

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Bruno Correa Alonso Martello
José Sergio Ivamoto do Carmo

**Avaliação da incineração como alternativa para destinação final dos
resíduos domiciliares no Brasil**

São Carlos
2018

Bruno Correa Alonso Martello
José Sergio Ivamoto do Carmo

**Avaliação da incineração como alternativa para destinação final dos
resíduos domiciliares no Brasil**

Versão Corrigida

Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Ambiental apresentado à Escola
de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Orientador: Profº Dr. Valdir Schalch

São Carlos
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

M376a Martello, Bruno Correa Alonso
Avaliação da incineração como alternativa para
destinação final dos resíduos domiciliares no Brasil /
Bruno Correa Alonso Martello, José Sergio Ivamoto do
Carmos; orientador Valdir Schalch. -- São Carlos, 2018.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola
de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2018.

1. Incineração de resíduos. 2. Resíduos sólidos
domiciliares. 3. Resíduos sólidos urbanos.
4. Aproveitamento energético. I. Martello, Bruno Correa
Alonso. II. Carmo, José Sergio Ivamoto do. III. Título.

Elaborado por Elena Luzia Palloni – CRB 4464

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Bruno Correa Alonso Martello e Jose Sergio Ivamoto do Carmo

Data da Defesa: 01/11/2018

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valdir Schalch (Orientador(a))

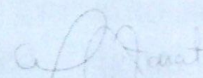
Aprovados

Túlio Queijo de Lima

Aprovados

Juliana Argente Caetano

Aprovados



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Lista de Figuras

Figura 1– Hierarquização para a definição de políticas e das atividades de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos	40
Figura 2 - Coletor não compactador - Coleta seletiva porta a porta	43
Figura 3 - Exemplo de drop-off site.	44
Figura 4 - Representação da grelha no forno - caldeira	47
Figura 5- Diagrama simplificado do processo de incineração de resíduos sólidos urbanos.	49
Figura 6 - Precipitador eletrostático	50
Figura 7- Desenho esquemático de um filtro de mangas	51
Figura 8 - Produtividade de energia a partir da incineração.	55
Figura 9 - Estrutura das unidades que compõem o ciclo de Rankine.	56
Figura 10 - Participação das regiões do país no total de RSU coletados	60
Figura 11: Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano) em 2016.	61
Figura 12 - Plantas WTE instaladas nos EUA.	67
Figura 13 - Plantas WTE em operação na Europa, com quantidade de resíduos tratados termicamente.	68
Figura 14- Esquema detalhado da URE Barueri	73

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Padrões nacionais de qualidade do ar.	35
Tabela 2- Padrões Estaduais de Qualidade do Ar	37
Tabela 3 - Critérios para episódios de poluição do ar.	38
Tabela 4: Comparativo das características para Pirólise, Gaseificação por plasma e Incineração por grelhas	45
Tabela 5: Poder calorífico de materiais encontrados em RSU	54
Tabela 6: Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada	61
Tabela 7: Quantidade de municípios com coleta seletiva	62
Tabela 8: Estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil em 2008	62
Tabela 9: Características de alguns dos principais incineradores instalados no Brasil	69
Tabela 10: Composição gravimétrica	75
Tabela 11: Composição típica dos RSU do aterro sanitário de Bauru	76
Tabela 12: Valores de PCI para os cenários propostos	76
Tabela 13: Potência teórica produzida a partir da incineração dos RSU	77
Tabela 14: Composição % de RSU de Campo Grande em 2008	77
Tabela 15: Composição gravimétrica dos RSU no aterro sanitário Preservale de 2011.	78
Tabela 16: Conteúdo energético das frações de materiais presentes nos RSU para os diferentes cenários de recuperação energética	79
Tabela 17: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando todas as cidades	80
Tabela 18: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando municípios com mais de 500 mil habitantes	80
Tabela 19: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando municípios com mais de 1 milhão de habitantes	80
Tabela 20 - Comparativo entre os estudos de caso.	81

Siglas e abreviações

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AMESC: Associação de Municípios do Extremo Sul Catarinense

CDR: Combustível derivado de resíduos

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem

CO₂: Dióxido de carbono

FECOP: Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição

FEHIDRO: Fundo Estadual de Recursos Hídricos

GIRS: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PCI: Poder Calorífico Inferior

PERS: Política Estadual de Resíduos Sólidos

PL: Projeto de Lei

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos

PPP: Parceria Público Privada

Rey: número de Reynolds

RSS: Resíduos de serviço de saúde

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

URE: Unidade de Recuperação Energética

WTE: Waste to Energy

Resumo

MARTELLO, B.C.A.; CARMOS, J.S.I. **Avaliação da incineração como alternativa para destinação final dos resíduos domiciliares no Brasil.** 2018. 79 f.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, 2018.

O consumo desenfreado coloca em risco a oferta de recursos naturais para as próximas gerações, e dentre outros impactos negativos, provoca a produção de muitos resíduos sólidos. Faz-se necessário usufruir de forma mais eficiente dos materiais, prolongar o seu uso e aproveitar inclusive a energia contida neles, evitando a disposição em aterros sanitários, ou ainda, no pior dos casos, em locais inadequados. Incineração é uma alternativa para aproveitar a energia dos resíduos que não puderam ser reciclados e seriam destinados a aterros sanitários. O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sistemática sobre a situação atual da incineração de resíduos sólidos domiciliares com recuperação energética como alternativa ao aterro sanitário no Brasil, à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os aterros sanitários tornam-se passivos ambientais, devido à produção metano por longos períodos mesmo após seu esgotamento, à contaminação de lençóis freáticos e demanda por extensas áreas e implicam em custo para o transporte e disposição. Este estudo constata que a implantação da incineração com recuperação energética tem um enorme potencial para crescimento no Brasil, trazendo diversificação da matriz energética, redução do volume, massa e periculosidade dos resíduos, tornando-se uma aliada na proteção do meio ambiente. A revisão bibliográfica apontou que o Brasil não empreende a recuperação energética dos resíduos sólidos em grande escala, e a incineração é uma tecnologia que ainda enfrenta resistência para ser difundida e aplicada como uma alternativa de destinação de resíduos muito mais benéfica que os aterros sanitários, nas esferas econômica, social e ambiental. Entretanto, é preciso considerar em projetos de recuperação energética que o Brasil tem pessoas em situação de alta vulnerabilidade social trabalhando como catadores de resíduos, e também que a PNRS define uma hierarquização Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIRS).

Palavras-chave: Incineração de resíduos. Resíduos sólidos domiciliares. Resíduos sólidos urbanos. Aproveitamento energético.

Abstract

MARTELLO, B.C.A.; CARMOS, J.S.I. **Incineration evaluation as an alternative for final destination of household waste in Brazil**. 2018. 79 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, 2018.

Uncontrolled consumption puts the supply of natural resources at risk for the next generations, and among other negative impacts, causes the production of many solid wastes. It is necessary to use materials more efficiently, extend their use and even use the energy contained in them, avoiding disposal in landfills, or even worse, in inappropriate places. Incineration is an alternative to harness the energy from waste that could not be recycled and would be destined for landfills. This paper presents a systematic literature review on the current situation of the incineration of household solid waste with energy recovery as an alternative to the sanitary landfill in Brazil, in the light of the National Solid Waste Policy. Landfills become environmental liabilities due to methane production for long periods even after depletion, contamination of groundwater and demand for large areas and imply cost for transportation and disposal. This study finds that the implantation of incineration with energy recovery has enormous potential for growth in Brazil, bringing diversification of the energy matrix, volume reduction, mass and hazardousness of the waste, becoming an ally in the protection of the environment. The literature review pointed out that Brazil does not undertake energy recovery of solid waste on a large scale, and incineration is a technology that still faces resistance to be diffused and applied as a waste disposal alternative that is much more beneficial than landfills, in the economic, social and environmental spheres. However, it is necessary to consider in energy recovery projects that Brazil has people in situations of high social vulnerability working as waste pickers, and also that the PNRS defines a hierarchy Integrated Management of Solid Waste.

Keywords: Incineration of waste. Household solid waste. Municipal solid waste. Waste to energy.

Sumário

1 Introdução	18
2 Objetivo geral	20
3 Metodologia	22
4 Revisão bibliográfica	24
4.1 Definições e conceitos	24
4.2 Legislações	25
4.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010	25
4.2.2 Decreto nº 7404/2010	26
4.2.3 Política Estadual de Resíduos Sólidos – Lei Estadual nº 12300/2006	27
4.2.4 Decreto Estadual nº 54645/2009	28
4.2.5 Decreto nº 7405/2010	29
4.2.6 Padrões nacionais de qualidade do ar- Resolução CONAMA nº 3	30
4.2.7 Padrões estaduais de qualidade do ar- Decreto Estadual nº 59113/2013	31
4.3 Resíduos Sólidos	34
4.4. Hierarquização dos resíduos sólidos	35
4.4.1 Não geração e redução	36
4.4.2 Reutilização	37
4.4.3 Reciclagem	38
4.4.4 Tratamento, com foco para reaproveitamento energético	40
4.4.4.1 Incineração	41
4.4.4.1.1 Emissões atmosféricas	48
4.4.4.1.2 A recuperação energética	49
4.4.5 Disposição final ambientalmente adequada	53
4.5 Panorama da situação dos RSU no Brasil	55
4.6 Reaproveitamento energético no Brasil, com foco para técnica de incineração	59
4.6.1 Contextualização	59
4.6.2 Panorama da incineração no Mundo	63
4.6.3 Panorama da incineração no Brasil	64
5 Potencial para reaproveitamento energético dos RSU	71
6 Resultado e discussão	77
7 Conclusão	81
Referências	83

1 Introdução

O crescimento populacional, aliado aos processos de urbanização crescente e aumento do consumo de bens tem aumentado um aumento significativo na quantidade de resíduos sólidos gerados. Nesse cenário o gerenciamento desses resíduos é uma tarefa complexa, que demanda medidas diferenciadas e articuladas. Assim sendo, o grande desafio é aplicar soluções seguras, eficientes e sustentáveis para a geração de resíduos em grandes quantidades.

A produção e consumo desenfreado praticado pela sociedade capitalista moderna geram consequências tais como a escassez de recursos naturais, degradação e poluição ambiental e problemas sociais. Tais consequências devem gerar reflexão e mudanças de comportamento da parte da população e do governo.

Diante deste cenário, as formas hoje viabilizadas de disposição final de resíduos sólidos devem ser repensadas. A lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) proíbe o armazenamento dos materiais em aterro sanitário sem tratamento prévio desde 2014, e a lei estadual 12.300/2006 que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) requer o estabelecimento de metas e prazos para redução do volume dos resíduos para disposição final. Em paralelo a população cresce e a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumenta, atingindo 214,8 mil toneladas de RSU por dia em 2017 (BRASIL, 2010a; BRASIL, 2010b; EBC, 2018).

A PNRS é uma lei da sociedade brasileira que contribui para que os resíduos sejam aproveitados de alguma forma pela sociedade antes de sua disposição final. Atualmente, o serviço de coleta e destinação dos resíduos que são apenas efetuados pelo poder público é custeado por taxas e impostos e ainda é visto apenas como despesa, e não como uma atividade capaz de gerar receitas (ou lucros). Seguindo a PNRS, é possível utilizar e pensar em uma alternativa, visando ao reaproveitamento energético dos resíduos.

Desta maneira, atrelar às receitas obtidas do reaproveitamento energético do resíduos, os benefícios sociais e ambientais, como menor espaço necessário para os aterros, maior disponibilidade de empregos e diversificação da matriz energética do país. Esse cenário enquadra a geração de energia a partir de resíduos sólidos como uma alternativa possível contemplando o desenvolvimento sustentável.

Embora ofereça diversas vantagens, essa solução deve ser avaliada com muita cautela no cenário brasileiro. O Brasil é um país onde uma parcela importante da reciclagem é realizada pelos catadores de resíduos, e esses em grande parte encontram-se em situação de alta vulnerabilidade social. Portanto deve-se pensar na recuperação energética de forma que considere a atividade de sustento dessas pessoas.

A recuperação energética também pode incentivar, em decorrência da atratividade dos projetos para a iniciativa privada, o desenvolvimento de práticas sanitárias adequadas e seguir a hierarquização na gestão dos resíduos sólidos trazida pela PNRS, na seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

2 Objetivo geral

Descrever o panorama da incineração no Brasil e no mundo.

2.1 Objetivo específico

São dois os objetivos específicos:

- Demonstrar estudos acerca do potencial energético dos resíduos gerados no Brasil.
- Estimar o potencial de abastecimento de residências frente ao potencial de aproveitamento energético dos resíduos.

3 Metodologia

Através de uma revisão bibliográfica acerca das definições, normas, leis e outras informações pertinentes chegou-se aos tipos de tratamentos visando à recuperação energética dos resíduos domiciliares.

Com maior nível de investigação, foram avaliados os estudos acerca utilização da incineração como forma de tratamento frente à composição gravimétrica dos resíduos domiciliares.

A metodologia utilizada foi a revisão bibliográfica, com revisão de diversos estudos acerca do assunto e temática proposta, com coleta, conhecimento e compreensão com propósito de criar embasamento sobre o tema. Levantou-se a temática através de dissertações de mestrado, doutorado, trabalhos de conclusão de curso e estudos para a aplicação da incineração como reaproveitamento energético dos resíduos sólidos.

Levou-se em conta os estudos disponibilizados pelo Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos (NEPER), assim como da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. Também foi relevante a busca por palavras-chave como incineração de resíduos, resíduos sólidos domiciliares, resíduos sólidos urbanos e aproveitamento energético.

4 Revisão bibliográfica

4.1 Definições e conceitos

Para facilitar o entendimento, serão usadas as definições postas pelas leis e normas brasileiras.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como os resíduos no estado sólido e semissólido originados em atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, de serviços e varrição, incluindo lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e de controle de poluição.

Já a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), em seu artigo 3º, inciso XVI define os resíduos sólidos como materiais, substâncias, objetos ou bem no estado sólido ou semissólido resultante de atividades humanas em sociedade.

É importante, para o contexto do presente trabalho, que resíduos sólidos não sejam confundidos com rejeitos. Para tanto, será adotada a definição proposta no inciso XV do artigo 3º da PNRS (BRASIL, 2010a), que enquadra rejeitos como resíduos sólidos que não apresentem possibilidade de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, devendo ser encaminhados à disposição final ambientalmente adequada.

Destinação e disposição são termos que provocam dúvida e falta de clareza quanto à diferença de uso. Serão utilizadas as definições da PNRS (BRASIL, 2010a) para diferenciá-los. Disposição final ambientalmente adequada é a disposição de rejeitos em aterros, operados seguindo as normas para evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e ao meio ambiente. Já a destinação final ambientalmente adequada consiste na destinação de resíduos à reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético.

4.2 Legislações

4.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010

Em 1991, já estava em tramitação no Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 203 que “dispõe sobre o acondicionamento, a coleta, o tratamento, o transporte e a destinação final de resíduos do serviço de saúde”.

Em setembro de 2007, foi apresentado o projeto de Lei nº 1991 que “Institui a PNRS e dá outras providências”. O PL 1991/07 foi apensado ao PL 203/91 através do Requerimento nº 1670/2007.

Em 2 de agosto de 2010, em substituição ao PL 203/91 e seus apensos, foi sancionada a Lei 12.305, que institui a PNRS, inserindo à legislação brasileira conceitos modernos de gestão de resíduos sólidos e estabelecendo instrumentos para um melhor gerenciamento dos resíduos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Conforme o Art. 1º da Lei 12.305/10, institui a PNRS e dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010a).

