UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA
PROGRAMA EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

ESTUDO PROSPECTIVO DE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Dissertação de Mestrado

NATÁLIA CRISTINA LADEIRA

RIO DE JANEIRO
2013

ESTUDO PROSPECTIVO DE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Natália Cristina Ladeira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadores:

Juacyara Carbonelli Campos, D. Sc.

Estevão Freire, D. Sc.

Rio de Janeiro
2013

Ladeira, Natália Cristina.

Estudo prospectivo de tecnologias para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos / Natália Cristina Ladeira. - Rio de Janeiro, 2013. UFRJ/EQ 2013

122 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2013.

Orientadores: Juacyara Carbonelli Campos e Estevão Freire

1. Resíduos sólidos. 2. Aproveitamento energético. 3. Obtenção de energia. – Teses. I.Campos, Juacyara C. (Orient.); Freire, Estevão (Coorient.). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. III. Título

ESTUDO PROSPECTIVO DE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Natália Cristina Ladeira

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.).

Rio de Janeiro, 21 de Agosto de 2013.

_____

Prof^{a}. Dr^{a}. Juacyara C. Campos - EQ/UFRJ (Orientadora)

_____

Prof. Dr. Estevão Freire - EQ/UFRJ (Co-orientador)

_____

Prof. Dr. Claudinei de Souza Guimarães – EQ/UFRJ

_____

Prof. Dr. José Vitor Bomtempo Martins - EQ/UFRJ

_____

Prof. Dr. Fernando Altino Rodrigues – IQ/UERJ

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, aos meus pais que proporcionaram a educação necessária para obtenção desta conquista, a minha irmã pelo incentivo e ao meu noivo pelo apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença constante na minha vida, pelo auxílio nas minhas escolhas e por me confortar nas horas difíceis.

Aos professores Juacyara e Estevão pela orientação, atenção, dedicação e por todas as suas contribuições durante este trabalho.

Ao professor do IQ/UERJ, Fernando Altino pela enorme ajuda na reta final do trabalho, contribuindo grandiosamente para a conclusão da dissertação.

Aos meus queridos pais, Geraldo e Lúcia, minha irmã Priscila, que sempre me deram força para buscar meus objetivos.

Ao meu querido noivo e futuro esposo, além de super amigo Cleber pelo companheirismo, cumplicidade e dedicação constante. Obrigada pelos momentos de renúncia, apoio, paciência e encorajamento.

Aos meus colegas do mestrado, que me levaram a realizar essa especialização, e me ajudaram no possível para sua conclusão.

Às minhas colegas de trabalho Alexsandra, Camila e Júlia, que possibilitaram minhas necessárias ausências e pelas palavras incentivadoras.

Aos meus amigos e familiares de Volta Redonda, por sempre compreenderem minha ausência e mesmo que de longe sempre me enviaram apoio e incentivo.

Agradeço também a todos aqueles que, por questão de extensão, não foram citados neste trabalho, mas que colaboraram direta e/ou indiretamente para a concretização desta dissertação de mestrado.

RESUMO

LADEIRA, Natália Cristina. **Estudo prospectivo de tecnologias para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

A disposição e o reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos mobilizam a sociedade em busca de soluções ótimas sob o aspecto ambiental, social e econômico. Este estudo visa contribuir com a análise de tecnologias para obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, onde inicialmente é apresentada a situação dos resíduos no Brasil e no mundo, além de apresentar a atual situação dos resíduos sólidos perante a nova Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Também são apresentadas ao longo do trabalho as tecnologias atuais disponíveis para a obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, onde são disponibilizadas as vantagens e desvantagens dos métodos disponíveis. Para uma análise complementar, foi então realizado um monitoramento e prospecção tecnológica, através de busca de artigos na base de dados *Web of Science* e documentos de patentes em bases de patentes do INPI, brasileira e do USPTO, do escritório americano de patentes. O monitoramento e prospecção tecnológica realizada analisam a quantidade de documentos encontrados em todas as bases de dados pesquisadas e demais parâmetros como, ano de deposito, país de deposito, tipo de tecnologia utilizada e entre outros. Para finalizar foi realizado um estudo de caso na Usina Verde, uma usina protótipo localizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde é utilizada a tecnologia de incineração para obtenção de energia, analisando a tecnologia em questão e comparando com as premissas adotadas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Com a análise dos dados obtidos, conclui-se que o assunto abordado já está muito avançado em determinados países do mundo, porém em alguns países, tais como os países da Ásia, Brasil e demais países em desenvolvimento os estudos estão sendo ainda iniciados na tentativa de se aprimorar no aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos, o que pode ser comprovado com o estudo de caso da Usina Verde, onde uma usina protótipo está sendo utilizada na tentativa de implementar a tecnologia no país.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Aproveitamento energético. Obtenção de energia. Prospecção tecnológica. Biogás. Incineração.

ABSTRACT

LADEIRA, Natália Cristina. **Estudo prospectivo de tecnologias para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

The disposal and recycling of solid waste mobilize society in pursuit of optimal solutions in the environmental, social and economic. This study aims to contribute to the analysis of technologies for energy from municipal solid waste, which is initially presented the situation of waste in Brazil and the world, in addition to presenting the current situation of solid waste before the new National Waste Policy solids. Are also presented throughout the paper the current available technologies for obtaining energy from municipal solid waste, which are available the advantages and disadvantages of the available methods. For further analysis was then carried out monitoring and technological forecasting, through to search articles in the database Web of Science, and patent documents in patent databases of the INPI, Brazil and the USPTO, the U.S. patent office. Monitoring and technological prospecting carried analyze the amount of documents found in all databases searched and other parameters such as year of deposit, deposit of country, type of technology used and others. Finally we performed a case study on Green Plant a prototype plant located at the Federal University of Rio de Janeiro, where technology is used incineration for energy, analyzing the technology in question and comparing the assumptions adopted by the National Solid Waste. With the analysis of the data obtained, it is concluded that the subject matter is already very advanced in certain countries, but in some countries, such as countries in Asia, Brazil and other developing countries studies are still being undertaken in an attempt to enhance the energy recovery from solid waste, which can be proven with the case study of the Green mill, where a prototype plant is being used in an attempt to implement the technology in the country.

Palavras-chave: Solid waste. Energy use. Green energy. Technological forecasting. Biogas. Incineration

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO 4

2.1. OBJETIVO GERAL 4

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

2.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 4

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS 6

3.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos 8

3.1.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos no mundo 9

3.1.1.2. Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil 11

3.1.1.3. Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade do Rio de Janeiro 15

3.1.2. Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) 19

3.1.2.1. Itens gerais da PNRS 19

3.1.2.2. Aproveitamento de energia face à PNRS 22

3.1.3. Disposição Final, Alternativas de aproveitamento e Tratamento dos Resíduos Sólidos 23

3.1.3.1. Aterro Sanitário como Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos ... 25

3.1.3.2. Alternativas de aproveitamento dos Resíduos Sólidos 29

3.1.3.3. Incineração como Tratamento dos Resíduos Sólidos 31

3.1.3.4. Gaseificação 33

3.2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ... 34

3.2.1. Geração de Biogás 35

3.2.1.1. Aspectos Físico-Químicos do Biogás 36

3.2.1.2. Fatores que influenciam a geração do biogás 38
3.2.2. Incineração 43
3.2.3. Créditos de Carbono 47
3.2.4. Considerações sobre Aproveitamento Energético 48
3.3. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA 49
3.3.1. Patentes como Fonte de Informação 51
4. METODOLOGIA DE TRABALHO 52
4.1. MONITORAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA 52
4.1.1. Monitoramento tecnológico a partir de artigos – Web of Science 52
4.1.2. Monitoramento tecnológico de patentes 53
4.1.2.1. Base de dados do INPI 54
4.1.2.2. Base de dados do USPTO 55
4.2. ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA PILOTO EM UMA USINA DE INCINERAÇÃO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA OBTENÇÃO DE ENERGIA 56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 58
5.1. MONITORAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA 58
5.1.1. Monitoramento tecnológico a partir de artigos – Web of Science 58
5.1.1.1. Análise Macro 59
5.1.1.2. Análise Meso 61
5.1.1.3. Análise Micro 63
5.1.2. Análise de documentos de patentes da base de dados do INPI 64
5.1.2.1. Análise Macro 65
5.1.2.2. Análise Meso 66
5.1.2.3. Análise Micro 67
5.1.3. Análise de documentos de patentes da base de dados do USPTO 68

5.1.3.1. Análise Macro 69

5.1.3.2. Análise Meso 71

5.1.3.3. Análise Micro 71

5.2. DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA PROSPECÇÃO 72

6. ESTUDO DE CASO 73

6.1. LEVANTAMENTO DE DADOS DA USINA VERDE – UFRJ 73

6.1.1. A Tecnologia Usina Verde 76

6.1.2. Fluxograma de operação 78

6.1.3. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na Usina Verde 87

6.2. DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO 88

7. CONCLUSÕES 90

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxo dos Serviços de Limpeza Urbana conforme PNRS (SOLER, 2012)..... 6

Figura 3.2 - Distribuição da quantidade total de resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil (%) segundo (a) PNSB, 2008 e (b) ABRELPE, 2011. 12

Figura 3.3 – Geração de RSU (a) total em 2010 e 2011 no Brasil e (b) *per capita* em 2010 e 2011 no Brasil (ABRELPE, 2010 e 2011). 14

Figura 3.4 – Resíduso sólidos urbanos (a) totais coletados em 2010 e 2011 no Brasil e (b) *per capita* coletados em 2010 e 2011 no Brasil. (ABRELPE, 2010 e 2011)..... 15

Figura 3.5 – Quantidade de resíduo total coletado de 2005 a 2011 na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012)..... 17

Figura 3.6 – Quantidade de resíduo domiciliar coletado de 2005 a 2011 na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012). 17

Figura 3.7 - Corte esquemático de um aterro sanitário (BIDONE, 2007)..... 27

Figura 3.8 – Relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume (ALVES, 2000)..... 37

Figura 3.9 - Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário (EPE, 2012)..... 40

Figura 5.1 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por ano..... 59

Figura 5.2 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por país. 60

Figura 5.3 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por tecnologia utilizada. 63

Figura 5.4 – Distribuição das patentes coletadas no site do INPI por ano de publicação..... 66

Figura 5.5 – Distribuição das patentes publicadas no INPI por tecnologia utilizada..... 67

Figura 5.6 – Distribuição das patentes coletadas no site do USPTO por ano de publicação. ... 69

Figura 5.7 – Distribuição das patentes coletadas no site do USPTO publicadas por país. 70

Figura 5.8 – Distribuição das patentes publicadas no USPTO por tecnologia utilizada. 71

Figura 6.1 – Localização do CT Usina Verde. Fonte: Usina Verde (2012). 73

Figura 6.2 – Prédio de pré-tratamento dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012). 77

Figura 6.3 – Área de recepção dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012). 77

Figura 6.4 – Esteira de separação dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012). 78

Figura 6.5 – Fluxograma geral. Fonte: Elaboração própria..... 78

Figura 6.6 – Forno de Incineração. Fonte: Usina Verde (2012)..... 80

Figura 6.7 – Painel de Controle da unidade Usina Verde. Fonte: Usina Verde (2010). 80

Figura 6.8 – Caldeira de recuperação. Fonte: Usina Verde (2012). 81

Figura 6.9 – Caldeira e casa do turbo-gerador. Fonte: Usina Verde (2012). 82

Figura 6.10 – Conjunto turbo-gerador. Fonte: Usina Verde (2012)..... 82

Figura 6.11 – Sistema de purificação de gases. Fonte: Usina Verde (2012)..... 83

Figura 6.12 – Decantador e torre de refrigeração. Fonte: Usina Verde (2012)..... 84

Figura 6.13 – Vista geral da área industrial. Fonte: Usina Verde (2012)..... 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Geração de RSU em diferentes países e regiões do mundo (THEMELIS, 2007 e ABRELPE, 2011). 9

Tabela 3.2 – Composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos em alguns países, em % (ABRELPE, 2011; EPA, 2003). 10

Tabela 3.3 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008 (PNSB – IBGE, 2008). 11

Tabela 3.4 – Coleta total de resíduos na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012). 16

Tabela 3.5 – Resíduos domiciliares *per capita* na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012). 16

Tabela 3.6 – Distribuição dos resíduos sólidos urbanos encaminhados para diferentes formas de destinação no Brasil (ABRELPE, 2011). 24

Tabela 3.7 – Composição média do biogás (ALVES, 2000). 36

Tabela 3.8 – Quantidade de insumo para a produção de energia equivalente a 1 Nm³ de biogás (CARDOSO FILHO, 2001). 38

Tabela 3.9 – Limites de emissões para incineradores (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012). 45

Tabela 4.1 – Palavras-chave utilizadas na base de artigos científicos Web of Science. 53

Tabela 4.2- Critérios de busca utilizados na base de patentes INPI. 55

Tabela 4.3- Critérios de busca utilizados na base de patentes USPTO. 56

Tabela 5.1 - Critérios de busca utilizados na base de dados Web of *Science*, os respectivos números de publicações encontradas e o número de publicações relacionadas com o assunto. 58

Tabela 5.2 - Distribuição dos artigos por principais revistas de publicação. 62

Tabela 5.3 - Critérios de busca utilizados na base de patentes do INPI, os respectivos números de patentes publicadas e o número de patentes relacionadas com o assunto. 64

Tabela 5.4 – Comparação da quantidade de patentes solicitadas ao longo dos anos da base de patentes do INPI. 65

Tabela 5.5 - Critérios de busca utilizados na base de patentes do USPTO, os respectivos números de depósito de patentes encontrados e o número de depósitos de patentes relacionadas com o assunto. 68

Tabela 6.1 – Tabela de emissões medidas no CT Usina Verde com a comparação dos limites impostos pela Conama em 2009. Fonte: Usina Verde (2010). 85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

BIORIO – Pólo de Biotecnologia do Rio de Janeiro

CE – Comércio de Emissões

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPPE – Instituto Aberto Luiz Coimba de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

COPPETEC – Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos

CT – Centro Tecnológico

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

EPA – *Environmental Protection Agency*

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

ET – *Emissions Trade*

FGV – Fundação Getúlio Vargas

GEE's – Gases do Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito do Petróleo

GNV – Gás Natural Veicular

GWP – *Global-warming potential*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Implementação Conjunta

ICB – Índice Custo-Benefício

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPP – Índice de Preços ao Produtor

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

JI – *Joint Implementation*

kW – Kilowatt

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MME – Ministério de Minas e Energia

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

ONU – Organização das Nações Unidas

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PET – Poli(tereftalato de etileno)

pH – Potencial de Hidrogênio

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

ppm – Partes por milhão

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TWh – Terawatt-hora

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

USP – Universidade de São Paulo

USPTO – *United States Patent and Trademark Office*

1. INTRODUÇÃO

As características de consumo da sociedade moderna têm causado problemas de degradação ao meio ambiente devido a lançamentos em grande quantidade e de forma indiscriminada de dejetos líquidos, sólidos e gasosos, de origens comerciais, industriais ou residenciais ao meio ambiente. O aumento do consumo dos produtos industrializados, aliado ao constante crescimento econômico e demográfico dos grandes centros urbanos contribui para a geração acentuada de resíduos sólidos urbanos, tendo como consequência o aumento do potencial contaminante do meio ambiente. Paralelo a esse crescimento há também o aumento da preocupação com a disposição adequada dos mesmos em condições que minimizem os impactos no meio ambiente (MONTEIRO, 2003).

Caso o resíduo sólido urbano não tenha um tratamento adequado, poderá acarretar sérios danos ao meio ambiente, entre eles a poluição do solo, alterando suas características físico-químicas que representará uma séria ameaça à saúde pública tornando este ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças, além da contaminação às águas subterrâneas e do ar.

Portanto, é evidente a necessidade de se promover uma gestão adequada, a fim de prevenir ou reduzir os possíveis efeitos negativos sobre o meio ambiente e os riscos para a saúde humana. Levando em consideração esta necessidade, as medidas devem ser adotadas de modo a reduzir o abandono e a eliminação descontrolada dos resíduos (DIAS, 2000). A disposição incorreta ou o manuseio indevido de resíduos sólidos podem gerar sérios problemas para o meio ambiente e as pessoas envolvidas nesses processos.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduos sólidos como:

> “Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

Além do conceito de resíduos sólidos, a PNRS traz, como inovação, a definição de rejeitos:

> "Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada";

Os cuidados com o meio ambiente em relação aos impactos adversos da disposição de rejeitos envolvem a análise da migração dos contaminantes no solo bem como a garantia de estabilidade dos locais usados para a disposição. Desse modo, é fundamental a escolha adequada do espaço físico para disposição dos rejeitos e também das tecnologias para a destinação dos resíduos (OLIVEIRA & PASQUAL, 2004).

Segundo IBGE, em 2011 a população brasileira era de aproximadamente 193 milhões de habitantes, e segundo o estudo realizado também em 2011, pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) a população produzia diariamente cerca de 170 mil toneladas de resíduos sólidos, ou seja, cerca de 62 milhões de toneladas por ano.

Quanto à destinação final, os dados indicam que a grande maioria dos rejeitos no Brasil são dispostos em aterros sanitários, seguido pelos aterros controlados e posteriormente pelos "lixões". Uma pequena parcela dos resíduos gerados no Brasil é enviado para outras formas de destinação, como compostagem, reciclagem e incineração (ABRELPE, 2011). Hoje em dia ainda é utilizado no Brasil o aterro para destinação de resíduos sólidos, ou seja, resíduos que ainda possuem possibilidades de tratamento e aproveitamento são destinados a aterros quando poderiam ser enviados a destinação final mais adequada.

Devido aos danos causados ao meio ambiente pela destinação dos resíduos sólidos urbanos, diversos estudos vêm apontando alternativas para minimizar o problema. Dentre esses estudos, alguns mostram a possibilidade de obtenção de energia elétrica através dos resíduos sólidos, seja através do biogás ou da incineração. Com estas possibilidades seria possível minimizar dois problemas atuais: as conseqüências da destinação dos resíduos sólidos no solo e a busca de fontes alternativas para obtenção de energia.

A energia elétrica é um insumo fundamental para a satisfação de grande parte das necessidades do homem, estando presente na maioria das atividades humanas. Dessa forma, diversos estudos centraram-se na busca de processos de obtenção da energia na forma que

melhor se ajuste às demandas e necessidades da sociedade. Por isso, a utilização dos resíduos sólidos para obtenção de energia é hoje uma alternativa que vem sido implantada em alguns lugares do mundo (SIMMONS, 2006).

Na PNRS, é previsto a utilização de tecnologias que visem à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, porém é necessária a comprovação da sua viabilidade técnica e ambiental e que seja previsto a implantação de monitoramento de emissão de gases tóxicos que seja aprovado pelo órgão ambiental local.

Existem algumas tecnologias disponíveis para obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, entre elas estão a incineração e a degradação biológica (posterior geração de biogás). Na incineração, é utilizada a queima dos resíduos para o aproveitamento energético dos mesmos; porém, nesse caso existem emissões de gases tóxicos (como dioxinas e furanos), que devem ser controlados. Apesar dos incineradores possuírem lavadores para a redução das emissões, ainda é um fator preocupante nessa tecnologia, devido ao alto risco à saúde humana desses componentes (OLIVEIRA, 2000).

