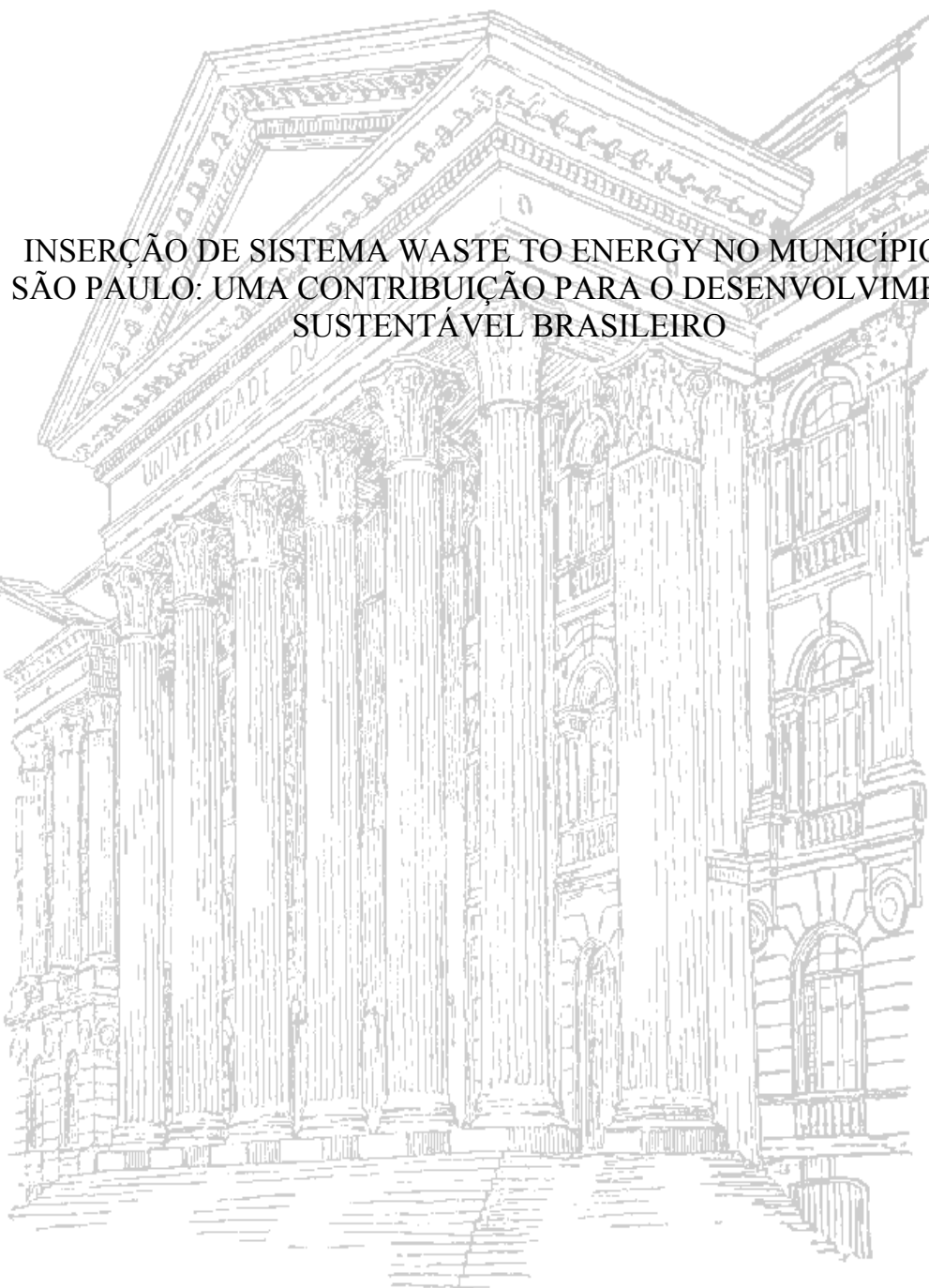


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



INSERÇÃO DE SISTEMA WASTE TO ENERGY NO MUNICÍPIO DE  
SÃO PAULO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL BRASILEIRO

CURITIBA  
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

INSERÇÃO DE SISTEMA WASTE TO ENERGY NO MUNICÍPIO DE  
SÃO PAULO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL BRASILEIRO

Andreas Madau de Valeriano Neto<sup>1</sup>

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso especialização em projetos sustentáveis, mudanças climáticas e gestão corporativa de carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Dullius

CURITIBA  
2014

---

<sup>1</sup> Bacharelado em Engenharia Ambiental (UNICID)

e-mail: [andreas.madau@outlook.com](mailto:andreas.madau@outlook.com)

## RESUMO

A situação do novo cenário da gestão de resíduos sólidos no Brasil devido ao surgimento das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS obriga os municípios a elaborar planos de gestão de resíduos de suas áreas que permitam uma minimização dos resíduos destinados aos aterros, favorecendo sistemas de coleta seletiva, e a total eliminação dos lixões. O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos (PGIRS) do município de São Paulo representa um projeto avançado, que tem como uma das suas principais metas, a redução dos resíduos domésticos (61% dos resíduos gerados) dispostos em aterros para 14% em 2032. Em contra-tendência com as diretrizes do PGIRS, que descarta a inserção de sistemas de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em São Paulo, este projeto propõe a introdução de um sistema *Waste to Energy* na área do município que irá tratar parte dos resíduos domésticos com horizonte de 16 anos (2016-2032), tendo como referência a projeção do ano de 2032 para o manejo de resíduos domiciliares da cidade, e com a finalidade de sugerir uma alternativa que se insira em um contexto de gestão integrada e sustentável dos resíduos no Brasil. Com um Poder Calorífico Inferior de 2.456,78 kcal/kg ratifica-se a possibilidade da queima direta do resíduo, com a retirada somente de metais e vidros, e dimensiona-se, um sistema com capacidade de tratamento de 1900 kg/dia com uma geração líquida de energia elétrica anual de 384.760 MW, suficientes para abastecer 58.894 residências. Por meio deste dimensionamento a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) decorrentes da existência do sistema totalizou 727.909 tCO<sub>2</sub>e por ano, reduzindo cerca de 5,05% as emissões totais de gases de efeito estufa do município de São Paulo. Desta forma, apesar de possuir um alto potencial de emissão de GEEs por incineração, o sistema além de contribuir para redução das emissões de GEEs e minimizar a disposição dos resíduos em aterros, alongando a vida útil e evitando a abertura dos mesmos, favorece a diversificação da matriz elétrica brasileira em um período que as hidrelétricas diminuíram sua produção de energia elétrica pela redução do volume das reservas de águas causada pela escassez de chuvas dos últimos dois anos.

Palavras chave: gestão de resíduos, resíduos domésticos, energia elétrica, gases de efeito estufa.

## ABSTRACT

The situation of the new scenario for solid waste management in Brazil due to the emergence of the National Policy on Solid Waste - PNRS obliges municipalities to draw up plans for waste management in their areas that allow minimization of waste going to landfills, favoring systems selective collection, and the total elimination of landfills. The Plan of Integrated Waste Management (PGIRS) in São Paulo is an advanced design, which has as one of its main goals, the reduction of household waste (61% of waste generated) landfilled to 14% in 2032. counter-trend with guidelines PGIRS, which discards the inclusion of power generation systems from municipal solid waste in São Paulo, this project proposes the introduction of a waste to energy system in the municipal area that will treat 14% household waste with 16-year horizon (2016-2032), with reference to the projected 2032 for the residential waste management in the city, and in order to suggest an alternative to insert in a context of integrated and sustainable management waste in Brazil. With an Inferior Calorific Power of 2456.78 kcal / kg confirms the possibility of direct burning of residues, with only the removal of metals and glass, and scales up a system with a treatment capacity of 1900 kg / day with a generation net annual 384.760 MW of electricity, enough to power 58.894 homes. Through this scaling to reduce emissions of Greenhouse Gases (GHGs) resulting from the existence of the system totaled 727.909 tCO<sub>2</sub>e for year, reducing about 5,05% the total emissions of greenhouse gases studied in São Paulo. Thus, despite having a high potential for GHG emissions by incineration, the system also contributes to reduction of GHG emissions and minimize waste disposal in landfills, lengthening the life and avoiding the opening thereof, favors diversification the Brazilian energy matrix in a period that decreased its hydroelectric system of electricity by reducing the volume of water supplies caused by lack of rain the past two years.

