas de utilização do composto em solo para agricultura e na redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos, conforme pode ser verificado na Figura

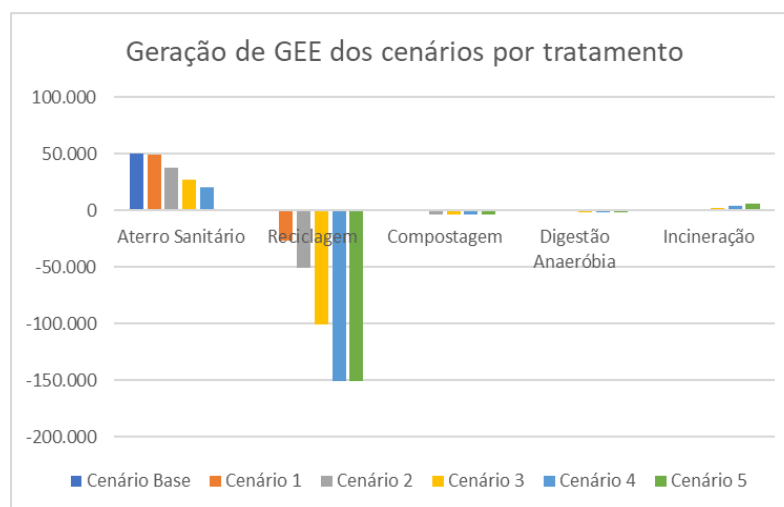


Figura 10: Total de emissão de GEE, em $TMCO_2eq$, por tipo de tratamento e cenário.

Os ganhos potenciais relacionados à redução de emissão de GEE com a aplicação de cada tecnologia, os quais puderam ser verificados pela redução das emissões nos cenários propostos após a modelagem destes, em resumo, consiste em:



Reciclagem: a redução de exploração de matéria prima para gerar novos produtos, além de preservar os recursos naturais, acarreta na redução de energia gasta para produzir novos produtos. O caminho alternativo ao aterramento de parte dos RSU – destinar novamente à indústria como matéria prima, demanda menor gasto com a exploração dos recursos naturais, transporte e beneficiamento, ocasionando redução significativa de emissão de GEE.

Compostagem: o tratamento dos resíduos orgânicos, por meio da compostagem, resulta em eficiência energética não apenas na produção de gases durante o processo de decomposição. Isso porque, a aplicação do composto orgânico resultante aumenta a qualidade do solo, resultando em menor quantidade necessária de fertilizantes sintéticos, e, também, diminui a erosão do solo e reduz o uso de herbicidas. Outros benefícios são: a eficiência energética obtida pela diminuição de consumo de água; o aumento da capacidade produtiva do solo; e, o aumento da atividade microbiana, que resulta em um solo de maior qualidade. Portanto, espera-se significativa redução de emissão de GEE no processo global, demonstrando menor emissão nas demais etapas de utilização do composto em solo para agricultura e na redução do uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Digestão anaeróbica: com benefícios similares à opção de compostagem, a digestão de RSU orgânicos sob temperatura e umidade controladas em reatores anaeróbicos devidamente dimensionados, permite o reaproveitamento energético através da captação e transformação em energia elétrica e/ou térmica com o beneficiamento o gás metano gerado no processo.

Incineração: a transformação de rejeitos em energia térmica, ao contrário do que habitualmente se imagina, ocasiona redução de gases de efeito estufa. Do ponto de vista energético, o tradicional encaminhamento ao Aterro Sanitário desperdiça todo potencial de geração de energia dos resíduos, deixando-os decompôr ao longo do tempo, gerando emissão de GEE e outros impactos ambientais. Do contrário, a geração de energia através desta massa, substitui outras fontes de geração energia, como termoeletricas, por exemplo.

O aterramento dos resíduos, além de gerar impactos em sua disposição, como efluentes líquidos e gasosos, finda o ciclo dos materiais que ali se encontram, os quais poderiam se transformar em outros materiais ou serem recuperados energeticamente, como geração de energia.

A reciclagem da fração seca demonstrou ser a alternativa que, quantitativamente, representa a maior redução de emissão de GEE. Analisando o ciclo de vida dos produtos, a reinserção destes materiais na cadeia produtiva em substituição da exploração de novas matérias primas justifica esta significativa contribuição. Há de se ressaltar também que a reciclagem tem, além da importância ambiental, um papel social muito importante, gerando oportunidade à parcela da população que se encontra em situação vulnerável, gerando emprego e renda a centenas de famílias no Município. Cita-se também a redução de custo ao poder público, já que o transporte e aterramento dos RSU tem o custo atual de R\$ 156,81 por tonelada – referente ao ano de 2019. Portanto, a reciclagem dos resíduos secos provém ganhos em três esferas: ambiental, social e econômica.

