



PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DO PLANO DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES DA CIDADE DE SÃO PAULO

Mario Jose Lucero Culi¹ (mario.lucero@usp.br), Ronan Cleber Contrera¹ (contrera@usp.br)
1 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos domésticos é uma parte importante no aproveitamento energético dos mesmos. Portanto, o objetivo na seguinte pesquisa foi a determinação da viabilidade técnica de implementação do aproveitamento energético dos resíduos sólidos domésticos do município de São Paulo, através dos processos de digestão anaeróbia, compostagem e incineração. A metodologia baseou-se na investigação documental e revisão de literatura existente. A geração de resíduos sólidos municipais em São Paulo no ano 2014 foi de 14.636 t/d, contendo um 51,2% de matéria orgânica e 14,3% de rejeitos, como material com potencial energético. A proposta de modificação baseou-se na incorporação duma terceira sacola para separar a matéria orgânica para ser tratada no processo de digestão anaeróbia e posteriormente em compostagem. Essa porcentagem de matéria orgânica pode gerar 659.432 m³ biogás, o que pode produzir 110 MW de eletricidade através do processo DICOM; assim também de 2.670 a 3237 t de composto em 7.493,55 t/d de matéria orgânica. Por outro lado, se fossem aplicados processos de incineração aos rejeitos seriam obtidos 97 MW de potencial de eletricidade e 523 t de cinzas. Isto ajudaria a reduzir as áreas destinadas a aterros sanitários diminuindo os impactos ambientais. O potencial energético dos resíduos sólidos domiciliares terá uma maior importância na matriz energética do Estado de São Paulo e no Brasil como um todo.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Sólidos; Digestão anaeróbia; Compostagem; Incineração.

PROPOSED MANAGEMENT PLAN MODIFICATION OF DOMESTIC SOLID WASTE OF SÃO PAULO CITY

ABSTRACT

The Solid Waste of households Management is an important part in the energy use of the same. Therefore, the following research had the objective of determining the technical viability of implementation of energy potential use of solid waste in the city of São Paulo, through the anaerobic digestion, composting and incineration processes. The methodology was based on desk research and literature review. The generation of MSW in São Paulo in 2014 was 14,636 t/d, containing 51.2% of organic matter and 14.3% of refused waste, as material energy potential. The proposed amendment was based on the incorporation of a third bag to separate the organic matter to be treated in the anaerobic digestion process and later in composting. This percentage of organic matter can generate 659.432 m³ of biogas, which can produce 110 MW of electricity through DICOM process, and also between 2670 and 3237 t of compost from 7493.55 t/d of organic matter. On the other hand, if the refused wastes were applied the incineration process the obtainable potential will be of 97 MW of electricity and 523 t of ashes. This would help to reduce the areas for landfills decreasing environmental impacts. The energy potential of solid waste will have a greater importance in the energy matrix of the State of São Paulo and Brazil as all.

Keywords: Solid Waste Management; Anaerobic Digestion; Composting; Incineration;



1. INTRODUÇÃO

O estado atual do meio ambiente demanda políticas de gestão e gerenciamento dos recursos naturais aprimorando sua preservação e proteção de impactos potenciais. É evidente que na América Latina os problemas ambientais são alarmantes, principalmente nas áreas de saneamento: água, esgoto e resíduos sólidos. Na área de resíduos sólidos existem avanços diversos nas políticas públicas e nos planos de gestão aplicados. E por isso que Tchobanoglous et al., (1994) define a gestão integrada dos resíduos sólidos como a seleção e aplicação de técnicas, tecnologias e programas de gestão adequados para obter as metas e objetivos específicos de resíduos. A hierarquia Política Nacional dos Resíduos Sólidos considera a seguinte ordem na gestão integrada dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Decreto-Lei nº. 12.395, 2010). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014) o município de São Paulo apresentou no ano 2010 uma população de 11.253.503 pessoas e uma população estimada no ano 2015 de 11.967.825 pessoas. A extensão territorial de São Paulo é de 1.521,110 km² resultando numa densidade demográfica de 7.398,26 (hab./km²).