Keywords: waste management, household waste, electricity, greenhouse gases.

## INTRODUÇÃO

Conforme dados do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS) do Município de São Paulo em 2012 das 20,1 mil toneladas de resíduos gerados diariamente, somente 1% foram reciclados; sendo que a percentual reciclada contemplada é de tipo doméstico. Como resposta a esta situação, a Prefeitura de São Paulo com a aprovação do seu PGIRS, estabeleceu aumentar para 10% a quantidade de resíduos até 2016 por meio da implementação de 4 centrais de triagem de alta tecnologia (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013). No entanto, apesar da criação deste Plano, essencial para a gestão dos resíduos em São Paulo, as metas de redução dos resíduos destinados aos aterros em sinergia com um aumento das taxas de reciclagem, continuam sendo baixas.

Com a aplicação do PGIRS da cidade de São Paulo e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei 12.305 de 2010), a compreensão das falhas estruturais existentes a nível nacional no âmbito da gestão de resíduos sólidos, como a baixa percentual de participação da coleta seletiva nos municípios, manifesta a exigência de adotar ações gerenciais e tecnológicas que permitam aperfeiçoar os sistemas de coleta seletiva, aprimorar os sistemas de reciclagem dos resíduos e reduzir o lixo destinado aos aterros.

Nasce, igualmente, a necessidade de melhorar e detalhar os planos de gerenciamento de resíduos que devem ser elaborados por todos os municípios do país, por meio de uma visão holística que considere as características socioeconômicas da região interessada e as condições climáticas existentes.

O PGIRS, na seção Diretrizes, estratégias e metas, com a diretriz, Não à incineração de Resíduos Sólidos, estabelece a não inserção de Sistemas *Waste to Energy* (WTE) para a prevenção e redução dos resíduos da cidade de São Paulo, favorecendo, portanto, os sistemas de reciclagem.

Neste contexto os sistemas WTE são passíveis de apreciação quando se trata de solução destinada em reduzir o lixo destinado aos aterros com conseqüente diminuição das emissões dos Gases de efeito Estufa (GEE). Enfatiza-se também, já que a valorização do resíduo destes sistemas é dada pela geração de energia elétrica, a forte dependência energética do Brasil por parte dos sistemas hidrelétricos, com 72,5% de oferta da matriz (EPE, 2014), o que

eleva os riscos no fornecimento de energia aos usuários; vide crise energética de 2001 ou “Crise do Apagão” que obrigou a Nação em adotar medidas de racionamento de energia (IGUAÇU ENERGIA, 2014). Desta forma, é importante sublinhar, seja através as características da matriz energética brasileira que pela conjuntura atual referente à escassez de chuvas desde 2011(DIÁRIO DA AMANHÃ, 2014), que diminuiu a quantidade de água presentes nos reservatórios destinadas às hidrelétricas e aumentado a presença da geração de energia elétrica por parte das termelétricas e o conseqüente aumento das emissões de GEEs originados pela utilização desta fonte de energia. Sendo assim, acredita-se ser fundamental a diversificação da matriz elétrica por meio de outros sistemas que possam contribuir para a geração de energia permitindo uma maior segurança e melhor aproveitamento dos recursos energéticos.

Sendo as emissões por resíduos 15,6% do total das emissões de GEEs em São Paulo somando 2440 GgCO<sub>2</sub>e (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012), com a finalidade de contribuir para a Gestão Sustentável dos Resíduos no Brasil, considerando não apenas a questão da geração dos resíduos, mas conjuntamente a geração de emissões de GEEs a partir da disposição dos resíduos, da geração de energia elétrica e pela queima dos resíduos, sugere-se uma nova perspectiva para o manejo alternativo de resíduos urbanos na cidade de São Paulo no horizonte de aproximadamente 20 anos. Concebendo a introdução de sistemas WTE mediante o dimensionamento da capacidade total de processamento dos mesmos, com o objetivo de tratar através a queima, parte dos resíduos domiciliares gerados no município até 2032, descreve-se a tecnologia empregada, dimensiona-se a potência elétrica e calcula-se a redução de emissões de gases de efeito estufa.

O foco da atividade é a queima bruta de resíduo que não faz parte da gestão de coleta seletiva existente e projetada pelo PGIRS de São Paulo, e que por sua volta seria encaminhado em aterros sanitários. Igualmente, a atividade visa gerar energia elétrica pelo processo de queima destes resíduos.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS**

Por meio da Lei nº 12.305, de 2010, instituiu-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010, é criadora de um dos principais instrumentos para solucionar os agravamentos gerados pela má gestão dos resíduos sólidos e contribuir para o desenvolvimento sustentável brasileiro; o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. O Plano Nacional tem vigência por prazo indeterminado e perspectiva de 20 anos, com atualização a cada quatro anos e está estritamente ligada com outros planos nacionais tais como o de Saneamento Básico, de Mudanças do Clima, de Recursos Hídricos, de Educação Ambiental e de Produção e Consumo Sustentável.

Uma das características principais do Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a imposição da coleta dos resíduos até a disposição final, que deve ser ambientalmente correta, por parte dos Municípios. Esta responsabilidade, em conformidade com a Lei Federal nº 11.445/2007 (Lei Nacional de Saneamento) e segundo a PNRS, deve ser coadjuvada por um dos instrumentos criados pela Política, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), o qual garante não somente um adequado manejo dos resíduos no território, mas também a condição para acesso a recursos da União e de outros fundos Federais e Estaduais.

As diretrizes gerais da PNRS seguem a seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Estas ações destacam os objetivos da PNRS que são de reduzir o volume de resíduos gerados, ampliar a reciclagem por meio de melhorias nos sistemas de coleta seletiva e a eliminação dos lixões. Este último objetivo acarretará um aumento da presença dos aterros sanitários, locais onde obrigatoriamente deverão receber exclusivamente os rejeitos.

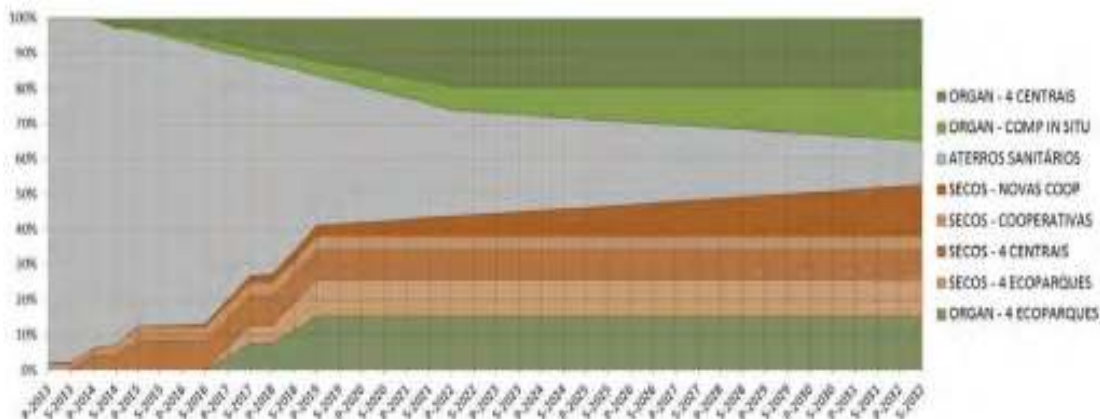
### **O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Município de São Paulo (PGIRS) e sua adaptabilidade com o sistema**

Principal instrumento para gestão dos resíduos sólidos e de alcances dos objetivos estabelecidos pela PNRS da cidade de São Paulo, instituído pela Lei

11.445, de 2007, o mesmo foi reelaborado através do Comitê Intersecretarial para a Política Municipal de Resíduos Sólidos e com a participação popular em decorrência da IV Conferência Municipal do Meio Ambiente em 2013. O PGIRS de São Paulo recebe grande influência por parte da Política Nacional sobre Mudanças Climáticas, por meio de suas diretrizes referentes à redução das emissões antrópicas de GEE e pela Lei Federal do Saneamento Básico com as diretrizes relacionadas à sustentabilidade econômica para os serviços públicos.