Já a degradação biológica é o método mais simples de obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, visto que consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição anaeróbica da matéria orgânica dos resíduos sólidos, por ação de micro-organismos que transformam os resíduos em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono (CO_2), água, metano (CH_4), sulfeto de hidrogênio (H_2S), mercaptanas e outros componentes (OLIVEIRA E ROSA, 2003).

O desenvolvimento tecnológico proveniente da ampliação do uso das fontes renováveis de energia complementar no Brasil é um dos princípios de motivação deste trabalho que buscará identificar a viabilidade de tecnologias inovadoras que apontem as possibilidades do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Portanto, este trabalho pretende apresentar algumas tecnologias já existentes e a busca de novas tecnologias e estudos para obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos.

2. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo prospectivo de tecnologias para aproveitamento de energia a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o panorama mundial da geração e utilização de resíduos sólidos urbanos através de busca de artigos e bases de patentes;

- Avaliar as tecnologias promissoras de aproveitamento energético através de prospecção tecnológica;

- Analisar uma planta piloto de uma unidade de aproveitamento energético dos resíduos sólidos.

2.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa dissertação está estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1: foi apresentada a introdução ao tema do trabalho;

- Capítulo 2: são apresentados os objetivos do trabalho, sendo divididos em objetivo geral e objetivos específicos. Além disso, apresenta também a estrutura do trabalho;

- Capítulo 3: é apresentada uma revisão bibliográfica que abrange os seguintes itens: resíduos sólidos urbanos, formas de destinação, aproveitamento e tratamento dos resíduos sólidos urbanos, disposição de rejeitos, aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, créditos de carbono e prospecção tecnológica;

- Capítulo 4: é apresentada a metodologia de trabalho mostrando como serão elaborados os resultados apresentados;

- Capítulo 5: são apresentados os resultados obtidos para o monitoramento e prospecção tecnológica nos artigos, grupos de pesquisa e bases de patentes;
- Capítulo 6: é apresentado o estudo de caso da Usina Verde e a discussão dos dados obtidos;
- Capítulo 7: são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões de estudos futuros;

Por fim, serão relacionadas as referências bibliográficas e posteriormente ao anexos referentes as consultas realizadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

Dentre todos os tipos de resíduos, os resíduos sólidos merecem destaque, uma vez que representam uma substancial parcela dentre todos os resíduos gerados, e quando mal gerenciados, tornam-se um problema sanitário, ambiental e social. O conhecimento de algumas características dos resíduos permite o correto gerenciamento dos mesmos, sendo as mais importantes para conhecimento: as fontes, os tipos de resíduos, os dados da sua composição e da sua taxa de geração (KGATHI e BOLAANE, 2001).

A PNRS diferencia resíduos sólidos e rejeitos, com o objetivo do estabelecimento de um sistema de hierarquia da gestão de resíduos sólidos voltado ao aproveitamento de recursos. A gestão de resíduos é um processo composto de sistemas conectados, que só funcionam adequadamente quando integrados; com isso uma nova fase deverá ser iniciada na execução dos serviços de limpeza urbana. A Figura 3.1 apresenta o novo fluxo dos serviços de limpeza que deverá ser adotado com base na PNRS.

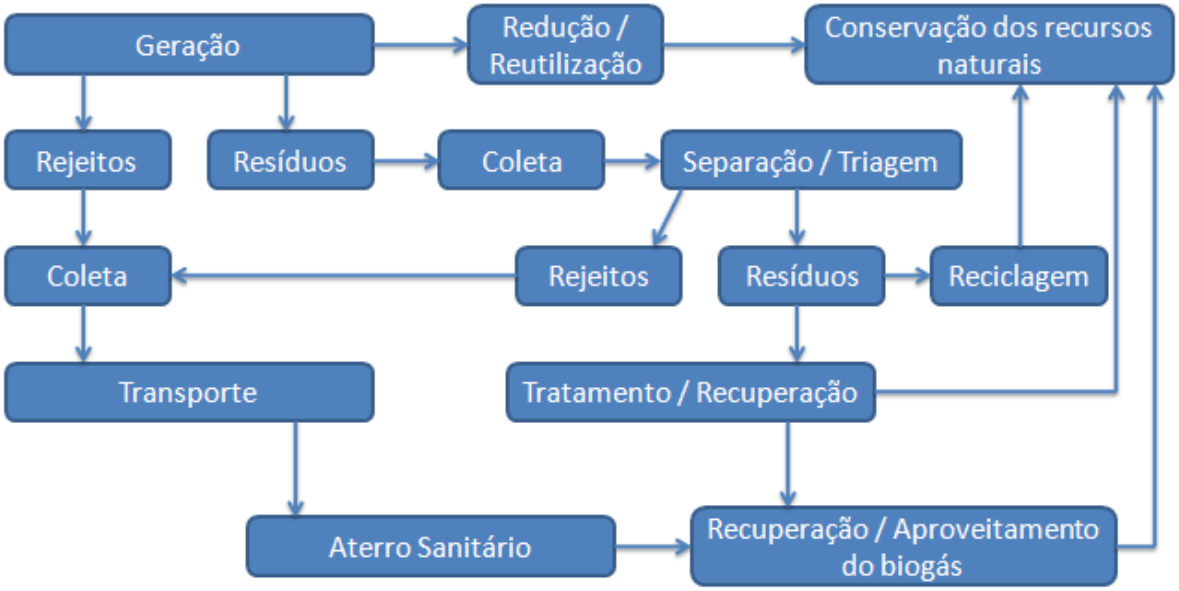


Figura 3.1 – Fluxo dos Serviços de Limpeza Urbana conforme PNRS (SOLER, 2012).

Além da separação dos conceitos resíduos e rejeitos, a PNRS classifica os resíduos sólidos quanto à sua origem em:

a) Resíduos Domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

b) Resíduos de Limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

c) Resíduos Sólidos Urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";

d) Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";

e) Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";

f) Resíduos Industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

g) Resíduos de Serviços de Saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

h) Resíduos da Construção Civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) Resíduos Agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) Resíduos de Serviços de Transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) Resíduos de Mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Quanto à periculosidade, a PNRS classifica os tipos de resíduos em:

a) Resíduos Perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) Resíduos Não Perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

3.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos nos meios urbanos e a necessidade de sua disposição final são uns dos mais sérios problemas econômicos e ambientais enfrentados, seja nos países ricos ou nos países em desenvolvimento. A atitude a ser tomada requer um sistema de gerenciamento e procedimentos otimizados, necessitando do uso de tecnologias mais limpas nas produções existentes (FAVRETTO, 2011).

As características dos resíduos sólidos produzidos pelas comunidades variam essencialmente em função de fatores culturais e econômicos. A característica econômica predominante de uma municipalidade como essencialmente agrícola, comercial ou industrial leva a geração de resíduos com diferentes composições. O poder aquisitivo de cada comunidade, e portanto, o acesso dos habitantes a determinados bens de consumo, bem como a própria cultura de consumo de cada localidade resultarão em diferenças qualitativas e quantitativas dos resíduos produzidos. A cultura de aproveitamento máximo das sobras alimentares e embalagens também contribuem para esses contrastes.

Em 2000, estudos apontavam que havia uma tendência da quantidade de matéria orgânica aumentar, à medida que a renda da população diminuísse. Havia também uma tendência que mostrava que a medida que a renda dos países diminui o teor de materiais recicláveis também diminui, como papel, plástico, vidro e metais (HOOMWEG, 2000). Em estudo realizado em 2008, no Plano Nacional de Saneamento Básico, foi apontado que as tendências foram mantidas, porém com a observação de que nos países em desenvolvimento, como a renda da população tem aumentado, o cenário nesses países vem sendo alterado, passando assim a conter uma maior quantidade de materiais recicláveis e uma menor quantidade de matéria orgânica (PNSB, 2008).

O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de destinação final adequado para cada tipo de resíduo, sendo que as características mais importantes para conhecimento são: poder calorífico, pH, composição química (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e carbono) e relação teor de carbono/nitrogênio, sólidos totais fixos, sólidos voláteis e teor de umidade (REICHERT, 1999).

Outro dado essencial para conhecimento é a composição gravimétrica, pois apresenta o percentual de cada componente presente nos resíduos, como matéria orgânica, metais ferrosos, metais não ferrosos, papel, papelão, plásticos, trapos, vidro, borracha, couro, madeira, entre outros (BUENROSTRO e BOCCO, 2003).

3.1.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos no mundo

Em 2007, foi estimada a produção mundial dos resíduos sólidos urbanos e chegaram a um valor aproximado de 1,8 bilhões de toneladas produzidas por ano (THEMELIS, 2007). Ainda segundo Themelis (2007), de toda a produção de resíduos, os EUA produzem cerca de 387 milhões de toneladas, o que significa que somente os EUA geram um pouco mais do que 20% de todo os resíduos sólidos urbanos gerados no mundo. Esses números refletem a grande diferença entre a quantidade de RSU produzido por habitante em alguns lugares do mundo, como mostrado na Tabela 3.1 (THEMELIS, 2007).

Tabela 3.1 – Geração de RSU em diferentes países e regiões do mundo (THEMELIS, 2007 e ABRELPE, 2011).

PAÍSES	***kg/dia.hab.***
EUA	3,26
União Européia e Japão	1,63
Países em desenvolvimento	0,55
Brasil	1,1

Uma das explicações para a diferença encontrada na Tabela 3.1 é o poder de compra da população. Há uma tendência de se gerar mais resíduos nos países onde a população tem um maior poder de compra (SIMMONS, 2006). Outro ponto importante é que em países desenvolvidos existe um maior consumo de produtos industrializados, que são produtos que

possuem embalagens e outros itens que após o consumo precisam ser descartados (SANTOS, 2011). Na Tabela 3.2 é apresentada a composição gravimétrica do RSU em alguns países do mundo.

Tabela 3.2 – Composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos em alguns países, em % (ABRELPE, 2011; EPA, 2003).

COMPOSTO / ***PAÍS***	*Matéria Orgânica*	*Vidro*	*Metal*	*Plástico*	*Papel*	*Rochas / Solos*	*Borracha*	*Madeira*	*Outros*
Brasil	51,4	2,4	2,9	13,5	13,1	-	-	-	16,7
Canadá	28,7	4,4	10,4	8,0	37,7	-	-	-	10,3
Japão	42,3	2,9	5,1	11,2	25,0	-	5,5	-	8,0
Suécia	37 – 45	4 - 7	2 - 5	6 - 8	35 - 40	-	1 - 2	1,0	4 - 6
EUA	23,8	5,3	8,0	11,3	35,2	-	7,4	5,8	3,4
México	52,4	5,9	2,9	4,4	14,1	-	1,5	-	18,9
Cingapura	38,8	1,1	3,2	5,8	20,6	2,7	0,9	8,9	18,0
China	52,9	2,4	0,7	7,9	5,7	18,9	2,5	6,7	2,3
Índia	41,8	2,1	1,9	3,9	5,7	40,3	3,5	-	0,8
Quênia	53,0	2,1	2,3	12,6	16,8	-	2,6	-	10,6
Portugal	35,5	5,4	2,6	11,5	25,9	12,7	3,4	0,75	2,25
Reino Unido	20,2	9,3	7,3	10,2	37,1	6,8	2,1	-	7,0

A Tabela 3.2 mostra que na composição dos RSU de países em desenvolvimento, como Brasil, México, China e Quênia, onde o poder aquisitivo da população é menor, a quantidade de matéria orgânica é elevada e a quantidade de material reciclável baixa se comparada aos países desenvolvidos, como Estados Unidos, Canadá e o Reino Unido. Esses dados comprovam a tendência do aumento da quantidade de matéria orgânica à medida que a renda da população diminui e o aumento da quantidade de materiais recicláveis à medida que a renda da população aumenta (SANTOS, 2011). Essa tendência reflete a mudança da sociedade à medida que os países vão enriquecendo, já que estes se tornam mais urbanizados, modificando a composição dos seus resíduos (SANTOS, 2011).

3.1.1.2. Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

O grande desafio brasileiro de se gerenciar os resíduos sólidos urbanos que a cada dia é maior, tem grande relação com o aumento da população e sua maior concentração em regiões urbanas (BRITO FILHO, 2005). Exemplificando, a Tabela 3.3 apresenta a estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.

Tabela 3.3 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008 (PNSB – IBGE, 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	100,00	183.481,50

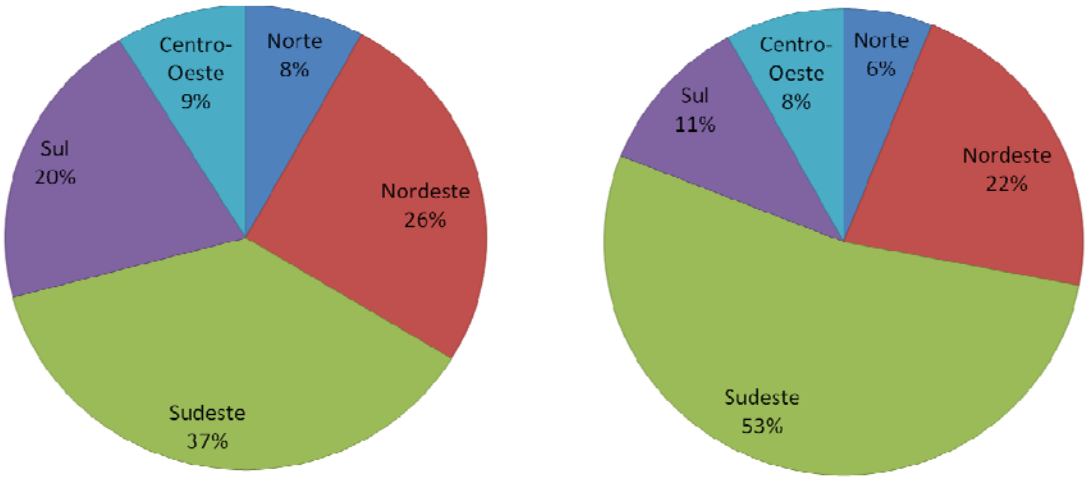
Pode ser observado pela Tabela 3.3, que segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008) foram coletados em 2008 no Brasil 183.481,50 toneladas de resíduos sólidos por dia e que aproximadamente metade do que foi produzido foi composto de matéria orgânica (51,4 %). Uma alternativa para esse tipo de resíduo seria o reaproveitamento como adubo em leiras de compostagem, porém essa prática não é viável em centros urbanos devido às desvantagens do método, como necessidade de grandes áreas, odor desagradável, destinação do produto da compostagem.

Além disso, 31,9 % dos resíduos poderiam ser reciclados (alumínio, plásticos, papel, aço, metais e vidro) para produção de novos materiais ou reutilizado em outras finalidades

dentro do consumo humano, visto que o objetivo do processo de reciclagem é a reutilização de materiais descartados a fim de aumentar a sua vida útil. A estrutura logística para a realização adequada da reciclagem necessita ser aprimorada, para que esses materiais cheguem ao local apropriado para a reciclagem. Além disso, há a necessidade de realizar a separação do material, pois ainda não existe uma coleta seletiva eficiente, além do baixo retorno no preço a ser vendido o material reciclado.

O estudo de 2011 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostrou que existe uma geração de aproximadamente 62 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos, ou seja, aproximadamente 170 mil toneladas por dia. (ABRELPE, 2011).

Comparando os estudos da PNSB de 2008 e da ABRELPE de 2011, pode-se verificar que os números levantados da quantidade total de resíduos sólidos urbanos coletados não são coincidentes. Na Figura 3.2 é apresentada a distribuição dos resíduos sólidos urbanos coletados nas regiões do Brasil com dados provenientes dos dois estudos apresentados anteriormente.



(a) (b)

Figura 3.2 - Distribuição da quantidade total de resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil (%) segundo (a) PNSB, 2008 e (b) ABRELPE, 2011.

A diferença de valores encontrados pode ser explicada pela possibilidade de haver duplicidade nos valores informados, haja vista que os dados referentes aos resíduos no Brasil são escassos, ao mesmo tempo que os que existem são conflitantes entre si. Apesar de se

apresentarem em uma curva crescente e contínua, os investimentos em estudos e desenvolvimento de pesquisas na área de resíduos ainda são muito incipientes, explicando-se assim a atual dificuldade na produção e obtenção de dados relacionados aos resíduos sólidos. Além disto, mais especificamente no caso do Brasil, pode-se dizer também que a extensão do nosso território, juntamente com a quantidade de municípios, mais de 5500, são fatores que dificultam o levantamento de dados e o estudo detalhado dos resíduos sólidos urbanos no nosso país.

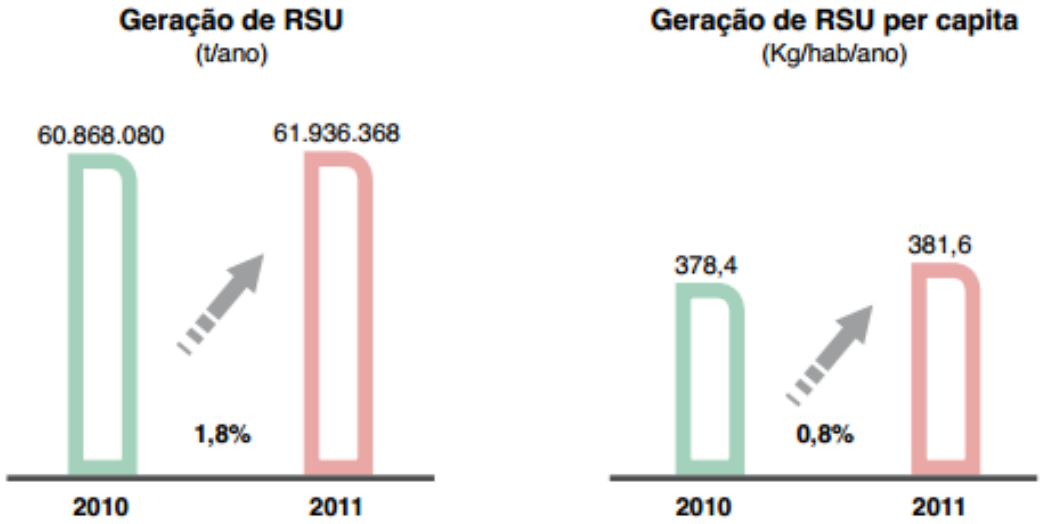
Nos levantamentos comparados, a metodologia que cada estudo utiliza para o levantamento dos dados é diferente, fazendo assim com que os valores finais também sejam. Essa observação fica ainda mais evidente nas citações sobre resíduo coletado e resíduo destinado, não deixando claro muitas vezes quando os cálculos e gráficos estão apresentando os resultados obtidos através dos dados dos resíduos coletados e quando estão apresentando resultados obtidos através dos dados dos resíduos destinados. Ainda comparando os dois estudos apresentados anteriormente, o estudo mais recente do PNSB é de 2008, porém foi realizado um estudo simplificado e por isso alguns dados utilizados em seus números e conclusões apresentadas foram retirados do seu estudo mais antigo realizado em 2000. Já a ABRELPE realizou um estudo completo em 2011.

