

### **III-144 – COLETA E ANÁLISE DE INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA PROJETO DE INCINERADOR REGIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

**Marcio Yukio Hirano<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp/Bauru).

**Celso Luiz da Silva**

Graduado em Licenciatura Plena em Física pela UNISA/SP. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPb. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo - POLI-USP. E pós-doutorado pela Universitat Politècnica de Catalunya-Barcelona.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Tupi, 169 – Centro – Araraquara – SP – CEP: 14801 – 307 - Brasil - Tel: +55 (16) 9761 – 1102 – e-mail: [mayuhi@hotmail.com](mailto:mayuhi@hotmail.com)

#### **RESUMO**

A crescente busca por energia pelo homem é fundamental e necessária para que ocorra o desenvolvimento social e tecnológico da sociedade contemporânea. Associado a isso, a crescente preocupação com o meio ambiente, como questões relacionadas ao aquecimento global, causado pela emissão de poluentes, e a escassez de matérias-primas, tem feito o mundo repensar suas fontes de energia; saber conciliar o desenvolvimento com a preservação do meio ambiente tem se tornado um desafio de âmbito mundial. Em vista disso, houve um crescimento da busca por novas fontes de energia, consideradas “limpas”. Neste cenário, o processo de incineração de resíduos sólidos urbanos mostrou ser uma opção muito interessante, tendo em vista, que o processo de incineração diminui a quantidade de resíduos sólidos, que ficariam acumulados em lixões e/ou aterros sanitário, e isto causaria prejuízos à natureza no caso da disposição em lixões, ou diminuiria a vida útil dos aterros sanitário. Além disso, utilizando o processo de incineração no tratamento do lixo urbano, é possível gerar energia elétrica de forma limpa pela utilização de tecnologia sobejamente conhecida. Entretanto, para se verificar a viabilidade de instalação de uma planta de incineração de resíduos sólidos com aproveitamento energético, devem-se levar em consideração alguns requisitos básicos que precisam ser analisados na hora da escolha do processo. Por este motivo, serão apresentados neste trabalho alguns fatores que influenciam no projeto de instalação de uma usina de incineração com aproveitamento energético; para isso será realizada uma pesquisa de dados junto aos órgãos públicos fiscalizadores e em textos literários sobre o tema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Aproveitamento Energético.

#### **INTRODUÇÃO**

Atualmente vivemos numa sociedade capitalista, no qual a base da economia é o consumo. Este consumo, que na maioria das vezes são de produtos descartáveis industrializados, gera diversos tipos de resíduos, tanto nos processos de fabricação quanto no consumo final deles. Desta forma, tornou-se grande o volume de resíduos sólidos gerados pela sociedade, criando sérios problemas ambientais e de saúde pública. Além disso, há também outras preocupações ambientais relacionados principalmente com as mudanças climáticas sofridas pelo planeta. Considerando estes problemas e, associados à crescente demanda energética, necessária para o desenvolvimento industrial, tecnológico e econômico do país, está havendo um grande interesse no desenvolvimento e uso de fontes de energias mais limpas, ou seja, que não cause prejuízos ao planeta. Em vista a todos esses desafios, a incineração dos resíduos com o intuito de geração de energia tem se mostrado muito promissora, já que é uma fonte de energia mais limpa do que as fontes convencionais provenientes de combustíveis fósseis.

Em diversos países do mundo houve uma expansão no uso de incineradores de resíduos sólidos urbanos (RSU), tanto com o objetivo de tratamento desses resíduos, quanto para a geração de energia. Houve também, nos últimos anos, o aperfeiçoamento da tecnologia do processo de incineração, com o aumento da quantidade de

calor gerado na combustão, e com os processos de tratamentos dos gases emitidos no final do processo de combustão, reduzindo assim a quantidade de poluentes lançados na atmosfera para níveis aceitáveis, ou mesmo reduzindo a emissão de alguns gases à zero. O calor gerado durante o processo de combustão do RSU está sendo utilizado para a geração de vapor de água a alta pressão, que movem turbinas de geradores de eletricidade. A energia térmica gerada também pode ser utilizada em processos que exijam linhas de vapor de água, e em processo de refrigeração por absorção. Além da diminuição da quantidade de RSU, o processo de incineração contribui com o meio ambiente, pois evita a poluição do ar, da água e do solo (principalmente pela liberação do chorume), no caso da disposição final inadequada, como por exemplos em lixões a céu aberto ou mesmo em depósitos irregulares de lixo.

