

XI-021 - POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – UM ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Giuseppe Cernicchiaro Palermo⁽¹⁾

Biólogo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Engenheiro Ambiental pela Universidade Veiga de Almeida. Mestre em Planejamento Energético, área de concentração Planejamento Ambiental, pelo Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPE/UFRJ). Doutorando em Planejamento Energético no PPE/UFRJ.

Carlos Eduardo S. C. P. da Cunha

Engenheiro civil, graduado pela Universidade Veiga de Almeida (UVA), Pós-graduado em Gestão de Empresas de Petróleo e Gás pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Doutorando em Engenharia Ambiental na UERJ.

Ricardo Soares

Químico Industrial formado pela Universidade Federal Fluminense (UFF); Licenciado em Química pela Universidade Salgado de Oliveira (UNIVERSO); Mestre e Doutor em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF. Servidor de carreira do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), na Coordenadoria de Acompanhamento de Instrumentos de Licenciamento Ambiental (CILAM).

Endereço⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier, 389 / 704 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-011 - Brasil - Tel: (21) 99160-0420 - e-mail: giuseppecp@gmail.com

RESUMO

A identificação dos impactos negativos dos resíduos sólidos no meio ambiente e na saúde humana, associada a um cenário de crise econômica e energética nacional, atrai a atenção da sociedade para esta temática e estimula a busca por soluções integradas. Neste sentido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) representa a materialização formal da preocupação do país com o tema, trazendo instrumentos para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, em especial os urbanos. Entre elas, destacam-se a clara definição de uma hierarquia objetiva para as destinações ambientalmente adequadas de resíduos sólidos e a previsão do uso de tecnologias de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Desta forma, o objetivo do presente trabalho é analisar o potencial de aproveitamento dos RSU à luz da recuperação energética no município do Rio de Janeiro, com base na construção e análise de dois cenários alternativos, de forma a quantificar os potenciais não aproveitados de geração de energia a partir de duas das tecnologias já consideradas viáveis, incineração e biodigestão anaeróbica, em um estudo de caso com dados de resíduos coletados no município, referentes ao período de 1996 a 2013. O potencial de geração de energia elétrica por incineração correspondeu a 1,13 TWh/ano, enquanto por biodigestão anaeróbica correspondeu a 0,22 TWh/ano. Destaca-se que tais potenciais seriam capazes de suprir de 4,1% a 20,3% da demanda elétrica residencial e de 1,3% a 6,7% da demanda elétrica total do município do Rio de Janeiro, respectivamente. Os indicadores de geração por unidade de massa foram de 0,46 MWhe / t resíduo para a incineração e 0,15 MWhe / t resíduo para a biodigestão, os quais estão de acordo com os valores encontrados na literatura para ambas as tecnologias. Observa-se que os potenciais derivados da incineração são superiores àqueles da biodigestão anaeróbica devido às maiores quantidades de resíduos incinerados e por conta dos processos envolvidos na tecnologia de incineração, capaz de aproveitar o poder calorífico dos materiais. No entanto, a biodigestão é capaz de produzir um combustível passível de transporte, enquanto a incineração gera energia térmica, que deve ser aproveitada no local. Assim, é possível concluir que, sob as óticas ambiental e de geração energética, o aproveitamento dos resíduos analisados é uma alternativa adequada, sendo a incineração a opção com maior potencial de recuperação, quando comparada à biodigestão anaeróbica.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento Energético, Resíduos Sólidos Urbanos, Eficiência Energética, Biogás.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são, de forma geral, subprodutos das atividades humanas, sendo caracterizados pelos potenciais impactos negativos que podem causar ao meio ambiente e, conseqüentemente, à saúde do homem quando não dispostos de forma adequada ou tratados. Devido à crescente importância da dimensão ambiental na sociedade atual e ao aumento contínuo da quantidade de resíduos sólidos gerados, particularmente nos grandes centros urbanos e núcleos populacionais, os mesmos passaram a ser um dos focos centrais das políticas públicas. Através delas, os governos tentam criar mecanismos e ferramentas para a redução e controle de seus efeitos nocivos (LINO & ISMAIL, 2011).