Como principal fonte de dados e referência bibliográfica para o panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil será utilizado, no presente trabalho, o documento da ABRELPE que é publicado anualmente, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil do ano 2011 (ABRELPE, 2011). A escolha deste documento como referência baseou-se em de dois fatores principais, o histórico de 10 anos de publicações deste panorama, e a quantidade de dados presentes nestes relatórios quando comparamos com as outras referências presentes na literatura. Além deste documento, alguns dados da PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico), realizada pelo IBGE em 2000, também foram utilizados, porém os mais de 10 anos de sua publicação é um fator limitante na sua utilização, já que os dados tornam-se obsoletos. Em 2008, o IBGE realizou a sua mais recente PNSB, porém a mesma fornece apenas parte dos dados que foram levantados na PNSB de 2000, visto que a pesquisa realizada em 2008 teve foco principal no saneamento básico e abastecimento de água, apresentando assim limitações na quantidade de dados levantados.

No Brasil, a geração de RSU no ano de 2011 foi de aproximadamente 62 milhões de toneladas, equivalendo a um crescimento de 1,8% em relação ao ano de 2010, que teve uma produção anual próxima dos 61 milhões de toneladas de RSU. A taxa de crescimento da

geração de RSU em 2011 foi superior a taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9% no mesmo período de comparação, porém a taxa de crescimento da geração de RSU foi menor do que a comparação com os anos anteriores (ABRELPE, 2011).

Na Figura 3.3 é apresentado o crescimento da geração de RSU no Brasil total e *per capita* do ano de 2010 para 2011.

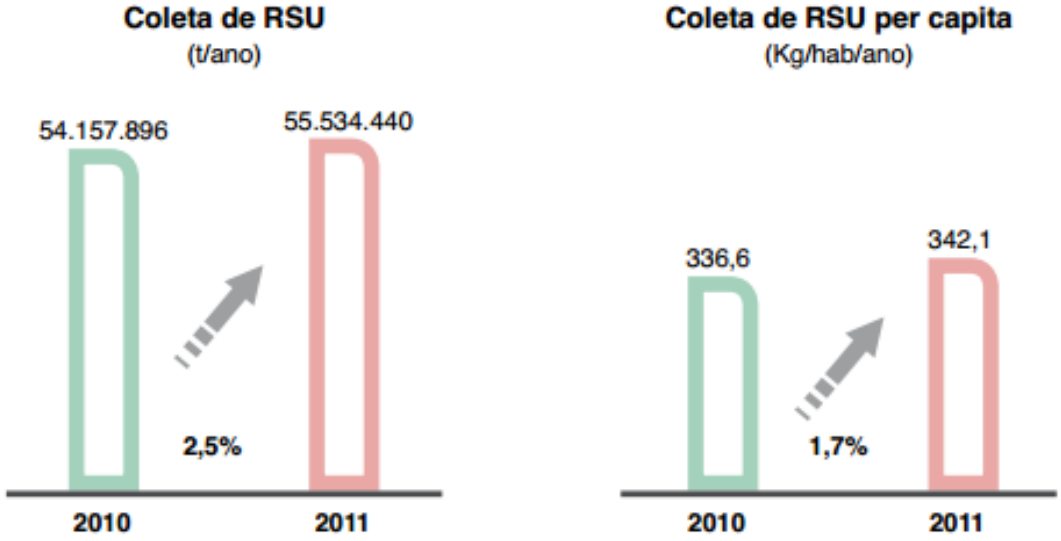


(a) (b)

Figura 3.3 – Geração de RSU (a) total em 2010 e 2011 no Brasil e (b) *per capita* em 2010 e 2011 no Brasil (ABRELPE, 2010 e 2011).

O crescimento populacional pode explicar apenas uma pequena parte deste crescimento acentuado da produção dos RSU no ano de 2011, visto que a taxa de crescimento populacional foi menor que a taxa de crescimento da geração de RSU. Porém, como a taxa de crescimento da geração de RSU foi menor se comparada aos anos anteriores, pode-se dizer que é um dos indicadores do aumento da preocupação dos interesses ambientais e de todo os esforços feitos neste sentido, principalmente o esforço de reduzir os resíduos produzidos, seguindo a política de gerenciamento dos resíduos e a PNRS.

Deve-se também levar em consideração que a cobertura da coleta regular dos resíduos sólidos vem crescendo continuamente, tendo alcançando em 2011 mais de 90% do total de domicílios, sendo que na área urbana a coleta supera o índice de 98%, porém a coleta em domicílios localizados em áreas rurais ainda não atinge 33% (ABRELPE, 2011). Na Figura 3.4 é apresentado o crescimento da coleta de RSU no Brasil do ano de 2010 para 2011.



(a) (b)

Figura 3.4 – Resíduso sólidos urbanos (a) totais coletados em 2010 e 2011 no Brasil e (b) *per capita* coletados em 2010 e 2011 no Brasil. (ABRELPE, 2010 e 2011)

Seguindo a tendência já revelada em 2010, de aumento na abrangência dos serviços de coleta, a comparação entre as quantidades de RSU coletados nos anos de 2011 e 2010, mostrados na Figura 3.5, indicam de forma expressiva que o país caminha para universalizar os serviços de coleta, pois na comparação entre o índice de crescimento da geração com o índice de crescimento da coleta, percebe-se que este último foi ligeiramente maior do que o primeiro, o que demonstra uma ampliação na cobertura dos serviços de coleta de RSU no país, rumo à universalização dos mesmos (ABRELPE, 2011).

3.1.1.3. Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade do Rio de Janeiro

Na Cidade do Rio de Janeiro foram recolhidos, em 2011, cerca de 3,99 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo que aproximadamente 1,74 milhões de toneladas (43,53% do total) corresponde ao resíduo domiciliar (COMLURB, 2012). Na Tabela 3.4 pode-se observar o aumento da quantidade de resíduos coletados na cidade do Rio de Janeiro e na Tabela 3.5 são apresentados os valores de resíduo *per capita* de 2005 a 2011.

Tabela 3.4 – Coleta total de resíduos na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012).

DADOS	*2005*	*2006*	*2007*	*2008*	*2009*	*2010*	*2011*	
POPULAÇÃO	**5.894.349**	**5.909.59**	**5.909.59**	**5.940.077**	**5.955.32**	**5.970.56**	**5.993.553**	
COLETA DE RESÍDUO	**Ton / Ano**	**Ton /**	**Ton /**	**Ton / Ano**	**Ton /**	**Ton /**	**Ton / Ano**	**%**
Domiciliar	1.465.993	1.515.79	1.519.33	1.566.559	1.582.95	1.651.90	1,737.694	43,53
Coleta Seletiva				10.337	8.470	8.292	8.029	0,20
Público	1.141.511	1.186.45	1.236.92	1.201.834	1.063.06	1.170.83	1.143.817	28,65
Hospitalar	15.089	14.758	14.324	13.336	7.772	6.667	4.897	0,12
G. Geradores (Est. De Transf.)	270.336	274.629	253.046	254.012	146.925	102.032	125.304	3,14
G. Geradores (CTR N. Iguaçu)	0	0	0	0	145.346	226.375	226.375	5,67
Outros*	88.165	126.229	102.327	109.431	28.492	26.257	79.943	2,00
Poda de Árvores	-	198.513		4.357	10.326	14.900	22.149	0,55
Remoção Gratuita	90.575	99.504	78.451	126.467	112.222	124.006	111.485	2,79
Emergência					15.974	35.160	42.782	1,07
Res. da Const. Civil – ATT Missões			234.881	246.879	261.690	254.588	70.137	1,76
Res. da Const. Civil – Direto nos				493.680	298.150	483.378	419.225	10,50
RESÍDUO TOTAL COLETADO	**3.071.669**	**3.415.88**	**3.439.29**	**4.026.931**	**3.681.39**	**4.104.39**	**3.991.837**	**100,00**

Outros* = Resíduos de: Órgãos Públicos, Industriais, Particulares, Demolições, Caramujos, Pneus.

Tabela 3.5 – Resíduos domiciliares *per capita* na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012).

ANO	*POPULAÇÃO*	*AUMENTO EM RELAÇÃO A 2005 (%)*	*RESÍDUO PER CAPITA (kg/hab.dia)*	*AUMENTO EM RELAÇÃO a 2005(%)*
2005	5.894.349	-	0,681	-
2006	5.909.592	0,26	0,703	3,23
2007	5.909.592	0,26	0,704	3,38
2008	5.590.077	0,78	0,723	6,17
2009	5.955.324	1,03	0,728	6,90
2010	5.970.562	1,29	0,758	11,31
2011	5.993.553	1,68	0,794	16,59

Por meio das Tabelas 3.4 e 3.5, pode ser verificado o considerável aumento da quantidade coletada de resíduos sólidos domiciliares, assim como o aumento da população da cidade do Rio de Janeiro. Para melhor análise dos números são apresentadas as Figuras 3.5 e 3.6 com gráficos do crescimento da coleta total de resíduos e da coleta de resíduos domiciliares.

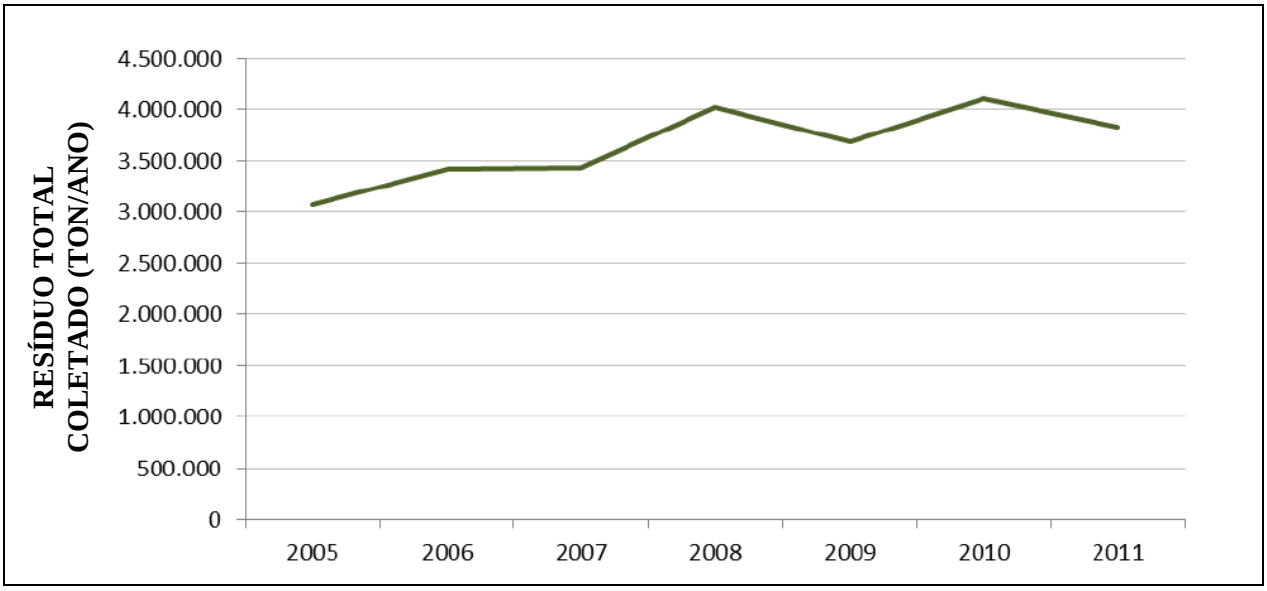


Figura 3.5 – Quantidade de resíduo total coletado de 2005 a 2011 na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012).

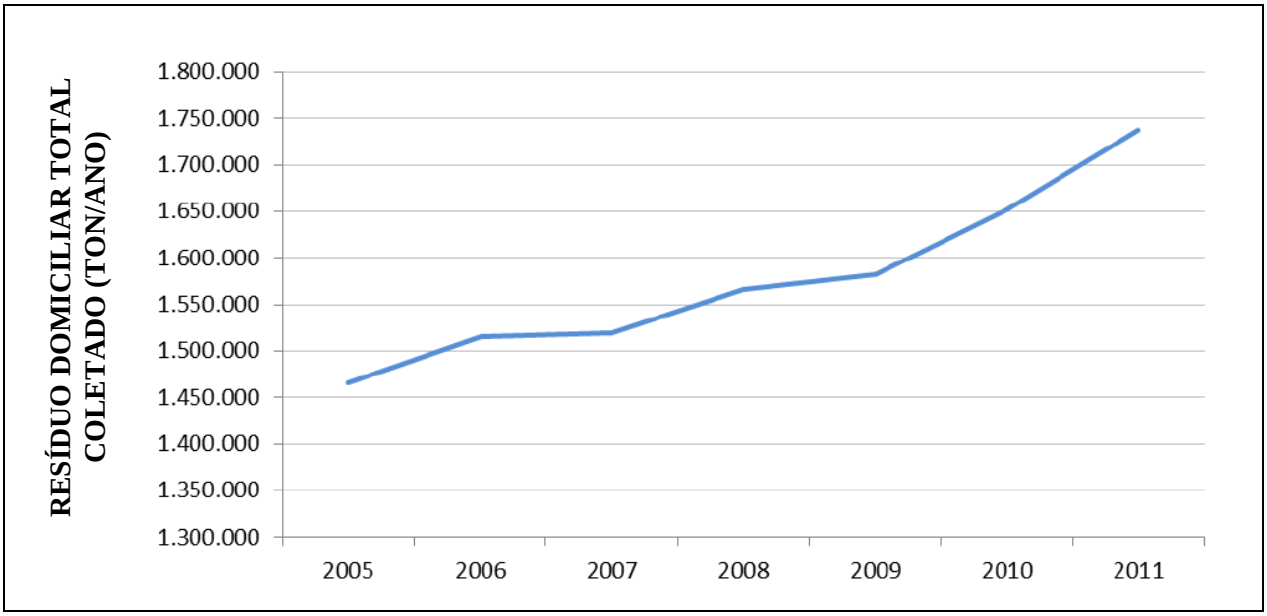


Figura 3.6 – Quantidade de resíduo domiciliar coletado de 2005 a 2011 na cidade do Rio de Janeiro (COMLURB, 2012).

Pela observação das Tabelas 3.4 e 3.5 e Figuras 3.5 e 3.6, podem-se inferir algumas considerações (COMLURB, 2012):

- O resíduo domiciliar *per capita* no Rio de Janeiro (média anual) variou de 0,681 kg/hab.dia em 2005 para 0,794 kg/hab.dia em 2011, um incremento de 16,59% em relação a 2005. A população, segundo projeções do IPP e dados da Fundação IBGE, aumentou apenas 1,68% neste período. Este aumento da geração de resíduo domiciliar por pessoa por dia pode ter sido consequência do incremento das condições econômicas dos munícipes.

- Em 2011, 29,9% do resíduo total foi depositado nas avenidas, ruas e praças – é o chamado Resíduo Público – que corresponde a de 1,14 milhões de toneladas por ano. Embora a COMLURB disponha de um serviço de remoção gratuita de bens móveis e inservíveis, justamente para evitar que estes resíduos sejam atirados às ruas, ainda é alta a quantidade desses resíduos.

- A coleta de grandes geradores, considerando os veículos que descarregaram nas Estações de Transferência da COMLURB e no Aterro de Nova Iguaçu, representou 8,81% do total de resíduos coletados em 2011, e um aumento de 7,09% em relação ao valor do mesmo componente em 2010, demonstrando o empenho das Gerências Operacionais e de Fiscalização da COMLURB em manter os grandes geradores sob controle.

- A construção civil (e do governo) é um grande contribuinte do sistema, conduzindo aos aterros da COMLURB, em 2011, quase 490 mil toneladas de entulhos e materiais assemelhados (cerca de 12,79% do resíduo total). Estes resíduos poderiam ser aproveitados, após beneficiamento, como material para estradas e vias urbanas, para determinados materiais de construção e para recobrimento de aterros sanitários de resíduos sólidos ou, ainda, terem sua disposição em locais especiais, como cavas de pedreiras.

- A coleta seletiva, os resíduos hospitalares, a poda de árvores, as remoções emergenciais e outros totalizam cerca de 158 mil toneladas, ou seja, 4,13% do total geral.

- A coleta de resíduo hospitalar foi a menor em 2011, comparada a anos anteriores. Este decréscimo pode ser atribuído à crescente e positiva segregação dos resíduos infectantes do resíduo comum, nos hospitais municipais.

3.1.2. Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)

Criada em 02 de Agosto de 2010, a Lei 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos que regula os "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."

A Lei 12.305/2010, com 57 artigos, fixa os parâmetros para que a sociedade e o Estado passem a dar o tratamento adequado aos resíduos sólidos. De acordo com o texto, a nova lei especifica as diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive, os perigosos, dispondo sobre as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis nesse novo gerenciamento dos resíduos.

3.1.2.1. Itens gerais da PNRS

A Lei 12.305/2010 se aplica às pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. Um dos princípios estipulados pela por essa lei é a responsabilidade compartilhada, onde o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes devem implantar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida de todo produto. Por ciclo de vida do produto deve se entender a série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final do produto.

A PNRS também institui a obrigatoriedade de se fazer a coleta seletiva, ou seja, a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição, porém o sucesso desta nova prática depende de um conjunto de mecanismos e procedimentos que serão regulamentados posteriormente para que possam garantir à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos.

A PNRS passa a adotar os padrões sustentáveis de produção e consumo, ou seja, a produção e consumo de bens e serviços de forma a atender às necessidades das atuais gerações

e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras.

Essa produção sustentável se apoia no conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, a lei estabelece um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos adota os seguintes princípios:

a) a prevenção e a precaução, que impõe uma série de condutas ao Poder Público, no sentido de prevenir a ocorrência de danos ambientais;

b) o poluidor-pagador e o protetor-recebedor, onde o poluidor-pagador tem como primordial objetivo imputar ao poluidor o custo financeiro pela poluição que ele tiver causado ao meio ambiente, ou seja, à ação de poluir, cabe sempre e invariavelmente uma devida e necessária reação, que é o custo correspondente ao dano causado. Ao poluidor-pagador é imposta a obrigação de recuperar ou indenizar os danos causados ao meio ambiente. Já o protetor-recebedor, ou seja, aquele que protege o meio ambiente em benefício da coletividade deve receber como contraprestação uma compensação financeira como incentivo ao serviço prestado. Tal remuneração em geral é concedida através de redução de alíquotas de IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano, isenção de ITR – Imposto Territorial Rural, ou redução de alíquotas de ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços. No caso do ICMS a compensação já foi denominada de ICMS Ecológico ou ICMS Verde;

c) a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

d) o desenvolvimento sustentável, que prega a coleta seletiva, a reciclagem de resíduos, incluindo, ainda, a produção de embalagens que devem propiciar a reciclagem e reutilização;

e) a eco-eficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos

naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

f) a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

g) a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que envolve ações de todos os envolvidos no ciclo de vida dos produtos, ou seja, todos terão responsabilidade – fabricantes, comerciantes, consumidores e poder público;

h) o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

i) o respeito às diversidades locais e regionais;

j) o direito da sociedade à informação e ao controle social;

k) a razoabilidade e a proporcionalidade, que é o princípio que determina a proibição de excesso, devendo ser sempre levada em conta a extensão do dano e o prejuízo sofrido pelo meio ambiente. A razoabilidade e a proporcionalidade devem sempre pautar e alicerçar os atos e as decisões administrativas e judiciais, porque servem como moderadores para que abusos sejam evitados.