2. OBJETIVO

Determinação da viabilidade técnica de implementação de aproveitamento energético dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Paulo, através dos processos de digestão anaeróbia, compostagem e incineração.

3. METODOLOGIA

A metodologia usada na pesquisa baseou-se na investigação documental e revisão de literatura, a fim de determinar as quantidades de potencial energético das frações encontradas nos Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, da cidade de São Paulo. Os dados analisados foram pesquisados em diversas instituições e bases de dados importantes. A metodologia baseou-se nas seguintes partes: 1. Delimitar a área de estudo da pesquisa, 2. Contextualização do estudo realizado, 3. Legislação pertinente, 4. Fontes da informação, 5. Análises dos dados, 6. Etapas da pesquisa.

3.1 Área do estudo

A área do estudo centrou-se no município de São Paulo, estado de São Paulo, Brasil, cujo enfoque principal foi a geração de resíduos sólidos urbanos produzidos na cidade e, dados estatísticos da população do município.

3.2 Contextualização do estudo

A problemática dos resíduos sólidos em Brasil começou-se a discutir a partir da década dos 90's e culminou com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº. 12.395, de 2 de agosto de 2010. Nela estabeleceu-se a hierarquia de gestão dos resíduos gerados, estipulando o tratamento dos mesmos antes da disposição final. O Plano de Gestão da cidade de São Paulo, do ano 2014, estipula uma linha de gestão com o uso de duas sacolas para separar os resíduos nos domicílios (Sacola verde: recicláveis e sacola cinza: não recicláveis), somado a isso a etapa de triagem. Mas o plano não estabelece tratamento para o aproveitamento energético, prévio à disposição final dos resíduos.

3.3 Legislação

O fundamento da proposta de modificação está baseado na Política Nacional de Resíduos, Lei nº. 12.395, de 2 de agosto de 2010; que enfatiza o tratamento de resíduos previa a sua disposição final em aterros sanitários. E ao mesmo tempo, priorizando a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos e adotando tecnologias de aproveitamento energético dos RSU.



3.4 Fontes de informação

As fontes de informação utilizadas na pesquisa foram: O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, A Prefeitura de São Paulo, O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento; assim como bases de dados: *Sciencedirect*, Ebsco e Scielo.

3.5 Análises dos dados

O análises dos dados realizou-se de forma quantitativa mediante o cálculo de eletricidade produzida em MW para as etapas de digestão anaeróbia e incineração; assim também em base ao número de vivendas que se poderia fornecer de eletricidade com o potencial existente nos resíduos.

3.6 Etapas da pesquisa

As etapas da pesquisa foram as seguintes:

1. A primeira etapa consistiu na pesquisa de dados geográficos, estadísticos de população, quantidade de geração de resíduos sólidos do município de São Paulo tendo como fonte da informação a prefeitura de São Paulo; o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; e o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento.
2. A segunda etapa versou sobre a contextualização da pesquisa, enfocando na legislação pertinente na área de resíduos sólidos e no plano de gestão dos resíduos sólidos do município de São Paulo.
3. Conseqüentemente procedeu-se com a esquematização da proposta de modificação do plano de gestão do município de São Paulo tendo como base o Plano de Gestão da cidade de São Paulo do ano 2014 e Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº. 12.395, de 2 de agosto de 2010.
4. Posteriormente, procurou-se diversos tipos de tecnologias desenvolvidas, nas áreas adotadas na proposta, as quais são: Digestão Anaeróbia, Compostagem e Incineração; em bases de dados indexadas como são: *Sciencedirect*, Ebsco e Scielo, enfatizando eficiências e taxas de geração dos processos.
5. Quantificação de produtos finais a obter por cada etapa da gestão, de acordo com os tipos de tecnologia adotada nas mesmas.
6. Determinação das quantidades de geração de eletricidade com base nos dados de produtos obtidos e eficiências de turbinas de geração de eletricidade; principalmente na etapa de digestão anaeróbia e incineração.

