

III-223 - AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE APLICADA A INICIATIVAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: ESTUDO DE CASO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Jacqueline R. Bringhenti⁽¹⁾

Engenheira Civil e sanitarista, Mestre e Doutora em Saúde Pública pela USP, Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis, Ifes, Campus Vitória.

Geraldo André Rosseto Barreto⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental no IFES – Campus Vitória

Wanda Maria Risso Gunther⁽²⁾

Engenheira Civil e cientista social. Mestre e Doutora em Saúde Pública pela USP. Professora titular do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública, USP. Vice-coordenadora do Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da FSP/USP.

Adriana Marcia Nicolau Korres⁽¹⁾

Bióloga, Doutora em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia, Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis, Ifes, Campus Vitória.

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: (27) 3331-2237 - e-mail: jacquelineb@ifes.edu.br

Endereço⁽²⁾: Av. Dr. Arnaldo 715 – Pinheiros - São Paulo – SP - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: (11) 3331-2237 - e-mail: wgunther@usp.br

RESUMO

Instituições de Ensino Superior (IES) podem ser comparadas a pequenos núcleos urbanos quanto as suas interfaces sanitárias e ambientais. Diversas parcelas dos resíduos sólidos gerados nas IES possuem potencial de recuperação dentro da perspectiva da valorização de resíduos, podendo ser tratados *in loco*, resultando em ganhos ambientais, sociais e econômicos. A compostagem e a vermicompostagem apresentam-se como uma importante prática sustentável em tais ambientes e foi selecionada como foco para avaliação de sustentabilidade em IES. A avaliação do potencial de desvio de resíduos sólidos orgânicos dos aterros sanitários e a redução de gases de efeito estufa (GEE), comparando ao sistema convencional de manejo de resíduos, foi a estratégia metodológica aplicada para atingir os objetivos propostos. Os resultados obtidos, para um horizonte de 10 anos, indicaram que as emissões de GEE evitadas do Ifes, considerando o envio de 20,0 % dos orgânicos para a compostagem, corresponderia a 12,291 tCO₂e de metano e da FSP-USP, nas condições atuais de operação, a 16,43 tCO₂e de metano o que equivale a 25 e 32 barris de óleo consumidos respectivamente no mesmo período. Conclui-se que a metodologia adotada foi adequada como estratégia para avaliação de sustentabilidade aplicada, permitindo quantificar e posteriormente comunicar aos interessados os resultados da iniciativa como forma de manter o interesse em participar e garantir a sua continuidade.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Orgânicos, Compostagem, Vermicompostagem, Metano, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Instituições de Ensino Superior (IES), em função do seu porte e campo de atuação, desenvolvem atividades de ensino, pesquisa, extensão e de apoio operacional com potencial de geração de grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes líquidos e o consumo de diversos recursos naturais e efeitos negativos ao meio ambiente e a saúde.

Diversas parcelas dos resíduos sólidos gerados nas IES possuem potencial de recuperação dentro da perspectiva da valorização de resíduos, podendo ser tratados *in loco* como é o caso dos resíduos orgânicos. Por suas características e composição, esses resíduos favorecem a atração, alimentação e proliferação de insetos, artrópodes e roedores que desempenham função de reservatório e/ou vetores de diversas doenças (GÜNTHER, 2005).

A compostagem tem sido apresentada como uma alternativa sustentável para o gerenciamento e a reciclagem de resíduos sólidos orgânicos, resultando em produto de qualidade, conhecido como composto, que pode ser usado como complemento orgânico na agricultura (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2010 apud European Commission, 2009).

Haug (1993) define compostagem como a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas como resultado do calor produzido biologicamente, resultando em um produto final estável, livre de patógenos e sementes de plantas e pode ser benéficamente aplicado na terra.

A promoção da compostagem da fração orgânica dos resíduos está inserida na lei federal nº 12.305/10, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010). A alternativa de produção de composto orgânico tem sido adotada por diversas instituições do país. Por essas razões, são necessárias exaustivas e sistemáticas avaliações sobre seu desempenho ambiental, devendo ser considerados os impactos ambientais potenciais, positivos e negativos (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2010).

Uma possibilidade interessante para ambientes institucionais é a utilização de minhocas no processo, denominado de vermicompostagem, que aceleram a estabilização da matéria orgânica e reduzem a demanda de espaço físico, porém, são seletivas quanto as condições ambientais locais.

A compostagem, quando desenvolvida via processo aeróbio, gera baixas quantidades de metano por tonelada de resíduo orgânico em comparação com formas de tratamento anaeróbio ou disposição em aterro (INÁCIO, 2010 apud AMLINGER et al., 2008; BARTON et al., 2008; VANOTTI et al, 2009; PICKIN et al., 2002). Adicionalmente, quando desenvolvida *in loco*, envolve redução dos custos de gerenciamento, em especial de coleta, transporte e disposição final, minimização de impactos ambientais como a diminuição do volume de resíduos encaminhado aos aterros e lixões.

Em função da crescente preocupação com a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), diversos autores dedicaram-se a obter os fatores de emissão (EFs) da compostagem. Os fatores de emissão podem ser utilizados para avaliações ambientais, porém, é importante coletar dados quantitativos para melhorar a precisão, confiabilidade e consistência de bancos de dados e modelos (ANDERSEN et al. 2010).

O destino final da maioria dos resíduos sólidos orgânicos no Brasil, são os aterros sanitários. Conforme dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013, foram geradas 76,4 milhões de toneladas de RSU no ano em referência, das quais 69,1 milhões de toneladas foram coletadas. Desse montante coletado, 40,3 milhões de toneladas foram encaminhadas para disposição final em aterros sanitários, e 28,8 milhões de toneladas foram enviadas para lixões ou aterros controlados. Sendo que mais da metade desse montante é composto por matéria orgânica.

Apesar de ser a alternativa mais viável para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, a degradação anaeróbia da matéria orgânica nos aterros sanitários emite grande quantidade de gases por tonelada de resíduo tratado. Considerando apenas o CH₄, estima-se que o tratamento e disposição de resíduos urbanos representem 13% das emissões antropogênicas deste GEE. Os aterros sanitários são as principais fontes dessas emissões (INACIO, 2010 apud BARTON et al., 2008). Dessa forma, tratamentos alternativos, que possuam menor impacto, devem ser estudados e adotados.