A preocupação da população e seus representantes nos governos com o descarte irregular de resíduos sólidos e demais impactos que os resíduos podem causar ao meio ambiente vêm aumentando a cada dia, porém é uma preocupação iniciada a alguns anos, e desde então vem se tentando elaborar diversas legislações para que o impacto ao meio ambiente seja reduzida.

Portanto, um dos objetivos fundamentais estabelecidos pela Lei 12.305 é a ordem de prioridade para a gestão dos resíduos, que deixa de ser voluntária e passa a ser obrigatória: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de maneira a assegurar a proteção ao meio ambiente e a saúde pública.

Outras legislações federais de interesse que se relacionam com a PNRS são:

→ Resolução CONAMA número 005, de 31 de março de 1993 – Dispõe sobre o tratamento de resíduos gerados em estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários.

→ Lei ordinária 787, de 1997 – Dispõe sobre o Programa de Prevenção de Contaminação por Resíduos Tóxicos, a ser promovido por empresas fabricantes de lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista e dá outras providências.

→ Resolução CONAMA número 237, de 19 de dezembro de 1997 – Estabelece norma geral sobre licenciamento ambiental, competências, listas de atividades sujeitas a licenciamento, etc.

→ Resolução CONAMA número 257, de 30 de junho de 1999 – Define critérios de gerenciamento para destinação final ambientalmente adequada de pilhas e baterias, conforme especifica.

→ Resolução CONAMA número 358/2005 – Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Esta resolução visa aprimorar, atualizar e complementar os procedimentos contidos nas Resoluções CONAMA número 005/93 e 283/01 além de estender as exigências às demais atividades que geram resíduos de serviços de saúde.

3.1.2.2. Aproveitamento de energia face à PNRS

A PNRS prevê a utilização das tecnologias que visam à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, porém deve ser comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e deve ser implantado um programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

No texto da PNRS não é abordado sobre as tecnologias já disponíveis para a recuperação energética, porém segundo Oliveira (2000) a incineração e a degradação biológica são basicamente as duas formas de produzir energia elétrica a partir de resíduos sólidos, não afirmando, portanto que sejam as únicas ou melhores tecnologias disponíveis.

Ao longo desse trabalho serão abordadas em detalhes as duas tecnologias citadas, a incineração e degradação biológica (biogás), como tecnologias para recuperação energética de resíduos sólidos.

3.1.3. Disposição Final, Alternativas de aproveitamento e Tratamento dos Resíduos Sólidos

Até certo momento crítico da História, a velocidade de geração de resíduos poluentes era inferior à velocidade de sua assimilação natural pelos ambientes regionais. Deste modo, bastava afastá-los das áreas de convívio para que não mais representassem potencial de depreciação da qualidade de vida das comunidades por geração de macro e microvetores, incêndios, odores desagradáveis, poluição das águas superficiais e subsuperficiais e depreciação paisagística.

Devem-se levar em consideração algumas informações para que se consiga gerenciar corretamente os resíduos sólidos (BRITO FILHO, 2005):

(i) quantidade de resíduo produzida;

(ii) composição do resíduo;

(iii) onde e como o resíduo é disposto e qual a disponibilidade de novas áreas;

(iv) impactos ambientais e sociais que os resíduos causam;

(v) as oportunidades que o reaproveitamento dos resíduos pode viabilizar.

Desta forma, as diversas rotas existentes para destinação, disposição final ou aproveitamento dos resíduos sólidos podem ser hierarquizadas (BRITO FILHO, 2005).

A Tabela 3.6 apresenta os dados da distribuição de resíduos sólidos urbanos destinados no Brasil, obtidos no levantamento realizado pela ABRELPE em 2011.

Tabela 3.6 – Distribuição dos resíduos sólidos urbanos encaminhados para diferentes formas de destinação no Brasil (ABRELPE, 2011).

DESTINO FINAL	***%***
Aterro Sanitário	58,1
Aterro Controlado	21,0
Vazadouros a céu aberto (Lixão)	17,7
Unidade de compostagem	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	1,4
Unidade de incineração	0,7
Outros	0,3

A Tabela 3.6 apresenta, em termos percentuais, as modalidades de destinação final de RSU praticadas no Brasil em 2011 e pode-se verificar que 58,1 % dos RSU são destinados para aterros sanitários, porém ainda é preocupante que aproximadamente 39% sejam ainda destinados de maneira inadequada, visto que os aterros controlados pouco se diferenciam de lixões, uma vez que ambos não possuem o conjunto de sistemas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Outra informação que pode se retirar da Tabela 3.6 é a pouca utilização da compostagem, reciclagem e incineração como métodos para destinação, aproveitamento e/ou tratamento dos resíduos, visto que os três métodos somados somam aproximadamente 3%.

Essa informação para uma baixa utilização dos métodos citados pode ser explicada pelos fatores negativos de cada tratamento. A compostagem não é viável em centros urbanos devido à necessidade de grandes áreas, liberação de odor desagradável, destinação do produto da compostagem. Para a reciclagem existem enormes dificuldades, como a logística para que esses materiais cheguem ao local apropriado para a reciclagem, necessidade de realizar a separação do material, além do baixo retorno no preço a ser vendido o material reciclado. Já para a incineração após os resíduos serem incinerados ainda é necessário a destinação do resíduo resultante da queima e o processo gera gases tóxicos, levando a necessidade de tratamento de gases, fazendo com que o processo tenha custos maiores.

Os dados da Tabela 3.6 mostram que a destinação e disposição final no Brasil ainda não atendem aos princípios da PNRS, visto que a destinação final ambientalmente adequada é definida como sendo:

> "Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos."

Ainda pela PNRS é definido o conceito de disposição final ambientalmente adequada como:

> "Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos."

Com os conceitos definidos pela PNRS, pode-se observar que no Brasil muitos resíduos ainda são dispostos em aterros, quando só deveria ser disposto em aterro rejeitos, ou seja, os resíduos sólidos que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada em até quatro anos após a data de publicação da PNRS, ou seja, após 2014 será obrigatória a destinação final dos resíduos sólidos conforme definição da PNRS, onde os aterros sanitários e industriais só poderão receber rejeitos.

3.1.3.1. Aterro Sanitário como Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos

Dentro de uma visão mais ampla a respeito do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, a destinação final é a última fase a ser cumprida em relação a todos os processos que envolvem estes materiais. Segundo este ponto de vista, a implantação de políticas voltadas à redução da produção de resíduos, ao reuso e posteriormente a sua reciclagem, constituiria medida de extrema importância na minimização dos problemas que envolvem a destinação dos

resíduos sólidos e disposição dos rejeitos, visto ser muito difícil a disponibilização de áreas para a implantação de aterros.

Como uma das formas de disposição dos rejeitos, o aterro sanitário se apresenta como uma solução necessária, mesmo nos países de mais alto nível de gerenciamento dos seus resíduos. (OLIVEIRA, 2002).

A alternativa de disposição correta e comumente usada é o aterro sanitário, onde ocorre a disposição final dos rejeitos em local apropriado, com garantias sanitárias. Porém, cabe lembrar que no Brasil ainda ocorre à disposição final de resíduos em aterros, onde ainda seria possível o aproveitamento ao invés da disposição final, conforme é citado pela PNRS.

Dados os avanços tecnológicos, nos nossos dias, diversas soluções eficientes para o tratamento dos resíduos sólidos estão disponíveis, porém, segundo o estudo realizado pela ABRELPE em 2011, mais de 90% dos resíduos sólidos produzidos no Brasil são dispostos no solo.

De acordo com o manual sobre o aproveitamento energético de aterros produzido pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da USP (CEPEA, 2004), o aterro sanitário é uma prática de disposição que está de acordo com as boas técnicas de construção, de operação e de monitoramento, ao contrario do aterro controlado e dos vazadouros a céu aberto (lixões). Segundo este manual, um aterro sanitário deve atender no mínimo às seguintes condições de operação:

- Impermeabilização da área com manta plástica e/ou argila compactada de baixa taxa de permeabilidade;
- Drenagem inferior de lixiviados;
- Drenagem vertical e horizontal para o biogás e lixiviados;
- Drenos de monitoramento;
- Drenagem pluvial superficial;
- Procedimento para compactação dos resíduos;
- Cobertura diária com argila;
- Cobertura final de argila;

- Acesso pavimentado;
- Balança para pesagem dos resíduos aterrados;
- Sistema de tratamento de lixiviados;
- Segurança para evitar invasão de catadores.

O esquema de um aterro sanitário pode ser representado segundo a Figura 3.7.

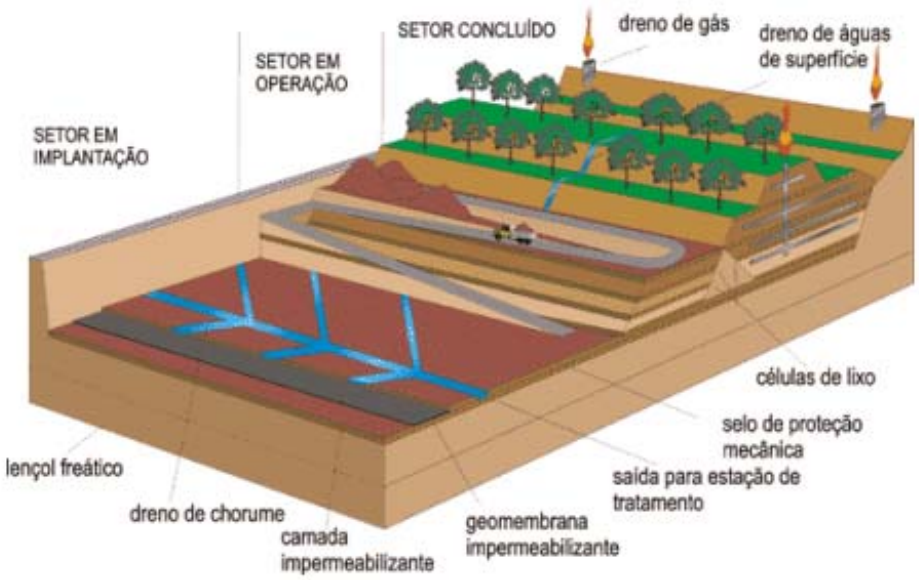


Figura 3.7 - Corte esquemático de um aterro sanitário (BIDONE, 2007).

Diversas legislações e órgãos públicos vem há alguns anos tentando impor regras para a instalação correta de aterros sanitários; porém quanto maior forem as exigências técnicas, menores serão as possibilidades para que um pequeno município as atenda integralmente, transformando o que poderia ser um aterro sanitário viável em um sistema desordenado de produção de resíduos (BIDONE, 2007).

Esta situação fica ainda mais grave quando se considera que aproximadamente 50% dos resíduos domiciliares são constituídos por matéria orgânica, responsável direta pela formação do lixiviado, que é um líquido escuro de odor desagradável, produzido pela decomposição físico-química e biológica dos resíduos depositados em um aterro. Esse líquido é carreado pela água de chuva e pela própria umidade contida nos resíduos, se transformando em

uma matriz aquosa de extrema complexidade, apresentando em sua composição altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos, nas formas dissolvida e coloidal (CHRISTENSEN et al., 2001; KJELDSEN et al., 2002). Fatores importantes que influenciam na composição do lixiviado são: idade do aterro sanitário, grau de estabilização do material sólido disposto, características do material aterrado, grau de compactação, quantidade de infiltração de água e regime de chuvas (BIDONE, 2007).

Para a implantação de um aterro sanitário busca-se identificar áreas que possibilitem, entre outras exigências, menor potencial para geração de impactos ambientais, ou seja, estar fora de áreas de restrição ambiental, aqüíferos menos permeáveis, solos mais espessos e menos sujeitos aos processos de erosão e escorregamentos, declividade apropriada e distância de habitações, cursos d'água e redes de alta tensão, maior vida útil do empreendimento, para uma maior capacidade de recebimento de resíduos e baixos custos de instalação e operação do aterro, menores gastos com infra-estrutura, menor distância entre a zona urbana geradora dos resíduos e disponibilidade de material de empréstimo (JARDIM, 2005).

Além disso, na escolha do local para um aterro sanitário é importante avaliar a área onde esse aterro se localizará, pois além dos itens já citados acima existe uma grande resistência da população local para a instalação de um aterro próximo às suas residências, visto todas as desvantagens que esse aterro trará a região, como mau cheiro, aumento de animais indesejados, grande movimentação de caminhões, entre outros. Outro ponto importante é que se for mal operado o aterro pode se transformar em lixão, visto que não seriam cumpridas todas as exigências de um aterro.

Na busca de informações sobre o custo da disposição de rejeitos em aterros sanitários não é raro que profissionais da área fiquem confusos diante da ampla faixa de valores citados, isso ocorre, pois não é possível estabelecer de forma objetiva uma precificação aplicável a todos os aterros sanitários, pois cada empreendimento tem características únicas e diversos fatores influenciam a formação do custo final de disposição.

Um estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (Abetre) e Fundação Getúlio Vargas (FGV) apontou que as fases de pré-implantação e implantação, que compreende a elaboração de projetos, estudos para licenciamento, a compra da área e a construção de todas as instalações representa de 4 a 6 % do custo total. A compra do terreno representa menos de 1% do custo total de um aterro, podendo variar se a localização se der em áreas mais valorizadas. A etapa de operação é a mais complexa e representa o maior

custo, cerca de 87% do custo total. Já as fases de encerramento e pós-operação que representam cerca de 7 a 8% do custo total do empreendimento, que podem durar mais de 20 anos, são muitas vezes subestimados ou desconsiderados nos orçamentos (BEL, 2012).

No estudo da Abetre e FGV foi considerado três portes de aterro: pequeno porte (100 t/dia), médio porte (800 t/dia) e grande porte (2.000 t/dia) e os resultados mostram que os aterros de pequeno porte são menos econômicos que os de médio e grande porte, com isso a viabilidade é mais favorecida nos aterros de médio e grande porte. Abaixo seguem os valores encontrados para a instalação, operação e encerramento de aterros de pequeno, médio e grande porte (BEL, 2012):

- Para 100 t/dia (atendendo 200 mil habitantes) seria de R$ 3,3 milhões, equivalendo a R$ 16,39 por habitante;
- Para 800 t/dia (atendendo 1,0 milhão de habitantes) seria de R$ 11,5 milhões, equivalendo a R$ 11,48 por habitante;
- Para 2.000 t/dia (atendendo 2,5 milhões de habitantes) seria de R$ 22,2 milhões, equivalendo a R$ 8,89 por habitante;

3.1.3.2. Alternativas de aproveitamento dos Resíduos Sólidos

Apesar da maior parte dos resíduos sólidos urbanos serem diretamente destinados em aterros, existem algumas alternativas de aproveitamento dos resíduos gerados. Algumas das alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos comumente usadas são:

- Reciclagem mecânica: aproveitamento de determinados resíduos sólidos que não estejam contaminados para servir de insumo na fabricação de novos materiais;
- Compostagem: aproveitamento dos restos alimentares e outros componentes orgânicos (papéis, madeiras, poda de árvores e jardins) para produção de adubo natural;

A) Reciclagem Mecânica de Resíduos Sólidos Urbanos

Denomina-se reciclagem o retorno da matéria-prima ao ciclo de produção. Assim, pode-se dizer que reciclagem é o reaproveitamento de materiais beneficiados e já utilizados como matéria-prima para um determinado produto, tornando-os assim úteis novamente (DIAS, 2006).

A reciclagem compreende quatro fases: coleta, seleção, revalorização e transformação. As etapas de coleta e seleção compreendem a evolução da prática da coleta seletiva e, ainda, investimentos em logística e distribuição do material selecionado para os destinos adequados. Na etapa de revalorização realiza-se a descontaminação e adequação do material coletado, para que possa ser usado no fluxo da reciclagem. A última etapa, a de transformação, é onde acontece o uso efetivo do material revalorizado como insumo na indústria de transformação (JARDIM, 2005).

A reciclagem minimiza, por um lado, a utilização de fontes naturais de matéria-prima, muitas vezes não renováveis, e de recursos energéticos e, por outro, a quantidade de resíduos que necessitaria de tratamento final, como aterramento ou incineração (MILLER, 2007). Os benefícios da reciclagem são diversos, mas pode-se dizer que o principal é o beneficio ambiental, visto que com o uso racional dos recursos naturais ocorre a redução das agressões ao solo, ao ar e a água que a exploração desses recursos produz. Segundo Henriques (2004) uma menor acumulação progressiva de resíduos reduz as emissões de metano e gás carbônico gerados nos aterros, que são gases do efeito estufa.

Uma das alternativas para incrementar o reaproveitamento e reciclagem de resíduos é a coleta seletiva, a qual consiste na separação de materiais recicláveis (plásticos, papéis, metais, matéria orgânica (sobras de alimentos, podas de árvores, etc.), entre outros), na própria fonte geradora e transportados de forma diferenciada. Pode-se dizer que esse conhecimento já está difundido a alguns anos (JARDIM & WELLS, 1995).

Por outro lado existem as desvantagens e algumas barreiras que a reciclagem encontra, como a logística para que esses materiais cheguem ao local apropriado para a reciclagem, necessidade de realizar a separação do material, pois ainda não existe uma coleta seletiva eficiente, além do baixo retorno no preço a ser vendido o material reciclado. Por esses motivos ainda é baixo, no Brasil, a utilização da reciclagem para aproveitamento dos resíduos e há a necessidade de uma mudança no descarte e coleta para que esse método tenha uma maior participação no aproveitamento de resíduos.

B) Compostagem dos Resíduos Sólidos Urbanos

O termo “matéria orgânica” ou “resíduo orgânico” é dado a todo o composto de carbono suscetível à degradação. O termo degradação ou biodegradação dos resíduos orgânicos diz respeito à decomposição desses resíduos por micro-organismos. A forma mais eficiente de

obter a biodegradação controlada dos resíduos orgânicos é por meio do processo de compostagem. (FERREIRA, 2005)

A compostagem é um processo biológico aeróbico e controlado de transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedade e características completamente diferentes do material é disposto em monte de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem ou montes de formas prismática com seção similar a triangular, denominados leiras de compostagem (TEIXEIRA et al., 2002).

O processo de compostagem não deve ser comparado com a decomposição natural, pois a compostagem ocorre com a interferência humana. Essa interferência visa à obtenção de um produto de melhor qualidade, dentro dos padrões exigidos pela legislação, em um espaço de tempo menor (BRITO, 2008).