4. PROPOSTA DE PLANO DE GESTÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

A proposta de modificação está baseada na alteração do processo de embalagem dos resíduos sólidos domésticos, aumentando o número de sacolas para 3; sacola verde para recicláveis, sacola cinza para não recicláveis e sacola marrom para matéria orgânica. Isto permite incorporar uma linha nova de tratamento da matéria orgânica e assim não dispor ela em aterros sanitários. Portanto, é importante definir que tipos de sacolas deve-se implementar, e cada um dos processos intermédios tanto para matéria orgânica como para os rejeitos. A proposta de modificação apresenta-se na Figura 1.

A geração total de RSU da cidade de São Paulo no ano 2014 foi de 14.635,84 t/d (Ministério das Cidades, 2016); e a composição gravimétrica dos RSU, de acordo ao Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos da cidade de São Paulo, possui 51,2% de matéria orgânica, 34,5% de recicláveis e 14,3% de rejeitos (Secretaria Municipal de Serviços, 2014).

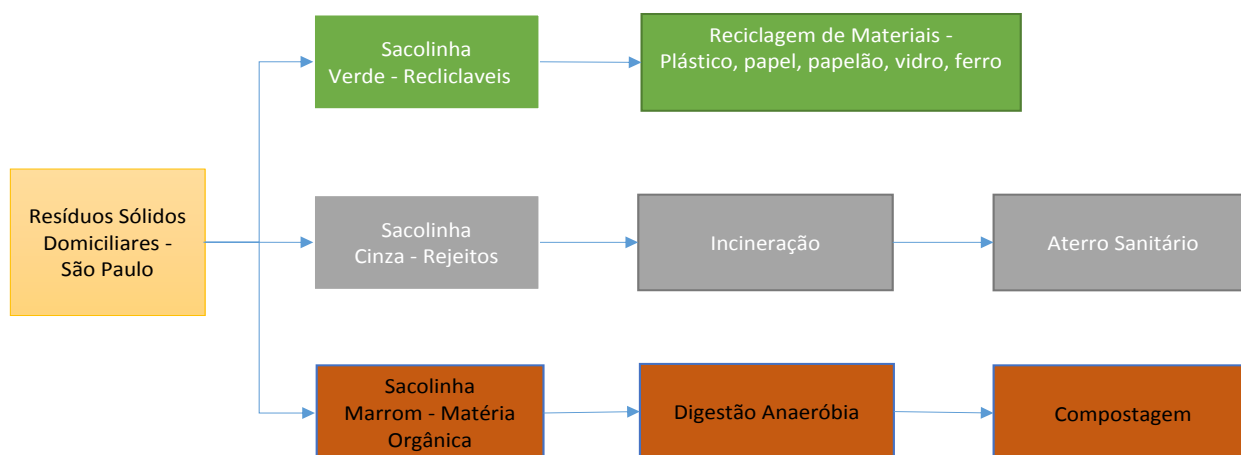
4.1 Sacola oxibiodegradável

A proposta de modificação de gestão de resíduos sólidos começa pela distribuição duma terceira sacola de cor marrom, a qual deve ser feita com tecnologia oxibiodegradável; no mercado de sacolas podem-se encontrar sacolas biodegradáveis, com biopolímeros, as quais são uma



importante opção para uma adequada disposição de resíduos nos domicílios. A sacola biodegradável é confeccionada com biopolímeros extraídos de fontes renováveis à base de amido, (milho, batata, mandioca e trigo) ou outro tipo de polímero como é o Poli (ácido láctico), além também de fontes não renováveis tais como os derivados do petróleo. Entretanto, a utilização de biopolímeros contribui na adoção de materiais de fontes renováveis cuja viabilidade, em comparação aos polímeros de fontes não renováveis como é o petróleo, está no auge (SANTOS et al., 2012).