A perspectiva para o manejo diferenciado de resíduos urbanos no horizonte de 20 anos (Figura 1), projetada a partir do fim de 2012, contida no Plano, representa as metas de manejo e tratamento das três principais tipologias de resíduos, o orgânico, o resíduo seco e os rejeitos. Nota-se que em 2032 a percentual de resíduos domiciliares que deverão ser dispostos em aterros sanitários deverá ser 14%, meta ambiciosa, já que conforme as metas definidas pelo PNRS, em 2031, 57% dos resíduos secos e úmidos ainda serão destinados aos aterros (CORREA *et al.*, 2013).

**Figura 1 – Trajetória do manejo diferenciado dos resíduos secos e orgânicos até 2032**



Fonte: PGIRS São Paulo

Como exemplo no âmbito dos RSUs é a adoção para o período de planejamento de 20 anos, uma meta de coleta seletiva progressiva de 70% dos volumes de resíduos secos e orgânicos gerados (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013).



## **Tecnologia Waste to Energy**

Os sistemas de valorização energética por meio do uso de resíduos como combustível é uma das principais tecnologias utilizadas em países desenvolvidos para redução do lixo destinado aos aterros. Com o surgimento dos impactos adversos causados pela destinação dos resíduos em aterros, buscou-se adotar novos sistemas para minimização dos mesmos, não exigindo grandes áreas para sua instalação (HERA, 2012).

A semelhança dos incineradores com as usinas térmicas convencionais é nota, e a capacidade de geração não depende somente da eficiência de transformação em calor, mas também do poder calorífico do material utilizado como combustível. As plantas WTE podem usar diretamente o resíduo bruto com prévia retirada de metais e vidro, ou o Combustível Derivado do Resíduo – CDR que é uma mistura de resíduos (borracha, madeira, cartão, plástico, papel, têxteis) que apresenta geralmente um elevado poder calorífico e que é produzido por meio de um processo de secagem que permite a remoção da fração úmida, eliminando os materiais inertes e recuperando os resíduos metálicos (RENASCIMENTO, 2014). A eficiência de um incinerador que utiliza os RSUs como combustível principal varia entre 22% e 30% conforme dados técnicos das plantas visitadas pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG (FEAM, 2012) e conseguem reduzir o volume dos resíduos em cerca de 90% e seu peso de cerca 75% (ABRELPE, 2012 ).

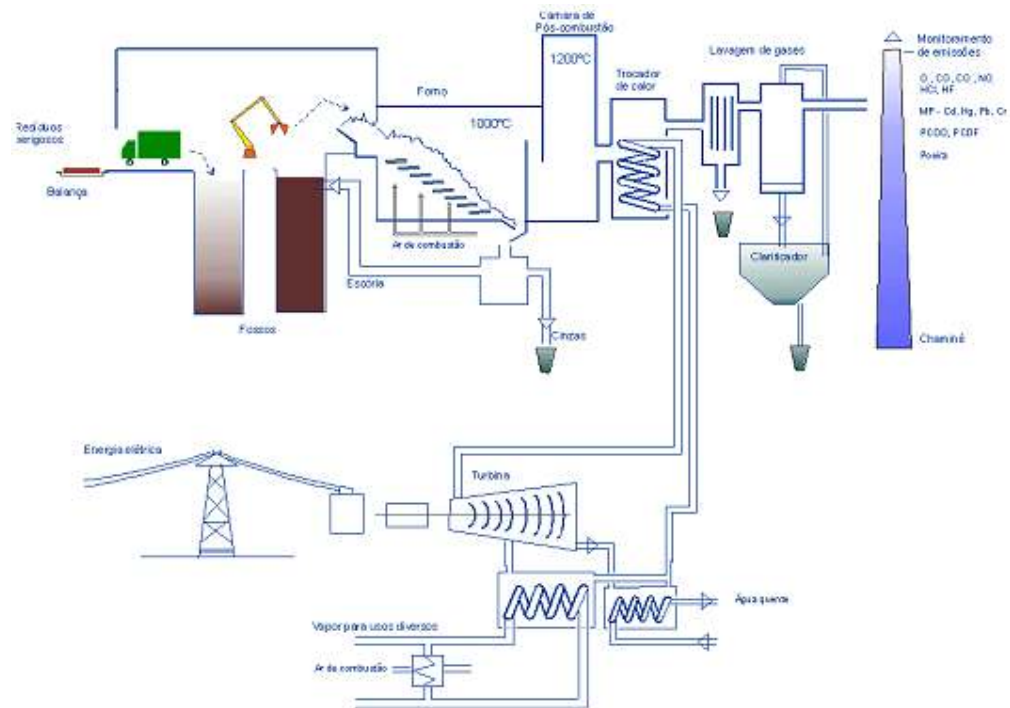
Desta forma, reduzindo a massa de resíduos destinados aos aterros, esta tecnologia se demonstra, a princípio, menos impactante que a disposição dos resíduos em aterros, já que as emissões de metano geradas pela decomposição anaeróbica dos resíduos nestes locais são mais prejudiciais que as emissões injetadas pelos WTEs; o que favorece a redução do aquecimento global. Os rejeitos do processo de queima são compostos por cinzas volantes e escórias, que não fazem parte da reação de combustão, os primeiros captados pelos filtros de alta tecnologia presentes nas plantas e os segundos provenientes do forno de combustão. Respectivamente as cinzas volantes representam 3% do resíduo (usualmente encaminhados aos aterros para resíduos perigosos - classe I) e as escórias 27%, e podem conter metais pesados na sua composição;

as escórias produzidas na queima podem servir como matéria-prima para a produção de cimento (BAIRD, 2011).

### Tipos de tecnologias WTE

As várias tecnologias existentes são resultado de um contínuo aprimoramento ao longo dos anos para solucionar as preocupações relacionadas com a eficiência do sistema e a geração de emissões danosas aos habitantes do entorno. O funcionamento (Figura 2) da planta pode ser suportada por 4 tipos de aplicações tecnológicas dependendo da combustão do forno.

**Figura 2 – Esquema de funcionamento sistema waste to energy**



Fonte: Kompac, 2007

Em escala comercial, essa tecnologia pode ser aplicada sob as seguintes formas: combustão em grelha, combustão em câmaras múltiplas, combustão em leito fluidizado e combustão em corpo rotativo.

### *Forno a Grelha*

Entre as aplicações tecnológicas mais utilizadas, a combustão em grelha é a mais utilizada e geralmente são utilizados para RSUs e esporadicamente para CDRs; em específico é a mais utilizada para RSU no estado bruto (FEAM, 2012).

Dentro da câmara de combustão tem uma grelha móvel com a função de movimentar o resíduo desde a entrada até a área de saída em forma de escórias.

#### *Forno Rotativo*

Muito utilizado para Resíduos Especiais e Perigosos, são aptos também para RSUs e CDRs. Esta aplicação permite tratar resíduos com tempos longos em termo destruição.

#### *Forno a Leitos fluidizados e Câmaras múltiplas*

São usados frequentemente para Resíduos Especiais homogêneos, como lodo de esgoto, e são aptos para CDRs. Os fornos a Leitos fluidizados possuem a particularidade de conter um leito de areia incandescente mantido em estado fluído com ar, os quais em conjunto com o combustível (resíduo), com percentuais bem determinadas para cada componente, permitem ter um alto grau de combustão (FEAM, 2012). As câmaras múltiplas, diferentemente das outras tipologias de forno, requerem tempos longos para o acionamento, necessitando do auxílio de combustível suplementar. Usualmente são usados para capacidades pequenas de tratamento, como por exemplo Resíduos de serviços de saúde (FEAM, 2012).

### **Situação da Recuperação energética a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**

Diferentemente de outros países do mundo, onde o uso desta tecnologia é estabelecida, como Japão, Europa e Estados Unidos, o Brasil não possui uma adoção representativa desta tecnologia, os sistemas de incineração usados no país são direcionados à queima dos resíduos hospitalares e perigosos.

