

Análise do potencial energético e do processo de incineração como alternativa na gestão de resíduos sólidos urbanos em Florianópolis

Review of the energy potential and the incineration process as an alternative in urban solid waste management in Florianópolis

Júlia Santos Schramm
Prof. Edson Bazzo

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e a problemática de sua destinação final é assunto preocupante em escala global. Nesse contexto, este trabalho objetiva estimar o potencial energético dos RSU de Florianópolis, de forma a avaliar a técnica de incineração como alternativa de tratamento anterior à disposição final dos resíduos em aterros sanitários. O estudo dá ênfase à análise do potencial energético dos resíduos produzidos na cidade, a partir do levantamento de dados de caracterização, diferenciando os resíduos com base em seus potenciais combustíveis e recicláveis e propondo o tratamento térmico apenas àqueles que não possuam grande potencial de reciclagem. A proposta possibilita a redução do volume destinado a aterros paralelamente à reciclagem do resíduo como insumo para geração de energia. De acordo com os resultados obtidos, a incineração destes resíduos poderia gerar em torno de 2,8 MW de energia elétrica, o que possibilita a diversificação da matriz energética.

Palavras-chave: Potencial energético. Resíduos sólidos urbanos. Incineração. Alternativa energética.

ABSTRACT

The urban solid waste management and the problem of its final disposal is a concern in global scale. In this context, this study aims to estimate the energy potential of the municipal solid waste in the city of Florianópolis, in order to assess the incineration technique as a treatment alternative prior to final disposal of waste in landfills. The work is focused in the analysis of the energy potential of the waste produced in the city, based on a data survey of the waste characterization, separating them based in their fuel and recyclable potential and proposing the incineration technique only to those that do not have a great potential for recycling. This alternative offers the possibility of minimizing the volume to be disposed in landfills at the same time as the recycling of waste, as it serves as an input for power generation. According to the results, the incineration of such waste could generate around 2.8 MW electricity, which enables the diversification of energy sources.

Keywords: Energy potential. Incineration. Municipal solid waste. Energy alternative.

INTRODUÇÃO

Os problemas advindos da má gestão e disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) têm abrangência global, e se fazem unanimemente presentes em todos os países do mundo. A crescente geração de RSU alinha-se entre os mais graves problemas ambientais atuais, devido às dificuldades enfrentadas no seu tratamento e disposição final. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, representa o primeiro grande passo para a melhoria da gestão dos RSU, ao estabelecer, dentre suas diretrizes, uma hierarquia pré-definida para essa gestão, conhecida como política dos 3R's: reduzir, reutilizar e reciclar, na qual a destinação final é a última medida a ser adotada.

Nesse contexto, o principal objetivo deste estudo foi analisar o potencial energético dos RSU do município de Florianópolis, de forma a avaliar a viabilidade de implantação de uma unidade de tratamento de RSU como alternativa de reciclagem energética anterior à disposição final dos resíduos. Neste trabalho, avalia-se a aplicação da técnica de incineração com recuperação energética como alternativa para esse tratamento. A proposta deste processo como etapa anterior à disposição final no aterro sanitário de Biguaçu, para onde hoje são destinados os RSU da região, não só pretende reduzir o volume de RSU encaminhado ao aterro e as emissões de gases do efeito estufa oriundas desse processo, como também reciclar a parte combustível do resíduo ao convertê-lo em fonte de geração de energia.

Propõe-se, então, uma alternativa para a problemática da destinação dos resíduos sólidos que poderia servir também como solução parcial para outra questão discutida no Brasil: a geração de energia. A matriz energética brasileira é hoje altamente dependente da fonte hidroelétrica, e é interessante que o país busque meios de diversificar essa matriz, tornando-se menos dependente de uma forma de produção de energia e investindo em outras possibilidades. A incineração de RSU com recuperação energética surge então como uma alternativa para a geração de energia, proporcionando que uma única medida sirva como solução parcial para dois problemas, uma vez que a demanda por recursos energéticos cresce no mundo de forma tão preocupante quanto a geração de resíduos.