Figura 1. Proposta de modificação do plano dos Resíduos Sólidos Domiciliares



Fonte: Elaboração própria

4.2 Digestão Anaeróbia

De acordo ao fluxograma da figura 1, depois de coletar os resíduos em três sacolas, a seguinte etapa é o tratamento dos resíduos por Digestão Anaeróbia (DA), a qual é um processo de digestão da matéria orgânica por micro-organismos gerando biogás devido ao metabolismo dos mesmos, sob condições anaeróbias; a qual desenvolve-se em quatro estágios: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese, Metanogênese. (CHERNICHARO, 1997; WEILAND, 2010). A DA inicia com redução dos compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) à orgânicos monoméricos (açúcares, aminoácidos e peptídeos); posteriormente, os monômeros são convertidos em ácidos graxos, parte dos quais transforma-se em hidrogênio e acetato. Por fim, o acetato e o hidrogênio são transformados em metano. As tecnologias de tratamento na DA vão desde reatores simples como o hindu e o chinês até reatores complexos de alta taxa, ente os quais destacam os seguintes: Digestor convencional de etapa única; Digestão Anaeróbia Alta Taxa para RSU: The Ref-COM, SOLCON, DRANCO, KWU-Fresenius, BIOCEL e SEBAC; Processo BIOGAS e BIOMET; Processo BIOTHERMGAS; Digestor Pistonado; Filtro Anaeróbio; Digestores em dois estágios ou duas fases (GUNASEELAN, 1997).

Na Tabela 1 apresentam-se alguns tipos de tecnologias de DA aplicados aos RSU. O processo DICOM é uma metodologia de bio-conversão de resíduos que combina a DA e compostagem, em um único recipiente denominado *In vessel*; cujo produto final é o composto (HARTMANN; AHRING, 2006). O processo BTA, desenvolvido por uma empresa Alemã, tem como fundamento a DA a qual realiza-se em três fases separadas: acidificação, hidrólises e metanização (HARTMANN; AHRING, 2006). Ele é um processo multi-etapa, para tratamento de fração orgânica de RSU classificados e RSU; o mesmo combina pré-tratamento e separação de etapas sendo um processo de DA úmida (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2008).

O processo de Compostagem Anaeróbio Seco (DRANCO), em inglês *Dry Anaerobic Composting*, é um processo anaeróbio de etapa única com capacidade de entre 15-40% de Sólidos Voláteis, SV,



e TRH de 20 d. O processo de compostagem anaeróbio em bateladas sequenciais (SEBAC), *Sequential Batch Anaerobic Composting*, é um processo de conversão da fração orgânica de RSU em CH₄ e composto; ele é desenvolvido em três estágios para melhorar a conversão (GUNASEELAN, 1997. KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2008). O processo Kompogas foi desenvolvido na Suíça, e consiste em um reator horizontal de tanque de aço e rotação axial o qual mantém os sólidos em suspensão e degaseifica o resíduo espesso. Os ST no reator são mantidos entre 23-28% para facilitar o fluxo, com TRH de 5-20 dias (LI et al., 2012).

Tabela 1. Parâmetros de processo e taxa de geração de biogás termofílica (50-56 °C) DA da Fração Orgânica dos RSU, FORSU

Processo	Capacidade (m ³)	Resíduo	ST (%)	TRH	Taxa de biogás (m ³ / kg SV)
DICOM	900	FORSU	17	12	0,44
BTA	3,4	FORSU	6-16	12	0,39
DRANCO	56	Resíduos orgânicos	30-35	15-21	0,45
KOMPOGAS	200	Resíduos de frutas, jardim e vegetáveis	15-40	13	0,39
SEBAC	3x0,7	FORSU	-	21	0,34

Fonte: Walker et al., (2012).