No Art. 3º, inciso sétimo da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é definido o termo “destinação final ambientalmente adequada”. E conforme a definição já exposta neste trabalho, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos são consideradas uma destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a).

O Art. 7º, que elenca os objetivos dessa lei, apresenta no conteúdo do seu inciso XIV um desses objetivos: “incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;”. Esse trecho elucida que a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos é uma técnica que contribui para o cumprimento do objetivo de desenvolver os sistemas de gestão ambiental e empresarial (BRASIL, 2010a).

Quanto às diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, é disposto no Art. 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.” E portanto a reutilização e reciclagem dos resíduos devem ser prioritárias à recuperação energética como opções de destinação final ambientalmente adequadas (BRASIL, 2010a).

Ainda no Art. 9º, o parágrafo primeiro estabelece critérios para a utilização da recuperação energética de resíduos sólidos urbanos, que somente poderá ser empregada caso seja comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010a).

O aproveitamento energético dos gases de aterro é um dos itens mínimos para elaboração de Planos Nacionais de Resíduos Sólidos como consta no inciso quarto do Art. 15 e de Planos Estaduais de Resíduos Sólidos como consta no inciso quarto do Art. 17, ambos de mesmo texto: “metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010a).

De acordo com o Art. 13º, inciso I, resíduos sólidos urbanos são englobados pelos resíduos domiciliares, os originários de atividades domésticas em residências urbanas, e pelos resíduos de limpeza urbana, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

4.2.2 Decreto nº 7404/2010

Em 23 de dezembro de 2010 foi promulgado o Decreto Nº 7404, que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências (BRASIL, 2010b).

O Decreto 7404/10 estabelece normas para execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Criado por esse Decreto, o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como finalidade apoiar a estruturação e implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da articulação

dos órgãos e entidades governamentais, de modo a possibilitar o cumprimento das determinações e das metas previstas na Lei 12.305, de 2010 (BRASIL, 2010b).

Dos artigos que dispõem sobre as diretrizes aplicáveis à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, o artigo 36º atesta que a utilização de resíduos sólidos nos processos de recuperação energética, incluindo o co-processamento, obedecerá às normas estabelecidas pelos órgãos competentes. Segundo o Art. 37º, recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, exceto aproveitamento de gases de aterros sanitários, deverá ser disciplinada, de forma específica, em ato conjunto dos Ministérios do Meio Ambiente, de Minas e Energia e das Cidades (BRASIL, 2010b).

4.2.3 Política Estadual de Resíduos Sólidos – Lei Estadual nº 12300/2006

A Lei Estadual nº 12.300, de 16 de Março de 2006 institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) e define princípios e diretrizes. A instauração desta Lei precedeu em 4 anos a da PNRS, e é possível observar frequentes similaridades no conteúdo disposto em ambas as leis. A Lei 12300/06 tem grande importância, além de sua aplicação, na medida que foi precursora da PNRS (SÃO PAULO, 2006).

Conforme o Art. 1º da Lei Estadual 12.300/06, esta lei define princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2006).

Os objetivos da Política Estadual de Resíduos Sólidos são elencados em seu Art. 3º: o uso sustentável, racional e eficiente dos recursos naturais; a preservação e a melhoria da qualidade do meio ambiente, da saúde pública e a recuperação das áreas degradadas por resíduos sólidos; reduzir a quantidade e a nocividade dos resíduos sólidos, evitar os problemas ambientais e de saúde pública por eles gerados e erradicar as destinações inadequadas; promover a inclusão social de catadores; erradicar o trabalho infantil em resíduos sólidos; incentivar a cooperação intermunicipal; fomentar a implantação do sistema de coleta seletiva nos Municípios (SÃO PAULO, 2006). Observa-se que, diferentemente da PNRS, a PERS não apresenta dentre seus objetivos a melhoria nos sistemas de gestão ambiental e empresarial o aproveitamento e recuperação energética.

O Art. 6º traz uma definição de resíduos sólidos urbanos, que seriam os resíduos provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana passíveis de contratação ou delegação a particular, nos termos de lei municipal (SÃO PAULO, 2006).

Como citado anteriormente, a Política Estadual de Resíduos Sólidos foi uma precursora da Lei 12305/10, e outra comparação que pode ser feita é que analisando ambas as leis, observa-se que a PNRS é mais ampla e completa, na medida que traz conceitos modernos para a gestão de resíduos como a logística reversa, responsabilidade compartilhada e os acordos setoriais que são alguns dos instrumentos essenciais e inovadores, e também propõe a recuperação energética como opção de destinação final ambientalmente correta (SÃO PAULO, 2006).

Como não observa-se nenhuma abordagem sobre recuperação energética de resíduos sólidos na PERS, deve-se seguir o disposto na PNRS, a menos que hajam legislações municipais a respeito da recuperação energética de resíduos sólidos mais restritiva que a PNRS (SÃO PAULO, 2006).

4.2.4 Decreto Estadual nº 54645/2009

Em 5 de agosto de 2009, foi instituído o Decreto Estadual nº 54645 no Estado de São Paulo, que regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (SÃO PAULO, 2009).

O Art. 3º deste Decreto regulamenta os instrumentos de planejamento e gestão de resíduos sólidos, sendo os Planos de Resíduos Sólidos, o Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos, o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos e o monitoramento dos indicadores da qualidade ambiental (SÃO PAULO, 2009).

O Art. 6º do Decreto Estadual nº 54645/09 atribui à Secretaria do Meio Ambiente, em conjunto com outros órgãos e entidades da Administração Direta e Indireta o dever de elaborar o plano estadual de resíduos sólidos e estabelece o conteúdo seu mínimo. O Art. 4º menciona que os planos de resíduos sólidos deverão atender aos objetivos da Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006 (SÃO PAULO, 2009).

O Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos, no Art. 14 responsabiliza a Secretaria do Meio Ambiente por instituir um formulário eletrônico padronizado

para declaração formal a ser prestada pelos geradores, transportadores e unidades receptoras de resíduos sólidos (SÃO PAULO, 2009).

No Art. 16 do Decreto em questão o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos é determinado como o conjunto de informações oficiais sobre os resíduos sólidos gerados no Estado de São Paulo, sendo a Secretaria do Meio Ambiente responsável por apresentá-lo à Assembleia Legislativa. O artigo seguinte especifica os elementos que devem estar contidos no Inventário. A partir das informações levantadas no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos, o Monitoramento de Indicadores de Qualidade Ambiental será realizado pela Secretaria de Meio Ambiente, de acordo com o Art. 18 (SÃO PAULO, 2009).

4.2.5 Decreto nº 7405/2010

Conforme legislações tratadas, de suma importância é também comentar sobre este. O Brasil é um país que possui um caráter social intrínseco e ligado ao meio ambiente e resíduos sólidos. A própria PNRS possui um aspecto social muito forte comparada de outros países.

Em 23 de setembro de 2010 foi criado o decreto nº 7.405/10 que instaura o Programa Pró Catador, com a finalidade de integrar e articular as ações do Governo Federal voltadas ao apoio e ao fomento à organização produtiva dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, à melhoria das condições de trabalho, à ampliação das oportunidades de inclusão social e econômica e à expansão da coleta seletiva de resíduos sólidos, da reutilização e da reciclagem por meio da atuação desse segmento, como previsto no artigo 1º do referido decreto.

De acordo com o parágrafo único ainda do artigo 1º são catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis aqueles considerados pessoas físicas de baixa renda que se dedicam às atividades de coleta, triagem, beneficiamento, processamento, transformação e comercialização de materiais reutilizáveis e recicláveis.

O artigo 2º do decreto nº 7.405/10 elenca em seus incisos os objetivos e as ações que serão realizadas pelos catadores no Programa Pró Catador, como a capacitação, formação e assessoria técnica; aquisição de equipamentos, máquinas e veículos voltados para a coleta seletiva, reutilização, beneficiamento, tratamento e reciclagem pelas cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, entre outros.

As ações do Programa Pró Catador contemplarão recursos para viabilizar a participação dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas atividades desenvolvidas, inclusive para custeio de despesas com deslocamento, estadia e alimentação dos participantes, nas hipóteses autorizadas pela legislação vigente, como preceitua o parágrafo único do artigo 2º.

O decreto nº 7.405/10 também instituiu Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC) sendo o responsável por coordenar e monitorar o Programa Pró- Catador, que será composto por representante, titular e suplente, de cada órgão, os quais estão disponibilizados nos incisos do artigo 6º.

O Programa Pró Catador a partir do decreto nº 7.405/10 com ações do Governo Federal visa a inclusão social e valorização do trabalho dos catadores de material reutilizável e reciclável após o fechamento dos lixões.

4.2.6 Padrões nacionais de qualidade do ar- Resolução CONAMA nº 3

A Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990 dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Segundo essa Resolução, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Também são estabelecidos dois tipos de padrão de qualidade do ar, os primário e os secundários. Padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (BRASIL, 1990).

Na Tabela 1 verificam-se os padrões de emissões, primários e secundários de qualidade do ar, e o método de medição, estabelecidos pelo CONAMA 03/1990, para alguns poluentes.

Tabela 1 - Padrões nacionais de qualidade do ar.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário µg/m ³	Padrão Secundário µg/m ³	Método de Medição
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	amostrador de grandes volumes
Partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	separação inercial/filtração
Fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	refletância
Dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	pararosanilina
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	quimiluminescência
Monóxido de carbono	1 hora ¹ 8 horas ¹	40.00 35 ppm 10.00 9 ppm	40.00 35 ppm 10.000 9 ppm	infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora ¹	160	160	quimiluminescência

¹ Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. ² MGA = Média geométrica anual. ³ MAA = Média aritmética anual.

Fonte: Brasil (1990) e Miranda (2014)

4.2.7 Padrões estaduais de qualidade do ar- Decreto Estadual nº 59113/2013

O Decreto nº 59113 de 23 de abril de 2013 estabelece os novos padrões de qualidade do ar, a administração da qualidade do ar, a ser realizada pela CETESB terá o atendimento desses padrões como meta. Nesse Decreto também são estabelecidos os seguintes critérios (SÃO PAULO, 2013):

I. Padrões Finais (PF) – Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

II. Metas Intermediárias – (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;

As Metas Intermediárias devem ser obedecidas em 3 (três) etapas assim determinadas:

a. Meta Intermediária Etapa 1 - (MI1) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir da publicação deste decreto;

b. Meta Intermediária Etapa 2 – (MI2)- Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;

c. Meta Intermediária Etapa 3 – (MI3) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início de sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

Na Tabela 2 verificam-se os padrões de qualidade do ar estabelecidos no Decreto Estadual nº 59113/2013.

Tabela 2- Padrões Estaduais de Qualidade do Ar

Poluente	Tempo de Amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
partículas inaláveis (MP10)	24 horas MAA ¹	120 40	100 35	75 30	50 20
partículas inaláveis finas (MP2,5)	24 horas MAA ¹	60 20	50 17	37 15	25 10
dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas MAA ¹	60 40	40 30	30 20	20 –
dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora MAA ¹	260 60	240 50	220 45	200 40
Ozônio (O ₃)	8 horas	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	–	–	–	9 ppm
fumaça* (FMC)	24 horas MAA ¹	120 40	100 35	75 30	50 20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas MGA ²	– –	– –	– –	240 80
Chumbo** (Pb)	MAA ¹	–	–	–	0,5

¹Média aritmética anual.

²Média geométrica anual.

* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão – parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB.

** Chumbo – a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.

Fonte: São Paulo (2013)

O Decreto Estadual nº 59113/2013 institui o Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar, visando evitar graves e iminentes riscos à saúde da população. Na Tabela 3 verificam-se os critérios de concentração de poluentes estabelecidos por esse Decreto para níveis de Atenção, Alerta e Emergência, que

requerem também condições meteorológicas desfavoráveis para a dispersão desses poluentes.

Tabela 3 - Critérios para episódios de poluição do ar.

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	125	210	250
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	800	1.600	2.100
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) – 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 8h	200	400	600

Fonte: São Paulo (2013).

4.3 Resíduos Sólidos

O padrão de consumo que as sociedades ocidentais modernas praticam se mostra inviável em função da finitude dos recursos naturais. A intensa exploração sofrida pelo ambiente natural coloca em risco a estabilidade dos seus sistemas de sustentação. Entretanto os recursos naturais não são consumidos de forma igual, apenas uma pequena parte da população do planeta usufrui desses recursos (IDEC, 2005).

A população global de 7,6 bilhões em 2017 está em constante crescimento, e é esperado que atinja 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100 (UNITED NATIONS, 2017). Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, e estima-se que essa proporção chegue a 68% em 2050. Projeções mostram que a combinação do processo de urbanização por todo o mundo, com o crescimento populacional pode resultar em um acréscimo de 2,5 bilhões de pessoas residindo em áreas urbanas em 2050 (UNITED NATIONS, 2018).

No Brasil, um censo demográfico realizado em 2010 apontou que no país, a população que reside em áreas urbanas correspondia a 84,4% da total, enquanto a população rural representava 15,6% (IBGE, 2008). Ainda segundo o IBGE (2008) a

população urbana em 2010 era de 160.925.792, o que corresponde a um aumento de mais de 22 milhões de habitantes comparado ao censo de 2000.

O aumento da concentração de pessoas em áreas urbanas agrava ainda mais a problemática da produção de resíduos sólidos urbanos. A produção per capita de resíduos sólidos urbanos dos municípios aumenta conjuntamente com o aumento da sua população, ou seja, em média uma pessoa de uma cidade grande produz mais resíduos sólidos que uma pessoa de cidade pequena. Esse índice pode variar devido a diversos fatores, tais como o nível socioeconômico do município, o tipo de atividade produtiva predominante, programas de coleta seletiva e conscientização da população quanto à redução da geração de resíduos (CETESB, 2016).

O Brasil gerou, no ano de 2017, um total de 78,4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais 91,2% foram coletados, o que significa que 71,6 milhões de toneladas foram objeto de coleta. Com relação à disposição, 42,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, ou 59,1% do coletado foram dispostos em aterros sanitários (ABRELPE, 2017).

Embora 98% das pessoas enxerguem a reciclagem como algo importante para o futuro do país, 75% das pessoas não separam os resíduos em suas casas. Uma possível causa para isso é a falta de informação, já que 66% dos entrevistados constataam saber pouco ou nada a respeito de coleta seletiva (ABRELPE, 2017)

4.4. Hierarquização dos resíduos sólidos

A gestão e gerenciamento de resíduos sólidos de acordo com a PNRS, deve seguir uma hierarquização para elaboração de planos, programas e projetos. Essa hierarquização consiste na seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Devem estar contidas no plano estadual de resíduos sólidos metas de redução, reutilização, reciclagem de forma a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos que são encaminhados à destinação final ambientalmente adequada. Essas metas são buscadas, nos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos através também de programas e ações educação ambiental.

Figura 1– Hierarquização para a definição de políticas e das atividades de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: Langer e Negalli (2017)

A PNRS estabelece que as iniciativas de prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo poderão ser atendidas através de medidas indutoras e linhas de financiamento instituídas pelo poder público.

A Figura 1 demonstra a prevenção e minimização como etapas em que ainda não ocorreu a geração do resíduo, evidenciada através da linha em vermelho. Após a linha são mostradas as etapas após a geração do resíduo.