O processo de tratamento também promove a neutralização da periculosidade do RSU, e diminui o efeito do aquecimento global, pois evita que o metano proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos seja lançado diretamente na atmosfera. O metano é uma molécula que retém grandes quantidades de radiação solar, ou seja, este acumula muita energia térmica.

O processo de incineração de RSU integra o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) adotado pelo protocolo de Kyoto, ou seja, o processo de incineração com o aproveitamento energético é considerado uma fonte de energia limpa. Devido a isso, podem-se obter créditos de carbono e realizar sua comercialização no mercado internacional. O processo de incineração com aproveitamento energético também faz parte da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sancionada no ano de 2010. Esta prevê a obtenção de incentivos e benefícios fiscais do governo federal, principalmente no que diz respeito à formação de consórcios de municípios para a instalação de usinas de incineração de RSU com fins de aproveitamento energético. Além desses benefícios que o processo de incineração do RSU traz consigo, ele também ajuda a preservar os recursos naturais, devido à reciclagem de materiais, principalmente de metais, vidros e outros materiais que não contribuem para o poder calorífico final do combustível. No Brasil a utilização de incineração de RSU com fins de aproveitamento energético é recente, possuindo apenas uma planta piloto para testes e aperfeiçoamento tecnológico do processo que está instalada na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A planta processa cerca de 30 toneladas diariamente de RSU pré-tratado, gerando energia suficiente para abastecer 2300 residências, com o consumo médio de 200 kW/mês. Recentemente, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico (CETESB) emitiu licença de instalação para plantas nos municípios de São Bernardo do Campo e Barueri, que se encontram em fase de licitação.

Entretanto, para que haja a instalação de uma planta de incineração de RSU em caráter comercial, deve-se ter como base alguns dados essenciais, tais como, a quantidade de RSU produzido e a quantidade de material reciclado do RSU. Pois os módulos comerciais existentes de incineradores necessitam de uma quantidade mínima de RSU para que este possa gerar grande quantidade de energia térmica e com isso possibilitar a venda da energia elétrica excedente, bem como a comercialização de vapor de água. Além disso, por se tratar de um combustível que tem composição não uniforme, a composição do RSU é um fator de extrema importância a ser considerado, tendo em vista a diversidade de materiais que compõem o RSU e a quantidade de água nele presente, principalmente em compostos orgânicos. Esses fatores influenciam no poder calorífico inferior do RSU, ou seja, na quantidade de energia térmica gerada no processo de combustão.

O local onde a usina de RSU deverá ser instalada é um fator importante a ser considerado, pois os custos de operações, como o de transporte e da instalação das estações de transbordo dependem da localização da usina.