Em relação à matéria orgânica existente nos RSU é aproximadamente de 51,2% das 14.635,84 t/d, tendo uma geração diária de 7.949,355 t/d, cuja forma de disposição proposta é realizada através de sacola oxibiodegradável, em coleta simples com triagem posterior, que inclusive pode ser mecanizada, através de identificação ótica por cores. Aplicando-se para esta quantidade de matéria orgânica o processo de digestão anaeróbia, calculou-se a quantidade de geração de biogás a partir dos dados encontrados por Walker et al., (2012), e apresentados na Tabela 1. Assim mesmo, calculou-se a quantidade de geração de eletricidade a partir do biogás. Os cálculos de geração de biogás e eletricidade apresentam-se na Tabela 2.

Para calcular a quantidade de Sólidos Voláteis (SV) nos resíduos utilizou-se a caracterização de resíduos sólidos encontrada por Carneiro et al., (2005), correspondendo um 13% de ST e 11% de SV. Isto é importante para quantificar a geração de biogás, que normalmente é expressa em termos de SV (m³ biogás/kg SV).

De acordo com diversos tipos de reatores selecionados da Tabela 1 para digestão anaeróbia, e baseados em eficiências de turbinas de ciclo combinado. A potência encontrada na fração orgânica dos RSU oscila entre 54 MW e 110 MW, isto para 7.949,355 t coletadas num dia.

É importante denotar que as quantidades de geração de eletricidade foram calculadas com dados de pesquisas, sendo necessário maior aprofundamento, através de estações pilotos sob condições de operação iguais as condições de São Paulo e com o resíduo próprio gerado no mesmo. Além disso, também foi considerado como sendo possível o aproveitamento de toda a matéria orgânica gerada no município.

4.3 Compostagem

Consequentemente a etapa posterior a DA é a compostagem, a qual é a decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos sob condições controladas, até um estado suficientemente estável para livre armazenamento e manipulação, assim como para aplicação no solo. Os organismos participantes no processo são: bactérias, actinomicetos, fungos, etc. (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

A compostagem é proposta para se realizar posteriormente à DA, com o objetivo de melhorar o produto final e se reduzir ainda mais o volume de composto, aumentando a concentração de nutrientes e eliminando quantidades consideráveis de ácidos graxos voláteis, os quais são fitotóxicos, o que impediria o uso no solo diretamente após a DA (WALKER et al., 2009).



Tabela 2. Quantificação do potencial energético partir do biogás na etapa de digestão anaeróbia

Descrição	DICOM	BTA	DRANCO	KOMPOGAS	SEBAC	Unidade
Capacidade ¹	900	3,4	56	200	2,1	
Matéria Orgânica	7.494	7.494	7.494	7.494	7.494	T/d
	7.493.548	7.493.548	7.493.548	7.493.548	7.493.548	kg/d
Porcentagem SV ²	11%	11%	11%	11%	11%	
Quantidade SV	824.290	824.290	824.290	824.290	824.290	kg SV/d
Taxa de geração de biogás ¹	0,44	0,39	0,45	0,39	0,34	m ³ biogás / kg SV
Eficiência processo ¹	0,61	0,81	0,81	0,74	0,74	%
% CH ₄ ¹	0,55	0,73	0,73	0,69	0,64	
TRH ¹	12	12	18	13	21	d
Volume de CH ₄ gerado	362.688	321.473	370.931	321.473	280.259	m ³
Volume de biogás gerado	659.432	440.374	508.124	469.304	437.904	m ³
Poder Calorífico Biogás ³	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	kW/m ³
Potencial energético	4.286.309	2.862.433	3.302.807	3.050.476	2.846.377	kw
	4.286	2.862	3.303	3.050	2.846	MW
MW / TRH	357	239	183	235	136	
Potência neta ⁴	5	25	64	7	38	MW
Eficiência ⁴	31%	34%	38%	32%	40%	
	110,7	80,1	69	74	54	MW

Fonte: Elaboração própria com dados das fontes seguintes: ¹Walker et al. (2012); ²Carneiro et al. (2005); ³Cassini (2003); ⁴Chase e Kehoe (2014).