Como característica da PNRS, estabelece a hierarquização como uma sequência das etapas, visando, inicialmente os 3R's. Após a produção do resíduo, verifica-se a possibilidade de reuso e, não sendo possível, a reciclagem, esta etapa, de acordo com o Decreto nº 7405/2010. Em seguida, analisa-se o tratamento (com olhar para a recuperação energética) antes da disposição final ambientalmente adequada. Estas etapas serão abordadas a seguir.

Uma observação válida é referente à base triangular invertida, demonstrando a necessidade da diminuição de resíduos ao longo das etapas, ocorrendo a prioridade das fases de cima para baixo.

4.4.1 Não geração e redução

Barbosa e Campbell¹ (2006 *apud* PALAMIN, 2016) afirmam que “pode-se viver sem produzir, mas, não sem consumir”. Assim sendo, o consumo é intrínseco

¹ BARBOSA E CAMPBELL (2006)

às questões culturais e sociais da sociedade capitalista moderna, ou seja, nesse contexto se há vida, há consumo. A diminuição ou esgotamento de recursos naturais são consequências do consumo. Essa cenário torna-se um problema à medida que o consumo torna-se excessivo, ou seja, uma obsessão por vender e consumir sem preocupações com os problemas ambientais e sociais gerados nesses processos.

Segundo Lopes (2003), a problemática maior relacionada aos resíduos sólidos está concentrada nas atitudes da própria sociedade. O incentivo para redução da geração de resíduos é uma estratégia para que os municípios consigam reduzir despesas relacionadas à coleta, tratamento e disposição final desses resíduos. Reduzir quantidade de resíduos gerada no município não somente contribui para a preservação ambiental, mas também resulta em menores gastos com a gestão dos resíduos. No contexto de otimizar a gestão de resíduos sólidos, é fundamental investir na prevenção, ou seja, a não geração de resíduos antes mesmo de buscar reduzir a sua produção.

A educação ambiental possui papel fundamental para mudança de comportamento das pessoas, sendo muito importante no âmbito da não geração, redução e reciclagem de resíduos sólidos. O objetivo da educação ambiental é proliferar o conhecimento sobre o ambiente e despertar nas pessoas a consciência de que o ser humano é parte do meio e responsável por ele (IPESA, 2013).

4.4.2 Reutilização

Segundo Palamin (2016) a reutilização de materiais reduz a geração de resíduos, além de contribuir para minimizar o desperdício de recursos. Essa prática permite prolongar a vida útil dos materiais, e dessa forma gerar um ciclo mais sustentável do uso dos materiais. No contexto de uso mais sustentável dos materiais, vale reforçar a importância de estimular-se a reciclagem, que além de vantajosa econômica e ambientalmente, possui um importante papel social na medida que gera empregos a recicladores e catadores. Faz-se necessária a visão de uso dos materiais de forma consciente, utilizá-los por diversas vezes, seja através da reutilização ou reciclagem, e abandonar o conceito de descartar os materiais após uma única utilização.

A PNRS contém instrumentos alinhados com esse conceito, como por exemplo a logística reversa. Consiste em um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios

destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a).

4.4.3 Reciclagem

O processo da cadeia produtiva da reciclagem pode ser classificada em três etapas: a recuperação, que engloba os processos de separação do resíduo na fonte, coleta seletiva, prensagem, enfardamento; a revalorização, que compreende os processos de beneficiamento dos materiais, como a moagem e a extrusão; e a transformação que é a reciclagem em si, que transforma os materiais recuperados e revalorizados em um novo produto. A instalação de polos de reciclagem é uma forma de otimizar o ciclo da reciclagem, concentrando as três etapas numa mesma região, evitando o transporte de material a longas distâncias para ser processado industrialmente (GONÇALVES², 2003 *apud* GALBIATI, 2004).

Uma etapa que deve integrar um projeto de reciclagem para que este seja eficiente é a coleta seletiva bem gerenciada. Coleta seletiva consiste em um sistema de recolhimento de materiais recicláveis separados na fonte geradora, como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos. Esses materiais passam por um processo de beneficiamento e posteriormente são vendidos às indústrias recicladoras ou a sucateiros (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM - CEMPRES, 2014).

A coleta seletiva pode ser desempenhada em diferentes modelos. Os principais modelos são explicados sucintamente a seguir.

² GONÇALVES (2003)

Tabela 4 - Principais modelos de coleta seletiva

Modelos	Características
Coleta seletiva porta a porta	<p>Assemelha-se ao procedimento de coleta de lixo comum, no entanto com especificidades que o caracterizam como coleta seletiva.</p> <p>Nesse modelo os veículos coletores transitam pelas residências em dias e horários específicos, não coincidentes com a coleta normal. É função dos residentes dispor os materiais recicláveis nas calçadas, em contêineres distintos. O tipo e número de contêineres varia de acordo com o sistema implantado, sendo a separação mais comum em lixo úmido (orgânicos) e lixo seco (papéis, plásticos, metais, vidros, etc). O material coletado é submetido à triagem em galpões, onde uma segunda separação é realizada.</p>
Coleta seletiva voluntária	<p>São alocados contêineres ou pequenos depósitos em locais fixos espalhados pela cidade. Esses locais são denominados LEVs (locais de entrega voluntária) ou PEVs (pontos de entrega voluntária), e neles o cidadão deposita voluntariamente os materiais recicláveis, em recipientes específicos, identificados com nome e cor.</p>
Pontos de recebimento ou troca (tipo drop-off ou déchetteries)	<p>São uma boa opção para os casos em que a coleta seletiva for porta a porta ou mesmo voluntária. Outra alternativa é a organização de centros de troca independentes longe dos centros urbanos, que podem servir também como estações de transferência.</p>

Fonte: CEMPRE (2014).

Figura 2 - Coletor não compactador - Coleta seletiva porta a porta



Fonte: CEMPRE (2014).

Figura 3 - Exemplo de drop-off site.



Fonte: CEMPRE (2014).

4.4.4 Tratamento, com foco para reaproveitamento energético

Uma etapa anterior à disposição final dos resíduos, é o tratamento com opção para o reaproveitamento energético. Desta maneira, muitas são as alternativas tecnológicas para geração de energia a partir dos RSU.

A PNRS estabelece que este tipo de tecnologia poderá ser utilizada, desde que se comprove sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de um programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

Também deve-se considerar que a etapa de tratamento é posterior à reciclagem, ou seja, para os resíduos não aproveitados nos processos anteriores.

O aproveitamento energético de RSU, desde que utilize rotas tecnológicas apropriadas e devidamente analisadas quanto aos riscos de implementação, é uma alternativa ambientalmente correta de tratamento desses resíduos e uma oportunidade de negócios (FEAM, 2012).

Segundo Pavan (2010), o reaproveitamento energético pode ocorrer para algumas finalidades como: recuperação de calor, geração de energia elétrica ou combustível para os veículos. Neste contexto, podemos citar a tecnologia de incineração para geração de energia elétrica e calor, assim como gaseificação e pirólise gerando gases que após a queima, podem gerar energia elétrica.

Para a conversão termoquímica, dentro das três tecnologias citadas, e conforme certas características como: escala de tratamento, a redução de massa e volume, necessidade de pré tratamento, o resultado do aproveitamento energético obtido, a participação da tecnologia no mercado e comercialização dos produtos obtidos (diretos ou indiretos) será dado foco para o reaproveitamento energético dos RSU a partir da incineração, conforme estudo levantado por Silva (2015).

Tabela 5: Comparativo das características para Pirólise, Gaseificação por plasma e Incineração por grelhas

Características	Pirólise	Gaseificação por plasma	Incineração por grelhas
Escala de tratamento	média	média	alta
Pré-tratamento	sim	sim	não
Redução de massa e volume	média	alta	alta
Aproveitamento energético	médio	médio	alto
Participação no mercado	baixa	baixa	alta
Comercialização dos produtos	difícil	fácil	fácil

Fonte: Adaptado de Silva (2015)

Outros aspectos a serem considerados vão de encontro ao quesito socioambiental. A incineração possui capacidade de funcionamento, conforme será abordado mais à frente, para a segregação de materiais recicláveis. Considerando que resíduos, mesmo possuindo alto poder calorífico, sejam aproveitados pelos catadores nas etapas anteriores, conforme hierarquização dos resíduos sólidos.

4.4.4.1 Incineração

Incineração de resíduos consiste na queima destes através de, idealmente, uma combustão completa em fornos com altas temperaturas. Um processo que

realiza o tratamento sanitário através da destruição dos componentes orgânicos e materiais biológicos. Podendo produzir eletricidade, a partir da recuperação da energia liberada na queima.

Para Scheineder (2002), é um método para incineração dos materiais, convertendo materiais combustíveis em materiais não combustíveis.

A incineração é um processo de combustão controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com componentes combustíveis presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), em temperaturas superiores a 800 °C, convertendo sua energia química em calor (FEAM, 2012).

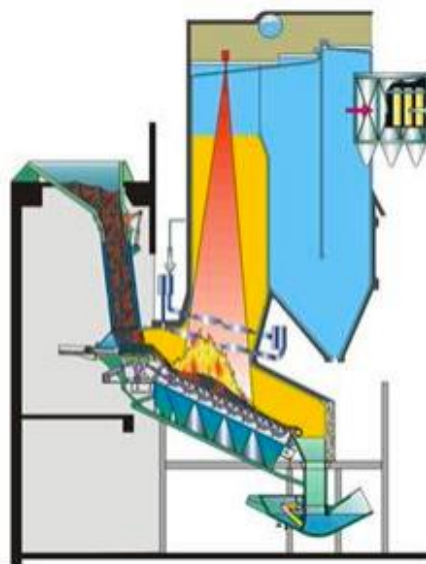
As técnicas mais utilizadas atualmente são o *mass burning* e o *refuse-derived fuel*. Através daquela, os resíduos gerados são encaminhados para serem incinerados em sua forma bruta, ou seja, sem nenhum tipo de tratamento.

Através do outro método, *refuse-derived fuel*, há um processamento prévio dos resíduos anterior ao processo de incineração. São removidos, por exemplo, materiais recicláveis da matéria que será incinerada. Desta maneira, por necessitar previamente de um tratamento, a tecnologia de *mass burning* é utilizada em maior escala.

Os tipos de incineradores podem possuir diferentes configurações como:

- Combustão em grelha: é o tipo mais utilizado para RSU no estado bruto (*mass burning*), adotando-se para isso uma grelha móvel inclinada de ação reversa, instalada em um forno-caldeira (Figura 4), permitindo operar com materiais de diferentes granulometrias. O material vai sendo aquecido durante o deslocamento dos resíduos na grelha, e passa por uma secagem, ocorrendo a perda dos compostos orgânicos voláteis e a combustão do resíduo carbonoso; cerca de 60% do ar de combustão pré-aquecido é introduzido por baixo da grelha, sendo o restante do ar introduzido sobre a grelha a alta velocidade possibilitando uma região de elevada turbulência e promoção de sua mistura com os gases e vapores gerados durante a combustão (FEAM, 2012).

Figura 4 - Representação da grelha no forno - caldeira



Fonte: ENGEBIO (2010b)

- Leitos fluidizados tipos circulante ou borbulhante: são mais utilizados para lodo de esgoto; os resíduos devem possuir diâmetro máximo de 2,5 cm e são incinerados em suspensão em leito de partículas inertes como areia e cinzas, insuflado com ar primário de combustão; sendo necessário maior complexidade operativa e ainda não alcançou seu pleno desenvolvimento comercial.
- Câmaras múltiplas: mais utilizados para determinados grupos de resíduos, como de serviços de saúde pois são para capacidades pequenas (0,2 a 200 t/dia); os resíduos são incinerados na grelha fixa da câmara primária e a pós-queima dos gases ocorre na câmara secundária; como gera baixas pressões de vapor, não é recomendado para a geração de energia elétrica (CEMPRE, 2010).
- Forno rotativo: é mais utilizado para resíduos industriais e quantidade de resíduos superior a 24 t/dia (CEMPRE, 2010).

Como apresentado na figura 5, em plantas de tratamento térmico para incineração, com geração de energia elétrica, do tipo combustão em grelha, os resíduos são descarregados no silo da usina onde são coletados por agarradores mecânicos e jogados em moegas, onde deslizarão para o interior dos incineradores (FEAM, 2010).

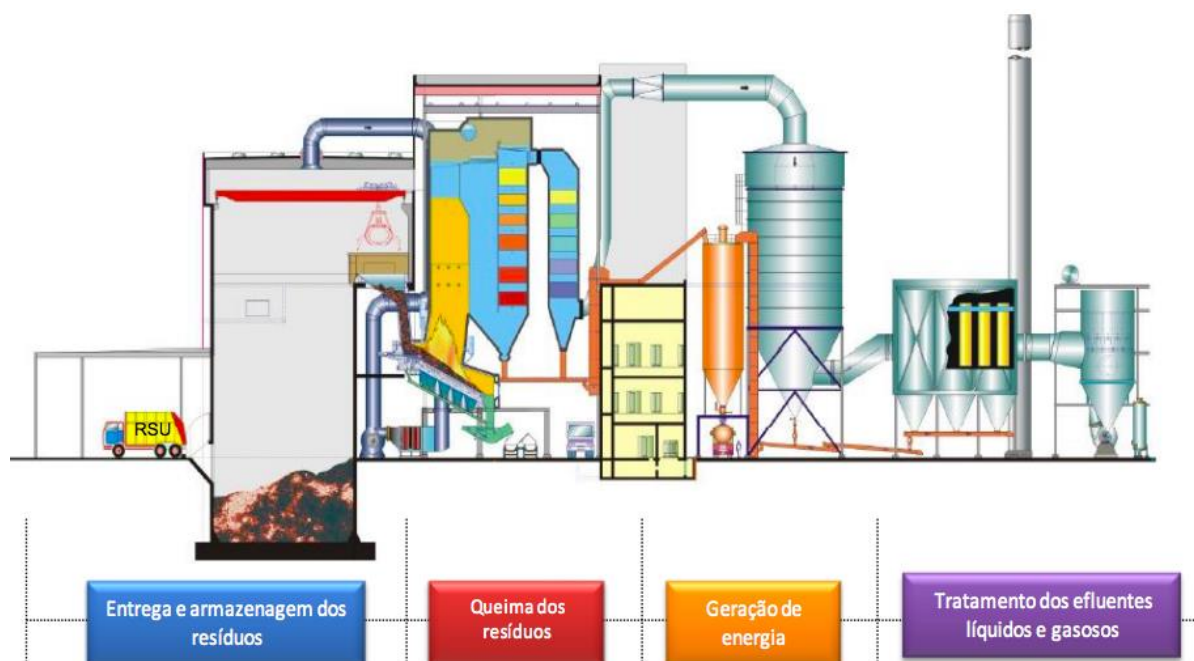
Dentro do incinerador, o tempo de residência dos materiais deve ser de no mínimo 2 segundos para alcançar a combustão completa da matéria, considerando que a temperatura deve ser de 850°C a 1000°. Outro ponto importante é manter uma turbulência alta dentro do forno para se aumentar a exposição dos resíduos à incineração ($Re > 50000$).

Durante esse processo, a presença de oxigênio deve ser suficiente para garantir a combustão, além de prevenir a formação de dioxinas e monóxido de carbono (LAM et al., 2010).

Para a recuperação de energia, o calor produzido na combustão dos resíduos é conduzido por tubulações para a produção de vapor nas caldeiras onde serão acionadas turbinas para a geração de energia (FEAM, 2010; LAM et al., 2010).