Segundo Ferreira (2005), os processos de compostagem devem ser divididos em três grandes grupos:

- **Sistema de leiras revolvidas**, onde a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa do composto;

- **Sistemas de leiras estáticas aeradas,** onde a mistura a ser compostada é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras;

- **Sistemas fechados ou reatores biológicos,** onde os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem.

A compostagem tem uma baixa utilização como aproveitamento de resíduos, pois não é viável em centros urbanos devido às desvantagens do método, como necessidade de grandes áreas, odor desagradável, necessidade de destinação do produto oriundo da compostagem.

3.1.3.3. Incineração como Tratamento dos Resíduos Sólidos

Além da disposição final dos rejeitos e das alternativas existentes para aproveitamento de resíduos sólidos, existe ainda uma alternativa para tratamento dos resíduos sólidos, a incineração, que pode ser resumida como a queima dos resíduos sólidos.

A Incineração é um processo para o tratamento dos resíduos que envolve a combustão das substâncias orgânicas presentes na matéria que compõe os resíduos. Durante o processo de incineração o resíduo apresenta uma redução do seu volume, do seu peso, e das suas características iniciais de periculosidade, através de uma combustão controlada. Pode-se melhorar ainda mais esta conceituação afirmando que a incineração é considerada também como um processo de reciclagem energética, onde a energia contida nos resíduos, liberada na queima, é um bem que é reaproveitado para outros processos, ou seja, é reciclada (COSTA, 2002). A incineração é a maior opção para a destinação de resíduos sólidos urbanos em muitos países, embora um grande número das plantas existentes não tenha a recuperação de energia.

A incineração pode ser utilizada para dois objetivos distintos, onde um deles é a destruição térmica dos resíduos sólidos, sendo assim somente uma alternativa para destinação final dos resíduos, onde ocorre uma redução de volume e peso dos resíduos sólidos destinados. O outro objetivo que a incineração pode ter é a recuperação energética dos resíduos sólidos, onde ocorre a reciclagem energética. Nesse caso também ocorre a redução de volume e peso dos resíduos, porém o objetivo principal nesse caso é a obtenção de energia.

Segundo Senaga (2005), em 2004 já existia o aproveitamento energético a partir da incineração dos resíduos sólidos, quer seja para a geração de energia elétrica quer seja para geração de vapor ou ar refrigerado. Porém a incineração ainda é muito mais uma opção somente para tratamento dos resíduos, do que uma fonte de energia renovável (SENAGA, 2005).

A incineração de resíduos transforma os resíduos basicamente em três produtos: cinzas, gases da combustão e calor. As cinzas são em sua maioria formadas por constituintes inorgânicos que estavam presentes nos resíduos, elas podem se aglomerar em nódulos sólidos ou serem carreadas diretamente pelos gases da combustão. Os gases da combustão necessitam de um tratamento adequado para reduzir a concentração de alguns poluentes gasosos presentes e para reduzir a quantidade de material particulado antes de serem despejados na atmosfera (MENEZES et al., 2000; IPM, 2002).

É importante ressaltar que para as cinzas geradas ainda é necessário à destinação em aterros, e o tratamento para reduzir a concentração dos poluentes gasosos gera efluentes líquidos que também necessitam de tratamento adequado. Todos esses tratamentos e destinações que são necessários após a incineração fazem com que o processo tenha altos custos, sendo assim pouco utilizado na disposição e/ou tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Conforme Henriques (2004), os incineradores reduzem o volume dos resíduos de 95 a 98% do volume original, dependendo da composição e do grau de recuperação de materiais, como metais. Isto ratifica que a incineração de resíduos não substitui por completo a utilização de aterros, e sim reduz significativamente o volume a ser disposto nos aterros, aumentando em muito a vida útil dos mesmos.

O processo de incineração acontece em dois estágios. Inicialmente, o resíduo é queimado em uma temperatura suficientemente alta para que algumas substâncias presentes se tornem gases e outras assumam a forma de pequenas partículas. Essa mistura de gases e partículas é então queimada a uma temperatura mais alta por um intervalo de tempo suficiente para que haja a combustão completa. O tempo de residência representativo para resíduos sólidos é de 30 minutos para o primeiro estágio e de 2 a 3 segundos para a combustão da fumaça no segundo estágio. A temperatura de projeto é normalmente entre 750 – 1200°C (HENRIQUES et al., 2004).

Os gases provenientes do processo, dioxinas e furanos, passam por um sistema de abatimento de poluição, que consiste em muitos estágios, antes de serem enviados para a atmosfera via uma chaminé. As restritas regulamentações de emissões algumas vezes requerem o uso de carvão ativo no sistema de abatimento, para que haja redução da emissão de mercúrio e dioxinas (HENRIQUES et al., 2004).

3.1.3.4. Gaseificação

A gaseificação é uma técnica eficiente para a redução significativa do volume de alguns tipos de resíduos. A aplicação ao tratamento de resíduos veio retomar uma tecnologia desenvolvida no século XIX para a produção de combustíveis para aplicação industrial. Os processos de gaseificação envolvem reações entre carbono e oxigênio com formação de CO_2, CO, CH_4 e H_2, o que origina uma mistura gasosa de baixo poder calorífico e um efluente líquido contendo matéria orgânica e um resíduo sólido. Existem vários tipos de reatores de gaseificação: leito fixo vertical, leito fixo horizontal, leito fluidizado, leito múltiplo e leito rotativo. O nível de emissão de compostos orgânicos voláteis (COV's) e particulados é baixo podendo ser controlado por ciclones (MINCHENER, 2005).

Durante a combustão parcial do O_2 os compostos orgânicos absorvem energia (gaseificação direta) e o processo em muitas vezes confunde-se com a pirólise. Em substituição

ao oxigênio pode ser adicionado vapor d'água que se combina com os produtos orgânicos gerando um gás combustível. Quando a gaseificação ocorre com oxigênio puro, a temperatura atingida pode ser na ordem de 2000º C causando a fusão das cinzas que são retiradas na forma de escoria líquida (DOLEZAL, 2001).

No gaseificador fixo, tipo contracorrente, que utiliza biomassa, o resíduo entra na parte superior, enquanto o ar entra por baixo. O gás combustível sai por cima e as cinzas saem por baixo, caracterizando o fluxo contracorrente (VETTER, 2001).

Ao entrar no gaseificador o ar reage com o carvão vegetal formado logo acima, e produz gás carbônico e vapor d'água em altas temperaturas. Esses produtos são empurrados para cima, reagindo endotermicamente com o carvão para formar CO e H_2. Esses gases ainda quentes fornecem o calor necessário para a pirólise e a secagem da biomassa que está entrando (DOLEZAL, 2001).

Outro tipo de gaseificação que vem sendo estudada recentemente para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos é o plasma. Essa nova tecnologia consiste na trituração e superaquecimento (850° C) dos resíduos, que em sua forma gasosa, passa para um tanque que possui dois eletrodos e que passa uma altíssima corrente elétrica (MEDEIROS, 2011).

Essa corrente é o que transforma esse material em plasma (devido à alta temperatura), quebrando suas moléculas em átomos simples e não nocivos (como o carbono e o hidrogênio) que podem ser reaproveitados ou vendidos para indústrias ou usados como fertilizantes (SHARMA, 2012). Embora essa técnica necessite de uma grande quantidade de energia, no fim no processo o saldo energético é positivo, já que a energia liberada na formação do plasma é cinco vezes a utilizada (MEDEIROS, 2011).

3.2. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A geração de energia a partir de resíduos sólidos já apresenta hoje alternativas tecnológicas maduras. Datam da década de 80 do século passado as primeiras termelétricas acionadas por resíduos sólidos implantadas nos Estados Unidos, na Europa e no Japão (MUYLAERT, 2000).

Conforme já dito anteriormente, na PNRS é previsto a utilização de tecnologias que visem à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, e serão tratadas nesse item as características de duas tecnologias conhecidas.

Segundo Oliveira (2000), a incineração e degradação biológica são basicamente as duas formas de produzir energia elétrica a partir de resíduos sólidos. No primeiro caso, a incineração, há riscos ambientais, caracterizados nas emissões de dioxinas e furanos. Nos últimos anos, os avanços no desenvolvimento de sistemas de lavadores capazes de reduzir substancialmente essas emissões recolocaram essa alternativa na agenda das discussões. Ainda segundo Oliveira (2000), a evidência desse avanço é o número crescente de licenciamentos que vêm sendo concedidos na Alemanha para usinas que utilizam a técnica da incineração.

Já no segundo caso, através da degradação biológica dos aterros é produzido o biogás, e é o uso energético mais simples dos RSU. É uma alternativa que pode ser aplicada a curto e médio prazo para os gases produzidos na maioria dos aterros já existentes, como ocorre em centenas de aterros de diversos países. Consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição anaeróbica da fração orgânica de resíduos sólidos, por ação de micro-organismos que transformam os resíduos em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono (CO_2), água, metano (CH_4), sulfeto de hidrogênio (H_2S), mercaptanas e outros componentes (OLIVEIRA E ROSA, 2003).

Com essas alternativas para o tratamento de resíduos sólidos, também é possível alcançar os objetivos propostos pelo Protocolo de Kyoto, que incentiva a redução dos gases prejudiciais ao efeito estufa através de acordos firmados entre países desenvolvidos. Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO_2) corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional e a redução da emissão de outros gases, igualmente geradores do efeito estufa, também pode ser convertida em créditos de carbono, utilizando-se o conceito de Carbono Equivalente.

3.2.1. Geração de Biogás

O aterro sanitário passa por quatro fases, onde ocorre a geração do biogás (EPE, 2012):

→ Fase aeróbia: é produzido o CO_2, porém é alto o conteúdo de N_2, que sofre declínio na passagem para as 2ª e 3ª fases.

→ Esgotamento de O_2: resulta em um ambiente anaeróbio com grandes quantidades de CO_2 e um pouco de H_2 produzido.

→ Fase anaeróbia: começa a produção de CH_4, com redução na quantidade de CO_2 produzido.

→ Fase final: produção quase estável de CH_4, CO_2 e N_2

A duração das fases descritas acima e o tempo de geração do biogás pode variar em função de alguns fatores, como: condições do aterro, composição do resíduo, material de cobertura, projeto e o estado anaeróbio e condições climáticas locais (EPE, 2012).

3.2.1.1. Aspectos Físico-Químicos do Biogás

Para análise dos aspectos físico-químicos pode-se analisar a Tabela 3.7 que evidencia a composição média do biogás.

Tabela 3.7 – Composição média do biogás (ALVES, 2000).

COMPONENTE	***QUANTIDADE***
Metano	60%
Dióxido de Carbono	35%
Outros Gases – Hidrogênio, Nitrogênio, Oxigênio, Amônia, Ácido Sulfídrico, Aminas Voláteis e Monóxido de Carbono	5%

Pela Tabela 3.7 pode-se observar que no biogás as concentrações de outros gases são muito pequenas se comparados ao metano e gás carbônico, e por isso pode-se restringir as propriedades físico-químicas apenas a esses dois componentes Porém, os gases presentes em menor quantidade, como por exemplo, o sulfeto de hidrogênio influencia a escolha da tecnologia de operação, limpeza e combustão (PECORA, 2006).

O metano é o principal componente do biogás, quando se trata de utilizá-lo como combustível. A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de

carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente, pois estas substâncias absorvem parte da energia gerada quando entram com o combustível no processo de combustão. O poder calorífico do biogás se torna menor à medida que se eleva a concentração dessas substâncias (ALVES, 2000).

Outra informação importante é que o gás carbônico presente em grandes quantidades no biogás é solúvel em água, o que faz com que ele se misture ao lixiviado do aterro, aumentando assim a sua alcalinidade e indiretamente dificultando o tratamento químico do lixiviado.

Segundo Pecora (2006), outros aspectos importantes que devem ser considerados são a umidade, visto que afeta a temperatura da chama, a diminuição do poder calorífico e os limites de inflamabilidade.

A Figura 3.8 mostra a relação entre o poder calorífico do biogás (kcal/m³) e a porcentagem de metano, em volume, presente no mesmo.

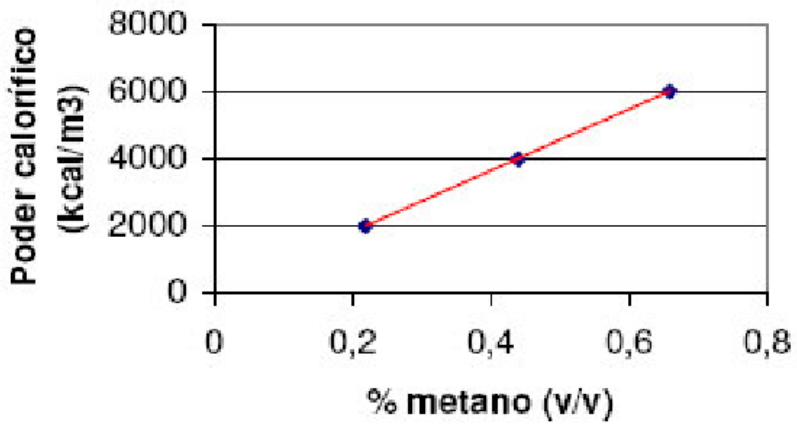


Figura 3.8 – Relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume (ALVES, 2000).

A equivalência energética do biogás em relação a outros combustíveis é determinada levando em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão. A Tabela 3.8 mostra a equivalência de 1 Nm³ de biogás.

Tabela 3.8 – Quantidade de insumo para a produção de energia equivalente a 1 Nm³ de biogás (CARDOSO FILHO, 2001).

COMBUSTÍVEL	***QUANTIDADE EQUIVALENTE A 1 Nm³ DE BIOGÁS***
Carvão Vegetal	0,80 kg
Lenha	1,50 kg
Óleo Diesel	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gasolina	0,61 L
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,45 L
Álcool Carburante	0,80 L
Carvão Mineral	0,74 kg

Pela Tabela 3.8 pode-se observar que através de 1 Nm^3 biogás é possível obter energia equivalente à de 1,5 kg de lenha ou de 0,74 kg de carvão mineral, comprovando assim ser possível a substituição por biogás de determinados combustíveis utilizados na indústria. A substituição desses combustíveis pelo biogás poderia trazer muitos benefícios, pois a utilização de combustível fóssil pode trazer diversos impactos ambientais. Visto que é uma fonte primária de energia, o biogás pode ser utilizado para iluminação de residências, aquecimento de água, além de aquecimento de caldeiras e fornos em usos industriais. O biogás não é tóxico, porém atua sobre o organismo humano diluindo o oxigênio, o que pode provocar morte por asfixia. Não é solúvel em água e sua combustão não libera resíduos (LIMA, 2005).

3.2.1.2. Fatores que influenciam a geração do biogás

A capacidade de um aterro gerar gás depende de diversos fatores, como: a composição do resíduo, umidade, pH, entre outros (BRITO FILHO, 2005). Ainda segundo Brito Filho (2005), os fatores que afetam a geração de biogás são descritos a seguir:

a) Composição do resíduo – quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior será o potencial de produção de biogás no aterro. Resíduos de alimentos são exemplos de matéria orgânica facilmente decomposta, o que acelera a taxa de

produção do gás. Materiais que se decompõe lentamente, como grandes pedaços de madeira, não contribuem significativamente com a geração de gás;

b) Umidade – Depende da umidade inicial do resíduo, da infiltração da água da superfície e do solo, e da água produzida na decomposição. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do biogás;

c) Tamanho das partículas – quanto menor a unidade da partícula, maior será a área da superfície específica e, portanto, a decomposição será mais rápida se comparada a uma partícula de menor área. Por exemplo, a decomposição de um tronco de madeira ocorrerá mais rápida se este for cortado em pedaços menores ao invés de ser disposto inteiro;

d) Idade do resíduo – a geração do biogás num aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso (período que vai da disposição do resíduo até o início da geração do metano) e tempo de conversão (período que vai da disposição do resíduo até o término da geração do metano);

e) pH – Dentro da faixa ótima de pH a produção do metano é maximizada e fora dessa faixa – um pH abaixo de 6 ou acima de 8 – a produção de metano fica estritamente limitada;

f) Temperatura – As condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás. As temperaturas máximas do aterro frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos, como um resultado da atividade aeróbia microbiológica. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado da atividade biológica. As temperaturas típicas do gás produzido eu um aterro variam geralmente entre 30 a 60º C;

g) Outros fatores – Outros fatores que podem influenciar a taxa de geração de gás são os nutrientes, bactérias, compactação de resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis.

Durante a vida útil de um aterro a produção do biogás é crescente, porém quando a deposição de rejeitos é cessada a produção de biogás entra em declínio, podendo ser acentuada

dependendo da composição dos rejeitos depositados. Esse comportamento da geração de biogás é ilustrado na Figura 3.9 levando em consideração um aterro que receba a composição média dos resíduos destinados no Brasil, sendo mais de 50% dos resíduos recebidos matéria orgânica, aproximadamente 30% de material reciclado e aproximadamente 20% de outros resíduos. A quantidade média de resíduos sólidos depositados nesse aterro é de 150.000 ton/ano. (EPE, 2012).

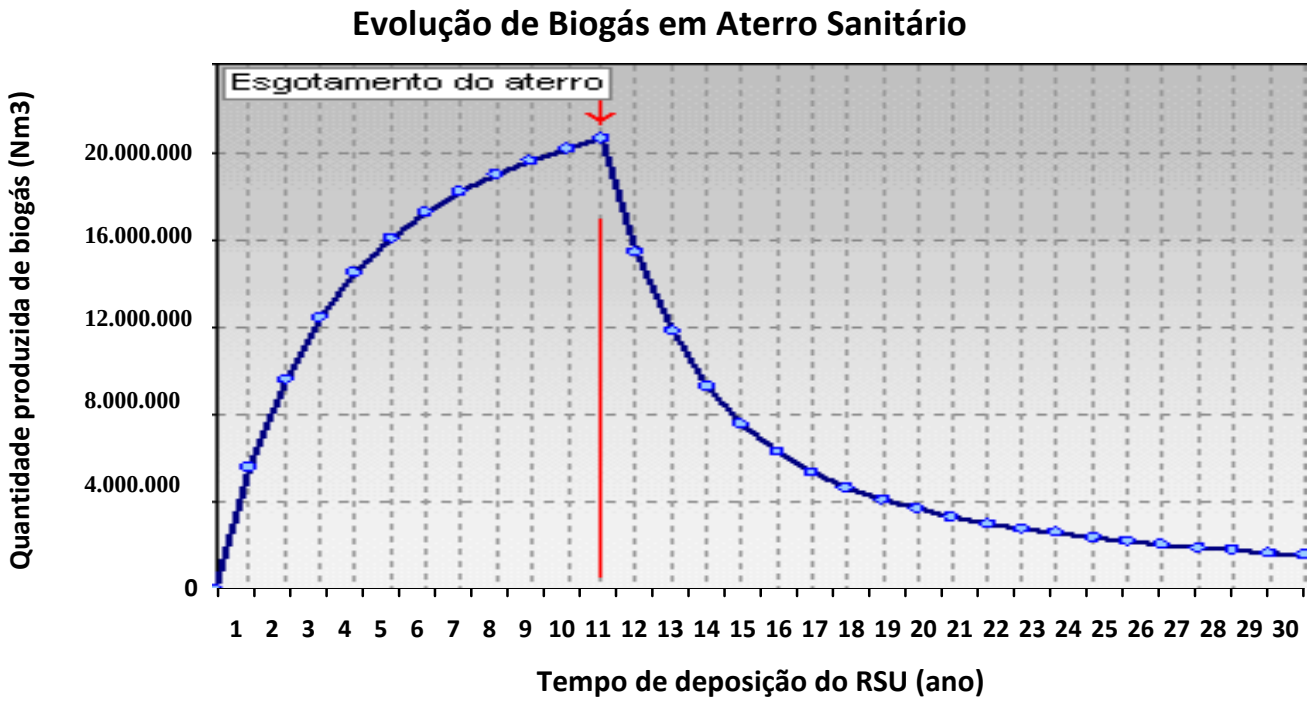


Figura 3.9 - Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário (EPE, 2012).