Buscou-se obter uma conclusão quanto à viabilidade de instalação de uma usina de recuperação energética de resíduos sólidos em Florianópolis, com base no

potencial energético dos resíduos gerados na cidade, calculado a partir do poder calorífico inferior (PCI) contido nos resíduos e da composição gravimétrica dos RSU do município.

Panorama dos RSU em Florianópolis

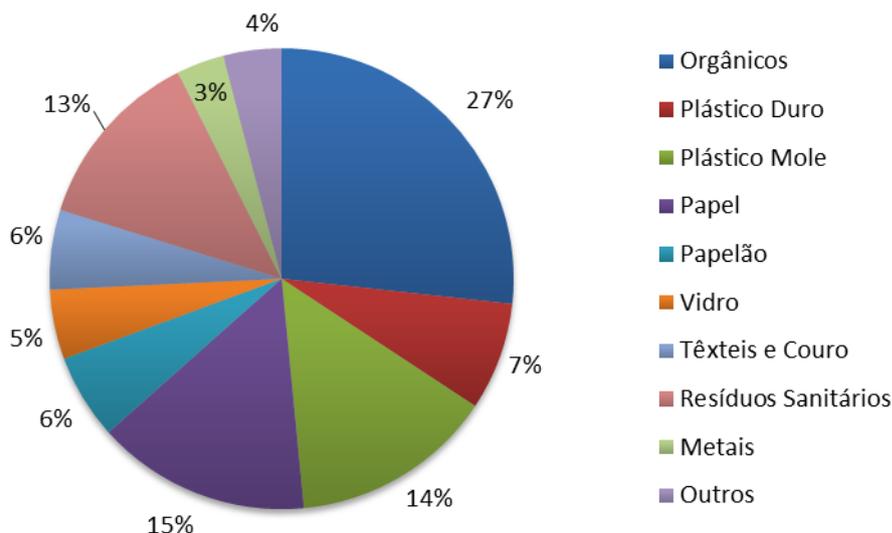
O município de Florianópolis é constituído por partes insular e continental, com um total de 451 km² de área. Para o ano de 2015, foi estimada uma população de 469.690 habitantes, a maioria residente em área urbana (96,2%) (IBGE, 2010). A geração per capita de resíduos no município apresentou um aumento de 21% no período entre 2000 e 2010, passando de 0,33 ton/hab.ano, em 2000, para 0,40 ton/hab.ano em 2010 (COMCAP, 2011).

Em síntese, todos os resíduos recolhidos no município são encaminhados ao Centro de Transferência de Resíduos Sólidos – CTReS, localizado no bairro Itacorubi, onde são pesados e enviados à destinação final. Os resíduos sólidos misturados e rejeitos da triagem da coleta seletiva são encaminhados ao aterro sanitário localizado em Biguaçu e operado pela empresa Proactiva, enquanto os resíduos provenientes da coleta seletiva são encaminhados às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis e outros parceiros.

METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida contou com a realização de um breve panorama do RSU no município. Quanto à composição gravimétrica do RSU gerado em Florianópolis, o levantamento de dados de gravimetria mais atual foi realizado em 2014 pela empresa Ampla Consultoria e Planejamento, e faz parte de um documento ainda em elaboração pela Prefeitura Municipal de Florianópolis: o Plano Municipal de Coleta Seletiva. Apesar de esse estudo ter se utilizado de um procedimento de amostragem mais simplificado, correndo o risco de não ser tão representativo, optou-se por aplicar, neste trabalho, os valores ali obtidos por serem os dados mais atuais da produção de resíduos no município (Figura 1).

Figura 1 - Composição gravimétrica dos RSU de Florianópolis (2014)



Fonte: adaptado de PMF, 2014

Com base nessa caracterização, especificou-se os tipos de resíduos que poderiam servir de matéria-prima ao processo de incineração. Esses resíduos são aqui filtrados, neste trabalho, como aqueles que possuem potencial calorífico e que não apresentam vantagens significativas em sua reciclagem, sendo hoje descartados no município como rejeitos.