Basicamente, a compostagem consiste em dois processos principais, degradação e humificação; o composto pode servir como melhorador de solos, remediação de solos e também para melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo (BENLBOUKHT et al., 2016). A técnica de compostagem é amplamente conhecida e consolidada, entre as quais destacam: Convencional por revolvimento (*Windrow*); leiras estáticas com aeração forçada ou passiva; e sistemas fechados *In vessel* (Ex. Biocell).

O sistema de leiras consiste em compostagem através de um sulco em forma piramidal, em cunha ou tronco piramidal, tanto aeradas como revolvidas (BIDONE; POVINELLI, 1999). Os sistemas fechados é um reator fechado com tempos de compostagem (TC) menores que os dos sistemas de compostagem normais que precisam de uma maior área física por necessitarem maiores TC. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, *United States Environmental Protection Agency US-EPA* (1987), o TC para estes tipos de reatores oscila entre 21 e 40 dias, com temperatura de 55 °C; desconsiderando-se o tempo de maturação. Na Tabela 3 apresentam-se diferentes tipos de compostagem aplicados a diversos resíduos digeridos por DA.

Se na etapa da DA se tivesse uma eficiência de remoção de matéria orgânica de 46%, considerada uma média dos dados apresentados por Gunaseelan (1997), a quantidade de matéria orgânica para o processo de compostagem seria de 4.046,52 t/d.. Considerando os tipos de compostagem da Tabela 3, calculou-se o composto a obter por cada tipo, os quais apresentam-se na Tabela 4.



A quantidade de composto obtida varia entre 3,237 t e 1,618 t de acordo ao tipo de tecnologia cujas características dependeram dos resíduos digeridos da DA e da eficiência de operação do processo. Assim mesmo existem alguns processos de DA que o produto final é o composto, como por exemplo, o processo DICOM, DRANCO, entre outros; pôr o qual não se precisa someter a compostagem posterior, representando uma alternativa interessante no tratamento dos RSU.

Tabela 3. Eficiências de remoção de matéria orgânica - Tipos de tecnologias de compostagem

Tipos de compostagem	Leiras revolvidas	Biocell	Leiras revolvidas	Leiras estáticas
Fonte	Bustamante et al., (2012b)	Cesaro et al., (2015)	Bustamante et al., (2012b)	Bustamante et al., (2012a)
Aplicação	Dejetos de suínos + agente	FORSU digerido + FORSU cru	Dejetos de suínos + agente	Dejeto de bovino + agente
Eficiência Remoção Matéria Orgânica	20%	34%	37%	60%
TC (d)	35	15-20	39	67

Tabela 4. Quantificação do composto a obter a partir do resíduo digerido na DA

Tipo reator	Leiras revolvidas	Biocell	Leiras revolvidas	Leiras estáticas	Unidade
Geração de Digestato	4.046,52	4.046,52	4.046,52	4.046,52	t
	4.046.515,68	4.046.515,68	4.046.515,68	4.046.515,68	kg
Eficiência (Eliminação MO)	20%	34%	37%	60%	
Composto	3.237.212,54	2.670.700,35	2.549.304,88	1.618.606,27	kg
	3.237,21	2.670,70	2.549,30	1.618,61	t
TC	35	15-20	39	67	d

Fonte: Elaboração própria em base aos dados da Tabela 3

4.4 Incineração

A incineração é um processo térmico o qual modifica as características da matéria adicionada reduzindo seu tamanho. O processo de incineração desenvolve-se a temperaturas superiores a 900 °C, adicionando oxigênio de forma estequiométrica, ou em excesso. Os RSU têm um alto poder calorífico permitindo uma recuperação energética importante; o mesmo pode reduzir os resíduos em 95% do volume (MONTEJO et al., 2011). Em Taiwan, China, no ano 2002 coletaram-se 6,734,000 t de MSW dos quais 1,242,000 t foram reciclados; A disposição dos RSU restantes foram: 64,2% incineração e 34,8% em aterro. (TSAI; CHOU, 2006).