Para a avaliação da sustentabilidade das iniciativas de compostagem ora apresentadas foi selecionado como foco de estudo o potencial de desvio de resíduos sólidos orgânicos dos aterros sanitários e a redução de gases de efeito estufa (GEE), comparando ao sistema convencional de manejo de resíduos.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo que embasou o presente trabalho, foi aplicado a duas Instituições de Ensino Superior (IES) localizadas em dois estados da região sudeste do país, a Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP-USP) e o Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), nos municípios de São Paulo/SP e de Vitória/ES. Ambas as IES possuem projetos sobre o tema inseridos em programas locais de práticas sustentáveis e realizam a compostagem em local aberto, integrado as respectivas áreas verdes, sendo que a primeira utiliza o método de compostagem com leiras reviradas e a segunda a vermicompostagem em caixas (Quadro 1). As iniciativas têm sido base para trabalhos de iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso de graduação e dissertações de mestrado.

Quadro 1 – Características das iniciativas de Coleta Seletiva e de Compostagem de resíduos orgânicos avaliadas.

	FSP	IFES
Método utilizado	Compostagem natural com leira revirada manualmente	Compostagem natural com uso de minhocas californianas
Início de funcionamento	2009	2013
Fontes de resíduos orgânicos	Coleta seletiva em diversos departamentos, creche, centro de saúde e restaurante	Coleta seletiva em diversas coordenadorias de cursos, área administrativa, cantina e restaurante
Principais tipos de orgânicos produzidos	Cascas de frutas Borra de café Poda de árvores e de grama Sobras do pré-preparo e pós-consumo da cantina, do restaurante e da creche Papéis	Cascas de frutas Borra de café Poda de árvores e de grama Sobras do pré-preparo e pós-consumo da cantina e do restaurante Papéis
Orgânicos tratados via compostagem	Cascas de frutas e borra de café	Cascas de frutas, borra de café e grama seca

As etapas metodológicas estão ilustradas no fluxograma a seguir:

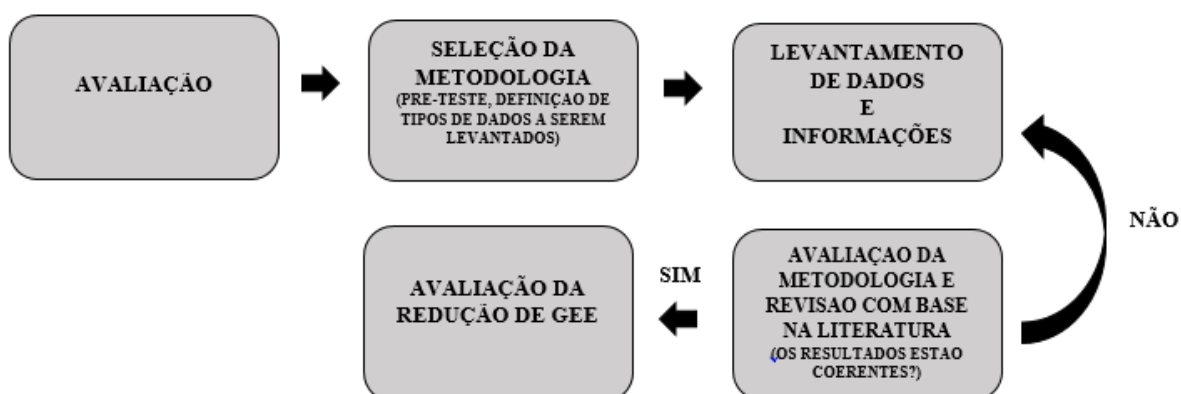


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas.

Avaliação

Esta etapa refere-se ao levantamento bibliográfico preliminar para identificar metodologias aplicáveis para avaliação de sustentabilidade em IES, sendo o ponto de partida da pesquisa que embasou o presente trabalho.

Em função da escassez de estudos aplicados a realidade das IES, foi identificada a possibilidade concreta de utilizar como referência para atingir o objetivo proposto, a metodologia de avaliação do potencial de redução das emissões de GEE relacionadas às práticas sustentáveis de coleta seletiva seguida de compostagem ou vermicompostagem em pequena escala já implantadas nos locais estudados.

Seleção da metodologia de cálculo GEE

Com base em levantamento bibliográfico realizado no portal de periódicos CAPES, utilizando os descritores resíduos sólidos orgânicos, compostagem, metano e sustentabilidade, em português e inglês, foram selecionados artigos, que após leitura e discussão nos grupos de pesquisa envolvidos no estudo, direcionou a escolha de metodologia alinhada a Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas.

A ferramenta selecionada para o cálculo do potencial de emissões de metano em um aterro sanitário foi desenvolvida pela United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), sendo denominada *Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site* (UNFCCC, 2006). Através da análise dessa metodologia compreendeu-se que ela é aplicável ao nosso estudo de caso, uma vez que as características do local de disposição dos resíduos podem ser claramente determinadas.

Para o cálculo do potencial de emissões de metano proveniente das composteiras também foi selecionada metodologia desenvolvida pela UNFCCC, denominada como: *Project and leakage emissions from composting - Determination of project emissions of methane* (UNFCCC, 2011).

Levantamento de dados e informações

O levantamento de dados primários e secundários sobre a geração de resíduos sólidos orgânicos (RSO) representou uma importante etapa do estudo. As instituições envolvidas possuíam rotinas de registro de informações e dinâmicas diferentes de trabalho, sendo necessário conhecê-las para poder adequar as informações às necessidades da metodologia selecionada.

A partir do pré-teste, da metodologia selecionada, com dados existentes referentes ao monitoramento da produção de resíduos orgânicos via coleta seletiva na instituição de Vitória/ES, verificou-se a necessidade de levantar informações adicionais para viabilizar a análise de sustentabilidade proposta, como a geração de orgânicos na cantina e dados operacionais do aterro sanitário utilizado pelo município (distância, existência de tratamento de GEE, etc.)

Avaliação da redução de GEE

O desvio de resíduos orgânicos dos aterros sanitários decorrente do envio para compostagem *in loco* foi calculado, para cada uma das instituições avaliadas, com base no monitoramento operacional existente, levantamento de dados primários e algumas considerações técnicas complementares pertinentes, como de parâmetros referenciais obtidos junto ao IBGE e entidades do setor.

Após testes, verificou-se a necessidade de ajustes na metodologia selecionada para se realizar a análise de sustentabilidade proposta, adequando os tipos de dados e como seriam obtidos os dados, ajustando-os para os diferentes cenários existentes.