Quanto ao aterro sanitário, demonstra-se a pior alternativa quanto ao balanço de emissão de GEE, visto que nesta alternativa se finda a vida útil dos resíduos, restando a estes apenas a degradação, não havendo qualquer reaproveitamento energético.

Quanto à compostagem e a digestão anaeróbia, ambas alternativas apresentaram-se de maneira positiva quanto à redução de emissão de GEE, principalmente quando comparado ao aterro sanitário, muito embora esteja limitado apenas ao tratamento da matéria orgânica presente nos RSU.

A incineração com geração de energia, ao contrário do que se comumente se imagina, também se mostrou mais eficiente, emitindo uma quantidade menor de GEE do que a disposição em aterros. Isto se justifica em função do balanço energético considerado na ACV no qual, apesar de haver emissão de gases para a atmosfera durante a incineração, há produção de energia elétrica e/ou térmica, o que substituirá outras fontes de geração de energia, havendo neste caso síntese de carbono, gerando, após balanço, emissão de GEE pouco significativa.

A alternativa de redução na fonte não foi abordada pelo presente estudo, pois é um tema complexo e depende, dentre outros fatores, de políticas públicas que determinem mudanças desde a exploração de matérias primas e manufatura industrial, limitando ou alterando as características, sobretudo, de produtos e embalagens.

Considerações Finais

A modelagem dos cenários propostos demonstrou que a adoção de alternativas tecnológicas distintas do usual destino final em aterros sanitários é ambientalmente mais favorável em termos de emissão de GEE.

Independente da configuração adotada pelos municípios, visto que a incorporação de novas tecnologias depende de orçamento e logística de operação do sistema específico, os resultados obtidos indicam que deve ser recomendada a seguinte ordem de prioridade quanto à gestão dos RSU: reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia, incineração com geração de energia e, por último, a disposição final em aterros sanitários.



Evidencia-se que, para mitigar a contribuição negativa da gestão de RSU no efeito estufa, devem ser avaliadas as alternativas de maneira global, realizando comparativo entre elas, no qual ferramentas de ACV dos RSU podem prover de informações tanto o gasto energético e emissão de GEE para a geração, quanto da destinação final. Como a modelagem de cenários alternativos na gestão de RSU com base na ACV dos materiais é um tema novo e pouco difundido, espera-se que este seja abordado pelos gestores em um futuro breve, a partir de trabalhos e publicações realizados sobre o tema.

Referências Bibliográficas

- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2017.
- BASU, Prabir. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Burlington: Ed. Elsevier, 2010.
- BELGIORNO, V. et al. Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2003. ISSN 0956-053X.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Legislativo, Brasília, DF, 29 dez 2009, Seção 1, Edição Extra, p. 109.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Legislativo, Brasília, DF, 3 ago 2010, Seção 1, p. 3.
- BRASIL. Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 dez 2010, Seção 1, p. 4.
- CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method For Estimating Greenhouse Gas Emission Reductions From Diversion Of Organic Waste From Landfills To Compost Facilities, 2017.
- CHHITI, Y.; KEMIHA, M., Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. 2013. *The International Journal of Engineering And Science*, v. 2, n.3 p. 75-85.
- FLORIANÓPOLIS. Decreto Municipal nº 17.910, de 22 de agosto de 2017. Plano Municipal Integrado de Resíduos Sólidos. Diário oficial do município de Florianópolis, Poder Executivo, Florianópolis, SC, 22 ago 2017, Edição 2011, p. 6.
- IBGE. Pesquisa Nacional do Saneamento Básico, 2008.
- IQBAL, A. et al. Integrated municipal solid waste management scheme of Hong Kong: A comprehensive analysis in terms of global warming potential and energy use. *Journal of Cleaner Production*, v. 225, n. 2019, p. 1079–1088, 2019.
- MOULT, J. A. et al. Greenhouse gas emissions of food waste disposal options for UK retailers. *Food Policy*, v. 77, n. November 2017, p. 50–58, 2018.
- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Mudança do Clima 2007: Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Sumário para políticos. Genebra. 2007.
- STANTEC CONSULTING Ltd., Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report. Burnaby, BC, 2011.