Mesmo assim existem projetos como a Usina Verde, localizada no estado do Rio de Janeiro, que possui uma capacidade de tratamento de 150 toneladas de lixo por dia, com um potencial de geração de energia elétrica de 2,8 MW/h para comercialização, e da Usina de Barueri com capacidade de tratamento de 825t/dia de resíduos provenientes de um Consórcio de Municípios da região.

### **Impactos negativos relacionados às emissões**

A adoção de sistemas WTE se demonstra eficaz como solução de saneamento básico, onde são reduzidos os efeitos adversos causados pela incorreta disposição dos resíduos. Porém apresenta impactos negativos relacionados às emissões de gases, o que obriga impreterivelmente monitorar constantemente suas emissões e adotar sistemas de última geração para a retenção dos gases (HERA, 2012).

Além dos GEEs contemplados nas emissões geradas pela queima dos resíduos ( $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ), são presentes micro poluentes (p.p.b) e poluentes (p.p.m.) que devem ser extremamente observados já que possuem elementos de risco para a saúde humana por não se decomporem (UNIFI, 2004). Os micro poluentes são representados prevalentemente por metais (Cu, Zn, Ni, Tl, Hg, Cd, Pb, Cr), e são compostos também por organoclorados, hidrocarbonetos aromáticos, dioxinas e furanos. Os poluentes são gerados a partir da oxidação incompleta do carbono orgânico (BAIRD e CANN, 2011), entre os principais estão, o monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre e nitrogênio, material particulado, substâncias orgânicas voláteis e ácidos halogenídrico (FEAM, 2012).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Objeto do estudo**

Considerando a área de 1.521,101 km<sup>2</sup> e a população de 11.252.470 de habitantes do município de São Paulo (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2013), tendo como referência as diretrizes do PGIRS de São Paulo, sugere-se a inserção a partir do primeiro semestre de 2016, de um sistema WTE com forno a grelha e capacidade de processamento aproximado de 14% dos Resíduos Domiciliares em seu estado bruto.

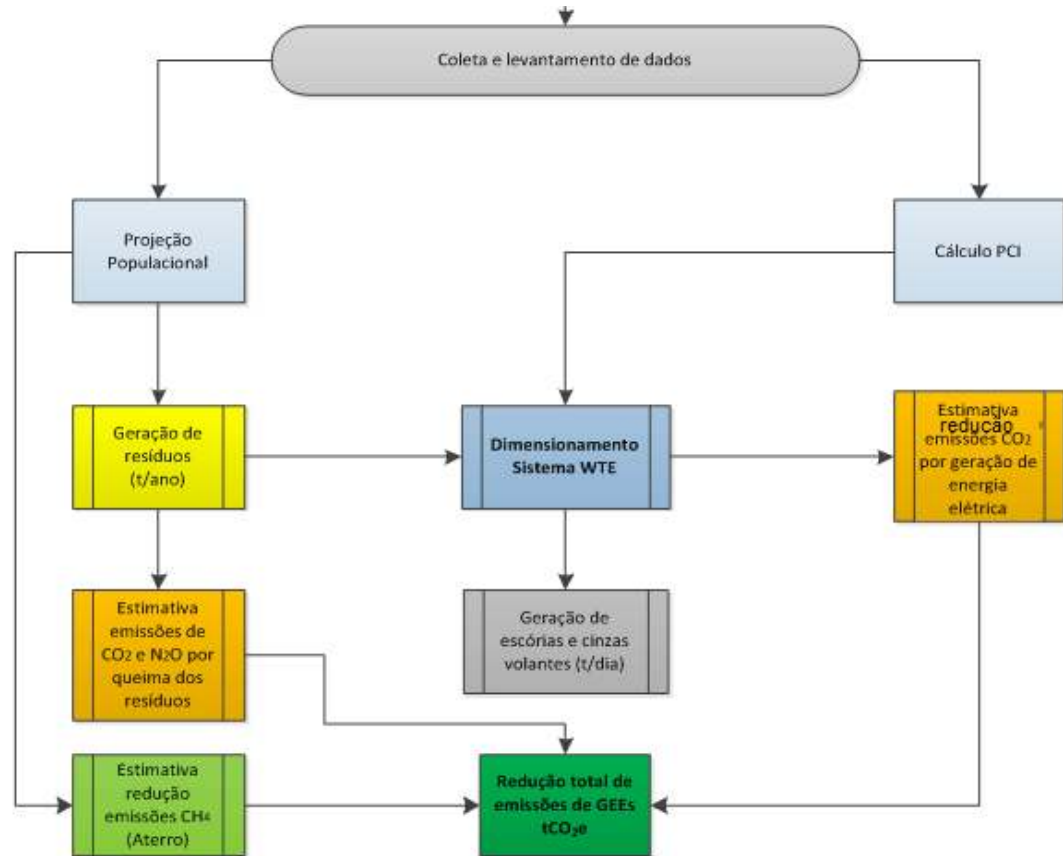
### **Metodologia de Análise**

A metodologia deste estudo procurou adotar informações e dados apresentados no PGIRS de São Paulo de modo que a visão da inserção do sistema seja cônica com as diretrizes do plano; outras informações foram encontradas na literatura nacional. Foi dimensionado o sistema por meio da projeção populacional e da quantidade de geração de resíduos per capita e, em sequência, calculado o Poder Calorífico Inferior (PCI) para que fosse obtida a geração de energia elétrica do sistema.

Após a obtenção da capacidade de tratamento e de geração de energia elétrica do sistema, passou-se para a fase de estimativa das reduções das emissões de GEE conforme as seguintes descrições: estimativa da redução das emissões de CH<sub>4</sub> por disposição dos resíduos em aterros; estimativa da redução das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) derivantes da geração de energia elétrica para a rede; estimativa de emissões de CO<sub>2</sub>e N<sub>2</sub>O pela oxidação da queima de resíduos no sistema WTE.

Por final, estimou-se a geração de cinzas volantes e escórias para uma análise completa da entrada e saída dos resíduos tratados. O fluxograma da Figura 3 apresenta de forma resumida, a metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho.

Figura 3 – Fluxograma metodologia



Fonte: Autoria própria

### Projeção Populacional e de Geração de Resíduos entre 2012 – 2032

Segundo a projeção populacional elaborada pela Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano – SMDU, no período de 2012 até 2040, a cidade de São Paulo terá uma população de 12.757.203 de habitantes.

Tendo como meta final para a eliminação dos resíduos o ano de 2032, calcula-se a projeção populacional até 2032 de modo que se compreenda a capacidade máxima de tratamento que o sistema deverá ter neste ano. Usando a Equação 1 (RIPSA, 2014) em relação ao período 2012-2040, obteve-se a taxa de crescimento geométrica da população;

$$Tc = \left[ \sqrt[n]{P(t+n)/P(t)} - 1 \right] \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Tc = taxa de crescimento geométrico populacional anual

P(t+n) = População projetada

$P(t)$  = População atual  
 $n$  = anos de projeção

É importante sublinhar que o aumento de geração total dos RSUs não depende somente do crescimento populacional, mas também do acesso da população ao mercado de consumo e do aumento de consumo per capita (PREFEITURA DE SÃO PAULO 2013). Isto significa que a geração per capita de resíduos terá uma tendência ao aumento.

Porém, frente à escassez de dados sobre as projeções de geração de resíduos per capita domiciliar, para a manutenção dos 14% de tratamento dos resíduos domiciliares até 2032, se usará como parâmetro o crescimento populacional no período 2012-2032 e a taxa per capita de geração de resíduos da cidade de São Paulo de 1.1 kg por habitante indicado no PGIRS. Sabendo que os 14% dos resíduos domiciliares no ano de 2012 equivale a 1725 t/dia, através da taxa de crescimento geométrica anual para o período 2012-2040, buscou-se a quantidade máxima de tratamento diário que o sistema WTE deverá ter considerando sua projeção populacional até 2032.