De posse de tais dados, foi avaliado o potencial de redução de emissão de GEE com o envio dos orgânicos para a compostagem em comparação ao sistema convencional de manejo de RSU convencional, onde os mesmos resíduos estavam sendo enviados ao aterro sanitário.

RESULTADOS

Geração de RSO no IFES

O campus Vitória do IFES possui cerca de 4 mil alunos de cursos técnicos profissionalizantes, graduação e pós-graduação, bem como 293 servidores docentes, 175 servidores técnico-administrativos e 80 colaboradores externos, existindo grande rotatividade de pessoas e significativa geração de resíduos, inclusive os orgânicos.

A ação de coleta seletiva de orgânicos e envio para vermicompostagem na instituição iniciou em 2013, de forma experimental, sendo gradativamente ampliada (figura 2). Em 2016 atendia a 4 setores técnicos e 2 administrativos.

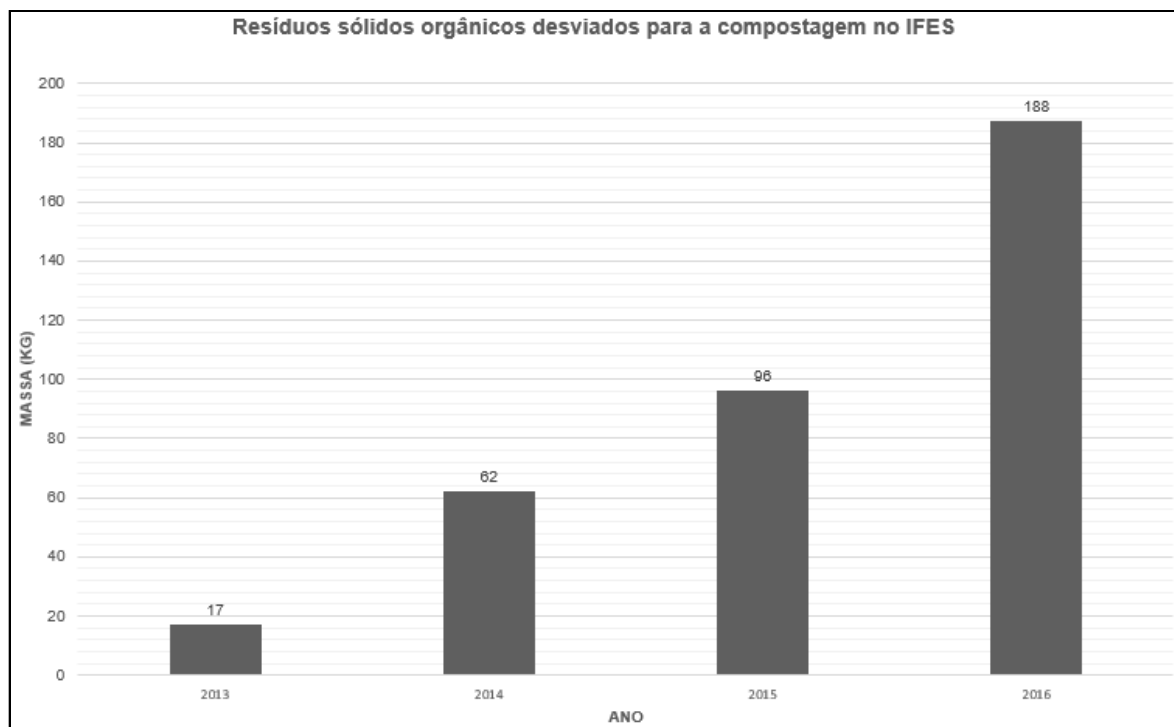


Figura 2: Resíduos orgânicos (Kg/ano) desviados para compostagem no Ifes, entre 2013 e 2016.

No caso do Ifes, o planejamento inicial do estudo previa a utilização do registro rotineiro da massa de resíduos recuperada via coleta seletiva de orgânicos para o cálculo das emissões de GEE evitadas.

Após a compreensão da ferramenta metodológica selecionada, constatou-se que a massa de resíduos que estava sendo efetivamente desviada para o processo de compostagem não era representativa para aplicação na metodologia selecionada para o cálculo das emissões de metano, sendo necessário fazer alguma adequação. A quantidade mínima desejável seria de valores acima 1,0 ton/ ano.

Na prática, foi verificado que a cantina, apesar de ser o maior produtor de orgânicos da instituição, estava contribuindo de forma esporádica em função de dificuldades operacionais de segregar os orgânicos na fonte no padrão exigido para a vermicompostagem.

Visando adequar a quantidade de desvio de resíduos orgânicos do IFES à metodologia selecionada, ampliou-se a análise para cenários onde os orgânicos produzidos na cantina fossem encaminhados para a compostagem.

Para obter dados sobre a geração de orgânicos na cantina, foram realizadas duas campanhas de monitoramento, inicialmente por registro do volume diário, o que não se mostrou viável, e posteriormente com a pesagem dos sacos, contendo os resíduos do preparo e da ingestão de alimentos descartados, durante duas semanas consecutivas visando levantar o seu real potencial de produção. Visitas e contatos prévios com os responsáveis da empresa que administra o local contribuíram para conhecer a dinâmica de geração e a tipologia dos resíduos produzidos.

A cantina da instituição serve lanches e refeições, sendo que boa parte é produzida in loco, de segunda a sábado, sendo que, durante a semana funciona nos turnos matutino, vespertino e noturno. No sábado o local funciona apenas pela manhã para lanches, servindo alimentos previamente preparados na semana, com pequena produção de resíduos orgânicos que foi desconsiderado para a estimativa proposta.

Para levantar o potencial de geração de resíduos orgânicos no local foi utilizada uma balança com precisão de 100 gramas, sendo que em alguns dias foi utilizada uma segunda balança com uma precisão de 10 gramas para verificar possíveis erros. O controle de produção foi realizado sempre às 14:30, após o encerramento do horário de almoço e descarte dos resíduos pelos funcionários do estabelecimento (figuras 3).



Figura 3: Campanha de monitoramento da produção de resíduos orgânicos da cantina no Ifes.

Os dados levantados foram sistematizados, sendo calculada a média e o desvio padrão que seguem apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Dados de geração diária, média diária e semanal, de resíduos orgânicos na cantina da instituição B, segundo dia da semana, no período de 07/11/2016 até 18/11/2016. Vitória/ES.