O aproveitamento econômico do biogás fica limitado a um tempo determinado, sendo relativamente pequeno, entre 10 e 18 anos. Mesmo durante esse tempo nem todo o gás produzido é aproveitável para a geração em razão de limitação econômica da potência das unidades geradoras (OLIVEIRA E ROSA, 2003).

Um dos problemas para a utilização do biogás é a presença de H2S, visto que para o homem, o H_2S tem grande potencial irritante, agindo primeiramente nos olhos e nariz, a exposição severa a esse gás pode causar até a morte (DEUBLEIN et al., 2008).

Uma alternativa para que o biogás possa ser utilizado como combustível sem restrições é a remoção do H_2S presente no biogás pelo processo da absorção com reação química (OLIVEIRA E ROSA, 2003). O princípio da absorção baseia-se na transferência de um componente de uma mistura gasosa para um líquido absorvente, devido à solubilidade entre ambos e à diferença de concentração. Trata-se de fazer o gás passar ou ter contato com um líquido no qual seja solúvel (KOHL et al., 1985).

Um sistema padrão de coleta de biogás tem três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. O biogás excedente é queimado em *flares* de forma controlada, evitando a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (MONTEIRO, 2001).

O objetivo de um projeto de aproveitamento energético de biogás é convertê-lo em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou, ainda, para abastecer gasodutos com gás de qualidade (TOLMASQUIM, 2003).

Existem várias tecnologias que podem ser usadas para maximizar o valor do biogás através das diversas formas de utilização. As mais importantes são:

→ Uso direto do gás de médio poder calorífico;

→ Produção de energia/cogeração;

→ Venda de gás – similar ao gás natural – através de gasodutos ou como GNV.

O uso mais simples e normalmente de maior custo-efetividade do biogás é como um combustível de médio poder calorífico para caldeiras ou para uso em processos industriais - operações de secagem, operações em fornos, produção de cimento e asfalto. Nestes casos, o gás é transportado por gasoduto diretamente para um consumidor próximo para ser usado em equipamentos de combustão, em substituição, ou como suplemento, do combustível tradicionalmente utilizado na operação. Observa-se que é necessária a remoção de condensado e um tratamento de filtragem, impondo-se eventual modificação no equipamento de combustão existente (TOLMASQUIM, 2003 E OLIVEIRA, 2000).

Uma das utilizações possíveis do biogás coletado e filtrado para a geração de eletricidade é alimentar grupos motor-gerador de combustão interna de pequena potência, adequados à queima de gás pobre. (BECKER, 2003).

O aproveitamento do biogás tem as seguintes vantagens (EPE, 2012):

→ Redução dos gases de efeito estufa;

→ Receita adicional para aterros existentes (energia + créditos de carbono);

→ Utilização para geração de energia ou como combustível;

→ Redução da possibilidade (remota) de ocorrência de auto-ignição e/ou explosão pelas altas concentrações de metano.

Como desvantagens, podem ser citadas (EPE, 2012):

→ Recuperação parcial do gás em aterros, sobretudo naqueles cuja construção não foi projetada para este fim, em que a recuperação máxima muitas vezes se limita a 50%;

→ Alto custo da planta de aproveitamento do gás, decorrente do tratamento necessário;

→ Decaimento da disponibilidade de combustível ao longo da vida útil do projeto.

A Refinaria Duque de Caxias (Reduc), da Petrobras, passará a receber o biogás gerado a partir da decomposição dos resíduos sólidos do Aterro de Gramacho, localizado na baixada fluminense e que teve suas atividades encerradas em 2012. A usina, da empresa Gás Verde S.A., tem capacidade para suprir 10% da demanda energética da Reduc, com uma produção anual de 70 milhões de metros cúbicos (m^3) de gás verde. A obra durou quatro anos e teve investimentos de R$ 240 milhões, com parceria da prefeitura do Rio e apoio da Petrobras (AGÊNCIA BRASIL, 2013).

O biogás é gerado a partir da decomposição da matéria orgânica do Aterro de Gramacho e em seguida é captado por 301 poços de coleta distribuídos na região. Depois, o produto é transportado por tubulações até a usina de coleta e processamento, onde passa por várias etapas de purificação até atingir o padrão de qualidade exigido pelas especificações técnicas da Petrobras (AGÊNCIA PETROBRÁS, 2013).

O biogás purificado é então bombeado para a Reduc por meio de um gasoduto exclusivo, com seis quilômetros de extensão. A proposta para o futuro é que o biocombustível possa ser produzido para atender o consumo residencial, comercial e veicular (AGÊNCIA BRASIL, 2013).

3.2.2. Incineração

A incineração encontra-se amplamente difundida no mundo, sendo que na Europa em geral e na Ásia, particularmente no Japão, estão localizadas as melhores referências mundiais (ABRELPE E PLASTIVIDA, 2012). Este processo apresenta a vantagem de diminuir o peso e o volume dos resíduos, consequentemente diminuindo os custos de logística e gerenciamento dos resíduos. Por outro lado, a incineração produz quantidades variadas de substâncias tóxicas, orgânicas ou inorgânicas, que são emitidas na atmosfera (GOUVEIA, 2010).

A incineração pode ser dividida em: destinação de resíduos sólidos (onde ocorre simplesmente a destruição térmica dos resíduos sólidos) e conservação de energia (onde ocorre a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos) (RODRIGUES, 2012). E por isso nesse item será abordado a incineração com o objetivo de conservação de energia e recuperação energética.

Essa tecnologia é uma alternativa eficaz no que diz respeito aos benefícios ambientais decorrentes da menor necessidade de disposição erroneamente de resíduos em aterros e diminuição de gases de efeito estufa. Deste modo, contribui para o desenvolvimento sustentável, aliando os benefícios econômicos obtidos com a geração de energia através de um insumo alternativo e renovável (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

Os resíduos sólidos são formados por materiais heterogêneos devido às diferentes origens, o que lhes confere características específicas. Sendo assim, na incineração de resíduo urbano há necessidade de se manter um rigoroso controle do processo de combustão, uma vez que o combustível utilizado pode apresentar variações quanto à composição, umidade, peso específico, poder calorífico etc (GRIPP, 1998).

As variações das características dos resíduos sólidos podem fazer com que a incineração seja inviável para alguns tipos de resíduos sólidos, ou seja, pode não haver sentido pratico na utilização dos resíduos sólidos que não tenham poder calorífico significativo. Outro aspecto importante, é que as vezes não é possível aproveitar o conteúdo energético dos resíduos, devido aos poluentes atmosféricos que podem ser gerados (RODRIGUES, 2012).

Dados recentes da Plastivida (2012) mencionam a incineração de cerca de 100% do lixo municipal do Japão, em torno de 80% do lixo da Suíça e da Alemanha, e cerca de 30 milhões de toneladas de lixo por ano incineradas nos EUA. Em Paris, 100% do lixo é incinerado dentro da própria cidade. Nos últimos anos, plantas de incineração de lixo vêm sendo maciçamente instaladas em países do leste asiático como Coréia, Taiwan, Filipinas, Índia e China. Na Europa existe uma lei restritiva, onde resíduo orgânico não é permitido ir para aterros sanitários, além

disso, na Inglaterra para destinação de matéria orgânica em aterros é necessário o pagamento de 100% de taxa (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

Apesar das experiências bem-sucedidas de incineração de resíduos sólidos para obtenção de energia, não há como destinar todos os resíduos sólidos para a incineração, visto que boa parte deles não possui um poder calorífico significativa para a incineração. Adicionalmente, pode-se dizer que a PNRS ao conceituar resíduos sólidos e rejeitos, deixa bem claro que a incineração não substitui os aterros, apenas os complementa (RODRIGUES, 2012).

No Brasil a incineração sempre foi pouco utilizada, e quando é utilizada é somente para resolver a questão da disposição final de resíduos sólidos e parte dos resíduos hospitalares e não é utilizada para o aproveitamento energético (LIMA, 2005). Seriam necessários alguns aprimoramentos tecnológicos para permitir esse aproveitamento de forma economicamente viável e ambientalmente correta. As primeiras iniciativas nesse sentido foram implementadas em Campo Grande-MS e Vitória-ES (MENEZES et al., 2000).

Não se pode esquecer que pouquíssimos municípios brasileiros possuem coleta seletiva dos resíduos de origem domiciliar e comercial. Com a coleta convencional, a probabilidade dos resíduos urbanos conterem grandes quantidades e variedade de materiais problemáticos à incineração, é bem maior. Mesmo passando por um bom processo de triagem antes de serem transformados em combustível na unidade de geração de energia, dificilmente serão segregados todos os elementos perigosos presentes na massa de resíduos. Devido à má operação dessas unidades e à falta de controle quanto às emissões atmosféricas, a incineração passou a ser vista com grandes ressalvas não só pelas comunidades locais como por vários profissionais da área ambiental (MENEZES et al., 2000)

O processo de incineração é iniciado com o descarregamento dos resíduos sólidos em um fosso de armazenamento sem necessidade de qualquer pré-tratamento e através de garras os resíduos sólidos são enviados para o sistema de alimentação das caldeiras ou fornos para serem incinerados, com excesso de oxigênio, gerando gases quentes que trocam calor, em uma caldeira. Os sistemas de queima mais empregados são o de grelhas móveis e de leito fluidizado (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

A recuperação energética do RSU produz gases de combustão, de altas temperaturas, em torno de 1000 °C. Após trocarem calor dentro da caldeira e antes de serem lançados na atmosfera, os gases decorrentes do processo de combustão passam por uma série de sistemas de controle ambiental para abatimento dos poluentes (entre eles NOx, SOx, HCl, dioxinas, furanos, etc.) de acordo com os limites exigidos pelas legislações vigentes, sendo os níveis de

emissões exigidas as mais restritivas entre todas as fontes de geração de energia (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

No Brasil os limites de emissões dos poluentes da incineração estão determinados por resoluções do CONAMA. Alguns estados, no âmbito de sua competência, já determinaram limites mais restritivos do que os nacionais, seguindo na mesma linha da Diretiva 2000/76 da União Européia (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

Na Tabela 3.10 são apresentados os limites de emissões de gases poluentes para incineradores para alguns órgãos de fiscalização e/ou resoluções. Alguns estados, no âmbito de sua competência, já determinaram limites mais restritivos do que os nacionais, como pode ser observado pela Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Limites de emissões para incineradores (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

PARÂMETRO	***UNIDADE***	***EPA (Agência Ambiental Norte Americana)***	***União Européia***	***Secretaria do Meio Ambiente de SP***	***CONAMA 316/2002***
MP	mg/Nm^3	20	10	10	70
NOx	mg/Nm^3	210	200	200	560
SOx	mg/Nm^3	90	50	50	280
HCl	mg/Nm^3	20	10	10	80
CO	mg/Nm^3	130	50	50	125
Hg	mg/Nm^3	0,05	0,05	0,05	-
Cd + Ti	mg/Nm^3	0,01	0,05	0,05	-
HF	mg/Nm^3	-	1	1	5
Dioxinas e Furanos	ng/Nm^3	0,26	0,1	0,1	0,5

Dentre as vantagens do tratamento térmico por meio da incineração para os resíduos sólidos urbanos, pode-se relacionar: redução do volume que prolonga a vida dos aterros e diminui a necessidade de áreas municipais; destruição de organismos patogênicos, de produtos tóxicos com consequente redução do potencial de doenças e de contaminação do meio ambiente e aproveitamento energético do conteúdo do resíduo municipal com geração de energia elétrica (LIMA, 2005).

Por isso, é possível destacar as seguintes vantagens e desvantagens (Schmidt et al., 2000; Barros et al.,2000; EMEP, 1999):

VANTAGENS

- Redução drástica do volume a ser descartado – A incineração deixa como produto apenas as cinzas, que geralmente são inertes. Desta forma, reduz a necessidade de espaço para aterro
- Redução do impacto ambiental – Comparativamente com o aterro sanitário, a incineração minimiza a preocupação a longo prazo com o monitoramento do lençol freático já que o resíduo tóxico é destruído e não aterrado;
- Destoxificação – A incineração destrói bactérias, vírus e compostos orgânicos, como o tetracloreto de carbono, óleo ascarel e até dioxinas. Na incineração, a dificuldade de destruição não depende da periculosidade do resíduo mas sim da estabilidade do calor. A incineração também pode ser usada para a descontaminação do solo contendo resíduos tóxicos. Esse, depois de incinerado, é devolvido ao seu lugar de origem;
- Recuperação de energia – Parte da energia consumida pode ser recuperada para geração de vapor ou eletricidade e conservar áreas que seriam usadas como aterros. Permite ainda uma valorização dos resíduos industriais em termos energéticos;
- Diminuição no consumo de combustíveis fósseis – Com a utilização dos resíduos como combustível existe uma diminuição no consumo de combustíveis fósseis. Esta substituição situar-se-á entre os 25 a 40% no consumo de combustível primário;
- Reciclagem das escórias e outros inertes – Que podem servir como material de enchimento para a produção de asfalto, betão e também no fabrico de tijolos.

DESVANTAGENS

- Custo elevado – A incineração é um dos tratamentos de resíduos que apresenta custos elevados tanto no investimento inicial como no custo operacional;
- Exige mão-de-obra qualificada – É difícil encontrar e manter pessoal bem qualificado para a supervisão e a operação de incineradoras;
- Problemas operacionais – A variabilidade da composição dos resíduos pode resultar em problemas de manuseio de resíduo e operação do incinerador e também exigir manutenção mais intensa;
- Limite de emissões – para componentes da classe das dioxinas e furanos não existe consenso quanto ao limite de emissão dos incineradores. A emissão de metais pesados não se encontra suficientemente bem estudada, bem como a incorporação destas substâncias cancerígenas no cimento;
- Incerteza dos efeitos das emissões – Desconhecem-se as áreas de influência das emissões e da sua deposição nos solos;

- Agressividade da matéria-prima – A matéria-prima é muito agressiva para os equipamentos, que precisam de constantes reparos;
- Competição com outros tratamentos – A incineração compete com mecanismos de conservação de energia como a reutilização e a reciclagem de materiais.

3.2.3. Créditos de Carbono

Atualmente, o mundo está passando por processos intensos de mudanças climáticas que ainda não se sabe ao certo suas consequências, porém estudos de organizações mundiais vêm trazendo relatórios semestrais e anuais quanto à suposta origem deste efeito climático e suas possíveis consequências ao meio ambiente e ao próprio homem.

A partir de tais fundamentos, a ONU vêm promovendo ações mitigadoras, adaptativas e informativas para lutar contra esse problema que só vem se agravando, os Gases do Efeito Estufa (GEEs).

O aumento da população mundial, a crescente demanda da produção de alimentos e bens de consumo vem contribuindo no aumento dos índices de emissão de GEE, como dióxido de carbono e metano, maiores contribuintes do efeito estufa. Ressalta-se ainda, que o gás metano é 24 vezes mais prejudicial que o próprio dióxido de carbono, sendo assim a emissão do gás metano é mais prejudicial à camada de ozônio do que o dióxido de carbono, que hoje em dia é o mais conhecido como causador do efeito estufa (CGEE, 2010).

Para reduzir as emissões dos GEEs na atmosfera terrestre, foi criado o Protocolo de Kyoto que entrou em vigor no ano de 2005, objetivando a redução dos gases prejudiciais através de acordos firmados entre países desenvolvidos. Tal Protocolo não apenas discute e implanta medidas de redução, como também incentiva a implantação de tecnologias que substituem a utilização de petróleo por produtos alternativos que agridem menos ao meio ambiente (MEIO AMBIENTE, 2012).

Um dos acordos firmados pelos países participantes foi a criação do crédito de carbono, cujo objetivo maior é estimular economicamente os países em desenvolvimento a participar das medidas para redução dos GEEs em relação aos países desenvolvidos. O Protocolo de Kyoto determina uma cota máxima de GEE que os países desenvolvidos podem emitir. Os países, por sua vez, criam leis que restringem as emissões de GEE. Assim, aqueles países ou indústrias que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões, tornam-se compradores de créditos de carbono. Por outro lado, aquelas indústrias que conseguiram diminuir suas emissões abaixo das cotas determinadas, podem vender, a preços de mercado, o excedente de "redução de

emissão" ou "permissão de emissão" no mercado nacional ou internacional. Os países desenvolvidos podem estimular a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) em países em desenvolvimento através do mercado de carbono, quando adquirem créditos de carbono provenientes destes últimos (MEIO AMBIENTE, 2012).

Em 2012, começou o segundo período de compromissos do Protocolo de Kyoto que se estenderá até 2020. Esse segundo período incluirá novos cortes de redução de gases-estufa, mas só os europeus estão comprometidos com o prolongamento de Kyoto. Rússia, Canadá e Austrália, que estavam na primeira fase de Kyoto, não irão fazer novos cortes nesse novo período.

3.2.4. Considerações sobre Aproveitamento Energético

O aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos está sendo amplamente discutido atualmente, e o assunto vem sendo tratado como uma solução para dois grandes problemas da atualidade: as conseqüências da destinação dos resíduos sólidos no solo e a busca de fontes alternativas para obtenção de energia.

Uma maneira para se mapear as informações sobre o avanço do aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos é a realização de um estudo de monitoramento e posteriormente um estudo prospectivo através de documentos de patentes.

Um estudo de monitoramento permite identificar as principais empresas e universidades que têm interesse pela pesquisa em obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos. Também é possível identificar os países que estão investindo nessa área, além de possibilitar a determinação dos potenciais campos onde a obtenção de energia poderá ser utilizada (SANTOS, et al., 2004).

Já a prospecção tecnológica está relacionada ao mapeamento do futuro, através da identificação das tendências do desenvolvimento científico e tecnológico e das possibilidades e oportunidades de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em áreas que podem ser importantes para o desenvolvimento econômico e social do país (JANNUZZI et al., 2004).

3.3. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Diversas pesquisas têm sido realizadas na área de resíduos sólidos e obtenção de energia através dos resíduos sólidos, e consequentemente podem gerar benefícios à sociedade por meio de inovações tecnológicas.