Após os gases produzidos pela combustão passarem pelas caldeiras, estes irão passar pelo sistema de tratamento para serem liberados para atmosfera. Esses gases passarão pelo tratamento e remoção de poluentes ácidos, como o SO_2 , e também dioxinas. Após a lavagem, os gases serão direcionados para filtros que irão reter as partículas finas e com isso, poderão ser lançados na atmosfera com os padrões de qualidade exigidos (FEAM, 2010).

Figura 5- Diagrama simplificado do processo de incineração de resíduos sólidos urbanos.



Fonte: Silva (2015)

Ocorre a redução de peso e volume e conforme em Miranda (2014), é vista como uma alternativa frente à disposição final dos resíduos pois ocorre uma redução de 85% a 90% do volume original.

Além disso, um dos subprodutos gerados, as cinzas, podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de cerâmicas como cimento do tipo Portland, tijolos e telhas (NASCIMENTO, 2000)

Em contraponto aos benefícios citados acima, algumas questões devem ser levadas em conta como: o controle dos gases emitidos, bem como o tratamento e a destinação das cinzas e particulados retidos nos sistemas de lavagem dos gases que podem causar poluição atmosférica e gerar impactos ambientais negativos (SIMIÃO, 2011).

Além disso, o método de incineração demanda tempo e recursos para o treinamento dos profissionais que irão operar o sistema, para que tenha a segurança e eficiência adequada, gerando alto custo operacional.

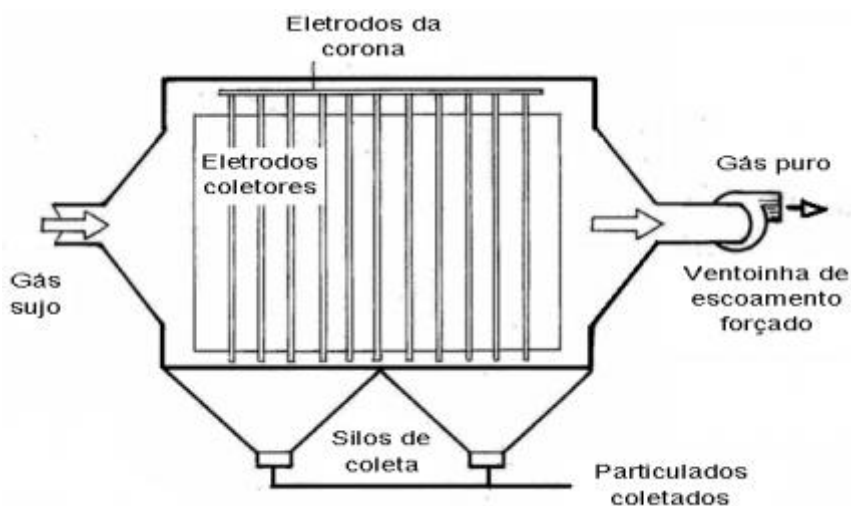
Este alto custo deve ser pautado e levado conta para a implantação de uma usina de incineração para recuperação energética quanto à possibilidade de geração

de energia. Com a visão para as etapas anteriores da hierarquia estabelecida pela PNRS e, considerando o programa Pró Catador.

Frente aos impactos negativos dos subprodutos gerados no processo de incineração, conforme carga de poluentes gerada em uma combustão incompleta, produzindo materiais particulados, dioxinas, furanos, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos aromáticos, equipamentos podem ser empregados como tecnologias de tratamento, como: precipitadores eletrostáticos e filtro de mangas.

Os precipitadores eletrostáticos são equipamentos para a redução de emissões com diâmetro entre $0,5 - 20\mu\text{m}$, através de forças elétricas para movimentar as partículas desde a entrada de gás sujo até os eletrodos coletores, Figura 6 (MCINNES; JAMESON; AUSTIN, 1992).

Figura 6 - Precipitador eletrostático



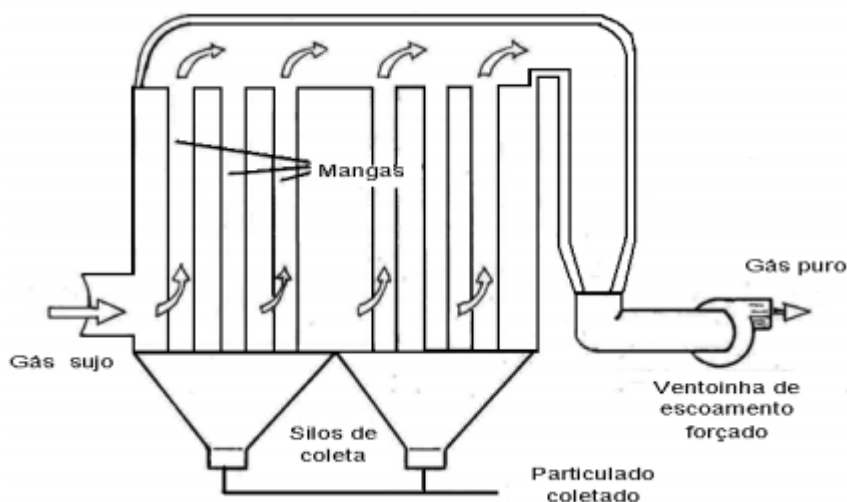
Fonte: Poletto (2008).

Filtro de mangas, conforme Figura 7, é um sistema para redução de particulados e traços de metais pesados com diâmetro menor que $0,3\mu\text{m}$; dentre os seus componentes básicos pode-se destacar um meio filtrante, uma armação sustentadora das mangas e um mecanismo de remoção das partículas que ficam acumuladas nas mangas.

No interior das mangas encontra-se a gaiola que serve para protegê-la contra colapsos e choques. O pó coletado nas mangas é removido com um pulso de ar comprimido, o qual é injetado nas mangas com uma lança (limpeza on-line).

O fluxo de gás contaminado é bruscamente interrompido, rapidamente as mangas são infladas, a camada de pó é quebrada e cai nas tremonhas. Portanto o ar comprimido proporciona a limpeza das mangas filtrantes.

Figura 7- Desenho esquemático de um filtro de mangas



Fonte: Poletto (2008).

Estes equipamentos utilizados como tecnologias de tratamento para os poluentes gerados possuem custos que devem ser analisados do ponto de vista econômico e ambiental, comparado com a disposição final dos resíduos em aterros sanitários e outras formas inadequadas.

Porém os equipamentos utilizados para controle de poluição do ar nem sempre conseguem remover metais pesados gerados na incineração, principalmente mercúrio, cádmio e chumbo, devido à algumas características como, por exemplo, temperaturas de volatilização relativamente baixas.

Através de alguns estudos referentes ao processo de transformação dos metais pesados, como cádmio e mercúrio pelo balanço, no tratamento térmico de RSU, 5% do cádmio que entra no processo sai no gás limpo após tratamento, 30% sai na escória e 65% fica junto às cinzas retidas nos filtros. Para o mercúrio, tem-se que 70% do que entra no incinerador sai com o gás limpo, 20% na escória e 10% nas cinzas dos filtros (FEAM, 2010).

Desta maneira, utiliza-se carvão ativado para a adsorção de metais pesados, e também aplicáveis para dioxinas/furanos, através da injeção no fluxo de gases de

combustão antes do sistema de lavagem, ou até a passagem dos gases por filtros de carvão ativado.

Para a questão das cinzas e escória geradas, compostas principalmente por metais ferrosos e não ferrosos, materiais inertes e não combustíveis, tais como pedras e vidros, pode ainda conter 3% de material orgânico. Enquanto os metais podem ser removidos das cinzas por separador magnético, as cinzas remanescentes e inertes poderão ser reutilizadas para uso da indústria de construção civil, conforme informado acima, para produção de cimento. É usual também que esta massa remanescente de cinzas seja continuamente recirculada e, no compartimento de armazenamento, misturada à massa bruta de RSU (MACHADO, 2015).

Já as cinzas residuárias do sistema de exaustão e de tratamento de gases da caldeira, por apresentarem elevada concentração de poluentes, não podem ser reaproveitadas, e sendo classificadas pela ABNT, por meio da NBR 10.004, como resíduo Classe 1, dependem de disposição final em aterro industrial (PLASTIVIDA, 2012).

4.4.4.1.1 Emissões atmosféricas

A poluição causada pelas emissões de gases, vapores e poeiras através das chaminés dos incineradores é uma grande preocupação no processo de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos. A maior preocupação concentra-se nas emissões de Dioxinas, por serem suspeitas de causar câncer (FEAM, 2010).

As dioxinas, compostos de extrema toxicidade, podem ser formadas na superfície das partículas de cinzas em reações de combustão. Dioxinas são membros de uma família de compostos orgânicos conhecidos quimicamente como dibenzo-p-dioxinas e são caracterizadas por dois anéis de benzeno interconectados por um par de átomos de oxigênio. Compostos clorados são formados, preferencialmente, em incineradores de lixo urbano devido à alta concentração de cloro no resíduo municipal comparado a outros combustíveis (HOFF, 2002).

Outro poluente de grande relevância é o NO_x, que pode ser formado a partir do N₂ presente no ar injetado durante a combustão (NO_x térmico). No entanto, não ocorre em grande escala em processos de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos, pois não é comum esse processo atingir temperatura de 1.400°C,

necessária para a formação do NO_x. Para reduzir a geração desse poluente, é importante controlar e manter o processo de combustão (temperatura de chama, concentração de oxigênio, umidade da fornalha, tempo de retenção etc.) em níveis adequados (FEAM, 2010).

Os principais poluentes resultantes do tratamento térmico de resíduos domiciliares segundo FEAM (2010) são descritos a seguir:

Gases – gases ácidos (tais como Ácido Clorídrico, Ácido Fluorídrico e Dióxido de Enxofre), e outros gases como Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO₂) são gerados e devem ser removidos pelos sistemas de limpeza dos gases.

Metais – em particular Cádmio, Mercúrio, Arsênico, Vanádio, Cromo, Cobalto, Cobre, Chumbo, Manganês, Níquel e Tálcio, entre outros. Estes estão presentes como compostos solúveis (como cloretos e sulfatos), e compostos menos solúveis (como óxidos e silicatos). Mercúrio e algum Cádmio são emitidos em forma de vapor.

Substâncias Orgânicas – estas ocorrem freqüentemente quando a combustão não é completa, ou são formadas após a incineração. Os compostos orgânicos podem ser emitidos na forma de vapor ou aderidos ao material particulado (poeiras) arrastado pelos gases de combustão. As dioxinas são os poluentes orgânicos que motivam as maiores preocupações (conforme apresentado no item 3.3.1, a seguir).

Materiais Particulados – partículas finas (quase sempre materiais inorgânicos como Sílica), frequentemente com metais e compostos orgânicos em suas superfícies. Estas apresentam grandes variações em seus tamanhos e normalmente são retidas sem muita dificuldade. Mas recentemente as preocupações voltaram-se para as partículas ultrafinas, menores do que 10 microns (10 milionésimos de metro), conhecidas como PM₁₀, cuja remoção requer tecnologias mais sofisticadas.

4.4.4.1.2 A recuperação energética

Do ponto de vista energético, interessa à incineração que os resíduos possuam alto poder calorífico. Assim é necessário que sejam retiradas parcelas dos RSU que tenham baixo poder calorífico, como é caso da fração de matéria orgânica.

Neste contexto e considerando os princípios da PNRS, do impedimento do processamento de resíduo bruto em plantas de incineração, deve ocorrer a preparação de lotes de combustível derivados de resíduos (CDR) (FEAM, 2012)

O CDR é produzido a partir de uma série de estágios de classificação e remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos dos RSU, resultando em uma fração combustível de maior poder calorífico composta basicamente por materiais plásticos, papéis e papelão não reciclados, madeira, pano e fração orgânica (FEAM, 2012).

O parâmetro para mensurar o poder calorífico é o Poder Calorífico Inferior (PCI) dos materiais a ser incinerados que pode ser calculado a partir da expressão matemática formulada por Themelis (2003), normalmente expresso em kcal/kg, com base em estatísticas levantadas em pesquisas de campo:

Equação 1: $PCI = [18.500 * Y_{\text{combustível}} - 2.636 * Y_{H_2O} - 628 * Y_{\text{vidros}} - 544 * Y_{\text{metais}}] / 4,185$ onde as variáveis $Y_{\text{combustível}}$, Y_{H_2O} , Y_{vidros} e Y_{metais} representam a proporção de cada elemento em 1 kg de RSU.

Do peso da fração orgânica combustível (putrescíveis, folhas e madeira) deve ser descontado o peso da água contida nesses resíduos. Este peso da água corresponde, em percentual, à variável Y_{H_2O} , sendo usual, na ausência de dados específicos, utiliza-se o valor típico de 60% como estimativa do teor de água. A Tabela 2 apresenta o poder calorífico de materiais normalmente encontrados em RSU. (EPE, 2008)

Tabela 6: Poder calorífico de materiais encontrados em RSU

Material	kcal/kg
Plásticos	6.300
Borracha	6.780
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimentos	1.310
Papel	4.030

Fonte: EPE (2008).

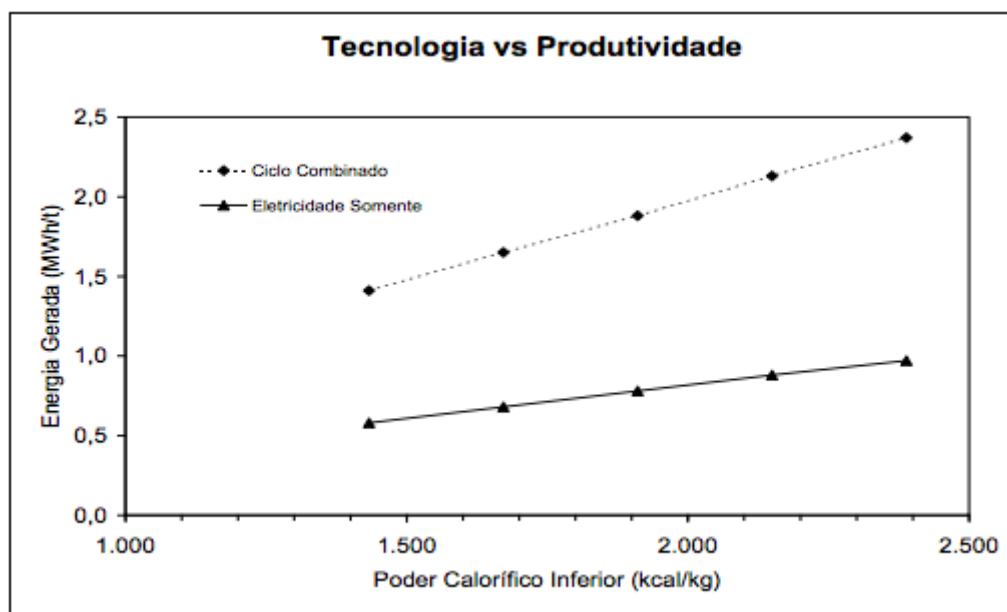
Embora a classificação segundo o PCI não deva ser considerada definitiva para estabelecer a destinação do RSU, considera-se que:

- para $PCI < 1.675$ kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável (além de dificuldades técnicas, exige ainda a adição de combustível auxiliar);

- para $1.675 \text{ kcal/kg} < \text{PCI} < 2.000 \text{ kcal/kg}$, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico;
- para $\text{PCI} > 2.000 \text{ kcal/kg}$, a queima bruta (*mass burning*) é tecnicamente viável (EPE, 2008).