Os rejeitos de uma coleta fracionada também podem ser processados a fim de se obter os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), os quais possuem propriedades de densidade e poder calorífico que permitem aproveitar energeticamente os referidos resíduos. De acordo a Tissot (2014), o PCI dos CDR é de 4.000 kCal/kg e a composição básica consiste em: plástico, papel, papelão, madeira e borracha, dentre outros.

Na geração diária de RSU de 14.635,84 t/d, 14,3% são rejeitos correspondendo a 2.092 t/d de resíduos; pôr o qual, se os rejeitos se tratassem através do processo de incineração e considerando um PCI médio de 4.000 kcal/kg se obteriam os resultados apresentados na Tabela 4.

A geração de eletricidade dos rejeitos em média seria de 97,3 MW a partir de 2.092 t/d de rejeitos, trazendo grandes benefícios para matriz energética de São Paulo. A geração de cinzas seria de 523 t, as quais seriam dispostas em aterros sanitários.



Tabela 4. Cálculo de geração de eletricidade pôr o processo de incineração a partir dos rejeitos

Descrição	Quantidade	Unidade	Fonte
Rejeitos	2.092,92	t/d	
	2.092.924,41	kg/d	
Poder Calorífico	4000	kcal/Kg	Tissot (2014)
Calorias	8.371.697.659,18	kcal/d	
	348.820.735,80	kcal/h	
	859.845,23	MW	
Eficiência	30%		
Geração Neta	97,362	MW	
Cinzas	25%		Tissot (2014)
	523.231	kg/d	

Fonte: *Elaboração própria em base a dados de Tissot (2014).*

De acordo a Empresa de Pesquisa Energética (2016), EPE, em fevereiro de 2016 o consumo médio mensal foi de 159 kwh, o qual equivale a 6,63 kw/d.; por conseguinte, com uma geração de 110,7 MW (DA) pode-se abastecer 18.493 residências, e 14.702 com a energia gerada pela incineração.

5. CONCLUSÃO

A análise mostra que o potencial energético dos resíduos sólidos domésticos em São Paulo é importante e atualmente dissipado em aterros sanitários. Os resultados demonstram que existe a necessidade de propiciar pesquisas que desenvolvam tecnologias mais eficientes nos três processos apresentados, que permitam uma maior união entre pesquisadores, indústria e governo para extrair esse potencial.

A proposta do plano apresentada diminui consideravelmente o uso de aterro sanitário, como método de disposição, contribuindo ao meio ambiente em curto e médio prazo; reduzindo as áreas destinadas aos mesmos e minimizando os impactos associados a eles. O principal fator de êxito na implementação do plano proposto depende principalmente da educação fornecida a população de São Paulo no correto uso das sacolas na disposição de resíduos nos domicílios.

REFERÊNCIAS

BENLBOUKHT, F.; LEMEE, L. AMIR, S.; AMBLES, A.; HAFIDI, M. Biotransformation of organic matter during composting of solid wastes from traditional tanneries by thermochemolysis coupled with gas chromatography and mass spectrometry. v. 90, p. 87–95, 2016.

BIDONE, A.; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos, Brasil: EESC/USP, 1999.

BRASIL. Decreto-Lei nº. 12.395, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2ª. ed., Câmara dos Deputados, Brasília, p. 73, 2012.

BRASIL. (Empresa de Pesquisa Energéticas). Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. No. 102. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Fevereiro%202016.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2016.