Segundo CABRAL (2015), dentre as tipologias de resíduos existentes, os resíduos sólidos urbanos (RSU) merecem destaque especial, visto que compreendem importante parcela do total de resíduos gerados pela sociedade moderna. Argumenta, ainda, que conhecer as fontes de origem e os tipos gerados, através de sua composição e de sua taxa de geração, é a ferramenta básica para o gerenciamento dos resíduos sólidos.

A temática da gestão sustentável dos RSU nunca foi tão evidente no panorama nacional, se devendo em grande parte à identificação dos impactos ambientais derivados da ingerência destes resíduos e dos desafios encontrados ao longo de todas as etapas do processo de gestão adequada dos mesmos. O tema ficou ainda mais evidente após a aprovação da Lei Nº 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que, entre outros, define e hierarquiza as destinações ambientalmente adequadas a serem aplicadas aos resíduos sólidos urbanos, em seu artigo 9º: “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (BRASIL, 2010).

Destaca-se que a priorização estabelecida pela PNRS está alinhada com aquela posta em prática pelos países europeus (Figura 1), através da Diretiva-Quadro sobre Resíduos da União Europeia (UE), conforme observado pelo Ministério do Meio Ambiente, Alimento e Assuntos Rurais do governo da Inglaterra (DEFRA, 2014).



Figura 1: Hierarquia de prioridade para o gerenciamento de resíduos sólidos, segundo a Diretiva-Quadro sobre Resíduos da União Europeia, comparada com a hierarquia estabelecida na PNRS.

Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (2010) e DEFRA (2014).

Apesar das inovações introduzidas pela PNRS, a disposição em aterros sanitários – a opção menos indicada pela hierarquia definida na referida Política – é o principal destino dos resíduos sólidos no Brasil, na medida em que é a alternativa mais barata e devido à facilidade de construção dos aterros por parte dos municípios. No entanto, a dificuldade de se encontrar locais apropriados para sua construção nas grandes cidades do país já foi identificada como um obstáculo de grande importância (SOUZA et al., 2014).

Este contexto, associado a um cenário de crise econômica e energética recente, porém incipiente, no país, resultado da falta de capacidade de planejamento e gestão dos governos atuais e do passado recente, é um

estímulo à busca por alternativas integradas. Estas precisam contemplar não apenas a solução de problemas, mas devem identificar e lançar mão das oportunidades de desenvolvimento tecnológico que se apresentam (PALERMO, 2016).

O quarto nível de ambas as hierarquias expostas na Figura 1 – “Tratamentos” e “Outras recuperações” – compreende exemplos de tais alternativas, abarcando rotas tecnológicas para o tratamento de resíduos que associam a solução dos problemas ambientais com a geração de um recurso, a energia: digestão anaeróbica, incineração, gaseificação e pirólise. O aproveitamento energético dos RSU está incluído como alternativa de destinação final ambientalmente adequada de resíduos na PNRS, no 1º parágrafo do já mencionado artigo 9º. (ECOLOGUS, 2013; SANTOS, OLIVEIRA & CORREA, 2013; BRASIL, 2010).

Destaca-se, ainda, que, além dos claros benefícios ambientais, sanitários e sociais derivados do aproveitamento energético dos resíduos sólidos, o mesmo está baseado em tecnologias maduras, sendo dos anos 1980 as primeiras termelétricas alimentadas por RSU, implantadas nos EUA, na Europa e no Japão (EPE, 2008). SANTOS, OLIVEIRA & CORREA (2013) destacam que são duas as tecnologias de aproveitamento energético de resíduos já consideradas comercialmente viáveis, inclusive para o cenário nacional: a incineração e a biodigestão anaeróbica.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008) afirma que o aproveitamento energético dos resíduos sólidos é uma opção genuinamente promissora, especialmente no tocante à geração de energia elétrica, não devendo ser desconsiderada. Justifica que, apesar de não apresentar potencial suficientemente robusto para sustentar uma estratégia de expansão de oferta energética a nível nacional de longo prazo, a geração de energia elétrica a partir dos resíduos se trata de um importante elemento de estratégias em escalas menores, como local ou regional. Desta forma, esta fonte alternativa de geração de energia se configura no tema do presente trabalho, em um estudo de caso específico para o município do Rio de Janeiro.

OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do presente trabalho é analisar o potencial de aproveitamento dos RSU à luz da recuperação energética no município do Rio de Janeiro, com base na construção e análise de dois cenários alternativos, de forma a quantificar os potenciais não aproveitados de geração de energia a partir de duas das tecnologias já consideradas viáveis, incineração e biodigestão anaeróbica, em um estudo de caso com dados de resíduos coletados no município, referentes ao período de 1996 a 2013. Pretende-se, também, construir indicadores de geração de energia a fim de se estabelecer um benchmark teórico, bem como permitir a comparação com outros trabalhos.

METODOLOGIA UTILIZADA

As massas de resíduos sólidos urbanos (domiciliares e públicos) coletados utilizadas no presente trabalho são aquelas apresentadas pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (IPP/PCRJ, 2015), para o período entre os anos de 1996 a 2013. Para a construção dos cenários, foi necessário desagregar os resíduos coletados em tipologias específicas. Para tal, foram utilizadas as composições gravimétricas dos resíduos coletados também apresentadas por IPP/PCRJ (2015), separadamente para cada área de planejamento e por ano, para o período 1996 a 2013.

Parte das tipologias apresentadas não correspondiam àquelas estabelecidas na literatura utilizada como referência (THEMELIS & ULLOA, 2007; EPE, 2008; BRANCOLI, 2014; USEPA, 2015). Desta forma, as mesmas foram atribuídas a outras tipologias, com as características consideradas mais próximas para fins de incineração e digestão anaeróbica, de maneira a não serem desconsideradas, conforme descrito por Palermo (2016).

A partir do cruzamento das informações listadas anteriormente, foi possível calcular as massas de resíduos sólidos urbanos por tipologia coletadas no município do Rio de Janeiro, entre os anos de 1996 e 2013, anualmente, separadamente por área de planejamento. A partir destes valores, foram aplicadas as metodologias para cálculo dos potenciais de geração de energia térmica e elétrica por incineração e digestão anaeróbica, apresentadas na literatura e descritas a seguir.

Potencial de Geração Energética por Incineração

Foram utilizados os poderes caloríficos inferiores (PCI) dos componentes normalmente encontrados nos resíduos sólidos urbanos apresentados na Tabela 1. A EPE (2008) afirma que, a partir destes valores, é possível concluir que misturas de resíduos com grandes parcelas de materiais orgânicos tendem a apresentar PCI mais baixos.

Tabela 1: Poderes caloríficos inferiores dos materiais encontrados em resíduos sólidos urbanos.

Material	kcal/kg
Plásticos	6.300
Borracha	6.780
Papel	4.030
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimentos (matéria orgânica)	1.310
Metal, vidro e inertes	N.A.

INGLEZAKIS et al. (2015) afirmam que as tecnologias atuais de incineração de resíduos apresentam eficiências energéticas tipicamente da ordem de 14 a 28%, quando utilizadas para geração elétrica exclusivamente, através do ciclo Rankine (turbina a vapor). Afirmam, também, que a eficiência energética pode chegar a até 80% em usinas de cogeração (ciclo combinado), nas quais a incineração está associada à geração de calor e eletricidade. Foi utilizado, de forma conservadora, o menor valor da faixa de eficiência elétrica apresentado por INGLEZAKIS et al. (2015), de 14%.

Potencial de Geração Energética por Biodigestão Anaeróbica

A taxa de geração de biogás por biodigestão anaeróbica considerada foi de 120 m³ por tonelada de resíduo orgânico (BRANCOLI, 2014). Ao se considerar uma proporção de metano da ordem de 50% no biogás gerado (EPE, 2008; USEPA, 2015), o valor encontrado por BRANCOLI (2014) é corroborado na literatura por THEMELIS & ULLOA (2007), que calcula uma taxa de geração de 60 m³ metano/t resíduo orgânico. O PCI considerado para o metano foi de 9,9 kWh/m³ CH₄ (SOUZA et al., 2014).

Com relação ao potencial de geração de energia elétrica a partir da queima do biogás gerado por este processo, considerou-se a utilização de um conjunto motogerador, composto por um motor de combustão interna do Ciclo Otto acoplado a um gerador elétrico. Esta tecnologia corresponde àquela indicada por TOLMASQUIM (2016) para geração de eletricidade a partir de gás natural, que também pode gerar energia a partir do biogás, inclusive de resíduos urbanos. Foi considerada uma eficiência de geração de eletricidade em motogerador (η) de 25%, em consonância com outros trabalhos disponíveis na literatura (PALERMO, D'AVIGNON & FREITAS, 2014; SOUZA et al., 2014).