Conforme o Banco Mundial (1999), os valores teóricos de produção de energia por tonelada de resíduos urbanos podem ser encontrados na Figura 8, com uma eficiência proposta de 76%.

Figura 8 - Produtividade de energia a partir da incineração.



Fonte: Banco Mundial (1999).

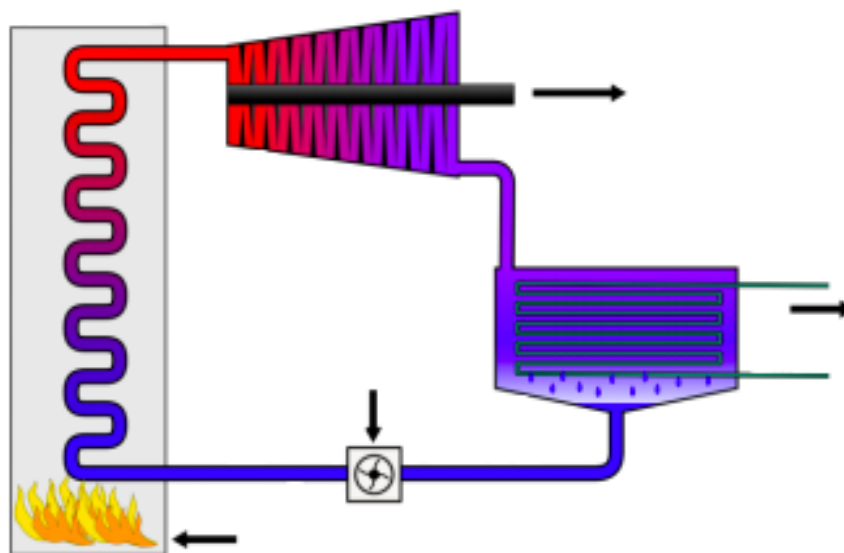
Como um processo que utiliza energia térmica a partir da combustão dos resíduos, para um melhor entendimento da tecnologia para reaproveitamento energético, o ciclo de Rankine surge como um conceito necessário.

Este ciclo expressa a conversão da energia térmica em trabalho mecânico. Como fonte externa de energia, o calor é fornecido a um sistema hidráulico cujo circuito utiliza a água na forma de vapor para a conversão da energia em trabalho mecânico, convertendo energia calorífica em energia cinética. Este sistema é o que induz o funcionamento dos motores a vapor (Henriques, 2004).

Após a combustão, a energia térmica é produzida e transmitida à água de forma indireta, através da circulação do gás quente no entorno da tubulação que a água percorre. Desta maneira, a água atinge altas temperaturas até ser

transformada em vapor d'água, se expandindo, passa por uma turbina, realizando o processo de geração de energia elétrica, ocasionando perda de pressão e temperatura. Depois da passagem pela turbina, o vapor passa por um sistema de refrigeração e, retorna ao estado líquido novamente. Com o auxílio de uma bomba, retorna para a caldeira para um novo recebimento de calor, fechando o ciclo, conforme Figura 9 (Henriques, 2004).

Figura 9 - Estrutura das unidades que compõem o ciclo de Rankine.



Fonte: Adaptado de WP (2018)

Com a hierarquia determinada pela PNRS, a recuperação energética através da incineração deve priorizar tecnologias que não utilizem do *mass burning*. Desta maneira, evitando que resíduos que poderiam ser reciclados, sejam diretamente enviados para a etapa de tratamento. Verifica-se que reciclagem e recuperação energética não devem ser tecnologias concorrentes e sim complementares. Considerando a realidade dos sistemas de coleta, é evidente que os resíduos secos, separados e coletados na fonte, são aptos para reciclagem e devem ter seu encaminhamento nesse sentido. Para os demais resíduos, coletados misturados e contaminados com as frações orgânicas, a forma mais eficiente de destinação é a recuperação energética.

Uma opção adequada de destinação de resíduos para o método de incineração são os rejeitos do processo de triagem e reciclagem que podem ser

destinados às usinas de recuperação energética. Possibilitando um aumento do poder calorífico para uma situação economicamente viável e que considera o programa Pró Catador.

4.4.5 Disposição final ambientalmente adequada

Os aterros são a última opção e só poderão receber os resíduos, depois que tiverem sido esgotadas todas as possibilidades de reciclagem, recuperação e tratamento. Estes materiais enviados para aterro passam a ser denominados de rejeitos. Nos Planos Nacional, Estaduais e Municipais de Resíduos Sólidos, o poder público assume metas de redução de envio de resíduos para aterro.

Aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e à segurança públicas, através de princípios de engenharia, de tal modo a confinar o rejeito no menor volume possível, cobrindo-o com uma camada de terra ao fim do trabalho de cada dia, ou conforme o necessário (ABNT, 1996).

Trata-se da forma de disposição final adequada frente aos aterros controlados e lixões a céu aberto (vazadouros) mas que deve ser elaborado segundo as normas da ABNT, conforme diretrizes necessárias.

Os lixões ou vazadouros são uma forma inadequada de disposição, ocorrendo descarga de resíduos diretamente sobre o solo sem nenhuma impermeabilização, sem sistema de drenagem de lixiviados e gases e sem uma camada de cobertura do lixo, ocasionando impactos à saúde pública e ao meio ambiente (IBAM, 2007).

Neste contexto, acarreta em vários problemas à população através da proliferação de vetores e transmissão de doenças. Também é frequente a presença de pessoas excluídas socioeconomicamente, representados pelos catadores vivendo em condições precárias e insalubres (IBAM, 2007; PAVAN, 2010)

Em um meio termo entre a forma adequada para dispor os rejeitos e a a maneira acima citada, totalmente inadequada, existem os aterros controlados.

Segundo Pavan (2010), aterros controlados são formas de disposição que buscam minimizar os impactos ambientais. Os resíduos confinados e, ao final de cada dia de trabalho, cobertos com uma camada de material inerte, podendo ocorrer

ou não algum método de tratamento e coleta de líquidos percolados que são gerados. Em geral, esse processo não dispõe de impermeabilização da base.

Com caracterização para um aterro sanitário, como forma adequada, deve possuir:

- Sistema de impermeabilização: elemento de proteção ambiental do aterro sanitário destinado a isolar os rejeitos do solo natural subjacente, de maneira a minimizar a percolação de lixiviados e de biogás.
- Sistema de drenagem de lixiviados: conjunto de estruturas que tem por objetivo possibilitar a remoção controlada dos líquidos gerados no interior dos aterros sanitários. Esse sistema é constituído por redes de drenos horizontais, situados na base ou entre as camadas de resíduos do aterro;
- Sistema de tratamento de lixiviados: instalações e estruturas destinadas à atenuação das características dos líquidos percolados dos aterros que podem ser prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde pública;
- Sistema de drenagem de gases: estrutura que tem por objetivo possibilitar a remoção controlada dos gases gerados no interior dos aterros, como decorrência dos processos de decomposição dos materiais biodegradáveis presentes nos resíduos;
- Sistema de tratamento de gases: instalações e estruturas destinadas à queima, em condições controladas, dos gases drenados dos aterros sanitários, podendo ou não resultar no aproveitamento da energia térmica obtida desse processo;
- Sistema de drenagem de águas pluviais: conjunto de canaletas, revestidas ou não, localizadas em diversas regiões dos aterros, que têm como objetivo captar e conduzir, de forma controlada, as águas de chuva precipitadas sobre as áreas aterradas ou em seu entorno;
- Sistema de cobertura (operacional e definitiva): camada de material terroso, aplicada sobre os resíduos compactados, destinada a dificultar a infiltração das águas de chuva, o espalhamento de materiais leves pela ação do vento, a ação de catadores e animais, bem como a proliferação de vetores;
- Sistema de monitoramento: estruturas e procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal do comportamento dos aterros, bem como sua influência nos recursos naturais existentes em sua área de influência, podendo consistir em:

- a) sistema de monitoramento das águas subterrâneas: estruturas e procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal das alterações da qualidade das águas subterrâneas, por meio da coleta de amostras em poços de monitoramento instalados a montante e a jusante da área de disposição de resíduos.
 - b) sistema de monitoramento das águas superficiais: procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal das alterações da qualidade das águas superficiais, por meio da coleta de amostras em corpos d'água existentes na área de influência dos aterros.
 - c) sistema de monitoramento geotécnico: conjunto de equipamentos e procedimentos destinados ao acompanhamento do comportamento mecânico dos maciços, visando à avaliação das suas movimentações e condições gerais de estabilidade.
- sistema de isolamento físico: dispositivos que têm por objetivo controlar o acesso às instalações dos aterros, evitando, desta forma, a interferência de pessoas e animais em sua operação ou a realização de descargas de resíduos não autorizados;
 - sistema de isolamento visual: dispositivos que têm por objetivo dificultar a fácil visualização do aterro e suas instalações, bem como diminuir ruídos, poeira e maus odores no entorno do empreendimento;
 - sistema de tratamento de líquidos percolados: o chorume, gerado na decomposição dos resíduos, deve ser coletado e tratado para que possa ser lançado no corpo receptor. No Estado de São Paulo, o chorume gerado na maioria dos aterros sanitários é conduzido para tratamento conjunto em estações de tratamento de esgoto (SMA, 2013).

4.5 Panorama da situação dos RSU no Brasil

Pelas diferentes realidades e diferentes níveis de consumo no Brasil, existem diferenças no quesito de geração, composição gravimétrica e outras características para os resíduos domiciliares para as diferentes regiões do país.

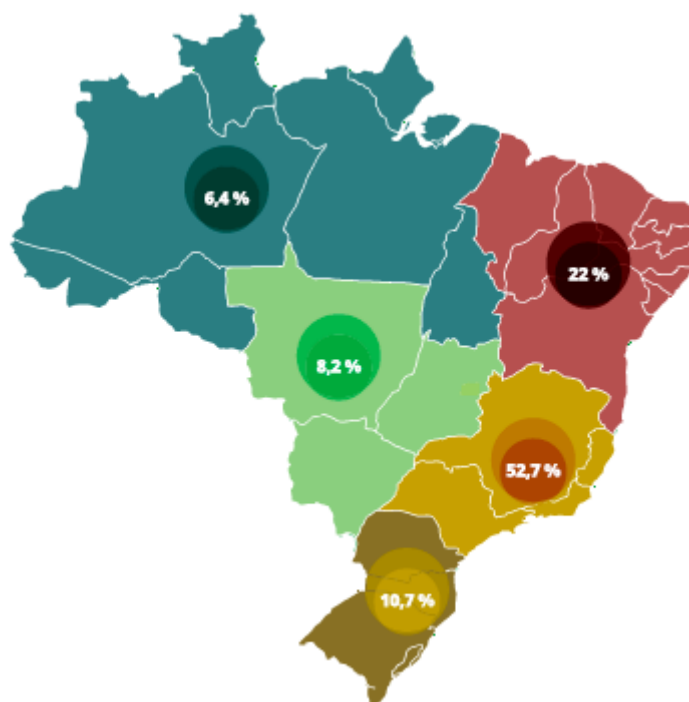
Porém, de forma generalizada, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, em 2016, conforme informado no item 4, foram geradas um total de quase 78,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos no país, representando uma queda, se comparado a 2015, de 2% ainda que tenha ocorrido um aumento da

população brasileira de 0,8%. Com uma geração de 214.405 toneladas de RSU/dia, ou seja, 1,04 kg/habitante/dia de RSU (ABRELPE, 2017).

Em relação ao volume de RSU coletados e destinados aos aterros sanitários, houve uma piora e, em 2016, foram enviados 41,7 milhões de toneladas. Sendo coletados um total de 195.452 toneladas de RSU/dia. A coleta per capita foi de 0,948 kg/habitante/dia, uma queda de 2,5%, se comparada ao ano anterior. Ou seja, 29,7 milhões de toneladas tiveram uma destinação imprópria (ABRELPE, 2017).

Na Figura 10, está mostrando a participação das regiões do país no total de RSU Coletados.

Figura 10 - Participação das regiões do país no total de RSU coletados



Fonte: ABRELPE (2017).

Conforme o Figura 11 e Tabela 6 para o ano de 2016, 41,6% dos resíduos gerados tiveram uma forma inadequada de disposição.

Figura 11: Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano) em 2016.



Fonte: ABRELPE (2017)

Tabela 7: Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

Disposição final	Brasil 2015	2016 - Regiões e Brasil					
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	2.244	92	458	161	822	706	2.239
Aterro Controlado	1.774	112	500	148	644	368	1.772
Lixão	1.552	246	836	158	202	117	1.559
Brasil	5.570	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

Fonte: ABRELPE (2017)

Buscando uma disposição adequada e que leve em consideração a hierarquização estabelecida pela PNRS, deve-se verificar a composição gravimétrica dos resíduos gerados. Para que após adoção, partindo do pressuposto da geração dos resíduos, da reciclagem a partir da coleta seletiva, busque formas que visem uma efetiva redução de uma destinação inadequada e até mesmo dos aterros sanitários.

Tabela 8: Quantidade de municípios com coleta seletiva

Região	Norte		Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste		Sul		Brasil	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Sim	258	263	884	889	200	202	1.450	1.454	1.067	1.07	3.859	3.878
Não	192	187	910	905	267	265	218	214	124	121	1.711	1.692

Fonte: ABRELPE (2017).

Conforme a tabela 5, tem-se os dados da predominância de de RSU gerados a partir da matéria orgânica e, em seguida, os materiais recicláveis.

Os dados são anteriores ao Panorama elaborado pela ABRELPE, por uma falta de dados sistematizados e atualizados mas fornecem informações e subsídios necessários, sendo provenientes da média simples da composição de 93 municípios do país.

Tabela 9: Estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil em 2008

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material reciclável	31,9	58.527,40
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100	183.481,40

Fonte: Elaborada baseada em IBGE (2010a).

4.6 Reaproveitamento energético no Brasil, com foco para técnica de incineração

4.6.1 Contextualização

Houve um tempo que o risco de incinerar os resíduos era alto pelo nível de emissão de substâncias tóxicas compostas por dioxinas e furanos. Porém, as tecnologias foram melhoradas, possibilitando a utilização de filtros que diminuem drasticamente essas emissões.

A determinação da composição e o conteúdo energético do resíduo a ser incinerado é de fundamental importância e um quesito de relevância para o dimensionamento correto da unidade de incineração e dos sistemas de limpeza de gases, visando o aproveitamento de energia. Além da necessidade de uma quantidade adequada de resíduos para uma operação contínua.

Devido aos altos custos de investimento e operação, as usinas Waste to Energy (WTE) apresentam dificuldades para os países em desenvolvimento principalmente quando o capital e a mão-de-obra especializada são escassos. Como a incineração de RSU é significativamente mais cara do que o aterramento, os custos devem ser compensados mediante a venda de energia recuperada. Portanto, as características do setor de energia são importantes na consideração das usinas WTE e são desejáveis acordos sobre preços de longo prazo. O fato recente de que as usinas de WTE, nos países em desenvolvimento possam ser instaladas como projetos mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) oferecem uma fonte adicional de receita, mas os riscos devem ser cuidadosamente avaliados (POLETTTO, 2008).

Visando possibilitar a utilização da técnica de incineração para o aproveitamento energético dos resíduos domiciliares, considera-se a associação de consórcios intermunicipais e parcerias público-privadas (PPP).