DIA DA SEMANA	SEMANA 1 (Kg/dia)	SEMANA 2 (Kg/dia)	MÉDIA DIÁRIA (Kg/dia)	DESVIO PADRÃO (%)
Segunda-feira	33,9	35,3	34,6	0,99
Terça-feira	71,1	42,0	56,5	20,58
Quarta-feira	41,7	39,3	40,5	1,69
Quinta-feira	44,0	45,2	44,6	0,85
Sexta-feira	50,8	48,7	49,7	1,48
PRODUÇÃO SEMANAL	241,5	210,5	-	21,9
MÉDIA SEMANAL	48,3	42,1	-	4,38

A partir das médias de produção obtidas em cada uma das semanas avaliadas, foi possível estimar a produção média de orgânicos da cantina do Ifes.

$$\text{MÉDIA DIÁRIA} = (\text{MÉDIA DA SEMANA 1} + \text{MÉDIA DA SEMANA 2}) \div 2$$

$$\text{MÉDIA DIÁRIA} = 45,2 \text{ Kg/dia}$$

No período de levantamento de dados a cantina do IFES servia em média 160 refeições por dia. Os resíduos orgânicos produzidos são compostos de cascas de vegetais e resto comida (ingesta) resultantes do descarte de valores entre 0,26 e 0,30 kg de alimentos por refeição preparada.

Os resíduos sólidos gerados na Instituição são enviados a um aterro sanitário privado localizado no município vizinho. O clima desse município é tropical com precipitação média anual de cerca de 1200mm. A coleta é

feita pelo serviço público municipal, enviado a uma estação de transferência, e em seguida segue por uma via de tráfego intenso a uma distância de 28,0 km para o seu destino final.

Geração de RSO na FSP-USP

A FSP-USP possui iniciativa de coleta seletiva de orgânicos mais consolidada envolvendo departamentos de ensino e administração, além de pontos com maior geração de orgânicos como laboratório do curso de nutrição, restaurantes e creches. Adicionalmente tem grande área verde que contribui com material palhoso. O controle da massa de orgânicos enviados à compostagem é feito semanalmente, no momento da operação das leiras.

Em 2016, a instituição contava com mais de 1.500 membros, constituídos por 96 docentes, 586 alunos de graduação, 511 alunos de pós-graduação (324 de mestrado e 187 de doutorado), 76 de especialização e 327 funcionários técnico-administrativos. Possuía ainda funcionários comissionados e terceirizados e uma população circulante variável, composta por pesquisadores, bolsistas, estagiários e visitantes.

O gráfico da Figura 4 contém as informações referentes a massa de resíduos desviada para a compostagem na FSP/USP.

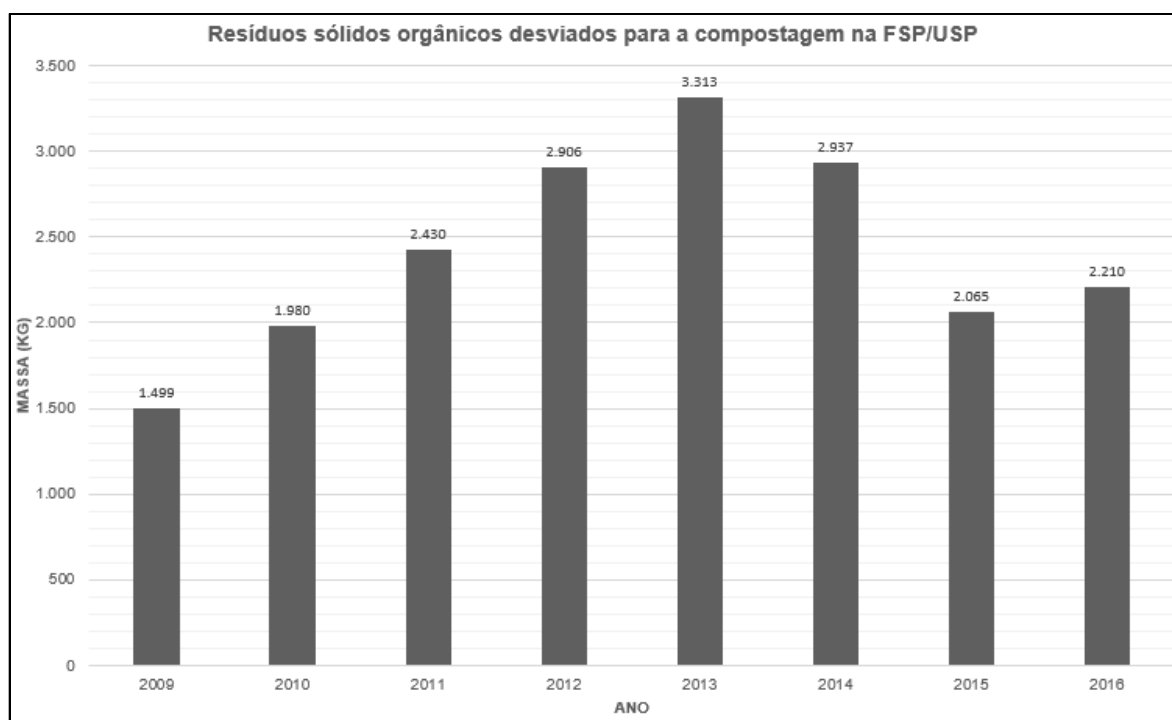


Figura 4: Resíduos orgânicos (Kg/ano), desviados para compostagem na FSP/USP, entre 2009 e 2016.

A comparação dos gráficos apresentados nas Figuras 2 e 4, permite visualizar que a quantidade de resíduos desviados para a compostagem na FSP-USP é consideravelmente maior que a do Ifes. Tal diferença foi relacionada ao fato de coleta seletiva de orgânicos na instituição de São Paulo funcionar de forma contínua desde 2009, sendo uma prática consolidada. Outro aspecto que diferencia refere-se ao método de compostagem utilizado na FSP-USP, leiras reviradas, com menores restrições em relação aos tipos de orgânicos.

Os resíduos não perigosos coletados na FSP-USP, caso não sejam tratados via compostagem in loco, são enviados ao serviço público municipal de coleta que utiliza um aterro particular localizado em outro município, a cerca de 40 Km da instituição. No local onde está situada a central de tratamento de resíduos, que abriga o aterro sanitário utilizado, a temperatura média é de cerca de 21°C e a precipitação média anual de cerca de 1200mm.