Dessa forma, propõe-se três opções de coleta para o RSU gerado: a coleta seletiva, para onde iriam os materiais secos; a coleta de resíduos orgânicos, que seria destinada apenas aos materiais de origem vegetal ou animal para posterior tratamento biológico; e a coleta convencional, que seria aplicada aos resíduos que não se encaixassem nas opções anteriores. Apenas o rejeito desses processos serviria de matéria prima para o tratamento térmico. Como não existe ainda no município coleta diferenciada para os resíduos orgânicos, esses foram considerados, neste trabalho, como rejeitos da coleta convencional.

A diferenciação entre resíduo reciclável e rejeito, dentre os resíduos oriundos da coleta seletiva, foi feita a partir de pesquisa na literatura e pesquisas de campo junto às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis da região. O objetivo das pesquisas de campo foi enumerar aqueles resíduos potencialmente recicláveis, que hoje são triados pela população e enviados às Associações, mas que são, no entanto, descartados como rejeitos por não possuírem valor econômico ou comprador disponível na região.

A partir dessas informações selecionou-se, dentre o total de resíduos gerados, aqueles que poderiam servir de combustível ao processo de incineração. O resultado dessa seleção é apresentado, em peso e porcentagem do valor total de RSU gerado, na Tabela 1. Observa-se que a quantidade de RSU destinada à incineração corresponde a cerca de 50% do total de RSU gerado.

Tabela 1 - Seleção dos RSU combustíveis

RSU Combustíveis	Peso (kg)	Fração do total (%)
Orgânico	43.803.139	26,74%
Plástico mole	515.253	0,31%
Plástico duro	1.893.782	1,16%
Têxteis e Couro	9.154.701	5,59%
Resíduos Sanitários	20.919.861	12,77%
Madeira	291.066	0,18%
Borracha	991.411	0,61%
Total	77.569.213	47,36%

Fonte: elaboração própria

CÁLCULOS ENERGÉTICOS

Com base nos resultados obtidos na seleção dos resíduos calculou-se o potencial energético equivalente, a partir de equações matemáticas que têm por base o PCI da base seca dos RSU, conforme apresentado a seguir:

$$E_d = PCI_{base\ seca} + m_{RSU} \cdot cp_{RSU} (T_{RSU} - 25) + m_{AR} \cdot cp_{AR} (T_{ar} - 25) \quad (1)$$

onde:

E_d = Energia disponível (kJ/kg);

$PCI_{base\ seca}$ = Poder calorífico inferior dos RSU em sua base seca (kJ/kg);

m_{RSU} = massa do RSU (kg/kg)

cp_{RSU} = calor específico do RSU (kJ/kg.°C)

T_{RSU} = Temperatura dos RSU (°C)

m_{ar} = massa do ar (kg/kg)

cp_{ar} = calor específico do ar (kJ/kg.°C)

T_{ar} = Temperatura ambiente

Considerou-se, neste trabalho, a temperatura do ar e dos RSU como sendo de 25°C, obtendo-se, assim, uma energia disponível no RSU numericamente igual ao

PCI_{base seca} desses resíduos. O principal objetivo dos cálculos efetuados foi estimar o poder calorífico total da base seca dos resíduos selecionados, considerando, esse, como a energia total disponível para o processo.

Teor de umidade e poder calorífico inferior

A composição gravimétrica dos resíduos de Florianópolis é realizada com base na massa que cada fração de resíduos representa no total gerado. Nesse valor, além do material propriamente dito, está contido também um percentual de água, ou seja, a umidade que cada tipo de material carrega em sua composição. Esse teor de umidade é específico para cada tipo de material, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Umidade presente nos componentes dos RSU e seus respectivos PCI (base seca)

Componente	Umidade (%)	PCI (base seca) (kJ/kg)
Orgânico	66	18.003
Plástico	17	43.124
Papel/Papelão	21	15.910
Têxteis e Couro	36	17.585
Resíduos Sanitários ¹	62	15.910
Madeira	25	15.491
Borracha	5	40.612

Fonte: Adaptado de CODESC (2003) apud FEAM (2012); ENGEBIO; BURGEAP, 2003 apud ENGEBIO, 2010; SOARES, 2011; ENGEBIO, 2010; FEAM, 2012

¹Por falta de outras fontes, adotou-se a umidade dos resíduos sanitários como a umidade encontrada nas amostras de fraldas no trabalho de Soares, 2011.