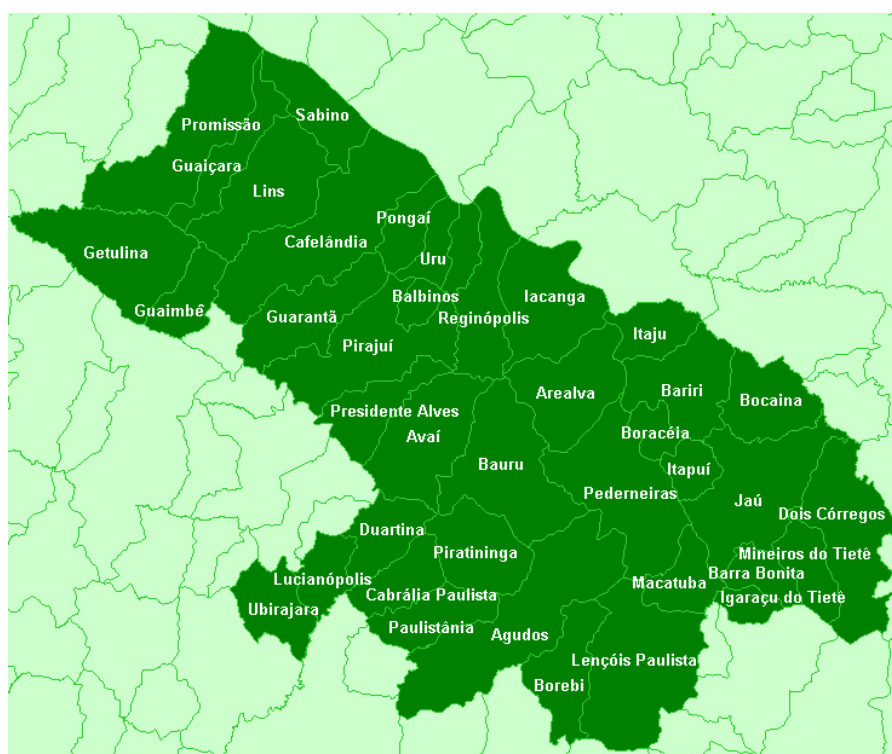
Este trabalho visa realizar o levantamento de dados da produção e composição do RSU em 42 municípios junto aos órgãos públicos, principalmente da região administrativa de Bauru e de municípios vizinhos. Também será verificado se há ou não programas de coleta seletiva e a reciclagem dos materiais; bem como a quantidade e composição de materiais reciclados. Com isso, poderemos verificar se haverá ou não a viabilidade técnica de instalação de uma planta de incineração de RSU em Bauru, com o objetivo de aproveitamento energético, objeto de um consórcio de 42 municípios. Além disso, será feita uma análise sobre as vantagens de formação de um consórcio intermunicipal para a instalação de uma usina de incineração de RSU.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Na elaboração deste trabalho foi realizado o levantamento de dados sobre a produção e composição do RSU em 42 municípios junto aos órgãos públicos e em textos literários sobre o assunto. Também foi verificado como cada município dispõe do RSU após sua coleta; bem como, se existem programas de coleta seletiva e reciclagem de materiais. O poder calorífico dos principais componentes que formam o RSU também foi obtido, e posteriormente foi feita uma análise sobre a influência desses fatores na implantação de uma usina de incineração de RSU com aproveitamento energético. Também foi realizada uma análise sobre a importância e benefícios da formação de consórcios intermunicipais para a instalação de uma usina de incineração de RSU.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o levantamento da produção diária de RSU de 42 municípios que irão compor um possível consórcio visando à implantação de uma usina de incineração de RSU com aproveitamento energético. Esses municípios foram escolhidos por fazerem parte de uma região delimitada pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional, conhecida como Região Administrativa de Bauru, ilustrada na Figura 1.



**Figura 1. Região Administrativa de Bauru.**

**Fonte: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional (2011).**

Esta região é composta por 39 municípios que enfrentam sérios problemas com a disposição final do RSU, e por este motivo desejam formar um consórcio para a instalação de uma usina de incineração de RSU. Também foram adicionados no estudo do consórcio mais três municípios da região vizinha (Areiópolis, Botucatu e São Manuel), devido a sua localidade e seus problemas em comum com a disposição do RSU.

A planta de incineração deverá ser instalada no município de Bauru, pois este, além de possuir a maior quantidade de RSU produzido diariamente, é o principal centro econômico da região. Bauru fica próximo a outros municípios que possuem grandes produções de RSU, está localizado na região central geográfica do conjunto de municípios que irão compor o consórcio, facilitando o projeto logístico de transporte e instalação de estações de transbordo nos municípios menores. A produção diária de RSU dos municípios que formarão o consórcio está ilustrada na Tabela 1.