BRASIL. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Informações Estadísticas São Paulo. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/493>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

BRASIL. (Ministério das Cidades). Diagnostico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2014. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

BUSTAMANTE, M.; ALBURQUERQUE, J.; RESTREPO, A.; DE LA FUENTE, C.; PAREDES, C.; MORAL, R.; BERNAL, M. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. *Biomass and Bioenergy*, v. 43, p. 26–35, 2012a.

BUSTAMANTE, M.; RESTREPO, A.; ALBURQUERQUE, J.; PÉREZ-MURCIA, M.; PAREDES, C.; MORAL, R.; BERNAL, M. Recycling of anaerobic digestates by composting: Effect of the bulking agent used. *Journal of Cleaner Production*, v. 47, p. 61–69, 2012b.

CARNEIRO, P.; BRITO, G.; POVINELLI, J. Digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em sistema de duas fases utilizando mistura de percolado de aterro sanitário e lodo anaeróbio como inóculo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005, Campo Grande. Anais eletrônicos... Washington: BVSDE.PAHO, 2016. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-064.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

CASSINI, S. Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. Vitória, Brasil: ABES RJ, 2003. 204 p. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015

CESARO, A; RUSSO, L; BELGIORNO, V. Combined anaerobic / aerobic treatment of OFMSW : Performance evaluation using mass balances. *Chemical Engineering Journal*, v. 267, n. 2015, p. 16–24, 2015.

CHASE, D.; KEHOE, P. GE Combined-Cycle Product Line and Performance. [S.l.]: GE Power Systems, 2014. Disponível em: <https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/technical/ger/ger-3574g-ge-cc-product-line-performance.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2016.

CHERNICHARO, C. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte, Brasil: UFMG, 1997. 246 p.

GUNASEELAN, V. N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass and Bioenergy*, v. 13, n. 1-2, p. 83–114, 1997.

HARTMANN, H.; AHRING, B. Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: An overview. *Water Science and Technology*, v. 53, n. 8, p. 7–22, 2006.

KARAGIANNIDIS, A.; PERKOULIDIS, G. A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 8, p. 2355–2360, 2009.

LI, Y.; PARK, S. Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 1, p. 821–826, 2011.



MONTEJO, C.; COSTA, C.; RAMOS, P.; MÁRQUEZ, M. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. *Applied Thermal Engineering*, v. 31, n. 13, p. 2135–2140, 2011.

NASIR, I.; GHAZI, T.; OMAR, R. Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: A review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 95, n. 2, p. 321–329, 2012.

SANTOS, A.; FREIRE, F.; COSTA, B.; MANRICH, S. Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. *Polímeros*, v. 22, n. 3, p. 228–237, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Municipal de Serviços. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2016

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. *Handbook of Solid Waste Management*, 2a Ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THIESEN, H.; VIGIL, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill, 1994. 1107 p.

TISSOT, M. Viabilidade Ambiental e Econômica da Recuperação Energética de Resíduos por Meio de Combustível Derivado de Resíduo – CDR. 2014. Disponível em: <<http://www.revalore.com.br/site/wp-content/uploads/2014/07/revalore-waste-to-energy.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

TSAI, W.; CHOU, Y. An overview of renewable energy utilization from municipal solid waste (MSW) incineration in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 10, n. 5, p. 491–502, 2006.

UNITED STATES OF AMERICA. (Environmental Protection Agency). In-vessel composting - A technology assessment. 1987. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/200045MA.PDF?Dockey=200045MA.PDF>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

WALKER, L.; CHARLES, W.; CORD-RUWISCH, R. Comparison of static, in-vessel composting of MSW with thermophilic anaerobic digestion and combinations of the two processes. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 16, p. 3799–3807, 2009.

WALKER, L.; CORD-RUWISCH, R.; SCIBERRAS, S. Performance of a commercial-scale DiCOM™ demonstration facility treating mixed municipal solid waste in comparison with laboratory-scale data. *Bioresource Technology*, v. 126, p. 404–411, 2012.

WEILAND P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 85, p. 849.860, 2010.