Consórcios intermunicipais são associações entre municípios que podem ser de um mesmo estado ou de mais de um estado, para execução e gestão de programas e serviços comuns, regulamentadas em lei e respeitada a autonomia de cada ente envolvido. Um dos objetivos dos consórcios é viabilizar a gestão pública nos espaços metropolitanos em que a solução de problemas comuns pode ser dada somente por meio de políticas e ações conjuntas. O consórcio possibilita também

que pequenos municípios ajam em parceria e, com o ganho de escala, melhorem a capacidade técnica, gerencial e financeira (FEAM, 2012).

Deverão ser constituídas e reguladas por contrato de programa, como condição de sua validade, as obrigações que um ente da Federação constituir para com outro ente da Federação ou para com consórcio público no âmbito de gestão associada em que haja a prestação de serviços públicos ou a transferência total ou parcial de encargos, serviços, pessoal ou de bens necessários à continuidade dos serviços transferidos. Dessa forma, pode-se afirmar que a gestão associada de serviços públicos não requer, necessariamente, a formação de um consórcio público (FEAM, 2012).

O consórcio público pode ser constituído por contrato, dependendo de prévia subscrição de protocolo de intenções, sendo necessárias para tal:

- a denominação, a finalidade, o prazo de duração e a sede do consórcio;
- a identificação dos entes consorciados;
- a indicação da área de atuação do consórcio;
- a previsão de que o consórcio é associação pública ou pessoa jurídica de direito privado sem fins econômicos;
- os critérios para, em assuntos de interesse comum, autorizar o consórcio a representar os entes consorciados perante outras esferas do governo;
- as normas de convocação e funcionamento da assembleia geral, inclusive para a elaboração, aprovação e modificação dos estatutos do consórcio;
- a previsão de que a assembleia geral é a instância máxima do consórcio público e o número de votos para as suas deliberações;
- a forma de eleição e a duração do mandato do representante legal do consórcio público que, obrigatoriamente, deverá ser chefe do poder executivo de ente da federação consorciado;
- o número, as formas de provimento e a remuneração dos empregados públicos, bem como os casos de contratação por tempo determinado para atender à necessidade temporária de excepcional interesse público; as condições para que o consórcio público celebre contrato de gestão ou termo de parceria;
- a autorização para a gestão associada de serviços públicos; o direito de qualquer dos contratantes, quando adimplente com suas obrigações, exigir o pleno cumprimento das cláusulas do contrato de consórcio público.

Entre as principais vantagens da formação de consórcios, tem-se:

- ganhos de escala, pois quanto maior a população atendida, menores são os custos de manutenção da estrutura que presta esses serviços;
- maior facilidade encontrada na captação de recursos, tendo em vista que os consórcios, por representarem sempre grupos de municípios, são vistos como prioridades pelas fontes de recurso; e
- ampliação das receitas, visto que, no caso de consórcios intermunicipais de gestão de resíduos sólidos, há possibilidade de obtenção de recursos a partir dos produtos resultantes da reciclagem e da compostagem, assim como do repasse de ICMS ecológico.

Como desvantagens, tem-se que os agentes públicos incumbidos da gestão de consórcio não respondem pessoalmente pelas obrigações contraídas pelo consórcio público, mas respondem pelos atos praticados em desconformidade com a lei ou com as disposições dos respectivos estatutos. Além disso, o representante legal do consórcio público obrigatoriamente deverá ser Chefe do Poder Executivo de ente da Federação consorciada (FEAM, 2012).

A parceria Público-Privada (PPP) é um contrato de prestação de obras ou serviços não inferior a R\$ 20 milhões, firmado entre empresa privada e o governo federal, estadual ou municipal (BRASIL, 2012).

Segundo a legislação federal, a principal normal é a Lei 11.079, de 30 de dezembro de 2004 que institui "normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública".

Outras normas complementares, dizem respeito às parcerias público-privadas, como a Lei 8.987/1995 que trata da concessão e permissão de serviços públicos economicamente com cobrança de tarifas para o usuário direto. A Lei 8.666/1993 trata de licitações e contratos administrativos em geral e regula estes assuntos quando nem a Lei 11.079/2004 nem a Lei 8.987/1995 dispuserem sobre o assunto (BRASIL, 2012).

Diferentemente da concessão comum, o parceiro privado não é remunerado exclusivamente baseado nas tarifas que o usuário paga. O pagamento é realizado de acordo com o tipo de contrato.

A PPP é regida por um contrato de concessão, na modalidade patrocinada ou administrativa. Na modalidade patrocinada se refere à concessão de serviços

públicos ou obras públicas com cobrança de tarifas para os usuários que não são suficientes para o investimento efetuado pelo privado, havendo o pagamento a partir de uma combinação com recursos públicos (BRASIL, 2004).

Concessão administrativa é o contrato de prestação de serviços de que a Administração Pública seja a usuária direta ou indireta, ainda que envolva execução de obra ou fornecimento e instalação de bens, sem cobrança do usuário pelo serviço, com pagamento integral do poder público à parceira privada (BRASIL, 2004).

No contrato de Parceria Público-Privado devem constar algumas obrigações como:

- Penalidades aplicáveis ao governo e ao parceiro privado em caso de inadimplência, proporcional à gravidade cometida;
- Formas de remuneração e de atualização dos valores assumidos no contrato;
- Critérios para a avaliação do desempenho do parceiro privado;
- Apresentação, pelo parceiro privado, de garantias de execução suficientes para a realização da obra ou serviço (BRASIL, 2012).

Após breve cenário das possibilidades para que os municípios consigam implementar a incineração como forma de tratamento, estabelece-se uma quantidade mínima de RSU e o PCI deste para tratamento, visando uma tecnologia economicamente viável. A composição dos RSU é bastante variável e está atrelada ao nível de desenvolvimento do país.

Segundo Oliveira (2009) e Tolmasquim (2003), a quantidade mínima de RSU recomendada para o tratamento térmico por incineração visando ao aproveitamento energético é de 500 t RSU/dia com geração de 0,4 a 0,6 MWh/t RSU (FEAM, 2012).

Entretanto, para outros autores já é possível atualmente viabilizar a tecnologia de incineração com o mínimo de 150 t/dia de RSU bruto, sendo mais conveniente o mínimo de 250 t/dia. Nesse caso, será necessário combustível auxiliar quando o PCI estiver entre 1.675 kcal/kg e 2.000 kcal/kg (OLIVEIRA, 2011), e nunca inferior a 1.435 kcal/kg (BANCO MUNDIAL³, 2000 *apud* FEAM, 2010).

³ BANCO MUNDIAL (2010)

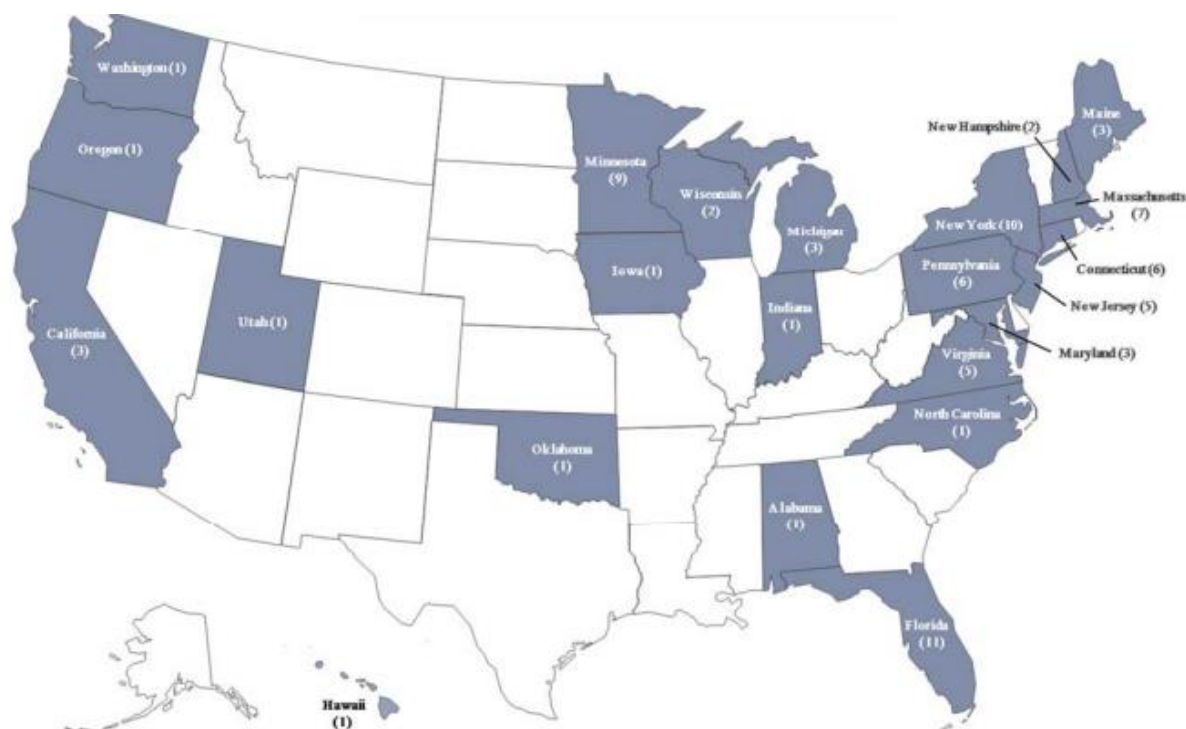
4.6.2 Panorama da incineração no Mundo

Os EUA é um dos países com maior geração de resíduos sólidos urbanos, sendo que em 2013 foram gerados cerca de 254 milhões de toneladas de lixo, com destinação de 11,4% para incineração.

No ano de 2015, existiam 71 usinas WTE nos EUA, com capacidade de geração de 14 bilhões de kWh de eletricidade. Na incineração de 30 milhões de toneladas de RSU. A queima dos resíduos também reduz a quantidade de material que provavelmente seria enterrado em aterros sanitários, com redução de volume de cerca de 87%. (EIA, 2018)

Conforme Michels (2016 apud BARRAK, 2018), os EUA possuem 77 plantas WTE, com capacidade e 60 destas empregam a tecnologia mass burn, outras 13 plantas utilizam como combustível o CDR. No total, a capacidade diária dessas usinas para o tratamento dos resíduos chega a ser de 95 mil toneladas por dia, com capacidade de produção de 2.547 MW.

Figura 12 - Plantas WTE instaladas nos EUA.



Fonte: ERC, 2014.

Na imagem é possível verificar a maior presença de plantas WTE na costa leste dos EUA.

Na Europa, durante o ano de 2013, cerca de 82 milhões de toneladas de resíduos foram destinados para uma das 457 plantas WTE disponíveis, com geração de 33 TWh de energia elétrica, podendo fornecer eletricidade para cerca de 15 milhões de habitantes. (BULC et al., 2016)

Através da Figura 12, pode-se observar que a França possui o maior número de usinas WTE em operação. Mas é a Alemanha que possui a maior quantidade de resíduos que são recuperados por tratamento térmico.

Figura 13 - Plantas WTE em operação na Europa, com quantidade de resíduos tratados termicamente.



Fonte: CEWEP (2014)

4.6.3 Panorama da incineração no Brasil

No Brasil, a tecnologia tem sido pouco discutida e várias plantas existentes ainda não foram integralmente atualizadas tecnologicamente. Desta maneira, a imagem de poluição perdura, o que tem provocado a quase exclusão este processo, de imensa importância, nas propostas de sistemas de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e reciclagem de energia (MENEZES, 2000).

A prática de incineração para tratamentos de resíduos sólidos urbanos no Brasil não é comum, sendo mais aplicada a RSS e resíduos industriais, havendo unidades de incineração principalmente nos estados da Bahia, São Paulo e Rio de

Janeiro. É bastante limitado o número de projetos de incineração de RSU com vista à recuperação de energia (FEAM, 2012; PAVAN, 2010).

Conforme Lima, 1991, a primeira forma de incinerar resíduos no Brasil foi instalado em 1896 na cidade de Manaus. Com capacidade de processamento de 60t/dia de lixo doméstico, tendo sido desativado somente em 1958 por problemas de manutenção.

Na Tabela 10 constam as características dos principais incineradores instalados no Brasil como exemplo, não incluindo todos os incineradores existentes. A grande maioria com capacidade de processamento, formas de tratamento e controle das emissões similar e utilizados para tratamento de RCC ou RSS.

Continuação							
Planta	Projeto / Tecnologia	Tipo	Capac . t/ano	Resíduos processados	Trata mento dos gases	Controle de emissões	Efluentes e cinzas
CIBA Taboão da Serra – SP	Inter-Uhde	Rotativo	3200	Res. ind. org. e inorg. Exc. ascarel e radioativos.	Lavadores ácido e alcalino, demister e ciclone	Contínuo: NOx, SOx, O ₂ , CO, temp., vazão, MP	Aterro próprio para 10.000 m ³ de cinzas e escórias.
CINAL Marechal Deodoro – AL	CBC / Nittetu Chemical Engineering (Japão)	Câmara horizontal c/leito recíprocante	11.500	R.S.L.P. incl. PCBs e organoclorados	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: CO, CO ₂ , O ₂ , NOx, SOx, MP	Aterro próprio
CLARIANT Suzano – SP ISO 14.001	Inter-Uhde	Rotativo	2.700	Resíduos sólidos e pastosos	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: CO, CO ₂ , O ₂ , NOx, SOx, MP	Cinzas e escórias: aterro industrial em Resende (RJ) e ETE 300 m ³ /h
							Continua

Conclusão

Planta	Projeto / Tecnologia	Tipo	Capac . t/ano	Resíduos processados	Trata mento dos gases	Controle de emissões	Efluentes e cinzas
ELI LILLY Cosmópolis – SP	Inter-Uhde	Rotativo	10.400	Resíduos sólidos, líquidos e pastosos.	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: O ₂ , CO, CO ₂	Aterro próprio classe I
KOMPAC Fortaleza – Ceará	Kompac	Câmara horizontal c/leito recíprocante	10.950	Resíduos de serviços de Saúde e Industriais	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: CO ₂ , CO, O ₂ Periódico: SOX, NOX, HCl, HF, Cl ₂	Efl. líquidos não descartados. Cinzas e escórias: aterro industrial
RHODIA (Cubatão – SP)	Rhone-Poulanc	Rotativo	18.000	R.S.L.P., incluindo. organoclorados	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: O ₂ , CO, CO ₂ e NOX	Aterro industrial classe I
SILCON Paulínea – SP	Hoval	Leito fixo, pirolítico	3.600	Resíduos de serviços de Saúde	Lavadores ácido e alcalino	Contínuo: O ₂ , CO, CO ₂ e NOX	Aterro industrial classe I

R.S.L.P = resíduos sólidos, líquidos e pastosos

Fonte: Menezes, Gerlach e Menezes (2000).

Denominada USINAVERDE, foi construída uma usina de incineração no campus da UFRJ da Ilha do Fundão, no município Rio de Janeiro. O projeto é uma planta piloto tem capacidade para incinerar 30 t/dia de RSU/dia com um sistema de geração de energia elétrica com potência de 440 kW (PAVAN, 2010).

Os principais objetivos da usina são a redução da quantidade de resíduos destinada a aterros e evitar a geração de metano a partir da decomposição anaeróbica (CENTRO CILMA, 2005).

Segundo Henriques (2004), em 1913, na cidade de São Paulo, foi instalado um incinerador com capacidade de processamento de 40 t/dia, alimentado manualmente, e tendo lenha como combustível primário. Devido à limitações para a capacidade de processamento para atendimento a quantidade de RSU coletados e possuir uma localização desfavorável no município, a unidade foi desativada em 1948.