Para o cálculo da projeção populacional usou-se a Equação 2 (BENETTI, 2007);

$$P1 = PA \times (1 + tc)^n \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P1 = Projeção populacional  
 PA = população atual  
 tc = taxa de crescimento geométrico anual  
 N = numero de anos

#### Cálculo do PCI

Para o período de março de 2011 a fevereiro de 2012, a análise gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de São Paulo (PREFEITURA DE SÃO PAULO PGIRS, 2013) foi de 53% para os resíduos orgânicos, 11% para papel, 16% para os plásticos, 2% metais, 2% vidros e 16% para os rejeitos. Existe uma escassez de informações reforçada pela ausência de dados sobre a composição gravimétrica dos rejeitos da cidade de São Paulo, o que dificulta, a princípio neste estudo, o cálculo para a obtenção de seu PCI.

Isto posto, utiliza-se os dados da gravimetria (percentuais) dos rejeitos do Município de Lençóis Paulista (GONÇALVES, 2010), onde por meio dos PCIs úmidos sem cinzas de cada tipologia de resíduo (FEAM, 2012) ,obteve-se o PCI final para os rejeitos. Tendo uma estimativa do PCI do rejeito, considerando a análise gravimétrica (percentuais da presença de cada resíduo) informada no PGIRS, apresentou-se o valor do PCI (Equação 3) dos RSUs da cidade de São Paulo.

$$PCI_t = PCI_r \times G_r \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$PCI_t$  = Poder calorífico inferior total (kcal/kg)

$PCI_r$  = Poder calorífico inferior do resíduo (kcal/kg)

$G_r$  = Fração do resíduo presente (%)

### **Estimativa da redução das emissões de CH<sub>4</sub> por a não disposição dos resíduos em aterros**

A metodologia aplicada para este caso foi o de decaimento de primeira ordem (*Tier 2*), do *Guidelines* 1996, e do *Good Practice Guidance* 2000 (IPCC), os quais consideram a persistência das emissões de CH<sub>4</sub> ao longo dos anos após a disposição dos resíduos. Apesar das emissões previstas pela disposição dos resíduos em aterros serem o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>, ambos gerados pela decomposição da matéria orgânica, o IPCC (2006) recomenda que seja considerada somente as emissões de CH<sub>4</sub>. A quantidade das emissões obtida neste caso será considerada não como emissão gerada, mas sim como emissão evitada caso houvesse a disposição dos resíduos nos aterros.

O cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> por disposição em aterros é dada pela Equação 4 (IPCC):

$$Q_{(t)} = \sum_x \{ [ A \times K \times MSW_{t(x)} \times MSW_{F(x)} \times L_0(x) \times e^{-k(t-x)} ] - R(t) \} \cdot (1-OX) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$Q_{(t)}$  = Quantidade de metano gerado no ano t [GgCH<sub>4</sub>/ano]

t = Ano do inventário [ano]

x = Anos para os quais os dados foram considerados

A = Fator de normalização para a soma

K = Constante de decaimento [1/ano]



$MSW^2_{i(x)}$  = Quantidade total de resíduo sólido urbano gerado no ano x [Gg MSW/ano]

$MSW_F(x)$  = Fração de MSW destinado ao aterro no ano x [adimensional]

$L_0(x)$  = Potencial de geração de metano [Gg CH<sub>4</sub>/Gg MSW]

R = Recuperação do metano [Gg CH<sub>4</sub>/ano]

OX= Fator de oxidação

Para aplicação desta metodologia foi utilizada a quantidade de ano no período 2016 até 2032, e os dados pluviométricos e de temperatura da cidade<sup>3</sup> (médias anuais) em conjunto com os dados *default* do IPCC e de outros estudos.

#### *Constante de decaimento (k)*

Conforme precipitação média anual da cidade de São Paulo, a qual é superior a 1000mm, e com temperatura média anual equivalente a 20° C, fazendo parte de um Clima Tropical, usa-se o valor *default* de 0,17 (IPCC, 2006).

#### *Fator de normalização para a soma (A)*

O valor do Fator de normalização para a soma é definida pela Equação 5:

$$A = \frac{1 - e^{-k}}{k} \quad (\text{Equação 5})$$

O fator de normalização foi calculado e o resultado obtido foi de 0,919619.

#### *Potencial de geração de metano ( $L_0x$ )*

O Potencial de Geração de Metano é definido segundo a Equação 6;

$$L_{0(x)} = MCF_{(x)} \times DOC_{(x)} \times DOC_f \times F \times 16/12 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$MCF_{(x)}$  = Fator de correção do metano referente ao gerenciamento dos locais de disposição

$DOC_{(x)}$  = Carbono orgânico degradável [Gg C/Gg MSW]

$DOC_f$  = Fração do DOC que decompõe

F = Fração de metano no biogás

16/12 = Razão de conversão de carbono (C) para metano (CH<sub>4</sub>)

<sup>2</sup> Municipal Solid Waste. Em português traduz-se como Resíduos Sólidos Urbanos.

<sup>3</sup> Os dados pluviométricos e de temperatura foram obtidos do Banco de dados climáticos do Brasil (Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php?UF=sp>)

Fator de correção do metano referente ao gerenciamento dos locais de disposição (MCF X)

Segundo instruções do *Good Practice Guidance* 2000 para MCF sendo o local de disposição do resíduo, Aterros Sanitários, o valor default para MCF é 1,0.

Carbono Orgânico Degradável (DOC x)

Para o Carbono Orgânico Degradável foi usado o valor para o Aterro CTR Caieiras, principal receptor dos resíduos do Município de São Paulo, que é de 0,174 (PECORA *et al.*, 2008).

Fração do Carbono Orgânico Dissimilado (DOC<sub>f</sub>)

O valor default utilizado aconselhado pelo *Good Practice Guidance* 2000 para países em Desenvolvimento é de 0,5, porém calcula-se o valor exato por meio da Equação 7, usando a temperatura média anual de 20,3° C da cidade de Caieiras<sup>4</sup>;

$$DOC_f = 0,014 T + 0,28 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

T: temperatura (°C) na área considerada

O DOC<sub>f</sub> obtido é de 0,5642.

Fração de Metano no Biogás (F)

O valor usado é de 0,5 conforme recomendado pelo *Good Practice Guidance* 2000.

Valor do L<sub>0x</sub>

Por meio da Equação 6, obteve-se o valor de L<sub>0x</sub> igual a **0,0654472**.

Recuperação do Metano (R)

A recuperação do metano não será aplicada já que trata-se de quantificar a redução das emissões e não as emissões geradas pela disposição de resíduos nos aterros, portanto, o valor que será adotado é 0.

---

<sup>4</sup> Cidade onde se encontra um dos principais aterros de disposição de resíduos do município de São Paulo – PGIRS, 2014.

### *Fator de Oxidação (OX)*

A recomendação do *Good Practice Guidance 2000* é de usar o fator OX de 0,1 para aterros sanitários que atendem uma população maior de 1.000.000 de habitantes.

### **Estimativa da redução das emissões de CO<sub>2</sub> derivantes da geração de Energia elétrica para a rede**

O primeiro passo para a obtenção da redução de emissões de CO<sub>2</sub> por geração de energia elétrica para a rede foi o dimensionamento elétrico dos sistemas WTEs por meio da quantidade da capacidade de tratamento dos resíduos predisposta, e através da estimativa do PCI dos de resíduos sólidos do Município de São Paulo, calculou-se por meio da Equação 8 (CORTI, 2004) a potência nominal total.

$$P_n = CR_h \times PCI_i \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$P_n$  = Potencial nominal (MW )

$CR_h$  = Capacidade horária de entrada dos resíduos (t/h)

$PCI_i$  = PCI do resíduo ( kcal /kg)

Com a potência líquida (energia máxima disponibilizada) de cada sistema foi possível calcular as emissões por meio da ferramenta metodológica para o cálculo do fator de emissão por injeção de energia elétrica no sistema, versão 1, 1.1, 2, 2.1.0, 2.2.0 aprovada pelo Conselho Executivo do MDL, núcleo do Ministério da Ciência e Tecnologia. Este algoritmo, em específico, é uma combinação das emissões relacionadas à energia elétrica gerada por todas as usinas presentes no país, e a intensidade das emissões das últimas usinas construídas; isto significa que existem dois fatores de emissão para projetos de MDL, um para a operação e outro para construção<sup>5</sup>. Esta combinação se traduz na Equação 9 para obtenção do fator de emissão combinada:

$$EF = 0,5 \cdot EF_o + 0,5 \cdot EF_c \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

<sup>5</sup> Valores publicados mensalmente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – (Disponível em:

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74694.html> ).