Avaliação do potencial de mitigação das emissões de metano no IFES

Para obter os valores referentes ao potencial de emissões de metano referente às práticas de tratamento de resíduos do IFES, foram traçados cenários com base no resultado das campanhas de monitoramento realizadas na cantina, os quais foram acrescidos dos dados da coleta seletiva nos setores da instituição. Considerou-se o cenário 1 onde os resíduos de um dia por semana fossem enviados para compostagem (20,0 %), o cenário 2 com coleta da cantina em dois dias da semana (40,0 %) e o cenário 3 com 100,0 %. Assim, foi feito o cálculo para estimar a quantidade de metano que deixaria de ser emitido para os cenários traçados em relação ao envio dos mesmos resíduos para um aterro sanitário.

Essas considerações foram necessárias devido a escala e o estágio de funcionamento do projeto de coleta seletiva de orgânicos na Instituição, baseada nas contribuições de pequenos geradores, que resultava em quantidade de resíduos desviado para as composteiras pouco representativa do potencial do IFES.

Como as emissões de metano estão diretamente ligadas a massa de resíduos destinada para algum tratamento final, seja ele aeróbio ou anaeróbio, tal ajuste também permitiu a aplicação à metodologia de cálculo selecionada.

Para esse cálculo, foram utilizadas as metodológicas selecionadas anteriormente, propostas pela UNFCCC, sendo utilizadas duas fórmulas - a primeira para o cálculo das emissões provenientes do aterro sanitário e a segunda para calcular as emissões provenientes das composteiras. A fórmula 1 é dada por:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \phi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

Figura 5: Fórmula 1 utilizada para os cálculos das emissões de metano decorrentes de aterros sanitários.

As descrições de cada variável assim como os valores utilizados no cálculo do potencial de emissão de metano dos resíduos orgânicos do IFES depositados em um aterro sanitário foram organizados na Tabela 2.

Tabela 2: Variável, descrição e valores utilizados na fórmula 1.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR UTILIZADO
$BE_{CH_4,SWDS,Y}$	Emissões de metano (tCO_{2e})	-
Φ	Fator de correção do modelo	0,9
F	Fração de metano capturado no aterro	0
GWP_{CH_4}	Potencial de aquecimento global do metano	21
OX	Fator de oxidação do metano	0,1
F	Fração volumétrica de metano emitido pelo aterro	0,5
DOC_e	Fração de carbono orgânico degradável	0,5
MCF	Fator de correção do metano	1,0
$W_{i,X}$	Massa de resíduo orgânico (ton)	Varia de acordo com o cenário.
DOC_j	Fração do carbono orgânico degradável no resíduo	0,15
K_j	Taxa de degradação para o resíduo do tipo j	0,40
X	Ano durante o período de obtenção de créditos	1
Y	Ano em que as emissões de metano são calculadas.	10

Como o objetivo do estudo é avaliar o potencial de mitigação das emissões de metano por meio da compostagem, optou-se por desconsiderar o fato do aterro sanitário possuir ou não sistema de captura ou queima do gás gerado, dessa forma, o valor da variável f foi considerado zero em todos os cálculos desse trabalho.

A partir das campanhas de monitoramento da geração média diária de resíduos orgânicos da cantina do IFES Campus Vitória, foi possível efetuar o cálculo do potencial de emissão de metano devido a degradação dos resíduos da instituição, sendo definidos alguns cenários de estudo. No cenário 1, os resíduos produzidos na cantina em um dia normal da semana seriam desviados para a compostagem, o cenário 2 representaria o envio de dois dias de produção de orgânicos da cantina e o 3 do envio da massa total produzida (tabela 3).

Tabela 3: Massas de resíduos da cantina enviados para compostagem no IFES, segundo cenários traçados

	Cenário 1 (20,0 %)	Cenário 2 (40,0 %)	Cenário 3 (100,0 %)
Quantidade diária média (kg/dia)	45,2	90,4	226
Quantidade anual (t/ano)	1,808	3,616	9,040

Para os cálculos dos valores apresentados na tabela 3, considerou-se a geração média de orgânicos obtida, 45,2 Kg/dia, e o número de dias letivos da instituição (200 dias por ano). Uma vez que nos períodos de férias o restaurante da cantina não funciona.

Utilizando a fórmula da Figura 5 e os parâmetros da Tabela 2, foram efetuados os cálculos das emissões correspondentes a cada ano, e no final foi obtido, através do somatório dos valores anuais, o valor que corresponde as emissões de metano no aterro sanitário em um período de 10 anos.

Os dados disponíveis referiam-se ao período de 2013 a 2016, sendo necessário fazer uma projeção para atingir o intervalo de 10 anos proposto. Uma vez que o campus Vitória do IFES já é bastante adensado em termos de ocupação de área física e número de alunos, considerou-se que massa de orgânico para os anos subsequentes permaneceria a mesma.

O valor foi obtido, considerando a contribuição da cantina constante na tabela 3, acrescida da média das massas de orgânicos recuperadas via coleta seletiva nos anos 2015 e 2016 (142 kg/ano) que foram mais representativos.

Os resultados obtidos foram organizados nas Tabelas 4.

Tabela 4: Emissões de metano referente ao envio dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do IFES para o aterro sanitário em tCO_{2e}, no período de 10 anos para o cenário 1 (20,0%).

ANO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Cenário 1 (20,0%)											
Massa (Kg)	1825	1870	1904	1996	1950	1950	1950	1950	1950	1950	19.295
Emissões (tCO_{2e})	1,524	1,547	1,553	1,594	1,508	1,434	1,324	1,159	0,913	0,547	13,103
Cenário 2 (40,0%)											
Massa (Kg)	3.633	3.678	3.712	3.804	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	37.375
Emissões (tCO_{2e})	3,033	3,043	3,028	3,039	2,906	2,764	2,551	2,234	1,760	1,054	25,412
Cenário 3 (100,0%)											
Massa (Kg)	9.057	9.102	9.136	9.228	9.182	9.182	9.182	9.182	9.182	9.182	91.615
Emissões (tCO_{2e})	7,562	7,530	7,453	7,371	7,100	6,752	6,233	5,457	4,300	2,575	62,333

Assim obteve-se a projeção das emissões de metano para um período de 10 anos, com total de 13,103 tCO_{2e} de metano devido a degradação anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em um aterro sanitário se 20,0% dos resíduos gerados na cantina forem encaminhados para esse tipo de destinação final, 25,412 tCO_{2e} se forem encaminhados 40,0% e 62,333 tCO_{2e} se forem encaminhados 100,0%.