**Tabela 1. Dados da produção diária de RSU.**

<i>Cidades</i>	<i>Produção de RSU (ton/dia)</i>	<i>Cidades</i>	<i>Produção de RSU (ton/dia)</i>
<i>Agudos</i>	<i>13,2</i>	<i>Igarapu do Tiete</i>	<i>9,3</i>
<i>Arealva</i>	<i>2,5</i>	<i>Itaju</i>	<i>1,0</i>
<i>Areiópolis</i>	<i>3,8</i>	<i>Itapuí</i>	<i>4,7</i>
<i>Avaí</i>	<i>1,3</i>	<i>Jaú</i>	<i>63,5</i>
<i>Balbinos</i>	<i>0,5</i>	<i>Lençóis Paulista</i>	<i>24,0</i>
<i>Bariri</i>	<i>12,0</i>	<i>Lins</i>	<i>28,3</i>
<i>Barra Bonita</i>	<i>13,8</i>	<i>Lucianópolis</i>	<i>0,7</i>
<i>Bauru</i>	<i>203,3</i>	<i>Macatuba</i>	<i>6,3</i>
<i>Bocaina</i>	<i>4,0</i>	<i>Mineiros do Tiete</i>	<i>4,6</i>
<i>Boracéia</i>	<i>1,5</i>	<i>Paulistânia</i>	<i>0,5</i>
<i>Borebi</i>	<i>0,8</i>	<i>Pederneiras</i>	<i>15,4</i>
<i>Botucatu</i>	<i>61,4</i>	<i>Pirajuí</i>	<i>7,4</i>
<i>Cabrália Paulista</i>	<i>1,5</i>	<i>Piratininga</i>	<i>4,1</i>
<i>Cafelândia</i>	<i>5,8</i>	<i>Pongai</i>	<i>1,2</i>
<i>Dois Córregos</i>	<i>9,4</i>	<i>Presidente Alves</i>	<i>1,4</i>
<i>Duartina</i>	<i>4,4</i>	<i>Promissão</i>	<i>12,0</i>
<i>Getulina</i>	<i>3,3</i>	<i>Reginópolis</i>	<i>1,7</i>
<i>Guaíçara</i>	<i>3,9</i>	<i>Sabino</i>	<i>1,8</i>
<i>Guaimbê</i>	<i>1,9</i>	<i>São Manuel</i>	<i>15,0</i>
<i>Guarantã</i>	<i>2,2</i>	<i>Ubirajara</i>	<i>1,3</i>
<i>Iacanga</i>	<i>3,5</i>	<i>Uru</i>	<i>0,4</i>
<i>Total (ton/dia)</i>		<i>558,6</i>	

Fonte: CETESB (2010).

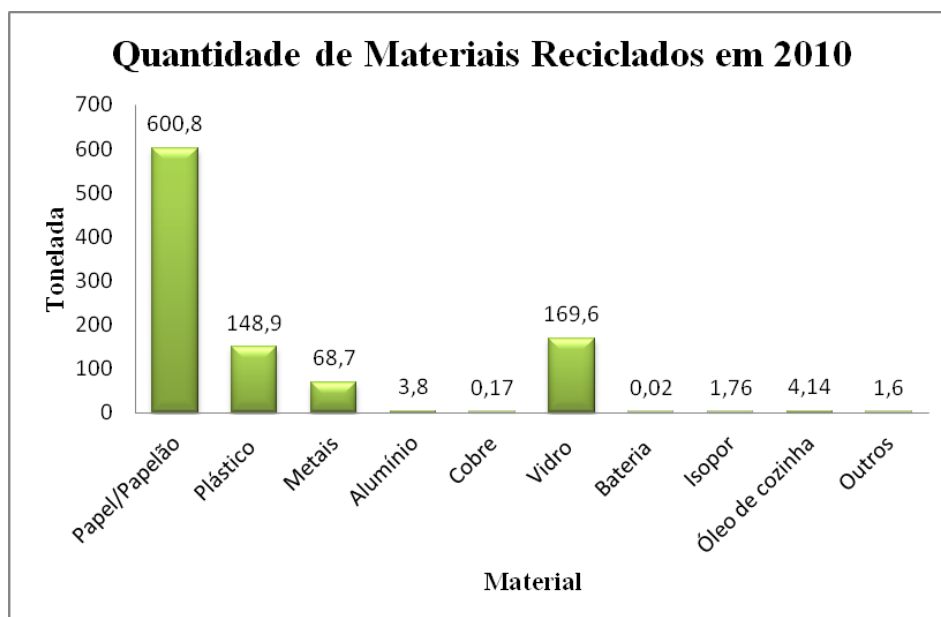
O levantamento da composição gravimétrica do RSU e da quantidade de material recolhido para a reciclagem dos municípios da região foi feito através de contato com os órgãos públicos e privados responsáveis pelo tratamento e disposição final do RSU.

No município de Bariri, a Chefe do Setor do Meio Ambiente da prefeitura, informou que a cidade não possui o levantamento da composição gravimétrica do aterro sanitário municipal. A cidade também não possui cooperativa ou empresas que recolhem e processem materiais recicláveis. Entretanto no município existem catadores informais de materiais recicláveis. Não foi possível estimar a quantidade exata de material destinado a reciclagem.