EF = Fator de emissão combinada  
 EFo = Fator de emissão de operação  
 EFc = Fator de emissão de operação

Desta forma, já que o sistema WTE será conectado diretamente à rede , obteve-se a redução de emissões de CO<sub>2</sub>e em linha com os projetos de MDL. Multiplicando o fator de emissão combinado pela potência líquida do sistema obteve-se a geração de emissões pela geração de energia elétrica (Equação 10).

$$Q_w = P \times EF \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

Q<sub>w</sub> = quantidade emissões totais por geração de energia elétrica (tCO<sub>2</sub>)  
 P = geração total anual de energia elétrica (MWh)  
 EF = Fator de emissão combinada (tCO<sub>2</sub>/MWh)

#### *Fator de emissão combinada (EF)*

Com o fator de operação e construção de 2013 (Quadro 1) publicados no site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), obteve-se o fator de emissão combinada.

**Quadro 1 – Fatores de emissão para o ano de 2013**

Fator de emissão de operação (tCO <sub>2</sub> /MWh)	Fator de emissão de construção (tCO <sub>2</sub> /MWh)
0,5931	0,2713

Fonte: MCTI

Estimativa de emissões de CO<sub>2</sub>e N<sub>2</sub>O por queima de resíduos no sistema WTE

A estimativa destes dois Gases de efeito Estufa se dará por meio da metodologia do IPCC (2006) determinadas por equações distintas.

As emissões de CO<sub>2</sub> são dadas pela Equação 9;

$$Q_{CO_2} = \sum_i (W_t \times CCW_t \times FCF_t \times EF_t \times 44/12) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

Q<sub>CO<sub>2</sub></sub> = Quantidade de dióxido de carbono gerada ao ano [Gg CO<sub>2</sub>/ano]  
 i = tipo de resíduo  
 W<sub>t</sub> = Massa de resíduo incinerado por tipo i [Gg/ano]  
 CCW<sub>t</sub> = Carbono contido no resíduo tipo i [%]

FCF<sub>t</sub> = Fração de carbono fóssil no resíduo tipo i [%]  
 EF<sub>t</sub> = Eficiência de queima dos incineradores de resíduo tipo i [%]  
 44/12 = Conversão de C para CO<sub>2</sub>  
 As emissões de N<sub>2</sub>O são dadas pela Equação 10;

$$Q_{N_2O} = \sum(W_t \times EF_t \times 10^{-6}) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

Q<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = Quantidade de óxido nitroso gerada ao ano [GgN<sub>2</sub>O/ano]  
 W<sub>t</sub> = Massa de resíduo incinerado por tipo i [Gg/ano]  
 EF<sub>t</sub> = Fator de emissão para o tipo i de resíduo [kg N<sub>2</sub>O/Gg resíduo]  
 10<sup>-6</sup> = fator de conversão de Gg para kg [10<sup>-6</sup>Gg/kg]

Para aplicação desta metodologia foram considerados os dados default do IPCC (2006) em consonância com as características de gestão dos resíduos e climáticas da cidade objeto deste estudo.

*Carbono contido (CCW) e a Fração de carbono fóssil (FSF) contidas nos RSUs*

Para ambos o valor default é 40%, conforme instruções do *Good Practice Guidance* 2000 em relação aos resíduos sólidos urbanos.

*Eficiência de queima dos incineradores de RSUs (EF)*

O valor *default* para este caso é 95%.

*Fator de emissão de N<sub>2</sub>O para incineração de RSUs (EF<sub>i</sub>)*

Considerando a tecnologia que será utilizada, incinerador mass burning, para os RSUs o valor default recomendado é 60 g N<sub>2</sub>O /t.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A adoção da Tecnologia de queima bruta do resíduo

Com a estimativa do PCI dos rejeitos, de 2927,2 kcal/kg (Quadro 2), e principalmente com o conseqüente valor de PCI dos resíduos domiciliares, de 2456,78 kcal/kg (Quadro 3), ratifica-se a viabilidade técnica da inserção de sistemas *mass burning*<sup>6</sup> como tecnologia a ser empregada, já que para a atividade ser viável é necessário ter um valor de PCI superior a 2.000 kcal /kg (EPE, 2008).

**Quadro 2 – Estimativa PCI do Município de São Paulo**

COMPONENTES DO REJEITO	PCI (base úmida s/ cinzas - kcal/kg)	% do Total	PCI Composição dos Rejeitos (kcal/kg)
Derivados de Celulose	2.729	43,8%	1195,3
Termoplásticos	8.193	16,5%	1351,8
Borracha	8.633	0,85%	68,9
Peças de automóveis*	-	1,49%	-
Vidro	0	1,56%	-
Metal	0	1,26%	-
Entulhos*	-	2,20%	-
Madeira	2.490	2,77%	68,9
Tecidos	1.921	2,28%	43,8
Orgânicos	712	27,88%	198,5
<b>TOTAL</b>			<b>2927,2</b>

\* PCI não considerada.

Fonte: Autoria própria.

**Quadro 3 – Estimativa do PCI dos RSUs da cidade de São Paulo**

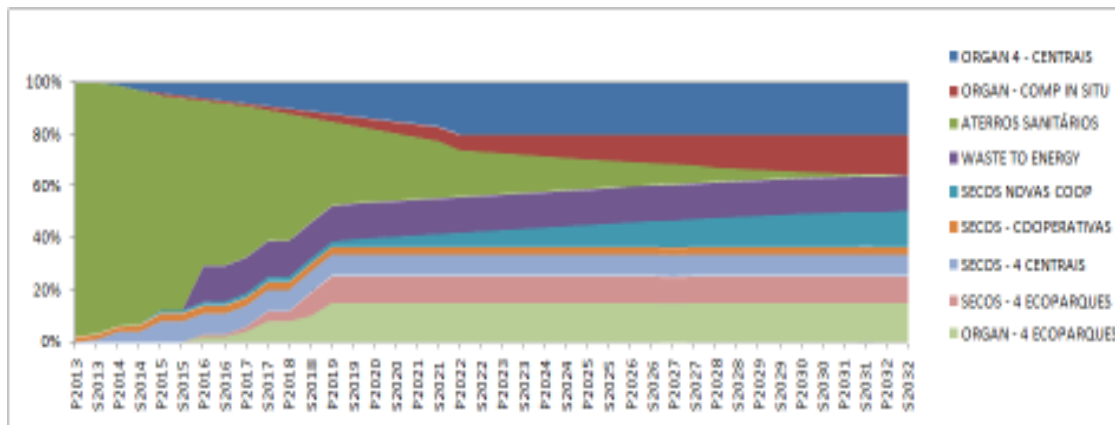
RSU	PCI (base úmida s/ cinzas - kcal/kg)	% do Total	PCI RSU (kcal/kg)
Matéria Orgânica	712	53%	377,36
Papel e Papelão	2.729	11%	300,19
Plástico	8.193	16%	1310,88
Metal	0	2%	0
Vidro	0	2%	0
Rejeitos	2.927,2	16%	468,35
<b>TOTAL</b>			<b>2456,78</b>

Fonte: Autoria própria.

<sup>6</sup> Queima do resíduo bruto.

Isto comporta a não necessidade do uso de combustíveis para o auxílio do funcionamento das usinas, o que em teoria poderia reduzir a capacidade de redução global do projeto em relação à diminuição dos GEEs na atmosfera. Desta forma, com a utilização de parte dos resíduos que seriam dispostos diretamente nos aterros sanitários, seguindo a perspectiva para o manejo diferenciado dos RSUs (Figura 1) em um horizonte de 20 anos contida no próprio PGIRS, ter-se-ia a iniciar do ano de 2016 até o ano de 2032 (com a presença do sistema *Waste to Energy*) a total eliminação dos resíduos destinados aos aterros (Figura 4).

**Figura 4 – Projeção hipotética do manejo de resíduos domésticos com a inserção do sistema *Waste to energy***



Fonte: Autoria própria.