Para obter o potencial de mitigação das emissões de metano proposto como estratégia de avaliação de sustentabilidade, também é preciso obter o quanto é emitido no processo de compostagem. Para isso foi utilizada a segunda ferramenta metodológica selecionada anteriormente, cuja formulação é dada pela expressão:

$$PE_{CH_4,y} = Q_y \cdot EF_{CH_4,y} \cdot GWP_{CH_4}$$

Figura 6: Fórmula utilizada para os cálculos das emissões de metano decorrentes de compostagem.

A descrição dos parâmetros da expressão assim como os valores utilizados para o cálculo das emissões provenientes do processo de compostagem foram organizados na Tabela 5.

Tabela 5: Variável, descrição e valores utilizados

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR UTILIZADO
$PE_{CH_4,Y}$	Emissões de metano provenientes da composteira no ano y (tCO_2e).	-
Q_y	Massa de resíduos (ton), desviada para as composteiras no ano y.	Varia em função cenários traçados.
$EF_{CH_4,Y}$	Fator de emissão do metano por tonelada de resíduo compostado.	0,002
GWP_{CH_4}	Fator de aquecimento global do metano.	21

Uma vez que nas iniciativas avaliadas não existe o monitoramento das emissões do processo de compostagem não foi possível um fator de emissão específico, sendo necessário obter na literatura valores tabelados para que viabilizar os cálculos. O fator de emissão utilizado foi o valor recomendado pela metodologia utilizada que é de $2 \text{ Kg CH}_4 t^{-1}$, selecionado com base no estudo dos resultados publicados de medições de emissões de instalações de compostagem, revisão de literatura sobre o assunto e fatores de emissão publicados (UNFCCC, 2011). Foram analisados dados de fontes recentes de alta qualidade e obtido um valor conservadoramente selecionado a partir do extremo superior da faixa nos resultados.

Porém cabe destacar que o fator de emissão varia de acordo com o processo de compostagem (ANDERSEN et al. 2010), sendo vários autores já realizaram pesquisas com o objetivo de obter valores para seus processos.

Andersen et al., 2010 obteve fatores de emissão entre $0.4\text{--}4.2 \text{ kg CH}_4 t^{-1}$, Martínez-Blanco et al., 2010 obteve o valor de $0.158 \text{ Kg CH}_4 t^{-1}$, o IPCC, 2006 recomenda o uso de $4 \text{ Kg CH}_4 t^{-1}$.

Os cálculos foram feitos para obter as emissões de um período de 10 anos para o cenário 1. Os resultados foram organizados na Tabela 6.

Tabela 6: Emissões de metano referente ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do IFES pelo método da compostagem em tCO_2e , no período de 10 anos para o cenário 1 (20,0%).

ANO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Massa (Kg)	1825	1870	1904	1996	1950	1950	1950	1950	1950	1950	19.295
Emissões (tCO_2e)	0,077	0,079	0,080	0,084	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082	0,812

Ao observar os resultados obtidos, conclui-se que para um período de 10 anos as composteiras do IFES campus Vitória emitiriam um total de $0,812 \text{ tCO}_2e$ de metano se 20,0 % dos resíduos orgânicos gerados na cantina (produção de um dia da semana) da Instituição fossem desviados para a compostagem

Os cálculos foram feitos para obter as emissões de um período de 10 anos para o cenário 2. Os resultados foram organizados na Tabela 7.

Tabela 7: Emissões de metano referente ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do IFES pelo método da compostagem em tCO₂e, no período de 10 anos para o cenário 2 (40,0%).

ANO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Massa (Kg)	3.633	3.678	3.712	3.804	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	3.758	37.375
Emissões (tCO₂e)	0,153	0,154	0,156	0,160	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	0,158	1,571

Ao observar os resultados obtidos, conclui-se que para um período de 10 anos as composteiras do IFES campus Vitória emitiriam um total de 1,571 tCO₂e de metano se 40,0 % dos resíduos orgânicos gerados na cantina da Instituição (produção de dois dias da semana) fossem desviados para a compostagem

Os cálculos foram feitos para obter as emissões de um período de 10 anos para o cenário 3. Os resultados foram organizados na Tabela 8.

Tabela 8: Emissões de metano referente ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do IFES pelo método da compostagem em tCO₂e, no período de 10 anos para o cenário 3 (100,0 %).

ANO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Massa (Kg)	9.057	9.102	9.136	9.228	9.182	9.182	9.182	9.182	9.182	9.182	91.615
Emissões (tCO₂e)	0,380	0,382	0,384	0,388	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385	3,844

Ao observar os resultados obtidos, conclui-se que para um período de 10 anos as composteiras do IFES campus Vitória emitiriam um total de 3,844 tCO₂e de metano se todos os resíduos orgânicos gerados na cantina da Instituição fossem desviados para a compostagem.

Para obter o valor das emissões que seriam evitadas no horizonte de estudo (10 anos), foi calculada a diferença entre o total das emissões que seriam emitidas se massa de resíduos fosse depositada em um aterro sanitário e o total correspondente as emissões dessa mesma massa de orgânicos sendo tratadas nas composteiras. Essa diferença corresponde ao metano que deixa de ser emitido a partir do desvio da parcela de orgânicos avaliada, nos estudos de caso, do aterro sanitário para o tratamento aeróbio.

O cenário 1, considerou que 20,0% dos resíduos da cantina foram desviados para a compostagem. Essa mesma quantidade de resíduo orgânico em um aterro sanitário emitiria em um período de 10 anos um total de 13,103 tCO₂e, e no processo de compostagem, para mesma a quantidade de resíduo e horizonte de tempo corresponderia a 0,812 tCO₂e de metano, resultando em 12,291 tCO₂e de emissões evitadas. O mesmo cálculo foi feito para os cenários 2 (40,0%) e 3 (100,0%), resultando respectivamente em 23,841 tCO₂e e 58,489 tCO₂e de emissões evitadas.