Poder calorífico é a quantidade de energia capaz de ser liberada por unidade de massa de um material em combustão ou oxidação. Essa característica, para o caso do RSU, é função da composição dos resíduos e sua umidade inerente (LEME, 2010).

A composição dos resíduos determina o PCI equivalente que servirá como combustível do processo, valor esse dependente do PCI de cada resíduo que compõe a massa a ser incinerada (PAVAN, 2010). Sendo assim, neste trabalho, estimou-se o PCI equivalente com base nos valores de PCI de base seca de cada componente dos RSU encontrados na literatura (Tabela 2).

Estimativa do potencial energético

Para estimar o potencial energético total dos RSU, é preciso retirar a massa correspondente à fração de água presente nos resíduos. Para tal, utilizou-se dos

teores de umidade disponíveis na literatura, retirando-se esse percentual da massa total de cada componente de resíduo, conforme equação a seguir.

$$\text{Massa Total Seca} = (1 - \omega)(\text{Massa total}) \quad (2)$$

onde:

ω = teor de umidade (%)

Foram obtidas, dessa forma, as frações mássicas na base seca de cada componente (Tabela 3). Aplicando-se a equação 2, encontrou-se a massa total seca de RSU e o percentual de fração mássica referente à base seca dos resíduos.

Tabela 3 – Transformação dos RSU: Base Úmida para Base Seca

Componente	Base Úmida			Base Seca		
	Massa total (ton)	fm %	ω %	Massa total seca (ton)	fm B.U. ³ (%)	fm B.S. ⁴ (%)
Orgânico	43.803,1	26,7	66%	14.893,1	9,2	12,8
Plástico Mole	515,2	0,3	17%	427,7	0,3	0,4
Plástico Duro	1.893,8	1,2	17%	1.571,8	1,0	1,3
Têxteis	9.154,7	5,6	36%	5.859,0	3,6	5,0
Sanitários	20.919,9	12,8	62%	7.970,5	4,9	6,8
Madeira	291,1	0,2	25%	218,3	0,1	0,2
Borracha	991,4	0,6	5%	941,8	0,6	0,8
Outros	18.804.703,0	52,4	0%	18.804.703,0	52,4	72,8
Total	96.373.916,0	100,0	-	-	71,9	100,0

Fonte: elaboração própria

² fm B.U. = Fração mássica em relação à base úmida dos RSU

³ fm B.S. = Fração mássica em relação à base seca dos RSU

A partir dos valores encontrados para as frações mássicas da base seca dos RSU, e de seus respectivos valores de PCI, calculou-se o PCI equivalente dos RSU de Florianópolis (Tabela 4).

Tabela 4 – Estimativa do PCI equivalente dos RSU de Florianópolis

Componente	fm B.S. (kg/kg)	PCI (kJ/kg)	PCI.fm (kJ/kg)
Orgânico	0,128	18.003	2.297,4
Plástico Mole	0,004	43.124	154,2
Plástico Duro	0,013	43.124	577,2
Têxteis	0,050	17.585	874,5
Sanitários	0,068	15.910	1.076,0
Madeira	0,002	15.491	29,1
Borracha	0,008	40.612	327,2
RSU			5.335,6

Fonte: elaboração própria

A energia total disponível nos RSU é, portanto, 5.336,6 kJ/kg de resíduo. Adotou-se, para os cálculos aqui efetuados, a queima dos resíduos em uma caldeira com o propósito de gerar vapor superaquecido para uso em ciclo de Rankine com rendimento global de 30%. Dessa forma, a energia líquida do processo deverá corresponder a, aproximadamente, 1.600 kJ/kg de resíduo, conforme cálculo demonstrado através da equação 3.