No ano seguinte, um incinerador com capacidade para processamento de 200 t/dia foi instalado no bairro de Pinheiros (SP), ficando ativo por 40 anos até a inativação, assim como outros incineradores instalados em bairros da cidade de São Paulo. São os casos de incineradores instalados nos bairros de Ponte Pequena (1959) e Vergueiro (1968), mas que não atenderam aos padrões ambientais e foram desativados em 2000 (HENRIQUES, 2004).

O município de São Bernardo do Campo, na região da Grande São Paulo, assinou contrato de implementação e gestão de uma usina de incineração que será responsável pelo tratamento e reciclagem até a geração de cerca de 22 MWh de energia limpa por meio da incineração (SEESP, 2012).

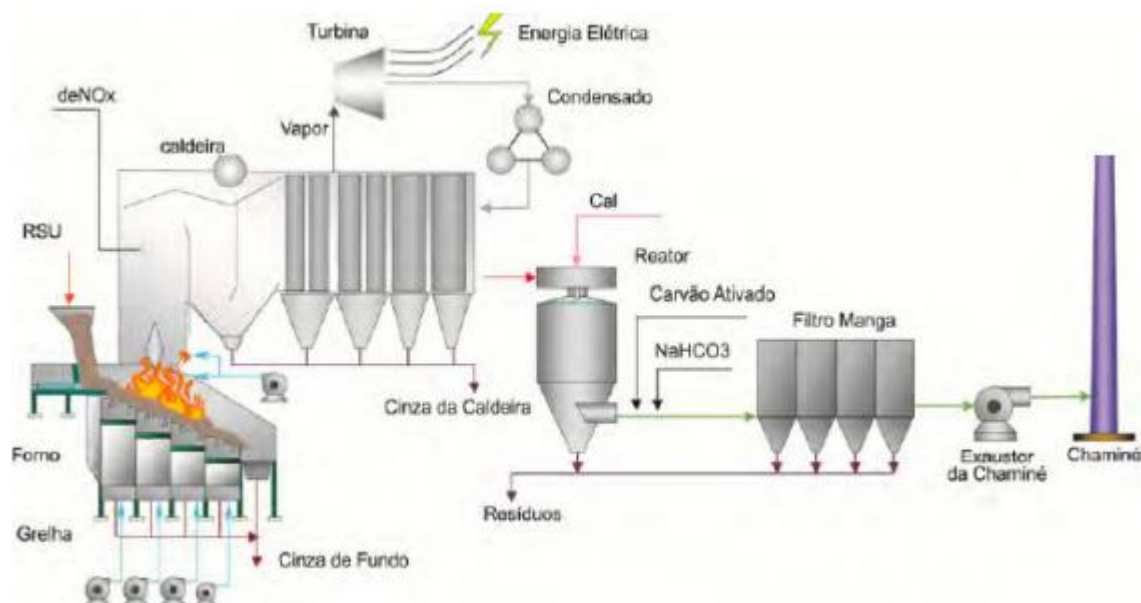
Porém, por problemas de licença, a usina nunca saiu do papel e a PPP foi até rompida em julho/2017. Uma parceria estabelecida para serviços de coleta, incineração, varrição, poda das árvores e educação ambiental (METRO JORNAL, 2018).

A URE (Unidade de Recuperação Energética) Barueri é o primeiro caso no Brasil de um projeto de instalação de uma usina de incineração com foco à redução do volume de lixo e geração de energia elétrica. Cerca de 12% do que é incinerado resulta em cinza que deverá ser destinada ao aterro sanitário da região. A usina recebe os resíduos gerados nos municípios de Barueri, Santana do Parnaíba e Carapicuíba. A capacidade da usina é para o recebimento de 850 toneladas de

resíduos diariamente, com potência elétrica de geração de 17 MW, suficiente para atender 80 mil residências (EIA, 2012; FOLHA DE ALPHAVILLE, 2018).

As etapas do projeto basicamente serão compostas por: recepção dos RSU, incineração, geração de eletricidade e tratamento de gases, conforme Figura 11.

Figura 14- Esquema detalhado da URE Barueri



Fonte: EIA (2012, p. 75)

5 Potencial para reaproveitamento energético dos RSU

Neste capítulo serão abordados e mencionados alguns trabalhos relacionados ao potencial do Brasil e algumas cidades para o tratamento dos RSU com foco para a técnica de incineração, evidenciando os resultados encontrados.

Em Machado (2015), efetuou-se uma avaliação teórica do potencial energético para incineração no município de Bauru com a separação dos materiais que compõem os resíduos gerados. O valor utilizado como partida de geração diária foi de 290 toneladas de RSU. A análise foi pautada no Plano de Resíduos de Bauru e no trabalho de Poletto (2008). Neste trabalho, com um PCI estimado em 2.868,1 kcal/kg para o RSU, chegou-se a uma estimativa de capacidade de potência de 10,3 MW, para uma composição gravimétrica conforme Tabela 7.

Tabela 11: Composição gravimétrica

Resíduos	Participação (%)
Matéria orgânica	55,0
Papel e papelão	21,0
Plástico	8,9
Têxteis e couro	5,0
Madeira, vidro, metais e outros	10,1

Fonte: Elaboração própria com dados de Machado (2015).

Em estudo mais aprofundado, também analisando a capacidade de geração de energia elétrica a partir da incineração dos RSU de Bauru, Poletto (2008) elaborou alguns cenários como alternativa considerando a geração de 210 toneladas de RSU/dia:

- Cenário A: Energia gerada a partir da totalidade de RSU, excetuando os materiais inertes
- Cenário B: Energia gerada pelos RSU com segregação
- Cenário C: Energia gerada após remoção de todo o material reciclável

Os cenários propostos foram elaborados desconsiderando a porcentagem de vidros, metais e outros materiais que são inertes. Efetuou-se esta separação pois os materiais mencionados não colaboram com a estimativa do PCI para RSU, segundo o autor. Desta maneira, utilizou-se apenas a porcentagem em massa disponibilizada

na coluna "Massa seca normalizada" da Tabela 8, calculada com a ponderação da massa seca dos materiais desconsiderando vidros, materiais e outros.

Tabela 12: Composição típica dos RSU do aterro sanitário de Bauru

Componente	Massa úmida (%)	Umidade (%)	Massa seca (%)	Massa seca normalizada (%)
Resíduos de comida	55	70	16,5	32,77
Papel e papelão	21	6	19,74	39,21
Têxtil e couro	5	10	4,5	8,94
Madeira	1,1	20	0,88	1,75
Plástico	8,9	2	8,72	17,33
Vidro	2,6	2	2,55	-
Metais	5,4	2	5,29	-
Outro	1	5	0,95	-
Total	100		59,13	100

Fonte: Poletto (2008) e Silva (1997)

Conforme as proposições dos diferentes cenários, segue a Tabela 12 para os diferentes PCI encontrados.

Tabela 13: Valores de PCI para os cenários propostos

Componente	Contribuição energética para diferentes cenários (kcal/kg)		
	A	B	C
Resíduos de comida	738	738	738
Papel e papelão	758	469	0
Têxtil e couro	237	237	237
Madeira	38	38	38
Plástico	521	416	0
PCI	2.292	1.898	1.013

Fonte: Poletto (2008).

No cenário B foi verificada segregação conforme dados do CEMPRE (2006), com percentual de segregação de 38% para papel/papelão e 20% para plástico.

A partir dos dados obtidos para o PCI, elaborou-se a tabela 10 com o total valor teórico de potência gerada para os três cenários, baseando-se em uma planta

incineradora em torno de 28% (SILVA⁴, 1998 *apud* POLETTTO, 2008) e geração de 210 ton/dia de RSU.

Tabela 14: Potência teórica produzida a partir da incineração dos RSU

Cenário	Potência gerada (MW)
A	6,43
B	4,86
C	2,08

Fonte: Poletto (2008).

Em EPE (2008), foi elaborado um estudo para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos de Campo Grande MS, foi verificada a possibilidade da geração de energia elétrica a partir da incineração com a análise gravimétrica (tabela 14) dos RSU coletados na cidade.

Estimou-se um PCI com valor de 2.350 kcal/kg, através de cálculos a partir da Equação 1 deste presente trabalho, no item 4. A partir dos dados chegou-se à estimativa de capacidade máxima de potência em 11,4 kW.

Tabela 15: Composição % de RSU de Campo Grande em 2008

	Resíduos	Composição (%)
Materiais não recicláveis	Matéria orgânica	57,2
	Folhas	0
	Madeira	0,6
	Panos e trapos	4,7
	Couros	0,1
Materiais recicláveis	Papel e papelão	13,2
	Plásticos	18,4
	Vidros	1,6
	Borrachas	0,9
	Metais	1,7
Materiais inertes	Não degradáveis	1,6

Fonte: EPE (2008)

⁴ SILVA (1998)

Em Rossi (2014), foi verificado o potencial energético disponível com a incineração dos RSU na região da Associação de Municípios do Extremo Sul Catarinense (AMESC). Área localizada no sul do estado de Santa Catarina abrangendo os municípios de Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Ermo, Jacinto Machado, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Passo de Torres, Praia Grande, Santa Rosa do Sul, São João do Sul, Sombrio, Timbé do Sul e Turvo.

A recuperação energética com foco para incineração foi considerada mediante três cenários:

- Cenário A: Incineração sem segregação prévia dos materiais recicláveis presentes no RSU
- Cenário B: Incineração com segregação de 50% dos materiais recicláveis presentes no RSU
- Cenário C: Incineração com segregação total dos materiais recicláveis presentes no RSU

A quantidade considerada para o RSU foi a que é transportada até o aterro para disposição final, com geração de 101,75 ton/dia e com composição gravimétrica, conforme disponível na Tabela 13. Baseado nos valores obtidos para a composição no aterro Preservale, local de disposição dos RSU da AMESC.

Tabela 16: Composição gravimétrica dos RSU no aterro sanitário Preservale de 2011.

Componente	Composição (%)
Matéria orgânica	60,0
Papel e papelão	9,5
Plástico	4,5
Vidros	2,7
Metais	3,3
Têxteis, couro e madeira	15,0
Outros	5,0

Fonte: Preservale (2011).

Para a estimativa do potencial energético, também considerou-se o PCI disponível na tabela 14, conforme os diferentes cenários propostos. Assim como em Poletto (2008), desconsiderou-se a porcentagem de vidros, metais e outros materiais

que são inertes, não colaborando com a estimativa de PCI. Também foi estimada a potência total (MW) teórica disponível.

Tabela 17: Conteúdo energético das frações de materiais presentes nos RSU para os diferentes cenários de recuperação energética

Componente	Contribuição energética para diferentes cenários (kcal/kg)		
	A	B	C
Matéria orgânica	786	786	786
Papel e papelão	382,9	191,4	0
Plástico	283,5	141,8	0
Têxteis, couro e madeira	1.444,5	1.444,5	1.444,5
PCI	2.896,9	2.563,7	2.230,5
Potência total teórica (MW)	2,2	1,9	1,7

Fonte: Rossi (2014).

Analizando a geração e composição de resíduos no Brasil, ainda que com a necessidade de coleta dos dados de diferentes fontes, Pavan (2010) elaborou a partir dos dados do IBGE de 2007 e da PNSB de 2008 alguns cenários para o potencial de reaproveitamento energético.

Foram levados em conta as diferentes regiões do país, número de municípios e geração de resíduos per capita para os cenários abaixo, assumindo alguns parâmetros como geração diária de RSU (0,95 kg/hab.dia), taxa de coleta (95%), PCI (2.388,5 kcal/kg) e produtividade (2,37 MWh/t):

- Cenário A: inclusão de todos os municípios, independente do tamanho
- Cenário B: municípios com mais de 500 mil habitantes
- Cenário C: municípios com mais de 1 milhão de habitantes.

O valor de PCI foi assumido a partir dos dados de outros trabalhos, como o valor de 3.536,8 kcal/kg calculado por Cançado (2007) para os RSU da cidade de Belo Horizonte, também para o PCI dos RSU da cidade de São Paulo calculada pela Secretaria do Meio Ambiente (2008), no valor de 2.431,0 kcal/kg.

Tabela 18: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando todas as cidades

Todas as cidades	
Região	Potencial disponível (MW)
Norte	1.303
Nordeste	4.593
Sul	2.383
Sudeste	6.940
Centro-Oeste	1.179
Total	16.398

Fonte: Pavan (2010).

Tabela 19: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando municípios com mais de 500 mil habitantes

Região	Potencial disponível (MW)
Norte	430
Nordeste	2049
Sul	453
Sudeste	4.205
Centro-Oeste	799
Total	7.936

Fonte: Pavan (2010).

Tabela 20: Potencial teórico de geração de energia a partir da incineração de RSU, considerando municípios com mais de 1 milhão de habitantes

Região	Potencial disponível (MW)
Norte	430
Nordeste	965
Sul	453
Sudeste	3.049
Centro-Oeste	521
Total	5.418

Fonte: Pavan (2010).

6 Resultado e discussão

Na tabela abaixo, está representado um comparativo das potências dos estudos de caso mostrados aqui, assim como da energia disponível. A partir dos dados de EPE (2012) verificou-se a capacidade de abastecimento de residências para operação das usinas conforme potencial de geração de energia no período de um mês, baseado na quantidade de 190 KWh/mês para a energia necessária para atendimento de unidades domésticas brasileiras.

Conforme PNRS, a GIRS fornece a necessidade do cumprimento das etapas da hierarquização dos resíduos sólidos. Desta maneira, os dados relevantes estão para os trabalhos de Poletto (2007) e Rossi (2014). Pois foi considerada a segregação dos materiais recicláveis, considerando o fator social, pela presença dos catadores.

Tabela 21 - Comparativo entre os estudos de caso.

	Estudos de caso				
	Barrak (2018)	EPE(2008)	Machado (2015)	Poletto (2007)	Rossi (2014)
Quantidade resíduos (ton/dia)	701,84	513,3	290	210	101,75
Potência disponível (MW) - A	14,48	11,4	10,3	6,43	2,2
Potência disponível (MW) - B	-	-	-	4,86	1,9
Potência disponível (MW) - C	-	-	-	2,08	1,7
Energia (kWh/dia)	347.520	273.600	247.255,8 8	49.945	40.800
Número residências	54.870	43.200	39.030	7.890	6.420

Fonte: Elaborado baseado nos dados dos trabalhos Barrak (2018); EPE (2008); Machado (2015); Polleto (2007); Rossi (2014).

Notadamente, através do exposto neste trabalho, o Brasil é um país incipiente para aproveitamento energético dos resíduos e, que não foca na PNRS. O processo de incineração pode auxiliar no quesito espaço, possibilitando uma alternativa para a problemática das áreas demandadas para disposição final dos resíduos.

Sob vários aspectos a incineração constitui o processo mais adequado para a solução ambientalmente segura de problemas de disposição final de resíduos. Minimiza-se a capacidade de poluição dos lençóis freáticos, comum para a os aterros sanitários e em formas de disposição inadequadas.

Recuperar a energia disponível nos resíduos para transformação em energia elétrica, garante o planejamento integrado, segundo a PNRS e diversifica a matriz energética do país.