### Dimensionamento dos Sistemas

A geração de energia elétrica pelos sistemas concebidos terá a particularidade de não utilizar todo o resíduo do município, portanto o dimensionamento é totalmente vinculado com a meta de 14% para a redução dos resíduos domiciliares destinados aos aterros.

Contemplando o valor de 1895 t/dia de resíduos domiciliares em 2032, que equivalem a 14% do resíduo estimado (Quadro 4), concebe-se um sistema WTE com capacidade de 1900 t/ dia de tratamento.

**Quadro 4 – Projeção populacional e conseqüente progressão de geração de resíduos domésticos**

<b>Ano</b>	<b>População São Paulo (hab.)</b>	<b>Geração de Resíduos Domiciliares (t)</b>	<b>14% dos Resíduos Domiciliares (t)</b>
2012	11.252.473	12322	1725
2013	11.303.025	12433	1741
2014	11.353.803	12489	1748
2015	11.404.810	12545	1756
2016	11.456.046	12602	1764
2017	11.507.513	12658	1772
2018	11.559.210	12715	1780
2019	11.611.140	12772	1788
2020	11.663.303	12830	1796
2021	11.715.700	12887	1804
2022	11.768.333	12945	1812
2023	11.821.202	13003	1820
2024	11.874.309	13062	1829
2025	11.927.654	13120	1837
2026	11.981.239	13179	1845
2027	12.035.064	13239	1853
2028	12.089.132	13298	1862
2029	12.143.442	13358	1870
2030	12.197.997	13418	1878
2031	12.252.796	13478	1887
2032	12.307.842	13539	<b>1895</b>

Fonte: Autoria própria.

Além da quantidade de resíduos necessários para o acionamento do sistema (1900t/ dia), com uma capacidade horária máxima de entrada dos resíduos de 95 t por hora (operação diária total de 20 horas) obteve uma potência nominal de 233.339 kcal/h.

Para converter kcal/h em MW usa-se o fator de conversão de 1,163 e se divide por 1.000.



$$233.339 \text{ kcal/h} \times 1,163 = 271.437 \text{ kW}$$

$$271.437 \text{ kW} / 1000 = 271,437 \text{ MWp}^7$$

Com uma eficiência elétrica de 25%, ter-se-ia uma geração elétrica líquida de 67,86 MWh para o sistema na sua totalidade. Seguindo o exemplo do Plano Paulista de Energia – PPE 2020 (2013), sobre os princípios técnicos em empreendimentos que geram energia elétrica a partir de RSUs, o consumo do empreendimento é de 10%, ocasionando uma diminuição da injeção de energia elétrica na rede por ano para 445.840 MWh. Portanto, com uma geração elétrica total anual de 445.840 MW, e considerando as perdas técnicas e não técnicas que ocorrerão na fase distribuição e transmissão de energia na área de pertinência da distribuidora paulista, Eletropaulo (ANEEL,2013), de cerca 13,7%, a energia real que poderá ser consumida é de 384.760 MW. Com este montante poderiam ser abastecidas em um ano, cerca de 58.894 residências ou 196.708 habitantes<sup>8</sup>.

## **Redução das emissões de GEEs**

### **A redução das emissões de CH<sub>4</sub> por não disposição dos resíduos em aterros**

O sistema WTE irá tratar 693,5 Mt/ano de resíduos domiciliares, evitando emissões por disposição em aterros no período 2016-2032 de 732.210 tCH<sub>4</sub> (Quadro 5) ou 15.376.410 tCO<sub>2</sub>e<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> megawatt-pico

<sup>8</sup> Considerando 3,34 habitantes por residência com consumo energético de 163 kWh por consumidor. EBC - AGÊNCIA DO BRASIL (Rio de Janeiro). Consumo de energia elétrica cresceu 3,5% em 2013. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-01/consumo-de-energia-eletrica-cresceu-35-em-2013>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRASILIA. PORTAL BRASIL. . IBGE diz que número de pessoas que moram no mesmo domicílio caiu. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2010/09/ibge-diz-que-numero-de-pessoas-que-moram-no-mesmo-domicilio-caiu>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

<sup>9</sup> Fator de conversão GWP 21.

IPCC. Direct Global Warming Potentials. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)>. Acesso em: 18 set. 2014.

**Quadro 5 – Estimativa emissões de CH<sub>4</sub> por não disposição dos resíduos em aterros**

Ano	Emissões t [GgCH <sub>4</sub> /ano]
2016	-
2017	5,39
2018	10,77
2019	16,15
2020	21,54
2021	26,92
2022	32,30
2023	37,69
2024	43,07
2025	48,45
2026	53,84
2027	59,22
2028	64,61
2029	69,99
2030	75,37
2031	80,76
2032	86,14

Fonte: Autoria própria.

Estima-se que anualmente serão reduzidos em média 961.025 tCO<sub>2</sub>e, contra os 2.247.000 tCO<sub>2</sub>e gerados em 2011 pela disposição dos resíduos do município de São Paulo em aterros (ANTP e Prefeitura de São Paulo,2012).

#### **A redução das emissões geradas pela injeção de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN)**

Com um fator de emissão combinada de 0,4322 tCO<sub>2</sub>/MWh a redução das emissões de CO<sub>2</sub>e neste estudo estimada resulta em 166.293 tCO<sub>2</sub>e.

#### **Emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O pela queima dos Resíduos**

As emissões geradas pela incineração totalizam 399.409 tCO<sub>2</sub>e/ano, cerca de 896 gCO<sub>2</sub>e por kWh produzido, onde as emissões de CO<sub>2</sub> totalizaram 386.510 t/ano e as emissões de N<sub>2</sub>O 41,61 t/ano ou 12.899 tCO<sub>2</sub>e<sup>10</sup>. Se

<sup>10</sup> Fator de emissão GWP do N<sub>2</sub>O equivalente a 310.

comparado com uma usina termelétrica a carvão, que emite aproximadamente 800g de CO<sub>2</sub>/kWh (GREENPEACE, 2010), e a qual é a mais poluidora das usinas que utilizam combustíveis fósseis, o sistema WTE possui um potencial maior de emissão de CO<sub>2</sub>.

### **Destinação das Cinzas Volantes e Escórias**

A massa de cinzas volantes e escórias são estimadas em 600 kg/ dia, dos quais 60 kg de cinzas volantes e 540 kg de escórias.

As escórias serão destinadas a indústria cimentícia da região e as cinzas volantes em Aterros Classe I, lembrando que existem novas tecnologias que podem permitir a vitrificação dos mesmos para posterior valorização do material.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **Conclusão**

Com a inserção deste projeto serão evitadas as emissões de GEEs causadas por processos anaeróbicos pela disposição dos resíduos nos aterros sanitários de pertinência. Através da valorização energética do resíduo e injetando a energia elétrica (384.760 MWh/ano) para o SIN será reduzida a dependência das usinas termelétricas, economizando com as despesas de importação de energia elétrica de outras áreas do país, e diminuindo as emissões de GEEs produzidas caso a inserção da usinas WTEs não fosse implementada.

A redução de emissões de CO<sub>2</sub>e totalizou 727.909 tCO<sub>2</sub>e ano, o que representa uma redução de cerca 32,39% das emissões de GEEs geradas por Resíduos no Município de São Paulo em 2011. O setor de Resíduos é o segundo contribuinte na geração de GEE, com 15,6% das emissões totais de São Paulo, assim sendo a inserção do sistema reduziria as emissões totais na cidade de cerca 5,05%.

É oportuno sublinhar que a inserção destes sistemas em 2016 coincide com o início da Terceira Campanha do manejo diferenciado dos resíduos domiciliares estabelecido no PGIRS (início no 1º Semestre de 2016), a qual tem como projeto a coleta containerizada dos rejeitos, portanto, com uma maior disponibilidade de rejeitos existe a possibilidade de ter uma maior eficiência na geração de energia elétrica (caso seja instalado um sistema WTE), já que uma maior percentual de rejeitos na mistura dos resíduos permite a elevação do PCI da mistura. Uma Gestão Integrada entre as metas do PGIRS e a introdução deste sistema até 2032 permitiria uma progressiva adequação da introdução de outros sistemas voltados à reciclagem e a busca de metodologias para diminuição dos rejeitos presentes nos resíduos. Consequentemente no futuro, uma progressiva redução dos resíduos e rejeitos destinados aos aterros aumentaria a vida útil destes locais, não oportunizando a criação de outros aterros, e em decorrência disto contendo os riscos ambientais correlacionados a existência dos aterros.