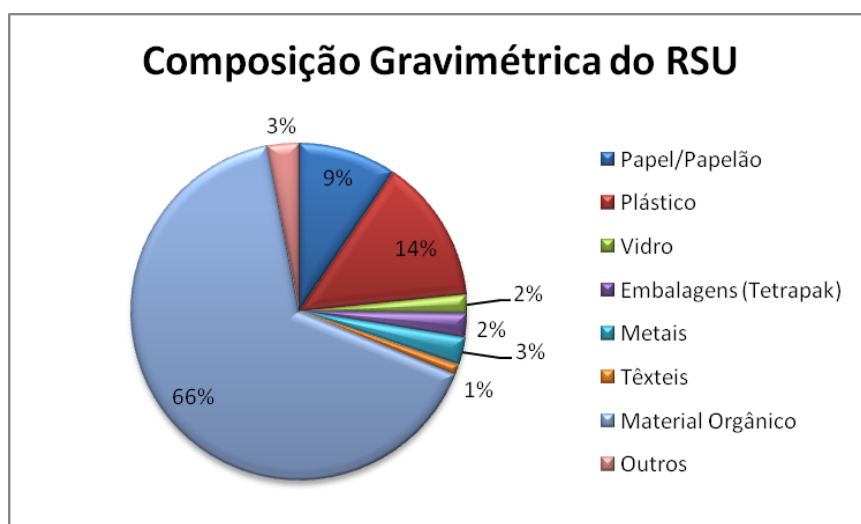
No município de Bauru, a Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru (Emdurb) é a responsável pelo manejo do RSU. Segundo a empresa, os resíduos sólidos urbanos recolhidos são depositados em um aterro sanitário no município, entretanto não foi realizado nenhum estudo sobre a composição gravimétrica do RSU produzido. O município mantém uma Cooperativa de Materiais Recicláveis de Bauru (Cootramat), na qual processa materiais recicláveis oriundos da coleta seletiva do município. Segundo a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMA) e a Cootramat, a quantidade de materiais reciclados no município no ano de 2010 é apresentada na Figura 2.

**Tabela 2. Índice médio de reciclagem no município de Bauru.**

Material	Índice médio de reciclagem
Papel e Papelão	9%
Plástico	14,4%
Vidro	11,4%
Metais	3,3%



**Figura 2. Quantidade de materiais reciclados em 2010.**  
Fonte: SEMMA & COOTRAMAT (2011).



**Figura 3. Composição gravimétrica média do RSU do aterro sanitário de Bauru.**  
Fonte: KAJINO (2005).

A Prefeitura Municipal de Jaú declarou que o município não possui aterro sanitário, e que o RSU produzido é armazenado, e depois transportado para o aterro sanitário de Guatapé, mas não informou se há dados disponíveis sobre a composição gravimétrica do RSU. Declarou também que possui um programa de coleta





seletiva que atende cerca de 30% do município, mas não informou a quem se destinam os benefícios da coleta seletiva, e também sobre a quantidade e a composição dos materiais recolhidos.

A Prefeitura Municipal de Macatuba declarou que deposita o RSU produzido em um aterro sanitário da cidade, mas não informou se há dados disponíveis sobre composição gravimétrica do mesmo. O município mantém um programa denominado “Projeto Social Ambiental Lixo Rico”, no qual abriga 18 pessoas que se beneficiam da coleta seletiva que abrange 100% do município. Entretanto, não informou a quantidade e a composição gravimétrica dos materiais recolhidos para a reciclagem.

No município de Presidente Alves o responsável do Setor do Meio Ambiente, informou que o município deposita seu RSU em um aterro sanitário da cidade, mas não possui dados referentes à composição gravimétrica dos mesmos. Além disso, nos informou que 100% do município possui coleta seletiva, no qual o material fica disponível em um prédio cedido pela prefeitura. Os recursos provenientes do material recolhido para a reciclagem beneficiam três famílias do município. Entretanto o Setor do Meio Ambiente também não possui dados referentes à quantidade de material recolhido e sua composição gravimétrica.

Os demais municípios da região analisada, não responderam à solicitação das informações necessárias para a análise da viabilidade econômica para a implantação de uma usina de incineração de RSU com aproveitamento energético.

Na Tabela 3, é apresentado o poder calorífico dos componentes comumente encontrados no RSU brasileiro.