Para a futura instalação e operação da URE Barueri, segue comparativos frente à disposição dos resíduos em aterros, segundo o RIMA (2012):

- Maior capacidade de recuperação energética dos RSU.
- Menor área de construção.
- Menor traslado entre as fontes geradoras e o local de disposição final, pois os aterros possuem a necessidade de serem construídos em áreas cada vez mais distantes dos centros urbanos.
- Menor dependência dos municípios para os aterros privados, gerando maior autonomia pela responsabilidade pelo tratamento de seus próprios resíduos.
- Não emissão de metano gerado a partir do aterramento e, consequente decomposição da matéria orgânica disposta nos aterros.
- As emissões da usina implementada são constantes, porém encerradas com o término da operação. Enquanto nos aterros as emissões continuam ocorrendo mesmo com o fim da vida útil e/ou desativação do mesmo.

Segundo Machado (2015), a partir dos resultados obtidos, aproveitando o potencial energético dos RSU de Bauru seria possível atender aproximadamente 39.000 residências no período de um mês por dia de operação.

Conforme estudo elaborado em EPE (2008), a incineração reduz a quantidade de resíduos depositados no aterro a cerca de 10% do volume original e a 25% do peso. No caso de Campo Grande, conforme estudo elaborado, isto significa estender a vida útil do aterro sanitário local para mais de 100 anos.

Neste contexto, na hipótese da incineração analisada, além do cálculo de potencial energético da usina de 13 MW, também verificou-se a produção de metano evitada no aterro, estima-se que, em termos líquidos, poderão ser evitadas emissões de 0,39 t CO₂/MWh - ou 0,209 toneladas equivalentes de CO₂ por tonelada de RSU depositada.

Para o caso da AMESC, o pequeno potencial de recuperação energética pode ter ocorrido pelo pequeno porte dos municípios, com baixa densidade populacional e, consequente, baixa geração de RSU. O que ainda assim, conforme para todos os outros estudos abordados, contribui significativamente para o aumento da vida útil do aterro sanitário de disposição final, conforme diminuição de volume dos RSU.

Além disso, no pior cenário, do ponto de vista energético, com segregação total dos materiais recicláveis, tem a capacidade de geração de energia elétrica para cerca de 20% da população.

Em Pavan (2010), pode-se observar que o maior potencial para geração de energia a partir da incineração dos RSU está na região sudeste. Situação justificada pois esta é a maior região geradora de RSU. Se considerar apenas o Cenário B para a região sudeste, com incineração dos resíduos apenas para municípios com mais de 500 mil habitantes, o potencial de geração seria cerca de 4 GW.

Além do potencial energético disponível a partir da incineração dos RSU, do ponto de vista ambiental, sob à ótica das mudanças climáticas, é gerada energia a partir de uma fonte renovável, minimizando a geração de gases de efeito estufa como o metano com a disposição em aterros.

Esta melhoria é observada com a utilização da técnica de modo adequado e que realize o tratamento dos poluentes gerados, conforme os padrões estabelecidos.

Neste mesmo comparativo, entre a utilização de incineradores e aterros para a disposição dos resíduos, aqueles necessitam de uma área menor para implantação mas que devem ser instalados em uma área adequada para minimizar os riscos à população, por exemplo, como odor, poluição atmosférica e ruído.

Neste contexto, o entendimento da população é fundamental para a aceitação da instalação de uma usina de incineração. Desta maneira, evita-se situação existente no estado de Minas Gerais, com o Projeto de Lei (PL) 4.051/13, que proíbe a incineração dos resíduos sólidos gerados no estado com intuito de garantia da continuidade do trabalho de catadores. Esta PL foi aprovada em primeiro turno e atualmente não foram encontradas novas informações do andamento.

Situação preocupante e que merece atenção, pois conforme Decreto nº 7405/2010 e segundo a PNRS, a recuperação energética dos resíduos como forma de tratamento, não deve ser para ir contra os catadores, mas sim complementar, como etapa posterior à reciclagem e que apenas deve ser considerada para os resíduos contaminados com as frações orgânicas, complementando a etapa de reciclagem, através do reaproveitamento do rejeito da triagem no processo de reciclagem.

7 Conclusão

Conforme abordado em 4.6.1, para o aproveitamento energético dos RSU a partir da incineração, não há uma quantidade mínima para a operação contínua do processo por existirem diferentes citações de um mínimo de PCI necessário.

Na esfera econômica, acarreta em uma diversificação da matriz energética do país, fornecendo energia elétrica a partir de uma fonte com constante disponibilização de matéria prima, além da redução de volume e massa dos resíduos que, quando em condições adequadas, são enviados para os aterros sanitários.

Não há uma solução de destinação dos resíduos sólidos urbanos que possa ser indicada como a melhor para qualquer cidade ou região do país, sendo necessária uma avaliação das condições para cada caso.

Mas deve-se priorizar e utilizar como base a hierarquização definida pela PNRS, devendo ser a disposição final em aterros sanitários a última etapa.

Neste contexto, a incineração deve ser um processo anterior à disposição final e posterior à reciclagem, conforme abordado na hierarquização deste trabalho. A incineração pode ser ambientalmente correta e aliada na proteção do meio ambiente, desde que as plantas sejam operadas por equipes qualificadas e treinadas, e sejam monitoradas/acompanhadas pela comunidade e pelos agentes ambientais, públicos e privados.

Com problemática para questões mais básicas como contaminação e disposição inadequada com poluição dos meios físicos, o Brasil precisa encarar de forma adequada os resíduos sólidos gerados, conforme PNRS existente para dar atenção necessária para aproveitamento da energia disponível a partir da incineração, conforme o potencial energético disponível evidenciado neste trabalho, de acordo com o objetivo proposto.

Utilizar resíduos recicláveis contaminados com matéria orgânica é uma alternativa para manter um PCI alto para a recuperação energética adequada frente aos custos atrelados à implantação e operação de uma usina de incineração e estar de acordo com a hierarquização estabelecida pela PNRS e o programa Pró Catador.

Com a clareza de que os resíduos a serem utilizados em um processo de recuperação energética através da incineração sejam provenientes da parcela que não foi aproveitada pelo processo de reciclagem, o obstáculo para que projetos de incineração sejam instalados no Brasil deve diminuir. Desta maneira, vai de encontro

à necessidade dos cooperados de garantia de emprego e renda, destinação adequada dos resíduos que não a disposição final em aterros sanitários e a geração de energia elétrica alternativa.

As recomendações para trabalhos futuros são ligadas à utilização de rejeitos da coleta seletiva à incineração, bem como a análise e determinação do PCI para estes resíduos. Possibilitando estimativas mais adequadas para a possibilidade de geração de energia considerando toda a hierarquização presente na PNRS.

Como recomendações para o incentivo da técnica de incineração para recuperação energética, levanta-se a possibilidade de uma tecnologia nacional, para diminuição dos custos de implantação e operação.

Referências

APROVADO projeto que proíbe incineração do lixo em Minas Gerais. MCNR, 2014. Disponível em: <<http://www.mncr.org.br/noticias/noticias-regionais/aprovado-projeto-que-proibe-incineracao-do-lixo-em-minas-gerais>> Acesso em: 03.set.2018.

ARBOLEYA, G. Usina de lixo vai sair do papel. Folha de Alphaville Online, 2018. Disponível em: <<http://folhadealphaville.uol.com.br/cidade/27521>>. Acesso em: 03.set.2018.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo:ABRELPE, 2017.

_____. **Recuperação energética de resíduos sólidos**. ABRELPE, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004**: Resíduos sólidos – classificação. 71p. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARBOSA, L.; CAMPBELL, C. (Org.). **Cultura, consumo e identidade**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

BARRAK, E. Análise técnica e econômica da recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos através da incineração e do gás de aterro sanitário. Itajubá, 2018.

BRASIL, 2012. Parceria Público-Privada (PPP). Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2012/04/parceria-publico-privada-ppp>>. Acesso em: 09.set.2018.

BRASIL. **CONAMA nº 3**, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em 02.10.2018.

BRASIL. Lei n. 8.987, de 13 de fev. de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 14 fev. 1995, p. 1917, col. 1.

BRASIL. Lei n. 11.079, de 30 de dez. de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 31 dez. 2004, seção 1, p. 6.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 3 ago. 2010a, seção 1, p.3.

BRASIL. Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 23 dez. 2010b, seção 1, p.1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos:** manual de orientação - apoiando a implementação da política nacional de resíduos sólidos: do nacional ao local. Brasília: MMA, 2012. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos_28_03_182.pdf>. Acesso em: 25.set.2018.

CENTRO CLIMA. Centro de Estudos Integrados e Mudanças Climáticas. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento. Anexo II.
CINZAS da incineração de lixo: matéria-prima para cerâmicas. Ciência Hoje. v.27, n 160. 2000. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/zakon/cinzas.pdf>> Acesso em: 03.set.2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos.** 2016. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/18/2013/12/inventario-residuos-solidos-2016.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018.

CETESB. **Análise da Viabilidade Ambiental das Obras de Implantação da Usina de Recuperação de Energia – URE** . Barueri, 2012.

_____. **Padrões de Qualidade do Ar - Cetesb.** Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 02.out.2018.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE, 2010.
CONSUMO sustentável: manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Guia da coleta seletiva de lixo.** 2014. Disponível em:<<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 25 set. 2018.

DEL BEL, D. **Recuperação energética de resíduos sólidos urbanos.** Revista Química e Derivados, mar. 2012. Disponível em:<<http://www.abetre.org.br/a-abetre/opiniao/recuperacao-energetica-de-residuos>>. Acesso em: 23 set. 2018.

DRUMOND JUNIOR, P. **Análise técnica e econômica da recuperação energética de resíduos sólidos urbanos:** estudo de caso para o município de Campinas. 2015. 135p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

EIA. Energy from municipal solid waste, 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy>. Acesso em: 01.out.2018.

ELK, A. G. H. P. Redução de emissões na disposição final. Segala – Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação preliminar do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande, MS.** Rio de Janeiro: EPE, 2008.

EPE, 2012. Projeção da demanda de energia Elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FREIRE, M. L. **Estudo prévio de viabilidade econômica e energética para implantação de usina de incineração para Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.** 2013. 66p. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais:** Relatório 1. ed. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2010.

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

GALBIATI, A. **O Gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem.** 2004. Disponível em: <<http://www.limpezapublica.com.br/textos/97.pdf>>. Acesso em: 24 set.2018.

GONÇALVES, P. **A Reciclagem integradora dos aspectos ambientais sociais e econômicos.** Rio de Janeiro: DP&A; FASE, 2003.

HENRIQUES, R.M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica.** 2004. 189p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

HOFF, Cristina Stein. **Metodologia de Análise de Dioxinas em Cinzas Obtidas da Incineração de Couro Wet-Blue.** 2002. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 03.set.2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

INSTITUTO DE PROJETOS E PESQUISA SOCIOAMBIENTAIS. **Do lixo à cidadania:** guia para a formação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Peirópolis, 2013. Disponível

em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/371191/mod_resource/content/1/Texto_7a.pdf>. Acesso em: 25 set.2018.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION / ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Manual de boas práticas no planejamento. São Paulo: ISWA/ Abrelpe, 2015.

LANGER, M.; NEGALLI, A. Política nacional dos resíduos sólidos: possibilidades para o desenvolvimento de inovação tecnológica. **Revista Unoesc & Ciência – ACET**, v.8, n.1, p.69-78, jan./jun. 2017.

LEVY, Y.; ELLIS, T.J. **A System approach to conduct an effective literature review in support of information system research**. Lakeland: Southeastern University, 2006. Disponível em:<<http://inform.nu/Articles/Vol9/V9p181-212Levy99.pdf>>. Acesso em: 11.ago.2018.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)**. 2003. 194p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MANSOR, M.T.C. et al. Resíduos sólidos. 2.ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente; Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2013.
MENEZES, R.A.A. Estágio atual da incineração no Brasil, Curitiba, 2000. Disponível em:<<http://www.resol.com.br/textos/Estado%20Atual%20da%20Incineracao%20no%20Brasil.htm>>. Acesso em: 22.ago.2018.

MIRANDA, Luiz Henrique T.G. **Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de caso no município de Itanhaém-SP**. 2014. 121p. Monografia (Especialização em em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Programa de Educação Continuada em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MORGADO, T.C.; FERREIRA, O.M. Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, aproveitamento na co-geração de energia. Estudo para a região metropolitana de Goiânia, Goiânia, 2006.

OLIVEIRA, Luciano Basto. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. In: SEMINÁRIO LIXO É ENERGIA, 2009, Belo Horizonte. Apresentação em slides... Belo Horizonte, 2009. 69p. Disponível em:<http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=566&Itemid=128>. Acesso em: 15.set.2018.

PALAMIN, C.M. **Subsídios para elaboração de um plano de gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em cidades de pequeno porte**. 2016. 133p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. 2010.

187p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Instituto de Física, São Paulo, 2010.

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-ambiental dos plásticos. **Recuperação energética, resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 2012. Caderno Informativo.

POLETTTO FILHO, J.A.; POLETTTO, G.C. Incineração com recuperação energética, uma alternativa para a destinação correta do resíduo sólido urbano. **REGRAD**, v.10, n.1, p.402-417, out. 2017.

POLETTTO, J. A. Viabilidade Energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

RECCO, D.M. **Estudo da viabilidade de alternativas ao aterro sanitário e aproveitamento da matéria orgânica dos resíduos sólidos domiciliares**. 2014. 90p. Monografia (TCC) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

RIMA. Relatório de Impacto Ambiental. Projeto URE de Barueri. Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia, julho de 2012.

ROSSI, C.R. Potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos na região da Amesc, Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

SÃO PAULO. Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 16.03.2006.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Total costs of ownership**. Comparison incineration plant- landfill - technical co-operation project Bavaria - Sao Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor, 2006.

SÃO PAULO. Decreto nº 54.645, de 5 de agosto de 2009. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei nº 8.468, de 1976. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 6 ago. 2009.

SÃO PAULO. **Decreto nº 59113**, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/qualidade-ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/decreto-59113de230413.pdf>>. Acesso em: 02.out.2018.

SCHENEIDER, V. **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviço de saúde**. São Paulo: CLR Balieiro, 2002.

SEESP. São Bernardo implanta usina de incineração de lixo, 2012. Disponível em: <<http://www.seesp.org.br/site/imprensa/noticias/item/2679-s%C3%A3o-bernardo-implanta-usina-de-incinera%C3%A7%C3%A3o-de-lixo.html>>. Acesso em: 03.set.2018.

SELICANI, V. São Bernardo prorroga PPP do lixo por mais 180 dias. Metro Jornal, 2018. Disponível em: <<https://www.metrojornal.com.br/foco/2018/01/15/sao-bernardo-prorroga-ppp-lixo-por-mais-180-dias.html>> Acesso em: 04.set.2018.

SILVA, C.A.R. Geração de energia a partir de RSU, 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/CARLOSSILVA.pdf>> Acesso em: 03.set.2018.

SIMÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa**. 2011. 170p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SMA. Resíduos sólidos: Manual de boas práticas no planejamento. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2013/03/Manual-Boas-Praticas.pdf>>. Acesso em: 22.agosto.2018.

TOLMASQUIM, M.T. (Org). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **World population prospects, the 2017 revision**. 2017. Disponível em:<<https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>>. Acesso em: 18 set. 2018.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **Revision of the world urbanization prospects**. 2018. Disponível em:<<https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Acesso em: 18 set. 2018.

USINA verde: incineração de resíduos sólidos urbanos, com carga de composição similar ao RDF, evitando emissões de metano promovendo geração de eletricidade para o autoconsumo. 2005.

WP. **Ciclo de rankine**. 2014. Disponível em:<https://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle>. Acesso em: 20 set. 2018.