Sabe-se, no entanto, que nem sempre é possível separar efetivamente os resíduos orgânicos das demais tipologias de resíduos, seja pelas características da disposição para a coleta dos primeiros (misturados com materiais não digeríveis), seja pela carência de triagem adequada, acarretando uma pequena parcela de perda. Entretanto, não foi encontrado na literatura estudo que calculasse tal percentual de perda, o qual não foi considerado no presente trabalho.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos no presente trabalho são apresentados separadamente para os cenários considerados.

Potencial de Geração Energética por Incineração

O PCI médio dos resíduos coletados no município corresponde a aproximadamente 2.570 kcal/kg, tornando a incineração tecnicamente viável sem a necessidade de etapa prévia de pré-tratamento (EPE, 2008; EPE, 2014).

Os resultados do potencial calorífico e de geração de energia elétrica a partir da incineração dos RSU coletados no município do Rio de Janeiro no período considerado são apresentados na Tabela 2, como médias anuais. Os resultados para cada ano considerado variaram apenas de acordo com as quantidades de resíduos geradas, de forma que a avaliação das médias anuais é a mais interessante para a análise dos resultados.

Tabela 2: Potenciais calorífico (GWh/ano) e de geração de energia elétrica (GWh_e/ano) médios anuais derivados da incineração dos RSU coletados no município do Rio de Janeiro no período de 1996 a 2013.

Área de planejamento	Potencial calorífico (GWh/ano)	Potencial de geração de energia elétrica (GWh _e /ano)
AP I	708,37	99,17
AP II	1.321,70	185,04
AP III	3.216,75	450,35
AP IV	1.033,11	144,64
AP V	1.821,31	254,98
Total	8.101,25	1.134,17

Potencial de Geração Energética por Biodigestão Anaeróbica

Os resultados do potencial calorífico e de geração de energia elétrica a partir da biodigestão anaeróbica da parcela orgânica dos RSU coletados no município do Rio de Janeiro no período considerado são apresentados na Tabela 3, também como médias anuais.

Tabela 3: Potenciais calorífico (GWh/ano) e de geração de energia elétrica (GWh_e/ano) médios anuais derivados da biodigestão anaeróbica da parcela orgânica dos RSU coletados no município do Rio de Janeiro no período de 1996 a 2013.

Área de planejamento	Potencial calorífico (GWh/ano)	Potencial de geração de energia elétrica (GWh _e /ano)
AP I	73,10	18,28
AP II	129,21	32,30
AP III	353,26	88,32
AP IV	106,27	26,57
AP V	220,26	55,07
Total	882,11	220,53

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A incineração apresenta o maior potencial bruto de geração elétrica, com um total acumulado de aproximadamente 20,4 TWhe no período avaliado e uma média anual superior a 1,1 TWhe/ano. Já o potencial de geração elétrica derivado da queima do biogás produzido por digestão anaeróbica correspondeu a um total acumulado de cerca de 4,0 TWhe no período avaliado e uma média anual superior a 0,2 TWhe/ano.

Ao se analisar os potenciais de geração elétrica por tonelada de resíduo das duas tecnologias consideradas (Tabela 4), pode-se observar que a incineração apresenta os indicadores mais elevados do que os de digestão anaeróbica, em média 0,458 MWh/t e 0,148 MWh/t, respectivamente. O principal motivo para este padrão reside no fato de que ocorrem menos etapas de transformação, da matéria e da energia, na primeira (combustão) quando comparada à última (gaseificação biológica seguida de combustão), apesar da maior eficiência de geração elétrica desta. A transformação energética está sujeita, normalmente, ao aumento da entropia, o qual se traduz, neste caso, na menor capacidade de geração de energia por unidade de massa.

Tabela 4: Indicadores de geração de energia elétrica por massa de resíduo (MWh/t) para os dois cenários considerados, por área de planejamento e média do município do Rio de Janeiro.