Segundo Mayerhoff (2008), o termo “prospecção tecnológica” pode ser definido como sendo a incorporação de informação ao processo de gestão tecnológica, buscando prever possíveis estados futuros da tecnologia. Outra definição resume este termo como sendo tentativas sistemáticas para observar, em longo prazo, o futuro da ciência, da tecnologia, da economia e da sociedade, com o objetivo de identificar as tecnologias emergentes que, provavelmente, produzirão maiores benefícios econômicos e sociais para uma nação.

As metodologias de prospecção são ferramentas que buscam entender as forças que orientam o futuro, de modo a construir um determinado conhecimento. Os estudos prospectivos buscam agregar valor às informações do presente, transformando-as em conhecimento de modo a subsidiar a construção de estratégias e identificação de rumos e oportunidades futuras para subsidiar a tomada de decisão (SANTOS, et al., 2004).

A prospecção pode ser utilizada para expor as adversidades e incertezas frente ao futuro, mas os resultados de uma atividade de prospecção geralmente apontam para quatro atitudes face ao futuro (GODET et al., 2000):

1) Passivo, que sofre a mudança;
2) Reativo, que aguarda os acontecimentos para tomar alguma ação;
3) Pré-ativo, que se prepara para as mudanças;
4) Pró-ativo, que atua no sentido de incitar as mudanças desejadas.

Mas isso não impossibilita a sobreposição dessas atitudes, o que vai depender do momento e da situação pela qual a organização está passando. Por exemplo, no contexto de crise, é normal que a reatividade sobreponha-se a todo o resto (GODET et al., 2000).

De uma maneira geral, os principais objetivos e potenciais benefícios dos exercícios de prospecção, são: entender as forças que orientam o futuro, antecipar e entender o percurso das mudanças, orientar o processo de tomada de decisão em ciência, tecnologia e inovação, subsidiar decisões relativas ao estabelecimento de prioridades em P&D, gestão de risco das inovações tecnológicas, melhoria da competitividade tecnológica de produtos e processos, organizar sistemas de inovação que correspondem aos interesses da sociedade, identificar as oportunidades e necessidades mais relevantes para a pesquisa no futuro e promover canais e

linguagens comuns para a circulação de informação e conhecimento estratégico para a inovação (JANNUZZI et al., 2004).

Os estudos prospectivos são divididos em curto, médio e longo prazo, sendo (CARDOSO, 2005):

- Curto prazo → 1 a 3 anos;
- Médio prazo → 3 a 5 anos;
- Longo prazo → 10 anos, podendo se estender por mais tempo.

As metodologias de prospecção são (CARDOSO, 2005):

- Monitoramento (*Assessment*) → acompanhamento e evolução dos fatos e fatores portadores de mudanças;
- Previsão (*Forecasting*) → consiste em projeções com base em informações históricas;
- Visão (*Foresight*) → consiste na antecipação de possibilidades futuras com base de interação entre especialistas.

A seleção das técnicas e métodos a serem empregados em um estudo de prospecção dependerá dos seguintes itens:

• Área de conhecimento em questão;

• Aplicação da tecnologia no contexto regional ou local, governamental ou empresarial;

• Abrangência do estudo;

• Tempo disponível;

• Custo.

A atividade prospectiva já está sendo amplamente utilizada no mundo e a sua implementação ainda é a maior dificuldade a ser enfrentada, visto que os estudos de futuro são complexos, por tentarem antecipar um futuro incerto, afetado por um número enorme de variáveis não controláveis de natureza social, política, ambiental, econômica, tecnológica e cultural (COELHO, 2005).

Porém, os estudos prospectivos constituem subsídios importantes para a tomada de decisão sobre estratégias a serem perseguidas e a abordagem adotada nos trabalhos deve incorporar a avaliação de impactos sociais, éticos e ambientais da tecnologia.

Sobretudo, é necessário ressaltar que para se desenhar o futuro é preciso ir além daquilo que é conhecido, permitir a entrada de novas idéias e posicionamentos, compartilhar questões

inquietantes e provocativas e, ainda, encontrar linguagem e crença comuns para se estabelecer um padrão mental que permita construir o caminho da mudança (SANTOS, et al., 2004).

No Brasil, a condição essencial para que os estudos prospectivos prosperem é a construção de uma metodologia própria, porque das diferenças espaciais, populacionais e do estágio social e econômico de cada país derivam variações fundamentais que precisam ser incorporadas à concepção de cada estudo e à metodologia (BARROS, 2002).

3.3.1. Patentes como Fonte de Informação

Junto à inovação tecnológica vem à necessidade da proteção desta por meio do sistema de patentes, que tem a função de proteger a exploração de uma inovação pelo seu criador/inventor.

Segundo MARTINS (2008), as patentes podem ser consideradas um amplo recurso de conhecimento de natureza científica e comercial; constituindo grandes fontes de informação de natureza tecnológica. Tal informação pode ser comprovada por OLIVEIRA et al., (2005) que afirma: “uma das formas de se medir o desenvolvimento de um país está diretamente ligada ao número de patentes concedidas aos seus nacionais em outro país, especialmente os desenvolvidos”.

As patentes trazem importantes vantagens para as empresas, à medida que permitem algumas inferências sobre o mercado, permitindo, de forma rápida, um bom nível de resumo de informações relevantes, como tecnologias, principais atores (“players”), mercados e parcerias. São importantes fontes de informação para o acompanhamento do desenvolvimento tecnológico dos países, podendo ser consideradas um indicador do desenvolvimento tecnológico e da inovação (CANONGIA, 2008; MARTINS, 2008).

Segundo OLIVEIRA et al. (2005), a patente é uma proteção legal, temporária, concedida pelo Estado ao inventor ou ao seu titular, que garante a estes a exclusividade de explorar comercialmente o objeto protegido, impedindo terceiros de usar, produzir ou realizar quaisquer atividades com o bem protegido sem sua devida autorização. É função, portanto, de um sistema de patentes a busca do equilíbrio dos interesses do titular/depositante (direito de exclusividade) com os da sociedade (divulgação da invenção).

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

Este capítulo tem como finalidade apresentar os métodos que foram utilizados para a obtenção dos dados que fornecerão a sustentação e validade deste trabalho.

4.1. MONITORAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A revisão bibliográfica desta dissertação foi realizada em diversas bases de dados, tais como *Science Direct*, Web of Science, Scielo, Minerva, além do site de buscas Google Acadêmico, Biblioteca da COMLURB, Pesquisa da Abrelpe, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.

Os artigos e informações obtidos nessa fase de pesquisa foram analisados com o objetivo de mapear os resíduos sólidos urbanos, apresentando assim todas as informações necessárias para o entendimento da utilização dos referidos resíduos para a obtenção de energia.

4.1.1. Monitoramento tecnológico a partir de artigos – *Web of Science*

A primeira prospecção realizada foi em site de buscas de artigos científicos, complementando assim o mapeamento realizado na revisão bibliográfica. A busca foi realizada a partir do ano 2000 até o ano de 2013.

A base de dados de artigos científicos *Web Of Science*, disponível no banco de dados ISI WEB OF KNOWLEDGEsm, é uma ferramenta, atualizada semanalmente, que permite, além da pesquisa habitual por ocorrência de palavras no registro, também a pesquisa de artigos relacionados e o estabelecimento de ligações entre artigos que citam outros ou são citados por outros. Essa base de dados é a designação comum que é dada a um conjunto de bases de dados também conhecidas como *Science Citation Indexes (Science Citation Index, Social Science Citation Index, Arts and Humanities Citation Index)*, compiladas pelo *ISI (Institute for Scientific Information).* Além destas, estão também incluídas na *Web of Science* as bases de dados *Current Chemical Reactions e Index Chemicus.*

A busca foi realizada usando palavras chaves na base de dados de artigos citada acima conforme mostrado na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Palavras-chave utilizadas na base de artigos científicos Web of Science.

PALAVRAS-CHAVE	*CAMPO*	*BASE DE ARTIGOS*
Energy Recovery	Resumo	Web of Science
Energy Utilization	Resumo	Web of Science
Solid Waste	Resumo	Web of Science
Waste to Energy	Resumo	Web of Science
Heat Recovery	Resumo	Web of Science
Thermal Recovery	Resumo	Web of Science
Energy Generation	Resumo	Web of Science
Waste to Energy and Solid Waste	Resumo	Web of Science
Energy Recovery and Solid Waste	Resumo	Web of Science
Energy Utilization and Solid Waste	Resumo	Web of Science
Cogeneration and Solid Waste + Energy	Resumo	Web of Science

A análise dos dados obtidos foi realizada em três níveis de profundidade e refinamento: macro, meso e micro. Na análise macro foi analisado o ano e o país de publicação dos artigos, na análise meso foi analisado as principais revistas científicas que publicaram os artigos e na análise micro, o tipo de tecnologia utilizada nos artigos encontrados.

4.1.2. Monitoramento tecnológico de patentes

Posteriormente, foi realizada uma busca nas bases de dados de documentos de patentes como: USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) e INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial).

Segundo Martins (2008), as patentes podem ser consideradas um amplo recurso de conhecimento de natureza científica e comercial; constituindo grandes fontes de informação de natureza tecnológica. Tal informação pode ser comprovada por Oliveira et al., (2005) que afirma: “uma das formas de se medir o desenvolvimento de um país está diretamente ligada ao número de patentes concedidas a ele, especialmente os desenvolvidos”.

A análise de patentes está baseada no pressuposto de que o aumento do interesse por novas tecnologias se refletirá no aumento da atividade de P&D e que isso, por sua vez, se refletirá no aumento do depósito de patentes. Dessa forma, presume-se que pode identificar novas tecnologias pela análise dos padrões de pedidos de patentes em determinado campo, onde os resultados são, muitas vezes, apresentados de forma quantificada, mas seu uso no processo decisório é baseado numa avaliação qualitativa (MAYERHOFF, 2008).

Junto à inovação tecnológica vem à necessidade da proteção desta por meio do sistema de patentes, que tem a função de proteger a exploração de uma inovação pelo seu criador/inventor. Por isso, o estudo técnico será realizado levando em consideração os documentos de patentes relacionadas à área de estudo.

4.1.2.1. Base de dados do INPI

Primeiramente a busca foi realizada na base de dados de documentos de patentes do INPI, disponível no endereço eletrônico www.inpi.gov.br, que contém os dados dos pedidos de patente depositados no Brasil.. Essa base contêm apenas documentos depositados ou publicados no Brasil, onde a busca pode ser feita no documento completo ou em campos específicos. Inicialmente a busca foi realizada do ano de 1970 a 2013 e posteriormente do ano de 2000 a 2013.

A busca por meio de análise dos documentos de patentes utilizando a base de patentes do INPI foi realizada utilizando “pesquisa avançada” com diversas palavras chave, conforme mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2- Critérios de busca utilizados na base de patentes INPI.

PALAVRAS-CHAVE	*CAMPO*
Resíduos Sólidos	Resumo
Aproveitamento de Energia	Resumo
Recuperação de Energia	Resumo
Recuperação de Calor	Resumo
Recuperação Térmica	Resumo
Geração de Energia	Resumo
Aproveitamento de Energia and Resíduos	Resumo
Aproveitamento de Energia and Resíduos Sólidos	Resumo
Recuperação de Energia and Resíduos	Resumo
Recuperação de Energia and Resíduos Sólidos	Resumo
Cogeração and Resíduos Sólidos + Energia	Resumo

A análise dos dados obtidos foi realizada nos três níveis já mencionados anteriormente - macro, meso e micro. Na análise macro foi analisado o ano de publicação das patentes encontradas no INPI, na análise meso foi analisado o tipo de depositante das patentes e na análise micro, o tipo de tecnologia utilizada nas patentes encontradas.

4.1.2.2. Base de dados do USPTO

Posteriormente foi realizada a busca na base de patentes USPTO (*United States Patent and Trademark Office*/Escritório Norte-Americano de Marcas e Patentes), disponível no endereço eletrônico www.uspto.gov, é uma ferramenta gratuita do escritório americano de marcas e patentes, que permite identificar separadamente as patentes concedidas e os pedidos publicados. Essa base contêm apenas documentos depositados ou publicados nos Estados Unidos, onde a busca pode ser feita no documento completo ou em campos específicos; sendo permitido truncagem e o uso de operadores (AND, OR, AND NOT). A busca foi realizada a partir do ano 2000 até o ano de 2013.

A pesquisa foi realizada utilizando o campo “pesquisa avançada” com diversas palavras chave conforme demonstrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3- Critérios de busca utilizados na base de patentes USPTO.

PALAVRAS-CHAVE	*CAMPO*
Energy Recovery	Resumo
Energy utilization	Resumo
Solid Waste	Resumo
Heat Recovery	Resumo
Thermal Recovery	Resumo
Energy Generation	Resumo
Waste to energy	Resumo
Waste to energy and Solid waste	Resumo
Energy Recovery and Solid waste	Resumo
Energy utilization and Solid waste	Resumo
Cogeneration and solid waste + energy	Resumo

A análise dos dados obtidos foi realizada igualmente nos níveis macro, meso e micro.

4.2. ESTUDO DE CASO DE UMA PLANTA PILOTO EM UMA USINA DE INCINERAÇÃO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA OBTENÇÃO DE ENERGIA

O estudo de caso foi realizado para complementar a teoria estudada, por meio de um caso real de geração de energia elétrica em uma planta piloto. Para tal, foram realizadas pesquisas de campo na planta piloto, contato direto com a equipe executora do projeto e com a equipe que opera a planta.

O método de estudo de caso prevê a realização de três principais etapas de pesquisa, que são: definição e planejamento; preparação, coleta e análise; análise e conclusão (YIN, 2001).

Por isso, o estudo de caso foi iniciado com a revisão da literatura sobre os temas relacionados ao projeto da Usina Verde, localizada no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) da Ilha do Fundão e o planejamento da visita. Posteriormente foi elaborado um roteiro para a entrevista do Engenheiro responsável pela planta piloto, durante a visita e somente após a visita é que foram realizadas as análises e conclusões.

Desta forma, foram seguidas as cinco características gerais de um estudo de caso, conforme Yin (2001): ser significativo, abordando temas teóricos importantes e de interesse do público geral; ser completo, demonstrando que o pesquisador realizou grande esforço para coletar evidências pertinentes; considerar perspectivas alternativas; exibir suficiente evidência, para que se consiga atingir o que se pretendeu ilustrar e, finalmente, ser atrativo, com redação clara e interessante (FIGUEIREDO, 2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos a respeito da obtenção de energia a partir de resíduos sólidos.

5.1. MONITORAMENTO E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

5.1.1. Monitoramento tecnológico a partir de artigos – *Web of Science*

Para o monitoramento tecnológico utilizando a base de dados Web of Science foram realizadas diversas buscas, com termos de pesquisa diferentes. A Tabela 5.1 traz um resumo dos critérios de busca realizados, apresentando as palavras-chave empregadas, o número de publicações obtidas e o número de publicações relevantes para o assunto em questão, que seriam os artigos que efetivamente estão tratando do aproveitamento energético dos resíduos sólidos, e não somente citando o assunto ao longo do texto.

Tabela 5.1 - Critérios de busca utilizados na base de dados Web of *Science*, os respectivos números de publicações encontradas e o número de publicações relacionadas com o assunto.

PALAVRAS-CHAVE	*CAMPO*	*NÚMERO DE PUBLICAÇÕES*	*NÚMERO DE PUBLICAÇÕES RELEVANTES*
Energy Recovery	Resumo	8.320	-
Energy Utilization	Resumo	6.897	-
Solid Waste	Resumo	4.084	-
Waste to Energy	Resumo	7.394	-
Heat Recovery	Resumo	420	**121**
Thermal Recovery	Resumo	246	**95**
Energy Generation	Resumo	318	**104**
Waste to Energy and Solid Waste	Resumo	160	**85**
Energy Recovery and Solid Waste	Resumo	194	**60**
Energy Utilization and Solid Waste	Resumo	20	**8**
Cogeneration and Solid Waste + Energy	Resumo	35	**10**

Devido ao grande número de artigos encontrados para as palavras-chave “Energy Recovery”, “Energy Utilization”, “Solid waste” e “Waste to energy”, não foi avaliada a relevância desses artigos, pois muitos desses artigos encontrados podem estar somente citando o tema em seu resumo, visto que esse tema está em alta nas discussões e estudos em todo o mundo, nos anos pesquisados.

Por isso, esses dados encontrados foram utilizados somente para o início das buscas e o número total de artigos publicados que serão analisados a partir de agora será de 483, conforme os dados da Tabela 5.1, visto que foi o número total de artigos encontrados para as buscas mais refinadas, já excluindo os artigos repetidos.

5.1.1.1. Análise Macro

A análise macro foi realizada a fim de se obter informações sobre a distribuição dos artigos por ano de publicação e por país.

A) Distribuição por Ano

A Figura 5.1 mostra a evolução temporal do número de artigos relacionados ao aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos.

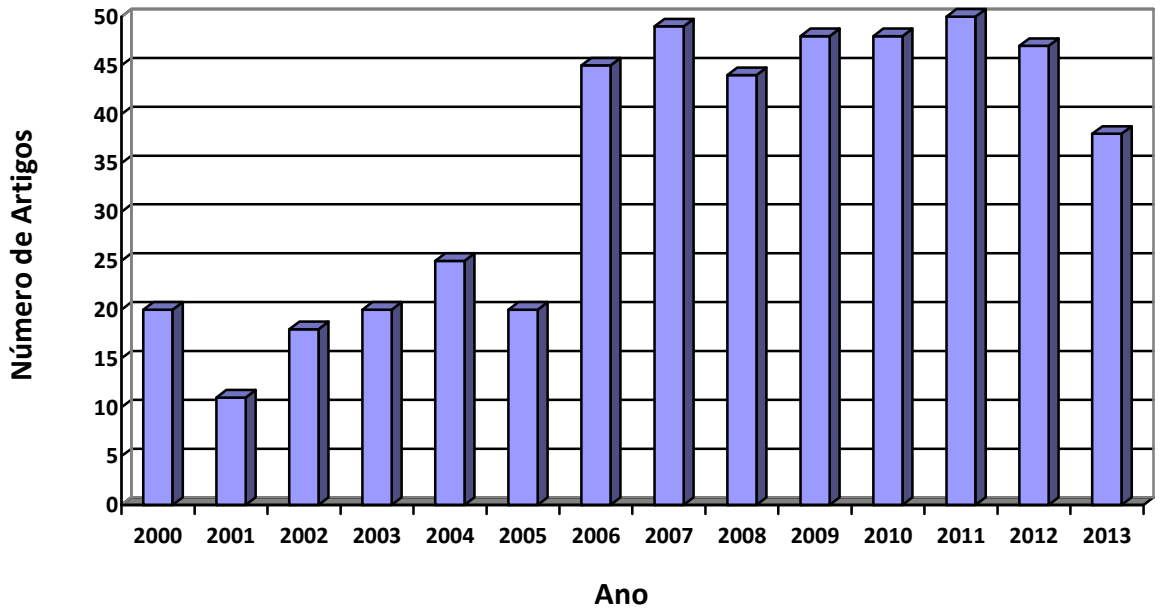


Figura 5.1 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por ano.