Avaliação do potencial de mitigação das emissões de metano na FSP/USP

Com base nos dados obtidos por meio do monitoramento, realizado desde 2009, dos resíduos desviados para o processo de compostagem, foi feito o cálculo do potencial de emissões de metano devido a degradação anaeróbia dos resíduos provenientes da FSP/USP para um período de 10 anos caso eles fossem depositados em um aterro sanitário, sendo considerado que nos dois últimos anos a massa de resíduo enviada para as composteiras seria a média dos anos anteriores. Essa consideração foi feita, pois os dados de 2017 e 2018 ainda não estavam consolidados.

Os valores de cada parâmetro foram os mesmos que os utilizados para o cálculo das emissões do IFES (Tabela 2), com exceção da massa, onde foram utilizados os valores monitorados na FSP/USP (Figura 4).

A Tabela 9, contém os resultados obtidos com o cálculo.

Tabela 9: Emissões de metano referente ao envio dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do FSP/USP para o aterro sanitário em tCO₂e, no período de 10 anos.

ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Massa (Kg)	1.499	1.980	2.430	2.906	3.313	2.937	2.065	2.210	2.418	2.418	24.176
Emissões (tCO ₂ e)	1,25	1,64	1,98	2,32	2,56	2,16	1,40	1,31	1,13	0,68	16,43

Ao analisar a tabela acima, conclui-se que em um período de 10 anos seriam emitidos um total de 16,43 tCO₂e de metano devido a degradação anaeróbia caso os resíduos sólidos orgânicos fossem depositados em um aterro sanitário.

Para as emissões provenientes das composteiras, os parâmetros utilizados também foram os mesmos utilizados para o IFES (Tabela 5), com exceção da massa de resíduos. Os resultados obtidos, foram organizados na Tabela 10.

Tabela 10: Emissões de metano referente ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do FSP/USP pelo método da compostagem em tCO₂e, no período de 10 anos.

ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Massa (Kg)	1.499	1.980	2.430	2.906	3.313	2.937	2.065	2.210	2.418	2.418	24.176
Emissões (tCO ₂ e)	0,063	0,083	0,102	0,122	0,139	0,123	0,086	0,092	0,102	0,102	1,01

Assim chega-se aos valores de emissões de metano, entre 2009 a 2018, onde as composteiras da FSP/USP seriam responsáveis pela emissão de um total de 1,01 tCO₂e de metano.

Com base nesses resultados, utilizando o mesmo critério de avaliar a diferença entre as emissões referentes a diferentes soluções para o encaminhamento dos resíduos orgânicos, conclui-se que as emissões de metano evitadas a partir do uso da compostagem na FSP/USP, no horizonte de 10 anos, foi de 15,42 tCO₂e.

Avaliação de sustentabilidade das práticas com base nos valores obtidos

As emissões de metano a partir da adoção do tratamento aeróbio de resíduos orgânicos via compostagem são muito menores do que as do tratamento em aterros sanitários (Figuras 7 e 8), o que reforça a sustentabilidade ambiental de tais práticas.

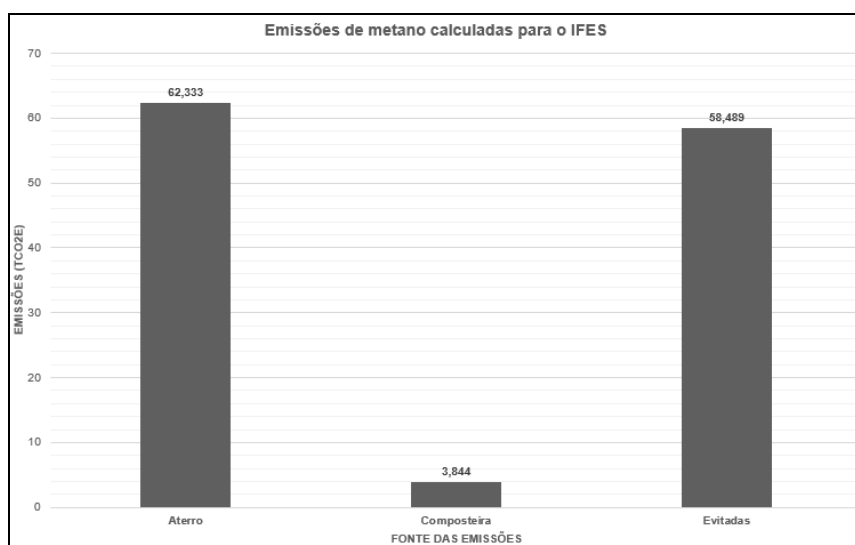


Figura 7: Emissões de metano evitadas no Ifes, no horizonte de 10 anos, para o cenário onde 100% dos resíduos orgânicos produzidos na cantina são destinados a compostagem.

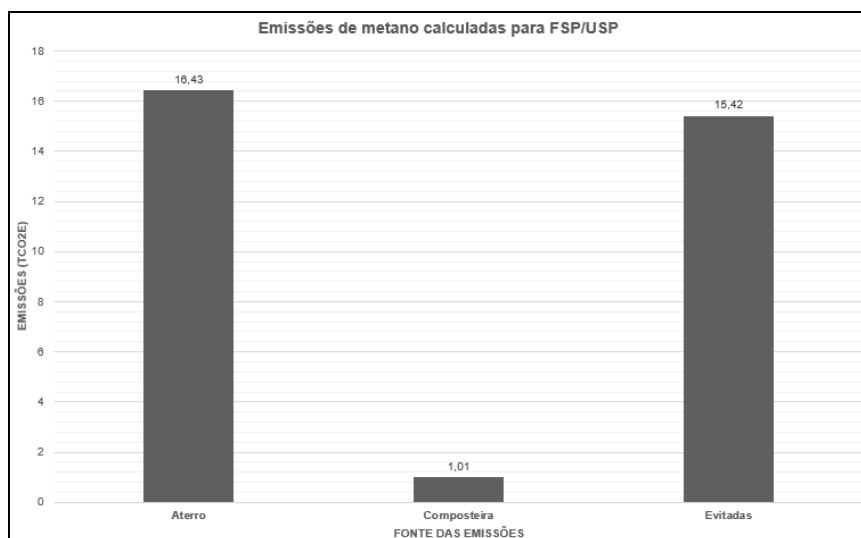


Figura 8: Emissões de metano evitadas na FSP/USP, no horizonte de 10 anos, a partir da prática da compostagem.