Área de Planejamento	Incineração (MWh elétrico/t resíduo)	Digestão anaeróbica
AP I	0,468	
AP II	0,478	
AP III	0,457	0,148
AP IV	0,470	
AP V	0,437	
Média	0,458	

Os indicadores encontrados no presente estudo estão de acordo com aqueles apresentados por IVIG (2009). Segundo o mesmo, os valores associados à incineração convencional se situam entre 0,4 e 0,6 MWhe/t, intervalo que contém os valores calculados para todas as áreas de planejamento e sua média (0,458 MWhe/t). Um perfil semelhante é observado para os valores associados à digestão anaeróbica, cuja faixa apresentada pelo referido trabalho corresponde a 0,1 e 0,3 MWhe/t, intervalo que contém o valor calculado para o estudo de caso considerado (0,148 MWhe/t).

Outra característica que pode ser observada é a importância dos materiais recicláveis na mistura de resíduos, visto que são aqueles que apresentam os maiores poderes caloríficos inferiores. A área de planejamento que apresenta o maior potencial de geração de energia por unidade de massa é a AP II, a mesma que apresenta o maior percentual de participação de recicláveis em sua composição gravimétrica no período considerado, de 44,4%. Por outro lado, a AP V apresenta o menor indicador de geração, apresentando também a menor proporção de recicláveis em sua gravimetria, de 36,9%.

Neste sentido, é importante observar que, no caso do município do Rio de Janeiro, a reciclagem de parcela expressiva dos resíduos recicláveis com potencial energético não inviabiliza a incineração do material restante, visto que:

- Com a reciclagem de até 55% do total de recicláveis, o PCI da mistura permanece igual ou superior a 2.000 kcal/kg. A incineração dos resíduos sólidos urbanos coletados no município permanece, assim, tecnicamente viável, sem a necessidade de nenhum tipo de pré-tratamento, segundo a EPE (2008; 2014).
- Com a reciclagem de até 80% do total de recicláveis, o PCI da mistura permanece entre 2.000 e 1.675 kcal/kg. A incineração dos resíduos sólidos urbanos coletados no município ainda é tecnicamente viável, mas com a necessidade de algum tipo de pré-tratamento capaz de elevar o poder calorífico da mistura de resíduos, segundo a EPE (2008; 2014).

Apesar do indicador de geração de energia referente à digestão anaeróbica ser inferior ao referente à incineração, o primeiro é capaz de gerar um combustível passível de transporte (biogás), enquanto o último converte os resíduos diretamente em energia térmica, que deve ser aproveitada no local. Assim, deve-se avaliar a melhor forma de se atender a demanda energética: caso haja necessidade de produção de combustível gasoso, a digestão anaeróbica é a melhor opção, mesmo produzindo menos energia por unidade de massa; caso haja maior necessidade de produção de energia térmica e/ou eletricidade, a incineração é a alternativa mais adequada. No atual contexto de crise energética, no qual as tarifas da energia elétrica para o consumo residencial estão em constante aumento, a incineração deve ser a preferida.

A potencial relevância da geração de eletricidade pelo aproveitamento energético dos RSU do município do Rio de Janeiro fica evidente ao se considerar o consumo de energia elétrica do município. Segundo dados da Prefeitura (IPP/PCRJ, 2015), o consumo elétrico no ano de 2013 foi de 17.476.913,2 MWh, dos quais 5.757.301,5 MWh são relativos ao setor residencial. Os indicadores anuais sugerem que a digestão anaeróbica seria capaz de suprir cerca de 4,1% da demanda residencial, ou 1,3% da demanda total, do município. Por outro lado, sugerem que a incineração seria capaz de suprir cerca de 20,3% da demanda residencial, ou 6,7% da demanda total, do município, se mostrando a opção mais vantajosa sob a ótica da geração elétrica.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que o potencial de aproveitamento dos RSU no município do Rio de Janeiro à luz da recuperação energética é de grande relevância, visto que a incineração é capaz de atender a mais de 20% da demanda elétrica residencial do município. Além disso, mostraram, também, que, mesmo considerando altas taxas de reciclagem (de até 80%), a incineração permanece tecnicamente viável, permitindo a instalação de coleta seletiva, cooperativa de catadores e/ou unidades de triagem de resíduos.

Já o potencial de geração de energia a partir da combustão do biogás derivado da digestão anaeróbica, apesar da menor capacidade de atendimento à demanda elétrica residencial do município, de cerca de 4%, é também relevante, especialmente sob a ótica da complexidade tecnológica. A construção e a operação de biodigestores são menos complexas do que a de plantas de incineração, mesmo considerando o funcionamento do conjunto motogerador para a combustão do produto gasoso derivado, podendo ter, inclusive, aplicações em escalas residenciais e/ou domiciliares.