Sobre a diretriz do PGIRS que estabelece a não inserção de sistemas de incineração de resíduos com geração de energia, a mesma pode ser justificada com o grande potencial que tem este tipo de sistema em relação à emissão de GEEs, porém verificou-se um maior potencial global na redução de GEEs através

o sistema WTE graças à redução por disposição de resíduos em aterros, portanto, questiona-se através este cenário se o Brasil deverá seguir a mesma política que muitos países desenvolvidos atuaram entre os anos 70 e 90 em relação à adoção destes sistemas que apesar das vantagens apresentam dúvidas sobre o seu impacto na saúde dos habitantes circunvizinhos.

### **Recomendações**

O cenário levantado deverá ser aprofundado com dados atualizados da gravimetria dos RSUs presentes em São Paulo e por formulas empíricas baseadas na composição química elementar de cada material, em modo de permitir uma maior exatidão do dimensionamento do sistema WTE.

Aconselha-se em outros estudos de dispor estrategicamente dois ou mais sistemas na cidade, de modo que sejam reduzidos os trajetos de transporte do resíduo, e quês as emissões referentes ao transporte sejam contempladas. Outro fator a ser considerado são as emissões da construção da usina. O Quadro 4 por utilizar somente o parâmetro de 1,1 kg /hab. de geração de resíduos, provavelmente não abrange a situação real futura sobre a geração de resíduo, portanto recomenda-se o aprimoramento dos estudos de projeção per capita dos resíduos no Brasil.

O estudo não abordou a questão dos custos, argumento de suma importância para a elaboração do *Business Plan* e de consequência do tempo de retorno do investimento, desta forma recomenda-se para futuros estudos, considerar as novas perspectivas desencadeadas pelo aumento do custo de energia no Brasil nestes últimos anos devida a uma maior participação das termelétricas na matriz elétrica.

A preocupação sobre o grande potencial de emissão de GEEs é coadjuvada com a presença da emissão de poluentes orgânicos (dioxinas e furanos), portanto, recomenda-se a elaboração de estudos que verifiquem os impactos adversos, já que o sistema se encontra em uma área com alta densidade populacional. Por outro lado, em conjunto, com o objetivo de comparar ambas as situações, deverá ser abordado um estudo que certifique a maior vantagem da inserção do sistema WTE, considerando o seu potencial de redução de emissões de GEEs em termos globais, comparado com a sua ausência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE (São Paulo). Recuperação Energética. Resíduos sólidos Urbanos. São Paulo, 2012.

AGSM. Progetto Ca' del Bue. Disponível em: <<http://www.agsm.it/Areatecnica/ImpiantieReti/Termovalorizzatore/ProgettoCadelBue/Domandefrequenti.aspx>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. QUÍMICA AMBIENTAL. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2011.

BENETTI, Joana Kirchner. A UTILIZAÇÃO DA PROJEÇÃO POPULACIONAL NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO: ESTUDO DE CASO, IJUÍ, RS. 2007. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.

BRASIL. ANEEL. . Perdas de Energia. 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

BRASIL. Política Nacional de Resíduo Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA - PNMC -. Brasília, 2008.

BRASILIA. PORTAL BRASIL. . IBGE diz que número de pessoas que moram no mesmo domicílio caiu. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2010/09/ibge-diz-que-numero-de-pessoas-que-moram-no-mesmo-domicilio-caiu>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

CORTI, Andrea. Trattamenti Termici dei Rifiuti. 2004. Università di Firenze, Florença - UNIFI, 2004. Disponível em: <<http://didattica.dma.unifi.it/WebWrite/pub/Trash/PaginaPrincipale/ITR-lessWTE-01.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2014.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ ) GMBH (Alemanha). Projeto Setorial - Promoção do tratamento mecânico biológico de resíduos. Eschborn, 2003.

DIÁRIO DA AMANHÃ (Goiânia). O problema do desperdício de água. Disponível em: <<http://www.dm.com.br/texto/184288>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

EBC - AGÊNCIA DO BRASIL (Rio de Janeiro). Consumo de energia elétrica cresceu 3,5% em 2013. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-01/consumo-de-energia-eletrica-cresceu-35-em-2013>>. Acesso em: 10 set. 2014.

ENERGIA, Iguçu. A Crise do Apagão. Disponível em: <<http://www.ienergia.com.br/energia/apagao.aspx>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

GONÇALVES, JOSÉ Evaristo. AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM REJEITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*. 2010. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia na Agricultura, Departamento de Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp - Botucatu, Botucatu, 2010.

GREENPEACE INTERNACIONAL CONSELHO EUROPEU DE ENERGIA RENOVÁVEL (EREC) (Brasil). Revolução energética: A caminho do desenvolvimento limpo. São Paulo, 2010.

Grupo Kompac – Energia e Meio Ambiente. PROJETO RECIFE ENERGIA - Destinação Final de Resíduos Urbanos - Geração de Energia Renovável com Combustível Derivado dos Resíduos – CDR. Kogenergy International. 2007. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife\\_energia.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife_energia.pdf)> Acesso em: 18 ago. 2014.

HERA AMBIENTE (Italia). Il Mestiere di Trattare i Rifiuti. Firenze, 2012.

IGUAÇU ENERGIA (Santa Catarina). A Crise do Apagão. Disponível em: <<http://www.ienergia.com.br/energia/apagao.aspx>>. Acesso em: 9 set. 2014.

INSTITUTO EKOS BRASIL (São Paulo). Prefeitura de São Paulo. Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa do Município de São Paulo de 2003 a 2009, com atualização para 2010 e 2011 nos setores Energia e Resíduos. São Paulo, 2013.

IPCC. Direct Global Warming Potentials. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)>. Acesso em: 18 set. 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: IPCC 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Good Practice Guidance and Uncertainly Management in National Greenhouse Gas Inventories. Japan: IPCC, 2000.

MINAS GERAIS. Feam. Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: GUIA DE ORIENTAÇÕES PARA GOVERNOS MUNICIPAIS DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte, 2012.

MIRNA SUZIN (São Paulo). Agrodkv. COMPOSTAGEM - TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS. São Paulo, 2013.

REDE INTERAGENCIAL DE INFORMAÇÕES PARA A SAÚDE - RIPSA (Brasil). TAXA DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO. Disponível em: <[http://www.ripsa.org.br/fichasIDB/pdf/ficha\\_A.3.pdf](http://www.ripsa.org.br/fichasIDB/pdf/ficha_A.3.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2014.

RENASCIMENTO - GESTÃO E RECICLAGEM RESÍDUOS LTDA. (Portugal). Combustível Derivado Resíduos - CDR. Disponível em: <<http://www.renascimento.pt/pt/?id=2231&mid=180>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

RIO DE JANEIRO. Empresa de Pesquisa Energética - Epe. Ministério de Minas e Energia. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, 2008.

RIO DE JANEIRO. Empresa de Pesquisa Energética - Epe. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

RIO DE JANEIRO. IBGE. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, Yuri; OLIVEIRA, Sérgio; CORREA, Ricardo. Waste to Energy: Uma alternativa viável para o Brasil? São Paulo: Promon Intelligens, 2013.

SÃO PAULO. Cetesb. Ministério da Ciência e Tecnologia. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS. São Paulo, 2010.

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Política Energética - Cepe. Governo do Estado de São Paulo. PLANO PAULISTA DE ENERGIA - 2020. São Paulo, 2012.

SÃO PAULO. Prefeitura da cidade de São Paulo. PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DE SÃO PAULO. São Paulo, 2013.

UNIVERSITÀ DI FIRENZE - UNIFI (Italia). Il trattamento dei fumi di termovalorizzatori rifiuti. Firenze, 2004. Disponível em: <<http://didattica.dma.unifi.it/WebWrite/pub/Trash/PaginaPrincipale/Termovalorizzatori.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014

URE - BARUERI (Barueri). Institucional. Disponível em: <<http://www.urebarueri.com.br/quem-somos/institucional>>. Acesso em: 02 set. 2014.