Buscando obter uma ordem grandeza dos resultados encontrados realizou-se uma comparação com base no aplicativo *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. Trata-se ferramenta desenvolvida pela EPA - *United States Environmental Protection Agency*, disponível para acesso público, com objetivo de transformar dados relativos de emissões de gases de efeito estufa, calculadas em unidades de medida pouco familiarizada com a realidade do cidadão comum, para uma linguagem mais acessível.

Assim foi feita conversão dos resultados obtidos de modo a facilitar a comunicação com os interessados.

No caso do IFES o potencial de emissões evitadas, para um período de 10 anos, considerando o cenário 3, foi estimado em 58,489 tCO₂e. Fazendo a conversão pelo aplicativo da EPA verifica-se que foi deixado de emitir o equivalente as emissões de CO₂ de: 123 barris de óleo consumidos, ou, um pouco mais de 200 mil quilômetros rodados por um carro médio, ou, referentes ao consumo de cerca de 5.900 galões de gasolina (EPA, 2017).

Apesar de menores, as emissões evitadas nos cenários 1 e 2 ainda são relevantes. Para cenário 1, obteve-se o valor de: 12,291 tCO₂e., que equivalem, em emissões de CO₂, a cerca de 25 barris de óleo consumido, ao consumo de cerca de 1.200 galões de gasolina e a mais de 40 mil quilômetros rodados por um veículo de passeio médio (EPA, 2017). Para o cenário 2, obteve-se o valor de: 23,841 tCO₂e, que equivalem a cerca de 50 barris de óleo consumidos, ao consumo de cerca de 2.400 galões de gasolina e a mais de 80 mil quilômetros rodados por um veículo de passeio médio (EPA, 2017).

Já a emissões evitadas na FSP/USP para um período de 10 anos, calculadas em 15,42 tCO₂e, obteve-se o equivalente as emissões de CO₂ referentes à quase 54 mil quilômetros rodados por um veículo de passeio médio, ou, ao consumo de 1.574 galões de gasolina, ou, referentes ao consumo de 32 barris de óleo (EPA, 2017).

Em uma análise de sustentabilidade mais geral também seriam avaliados os ganhos sociais e econômicos das práticas adotadas individualmente e em conjunto para um bairro, uma cidade, ou outra escala que se deseje monitorar. Para tal seria importante manter e aprimorar o registro de dados e informações e compartilhar experiências. Destaca-se ainda a grande contribuição da segregação de orgânicos na fonte para facilitar a implantação e operação da coleta seletiva e da reciclagem das demais parcelas presentes nos resíduos das IES, como os papéis.

A compostagem portanto, pode ser considerada como uma pratica sustentável altamente viável como alternativa para o gerenciamento de resíduos orgânicos. Além de promover a redução do volume e a complexidade de resíduos que entram no aterro, a reciclagem de nutrientes, a possibilidade de gerar um

incremento agrícola de qualidade minimizando o uso de fertilizantes químicos (BOLDRIN et al., 2010), ela também deve ser vista como importante aliada nas reduções das emissões de gases de efeito estufa. Essas características devem incentivar o fortalecimento de pesquisas e práticas relacionadas aos processos de compostagem, servindo como motivação para contornar dificuldades que possam surgir no projetos, como a falta de dados, as dificuldades em obter parâmetros aplicáveis e em alguns casos a falta de literatura específica.

CONCLUSÕES

As Instituições de Ensino Superior (IES) possuem papel de destaque no processo de desenvolvimento tecnológico e deveriam participar de forma mais efetiva na construção e no desenvolvimento de uma sociedade sustentável e justa. Acredita-se que pequenas ações como a representada pela implantação e operação de composteiras caseiras “in situ”, em ambiente institucional, pode levar ao desvio de parcela orgânica significativa do fluxo normal de RSU, considerando-se a possibilidade de sua reprodutibilidade para outros ambientes e locais e escala de implementação.

A avaliação de sustentabilidade, como proposta no presente trabalho, fortalece as iniciativas locais pois contribui para o uso mais sustentável dos recursos em IES, aumentando a visualização dos seus benefícios para gestores e comunidades em geral incentivando mudanças na gestão ambiental das instituições, através do reconhecimento dos impactos gerados, e com isso, incentivando a criação e continuidade de programas de práticas sustentáveis.

O desvio de resíduos sólidos orgânicos de aterros sanitários reduz a quantidade de resíduos recebidos pelo aterro aumentando sua vida útil, garantindo uma economia significativa para o setor responsável contribuindo, também, na redução das emissões de gases de efeito estufa, carecendo de investimentos em infraestrutura, mão de obra e ações educativas para maior sustentabilidade.

Considerando as dificuldades encontradas para seleção de metodologia aplicáveis a pequena escala, adequadas às especificidades do país, e as metas de desvio de resíduos orgânicos de aterros sanitários estabelecidas pela PNRS, recomenda-se a continuidade e o aprimoramento de estudos para avaliar a sustentabilidade da compostagem em pequena escala como alternativa de minimização e valorização de resíduos orgânicos produzidos em ambientes institucionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. ABRELPE: [S.1], 2014.
2. ANDERSEN, J.K. et al. *Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. Waste Management*, v. 30, n. 12, p. 2475-2482, 2010.
3. HAUG, R.T. *Practical Handbook of Compost Engineering*. 2a. Ed. Taylor & Francis Inc. Boca Raton, Florida. 1993.
4. BOLDRIN, A. et al. 2010. *Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. Resour. Conservation Recycl.* 54, 1250e1260.
5. GÜNTHER, W.M.R. Poluição do solo. In: Educação ambiental e sustentabilidade. Philippi Jr, A; Pelicioni, M.C.F (Eds). Barueri, SP: Manole, p. 195 -215, 2005.
6. IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change*, vol. 5. Disponível em <www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> . Acesso em 10 mai 2017.
7. INÁCIO, Caio de Teves. Dinâmica de gases e emissões de metano em leiras de compostagem. 2010. 95f. - , Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
8. MARTÍNEZ-BLANCO, J. et al. *The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. Waste Management*, v. 30, n. 6, p. 983-994, 2010.
9. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. *Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site: version 04, EB41, Report Anex 10*, 2006. Disponível em <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 10 set 2016.

10. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. *Project and leakage emissions from composting*. Version 01.0.0. Germany: UNFCC, 2011. 16 p. EB 65. Annex 09. (Report). Disponível em: < <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-13-v1.pdf> >. Acesso em: 20 mai 2017.
11. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. *Energy and the Environment*. <<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>>. Acesso em: 24 mai 2017.