Assim, são indicadas sugestões e recomendações para o avanço em futuros trabalhos:

- Calcular o balanço de emissões de gases de efeito estufa resultantes da utilização das tecnologias avaliadas, estimando, inclusive, as emissões evitadas pelo deslocamento da oferta de energia;
- Calcular o balanço econômico, determinando os custos associados ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e estabelecendo o valor presente líquido da utilização das tecnologias analisadas;
- Calcular, para as outras tecnologias disponíveis na literatura, o potencial de aproveitamento energético, estabelecendo indicadores e compará-los com as tecnologias avaliadas no presente trabalho, a fim de se determinar as mais eficientes em termos de recuperação energética;
- Avaliar os impactos da reciclagem dos RSU na economia de energia, bem como na demanda energética dos setores produtivos, visto os altos potenciais de conservação de energia elétrica que esta forma de disposição de resíduos apresenta, conforme destacado pela EPE (2008);
- Proposição de políticas de incentivo à adoção dos sistemas de recuperação e aproveitamento energético de resíduos, como financiamentos públicos e acesso a fundos de estímulo à inovação, com o objetivo de viabilizar a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação destas tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANCOLI, P. L. Avaliação experimental da co-digestão anaeróbica de resíduos orgânicos e lodo de esgoto em digestores têxteis. Rio de Janeiro, 2014. Projeto de graduação - Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
2. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Subchefia para Assuntos Jurídicos, Presidência da República, Brasília, DF, 2010.
3. CABRAL, E. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Considerações sobre resíduos sólidos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA). Notas de aula da disciplina gestão de resíduos sólidos. Ceará, 2015. 41 p. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA>. Acesso em: 18 set. 2015.
4. DEFRA (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENTAL FOOD & RURAL AFFAIRS). Energy from waste: A guide to the debate. Londres: DEFRA, 2014. 70 p.
5. ECOLOGUS. Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos e Aspectos Ambientais e Sociais: Avaliação de Oportunidades de Recuperação Energética. In: Consultoria e Assessoria Técnica de Engenharia à SEA para Elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). Rio de Janeiro, 2013.
6. EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de campo grande, MS. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 73 p. (Série Recursos Energéticos).
7. EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 49 p. (Série Recursos Energéticos).

8. INGLEZAKIS, V. J. et al. Comparison between landfill gas and waste incineration for power generation in Astana, Kazakhstan. *Waste Management & Research*, v. 33 , n. 5 , p. 486-494, mai. 2015.
9. IPP/PCRJ (INSTITUTO PEREIRA PASSOS/PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO). Armazém de dados. Rio de Janeiro: IPP, 2015. Disponível em: <<http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.
10. IVIG (INSTITUTO VIRTUAL INTERNACIONAL DE MUDANÇAS GLOBAIS). Potencial Energético dos RSU. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/rsu%20%202009%20%283%29.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2016.
11. LINO, F. A. M., ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. *Energy Policy*, v. 39, n. 6, p. 3496-3502, jun. 2011.
12. PALERMO, G.C. O potencial de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos – Um estudo de caso para o município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Ambiental - Universidade Veiga de Almeida, 2016.
13. PALERMO, G. C.; D'AVIGNON, A. L. A.; FREITAS, M. A. V. Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials. *Energy Policy*, v. 68, p. 28-38 , mai. 2014.
14. SANTOS, Y.; OLIVEIRA, S.; CORREA, R. Waste to Energy: Uma alternativa viável para o Brasil?. São Paulo: Promon Intelligens, 2013. 13 p.
15. SOUZA, S. N. M. et al. Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: Landfill gas, biogas and thermal treatment. *Waste Management & Research*, v. 32 , n. 10 , p. 1015-1023, out. 2014.
16. THEMELIS, N. J.; ULLOA, P.A. Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, v. 32 , n. 7, p. 1243-1257, jun. 2007.
17. TOLMASQUIM, M. T. (Coord.). Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p. Disponível em: <www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renovável%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2016.
18. USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Landfill Gas Energy Basics. In: USEPA. LFG Energy Project Development Handbook. Landfill Methane Outreach Program. Washington, 2015. Cap. 1. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html>>. Acesso em: 21 set. 2015.