$$Ee = \eta_{ciclo} \times Ed \quad (3)$$

onde:

Ee = Energia elétrica produzida no processo (kJ/kg)

η_{ciclo} = eficiência adotada para o ciclo de Rankine (%)

Ed = Energia disponível para o processo (kJ/kg)

RESULTADOS

Através das equações apresentadas previamente na metodologia deste trabalho estimou-se o potencial energético destes resíduos. De acordo com o que foi descrito anteriormente, a quantidade total de resíduos que seria utilizada como combustível no processo de incineração corresponde a, aproximadamente, 77.569.213 quilos por ano. Após retirar deste valor a massa referente à umidade presente nestes resíduos (28,1%), aplicando-se a equação 2, tem-se 55.801.407 quilos de RSU produzidos ao ano, ou 1,759 kg/s, segundo demonstram os cálculos:

$$RSU \text{ Total}_{base \text{ seca}} = (1 - 0,281)(77.569.213)$$

$$RSU \text{ Total}_{base \text{ seca}} = 55.801.407 \text{ kg/ano}$$

Dessa forma, com base na energia elétrica produzida através do ciclo de Rankine e na massa total de RSU gerada, na base seca, estimou-se um potencial energético de 2,8 MW, conforme demonstrado:

$$\text{Potencial energético} = Ee \times RSU_{base \text{ seca}} \quad (4)$$

$$\text{Potencial energético} = 1.600,7 \times 1,769$$

$$\text{Potencial energético} = 2.832,32 \text{ kJ/s} = 2.832,32 \text{ kW}$$

De acordo com o resultado obtido, após procedimento adequado de reciclagem, o potencial energético dos RSU de Florianópolis seria de 2,8 MW, o que corresponde a 50% da demanda elétrica do campus universitário da UFSC.

Importa destacar que Florianópolis, apesar de ser capital do estado de Santa Catarina, não é considerado um município de grande porte, o que faz com que o valor anual de geração de RSU não seja alto, se comparado com cidades maiores e mais populosas. A experiência atual, de acordo com Menezes, Menezes e Gerlach (2000), sugere que a geração de energia elétrica a partir de RSU se torna rentável em instalações com capacidade de processamento acima de 250 toneladas por dia, sendo que plantas com capacidades inferiores utilizariam a energia apenas para uso próprio. Aplicando esses valores ao caso de Florianópolis, que gera algo em torno de 210 toneladas de RSU por ano, percebe-se que não haveria capacidade suficiente para venda da energia gerada em uma possível planta de incineração com recuperação energética. Esse fato, no entanto, poderia ser contornado com medidas de consórcio em municípios de pequeno e médio porte, por exemplo, possibilitando que resíduos de diferentes localidades fossem tratados em apenas uma unidade, contribuindo não só para a dificuldade relacionada a pouca quantidade de RSU para abastecer o processo, como para os custos do processo. Ainda neste contexto, Caixeta (2005) ressalta um ponto a ser destacado nesta continuidade, ao afirmar que o objetivo principal da incineração é o tratamento do RSU, sendo a produção de energia elétrica apenas um subproduto, mas que pode auxiliar a reduzir os custos do processo e da destinação a aterros.

Hoje, no Brasil, a discrepância dos custos de instalação e de operação de ambas as tecnologias são determinantes para a escolha do aterro sanitário como a principal forma de destino de RSU, principalmente porque não existe ainda, no país, uma ferramenta legal que compense essa diferença. Para a aplicação de tecnologias mais sofisticadas de tratamento de RSU em âmbito nacional, muitos autores sugerem a adoção de tarifas de tratamento de resíduos maiores que as praticadas atualmente em aterros sanitários. Mamede (2013) ressalta que a tarifa de

tratamento para aterro sanitário praticada no Brasil é baixa se comparada à de países europeus, uma vez que esses elevam os custos de aterramento de forma a estimular práticas alternativas a essa. Pode parecer um absurdo, se analisarmos o contexto financeiro atual do país, sugerir medidas que envolvam o aumento de tarifas, no entanto deve se manter o foco da importância que a gestão adequada dos RSU representa para a população, de todos os benefícios que essa pode aportar e todos os impactos que deixa de causar ao meio ambiente, o que, por si só, já reduziria gastos consideráveis.