**Tabela 3. Poder calorífico de materiais encontrados no RSU.**

Material	Kcal/kg
Plástico	6.300
Borracha	6.780
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimento (ou Orgânico)	1.310
Papel	4.030

**Fonte: EPE (2008).**

Desta forma, o procedimento para verificação de viabilidade de instalação de uma planta de incineração de RSU na região dependerá da quantidade e da qualidade do RSU disponível, informações básicas para saber se a planta conseguirá gerar energia suficiente para seu próprio consumo e também para comercialização da energia excedente. Caso a quantidade de calor gerado na combustão seja insuficiente, haverá necessidade de se utilizar um combustível auxiliar no processo, tanto para obtenção da quantidade de calor desejável em condições de projeto, como para minimizar o efeito dos efluentes gasosos, procurando viabilizar economicamente o processo.

## CONCLUSÕES

Considerando a produção diária de RSU dos 42 municípios que possivelmente formarão um consórcio para a instalação de uma usina de incineração com aproveitamento energético, pode-se observar que a produção de RSU atinge quase 559 ton/dia, sendo esta quantidade mais que suficiente para abastecer incineradores comerciais, que necessitam de no mínimo 150 ton/dia para que haja a comercialização de energia elétrica produzida.

Analisando as condições encontradas no município de Bauru, podemos estimar que o PCI (Poder Calorífico Inferior) do RSU é de aproximadamente 2.131 kcal/kg, ultrapassando o valor mínimo para que haja a condição de queima bruta (“mass burning”) do RSU, ou seja, o processo é viável tecnicamente, gerando energia elétrica para a venda. Considerando agora a coleta seletiva de materiais para a reciclagem, o PCI do RSU fica próximo



a 1.974 kcal/kg, desta forma para que haja a viabilidade técnica de incineração do RSU com objetivo de aproveitamento energético, este necessitará passar por algum tipo de pré-tratamento, para que o seu PCI ultrapasse 2.000 kcal/kg, valor mínimo considerado ideal para o processo de incineração com aproveitamento energético. Uma forma de pré-tratamento do RSU seria a sua secagem, diminuindo assim a quantidade de água, presente principalmente nos compostos orgânicos. Em relação à quantidade reciclada, o município recicla quase 1.000 toneladas de material por ano, quantidade insignificante que não dificultaria abastecer os incineradores comerciais.

Podemos verificar que os municípios que foram analisados, destinam o RSU de forma mais adequada possível, pois se utilizam de aterros sanitários. E desta forma, não poluem o ar, a água e o solo. Observa-se, também, a importância da formação de consórcios de municípios, pois, com exceção de Bauru, nenhum município analisado produz a quantidade mínima de RSU que é necessário para abastecer uma planta de incineração com aproveitamento energético. Além disso, a formação de consórcios traz benefícios aos municípios, pois estes obtêm vantagens fiscais do governo federal, e possuem prioridade sobre a obtenção de recursos financeiros para investir na implantação da usina de incineração de RSU com aproveitamento energético.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CESTESB – Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – São Paulo, 2010.
2. COOTRAMAT – Cooperativa de Materiais Recicláveis de Bauru, Outubro de 2011.
3. EMDURB – Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru.
4. EPE – Empresa de Pesquisa Energética – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS - Rio de Janeiro, 2008.
5. IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro, 2001.
6. KAJINO, L. K. – Estudo de Viabilidade de Implantação, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Uma Abordagem Econômica – Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2005.
7. MARANHO, A. S. – Potencial de Geração de Energia Elétrica a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos para Bauru e Região – Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2008.
8. MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, 2007.
9. PREFEITURA MUNICIPAL DE BARIRI – Setembro de 2011.
10. PREFEITURA MUNICIPAL DE JAÚ – Setembro de 2011.
11. PREFEITURA MUNICIPAL DE MACATUBA – Setembro de 2011.
12. PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE ALVES – Agosto de 2011.
13. POLETTO, J. A. - Viabilidade Energética e Econômica da Incineração de RSU Considerando a Segregação para Reciclagem - Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2008.
14. POLETTO, J. A.; SILVA, C. L. – Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en El Proceso de Incineración con Generación de Energía – Información Tecnológica, Vol 20 – Nº 2, 2009.
15. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL – Desenvolvimento Regional – disponível em <[www.planejamento.sp.gov.br](http://www.planejamento.sp.gov.br)>, acessado em 05 de julho de 2011.
16. SEMMA – Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Bauru – Outubro de 2011.
17. USINA VERDE – Módulo Comercial Usina Verde – disponível em <[www.usinaverde.com.br](http://www.usinaverde.com.br)>, acessado em 05 de Julho de 2011.