Portanto, dentro do quadro atual de crescimento populacional e consequente aumento da geração de RSU e demanda por energia elétrica, os resultados deste trabalho sinalizaram a viabilidade da instalação de uma planta de incineração de RSU com recuperação energética no município de Florianópolis, com as condicionantes de se garantir a preferência ao processo de reciclagem e o tratamento adequado dos efluentes do processo. Além dos resultados numéricos obtidos, verificou-se o caráter vantajoso e atrativo do processo como técnica de tratamento em um sistema de gestão integrada de RSU.

CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar o potencial energético contido nos RSU de Florianópolis. A partir dessa quantidade potencial de energia, avaliou-se a possibilidade de implantação do processo de incineração com recuperação energética como técnica de tratamento de RSU anterior à etapa de disposição final de resíduos em aterro sanitário. Percebeu-se, após análise na literatura, que diversas pesquisas vêm sendo realizadas neste âmbito nos últimos anos, inclusive em nível nacional, o que caracteriza uma possível mudança do paradigma clássico aplicado à gestão de RSU no Brasil: a disposição final em aterro sanitário, sem tratamento prévio, como solução ideal ao gerenciamento dos resíduos.

As soluções mundialmente mais adotadas para a gestão dos resíduos, que têm gerado os resultados mais eficazes, baseiam-se no conceito de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, que consiste na combinação de diferentes técnicas para o manejo dos resíduos. O importante é que fique claro que não existe uma única solução ideal que possa ser aplicada sem distinção, e nenhuma tecnologia

pode ser concebida isoladamente. A solução ideal para a gestão dos resíduos se constrói a partir da percepção de que, para extrair a capacidade máxima de determinadas tecnologias, essas devem ser operadas em conjunto, uma suprimindo a deficiência da outra. No entanto, a decisão sobre a melhor forma de combinar essas alternativas de tratamento deve ser baseada em análises de viabilidade técnica e econômica, que contemplem aspectos locais relevantes, de forma a possibilitar a escolha das técnicas mais favoráveis para cada situação.

Ainda assim, não é suficiente que se pense apenas na melhor forma de lidar com o resíduo a partir de sua geração. É importante lembrar, neste momento, que a prioridade na gestão de RSU é a não geração de resíduos, quando possível, ou ao menos a redução desses. A própria Agenda 21, em seu capítulo 21, estabelece que a gestão dos resíduos deve ir além da mera disposição final ou recuperação, buscando atingir a raiz do problema, ao mudar padrões insustentáveis de produção e consumo. A ideia principal, portanto, não é apenas focar em soluções tidas como end-of-pipe, “tapando os buracos” do problema, mas sim, focar na redução de resíduos na fonte. A palavra de ordem é mudança, e é urgente sua necessidade na forma como se enxerga o valor real do resíduo, não o tendo mais como lixo.

REFERÊNCIAS

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** 2005. 86 f. Monografia de Especialização (Pós-Graduação em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) – UnB, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2005.

COMCAP. COMPANHIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS. Município de Florianópolis/SC.** Florianópolis, 2011. 261 p.

ENGENHARIA S/S LTDA. **Relatório 1: Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica.** 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 294 p.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento Energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=420540&search=santa-catarina|florianopolis>>. Acesso em: 03 jun 2015.

LEME, M. M. V. **Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso.** 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – UNIFEI, Itajubá. 2010.

MAMEDE, M. C. S. **Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil.** 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A.. Estágio atual da incineração no Brasil. **VII Seminário Nacional de resíduos sólidos e limpeza pública**, p. 3-7, 2000.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil.** 2010. 186 p. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, EP/FEA/IEE/IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PMF. PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Plano Municipal de Coleta Seletiva.** Relatório Parcial. Florianópolis, 2014. (Documento em elaboração).

SOARES, E. L. S. F. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** 2011. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.