Analisando a distribuição dos artigos por ano de publicação, observa que a partir de 2006 é que se concentram as publicações de artigos relacionadas com o assunto, porém desde 2000 já existiam publicações sobre o tema. De uma forma geral, percebe-se que o número de artigos publicados em relação ao aproveitamento de energia a partir de resíduos sólidos ainda é baixo, podendo-se concluir que este tema encontra-se ainda em fase de estudo e desenvolvimento.

B) Distribuição por País

Quanto às publicações de artigos, a Itália aparece em destaque com 20% das publicações, conforme mostra a Figura 5.2. Porém, em termos de artigos publicados, a China e Grécia também se mostram notáveis, com 14% e 12%, respectivamente, do total de publicações em aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos. Em seguida aparecem Brasil, EUA, e Japão, todos com 9% do total de artigos publicados, seguidos pela Índia, com 6% e por último Coréia, Irã, Suécia, Portugal, Bangladesh, Finlândia e Malásia, todos com 3% do total de artigos publicados voltados para o assunto.

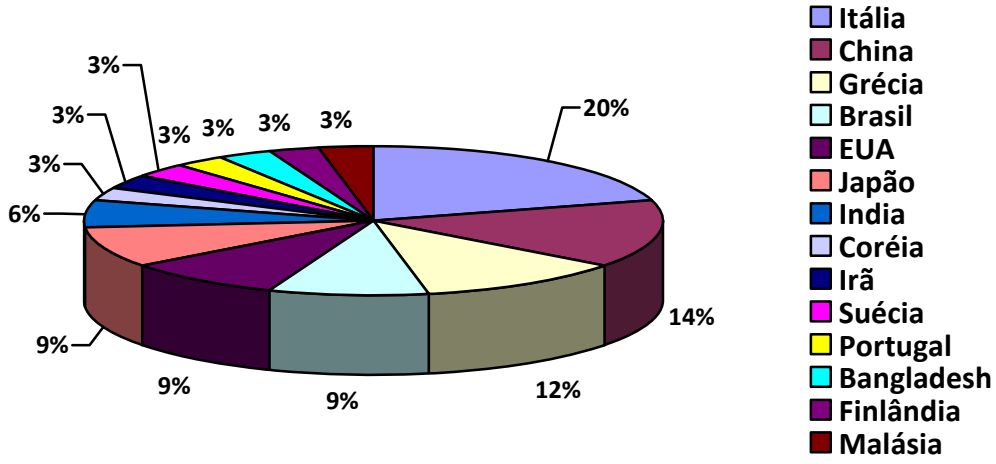


Figura 5.2 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por país.

Analisando a Figura 5.2, pode-se perceber que a Itália aparece com o maior número de artigos publicados voltados para o tema de estudo, que comprova o que já abordado na revisão bibliográfica, onde é explicitado que os países da Europa são pioneiros no aproveitamento de energia a partir de resíduos sólidos urbanos. Além da Itália outros países da Europa aparecem com uma menor contribuição nos artigos encontrados, como Grécia, Suécia, Portugal e Finlândia. Os EUA também aparecem com uma boa contribuição nos artigos, visto que eles também possuem tecnologias bem avançadas relacionadas ao aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos.

Alguns dos países que também possuem tecnologias avançadas, tais como Canadá e demais países da Europa, não apareceram na busca realizada. Pode-se explicar esse fato por esse assunto já ter sido bastante estudado e implementado; até mesmo EUA e Japão que aparecem nas buscas realizadas, mas não representam a maioria dos artigos.

O Brasil mostra nos resultados constante esforço de pesquisa na área visto que aqui a utilização de tecnologias de reaproveitamento de resíduos para fins energéticos ainda é bastante incipiente.

Outro ponto a ser analisado é a grande quantidade de países da Ásia nos artigos publicados, mostrando que também estão buscando se aprimorar na tecnologia em questão. Os países da Ásia estão sendo liderados pela China e Japão, que são os países mais avançados no assunto, sendo o Japão principalmente na tecnologia de Incineração, devido ao tamanho do seu território que não permite a separação de grandes áreas para a construção de aterros sanitários.

5.1.1.2. Análise Meso

Nesta análise meso, foram analisados as principais revistas científicas que publicaram artigos voltados para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos.

A Tabela 5.2 mostra que as revistas que mais se destacam são*: Waste Management, Renewable and Sustainable Energy Reviews* e *Energy Conversion and Management*, sendo cada uma responsável por aproximadamente, 29,40%, 18,01% e 16,15%, respectivamente, do total de publicações. As demais revistas somadas representam 36,44% do total de artigos publicados no Web of Science.

Tabela 5.2 - Distribuição dos artigos por principais revistas de publicação.

REVISTAS CIENTÍFICAS	*NÚMERO DE PUBLICAÇÕES*	*PUBLICAÇÕES (%)*
Waste Management	142	29,40
Renewable and Sustainable Energy Reviews	87	18,01
Energy Conversion and Management	78	16,15
Energy	46	9,52
Fuel and Energy Abstracts	33	6,83
Waste Management & Research	28	5,80
Resources, Conservation and Recycling	21	4,35
Applied Energy	14	2,90
Journal of Dairy Science	10	2,07
Energy and Buildings	8	1,66
Process Safety and Environmental Protection	5	1,04
Bioresource Technology	4	0,83
Energy Policy	4	0,83
Journal of Hazardous Materials	3	0,61

Pela análise da Tabela 5.2 é possível identificar que as revistas qualificadas nas áreas de engenharia química e engenharia ambiental, segundo classificação da CAPES, são as que possuem um maior número de artigos publicados pela busca realizada, evidenciando assim a busca de tecnologias realmente promissoras.

5.1.1.3. Análise Micro

Nesta análise, adotou-se como parâmetros o tipo de tecnologia utilizada em cada artigo publicado sobre o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos.

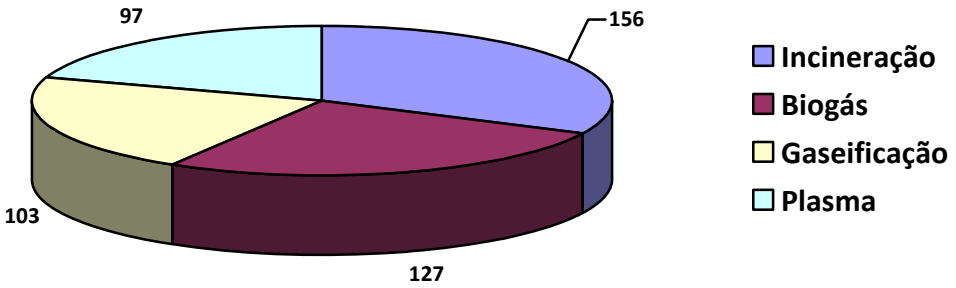


Figura 5.3 – Distribuição dos artigos coletados na base Web of Science por tecnologia utilizada.

Observando a Figura 5.3 é possível notar que nos artigos encontrado a tecnologia predominante foi a incineração que como já dito anteriormente, é a tecnologia mais estudada no mundo, seguido do biogás, da gaseificação e posteriormente do plasma, que é uma nova tecnologia para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos, sendo o primeiro artigo publicado sobre esse assunto nas buscas realizadas em 2004. Essa nova tecnologia consiste na trituração e superaquecimento (850° C) dos resíduos, que em sua forma gasosa, passa para um tanque que possui dois eletrodos e que passa uma altíssima corrente elétrica (MEDEIROS, 2011). Essa corrente é o que transforma esse material em plasma (devido à alta temperatura), quebrando suas moléculas em átomos simples e não nocivos (como o carbono e o hidrogênio) que podem ser reaproveitados ou vendidos para indústrias ou usados como fertilizantes (SHARMA, 2012). Embora essa técnica necessite de uma grande quantidade de energia, no fim no processo o saldo energético é positivo, já que a energia liberada na formação do plasma é cinco vezes a utilizada (MEDEIROS, 2011).

Com essas informações pode-se concluir que os estudos sobre incineração, biogás e gaseificação continuam avançando para a melhoria dos mesmos, porém com o surgimento de novas tecnologias os estudos passam a ser divididos entre as já existentes e as novas para que assim seja alcançado um aproveitamento energético com altos índices de aproveitamento dos resíduos e com poucos fatores negativos ao ambiente.

5.1.2. Análise de documentos de patentes da base de dados do INPI

A Tabela 5.3 traz um resumo dos critérios de busca realizados na base de patentes do INPI, apresentando as palavras-chave empregadas, o número de depósitos obtidos e o número de patentes relevantes para o assunto em questão.

Tabela 5.3 - Critérios de busca utilizados na base de patentes do INPI, os respectivos números de patentes publicadas e o número de patentes relacionadas com o assunto.

PALAVRAS-CHAVE	*CAMPO*	*NÚMERO DE PATENTES PUBLICADAS (INPI)*	*NÚMERO DE PATENTES PUBLICADAS RELEVANTES*
Resíduos Sólidos	Resumo	5.364	-
Aproveitamento de Energia	Resumo	1.772	-
Recuperação de Energia	Resumo	1.248	-
Recuperação de Calor	Resumo	310	**95**
Recuperação Térmica	Resumo	250	**64**
Geração de Energia	Resumo	123	**52**
Aproveitamento de Energia and Resíduos	Resumo	125	**66**
Aproveitamento de Energia and Resíduos Sólidos	Resumo	49	**13**
Recuperação de Energia and Resíduos	Resumo	110	**58**
Recuperação de Energia and Resíduos Sólidos	Resumo	65	**8**
Cogeração and Resíduos Sólidos + Energia	Resumo	74	**21**

Devido ao grande número de patentes para as palavras chave “Resíduos Sólidos”, “Aproveitamento de Energia” e “Recuperação de energia”, não foram avaliadas as relevâncias das patentes encontradas, visto que devido à grande quantidade de resultados eles não estão completamente voltados para o assunto pesquisado, e a análise detalhada das buscas realizadas com as palavras-chave mais específicas garante que a análise será realizada exatamente no assunto em questão. Por isso, esses dados encontrados foram utilizados somente para o início das buscas, conforme realizado no mapeamento através de artigos, e o número total de patentes

publicadas que serão analisados a partir de agora será de 377, conforme os dados da Tabela 5.3, visto que foi o número de patentes publicadas encontradas para as buscas mais refinadas, já excluídas os documentos de patentes repetidos.

5.1.2.1. Análise Macro

A análise macro foi realizada a fim de se obter informações sobre a distribuição das patentes por ano de publicação.

Além da relevância dos resultados é importante saber em qual ano as patentes foram solicitadas, por isso a Tabela 5.4 apresenta uma comparação da quantidade de patentes publicadas em um longo período de tempo (1970 a 2013) e em um espaço de tempo mais curto e atual (2000 a 2013).

Tabela 5.4 – Comparação da quantidade de patentes solicitadas ao longo dos anos da base de patentes do INPI.

PALAVRAS-CHAVE	***NÚMERO DE PATENTES PUBLICADAS ENTRE 1970 E 2013(INPI)***	***NÚMERO DE PATENTES PUBLICADAS ENTRE 2000 E 2013 (INPI)***
Recuperação de Calor	**95**	80
Recuperação Térmica	**64**	48
Geração de Energia	**52**	34
Aproveitamento de Energia and Resíduos	**66**	43
Aproveitamento de Energia and Resíduos Sólidos	**13**	11
Recuperação de Energia and Resíduos	**58**	46
Recuperação de Energia and Resíduos Sólidos	**8**	5
Cogeração and Resíduos Sólidos + Energia	**21**	19

Pela Tabela 5.4 pode-se verificar que a grande maioria das patentes foram depositadas e publicadas a partir do ano 2000, comprovando assim o interessse pela destinação adequada dos

resíduos sólidos e com a obtenção de energia de modo sustentável. Dos 377 documentos de patentes analisados, apenas 91 são anteriores a 2000.

A Figura 5.4 mostra a evolução temporal do número de patentes publicadas relacionados ao aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos.

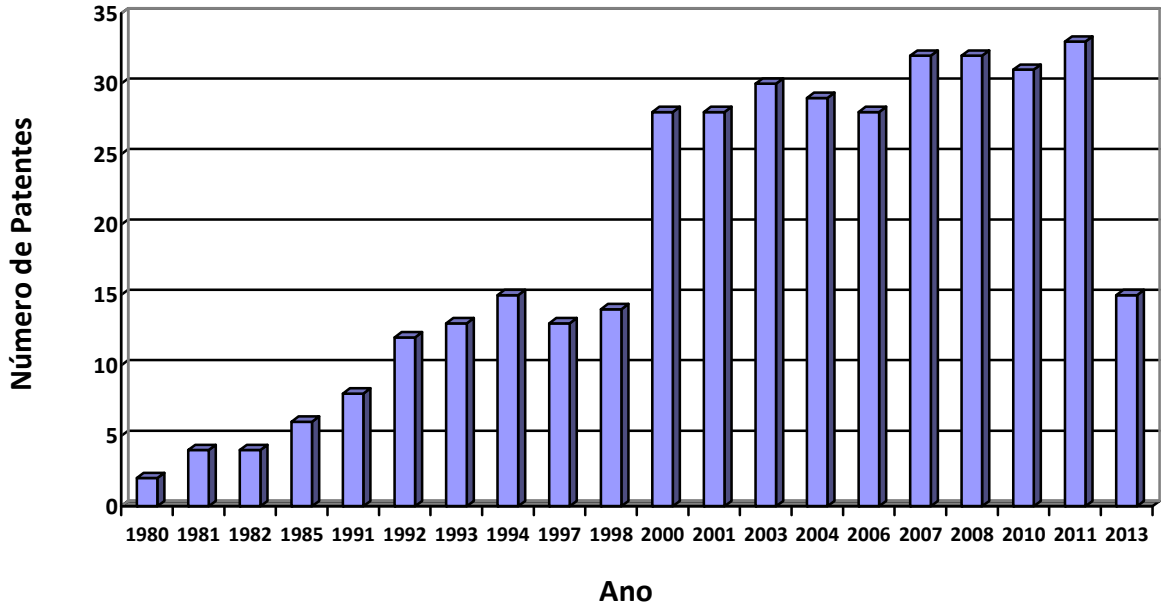


Figura 5.4 – Distribuição das patentes coletadas no site do INPI por ano de publicação.

Analisando a distribuição dos patentes por ano de publicação, observa que a partir de 2000 houve um aumento das patentes publicadas, comprovando assim os dados da Tabela 5.6, ou seja, o aumento de publicações de patentes a partir do ano 2000. Além disso, possivelmente foi um pouco antes desse período que se passou a ter uma maior preocupação com a destinação adequada dos resíduos sólidos e com a obtenção de uma energia de fonte renovável, visto que se deve levar em consideração o tempo gasto na publicação de uma patente.

5.1.2.2. Análise Meso

Nesta análise meso, foram analisados os tipos de depositante das patentes publicadas no INPI que são voltadas para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos.

Pela análise, notou-se que a maioria das patentes publicadas foi enviada por empresas e pessoas físicas/escritório de marcas e patentes, sendo que do total de 377 patentes publicadas,

192 foram publicadas pessoa física ou escritório de marcas e patentes, 153 foram publicadas por empresas e somente 32 patente publicada por universidade.

Esse resultado aponta a necessidade em aumentar a integração entre as empresas e as universidades, pois sendo as universidades as maiores detentoras do conhecimento, a parceria com as empresas seria de grande interesse para ambas as partes e permitiria um elevado crescimento das tecnologias em uma determinada área.

5.1.2.3. Análise Micro

Nesta análise, adotou-se como parâmetros o tipo de tecnologia utilizada em cada patente publicada no INPI sobre o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos.

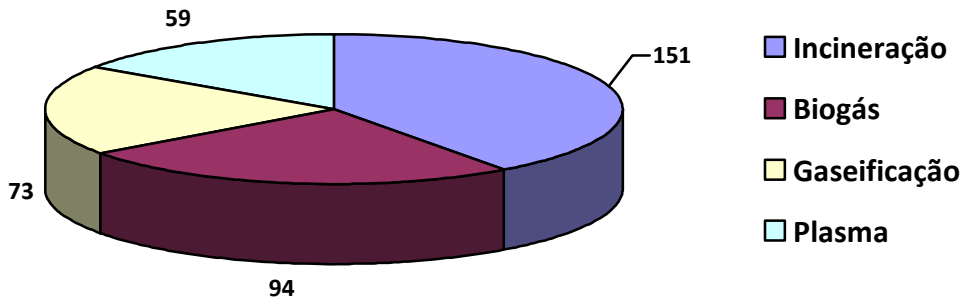


Figura 5.5 – Distribuição das patentes publicadas no INPI por tecnologia utilizada.

Observando a Figura 5.5 é possível notar que nas patentes publicadas encontradas a tecnologia predominante foi a incineração, uma tecnologia que está amplamente difundida no mundo para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos, seguido pelo biogás. Nas patentes encontradas também foi utilizada a tecnologia de plasma, que conforme já mencionado, é uma nova tecnologia para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos, mostrando assim que o Brasil está em busca de novas tecnologias para a destinação adequada dos resíduos sólidos e para a obtenção de uma energia sustentável. É possível verificar que a tecnologia da gaseificação também é utilizada nas patentes publicadas.

5.1.3. Análise de documentos de patentes da base de dados do USPTO

Para a análise utilizando a base de dados do USPTO foram realizadas diversas buscas, com termos de pesquisa diferentes. A Tabela 5.5 traz um resumo dos critérios de busca realizados na base de patentes do USPTO, apresentando as palavras-chave empregadas, o número de depósitos obtidos e o número de patentes relevantes para o assunto em questão.

Pela base de patentes USPTO é possível analisar a quantidade de patentes depositadas por países de todo o mundo, visto que a base é dos Estados Unidos, mas qualquer empresa e/ou pesquisador de qualquer lugar do mundo pode depositar sua solicitação de patente para análise.

Tabela 5.5 - Critérios de busca utilizados na base de patentes do USPTO, os respectivos números de depósito de patentes encontrados e o número de depósitos de patentes relacionadas com o assunto.

PALAVRAS-CHAVE	***CAMPO***	***NÚMERO DE DEPOSITOS DE PATENTES (USPTO)***	***NÚMERO DE DEPOSITOS DE PATENTES RELEVANTES (USPTO)***
Energy Recovery	Resumo	1.522	**-**
Energy utilization	Resumo	1.128	**-**
Solid Waste	Resumo	1.920	**-**
Heat Recovery	Resumo	364	**105**
Thermal Recovery	Resumo	351	**91**
Energy Generation	Resumo	452	**139**
Waste to energy	Resumo	151	**87**
Waste to energy and Solid waste	Resumo	55	**42**
Energy Recovery and Solid waste	Resumo	110	**70**
Energy utilization and Solid waste	Resumo	87	**53**
Cogeneration and solid waste + energy	Resumo	52	**44**

Conforme realizado nas análises anteriores, não foi avaliada a relevância das patentes encontradas com as palavras chave “Energy Recovery”, “Energy Utilization” e “Solid Waste”. Por isso o número total de patentes publicadas que serão analisados a partir de agora será de 631, conforme os dados da Tabela 5.5, visto que foi o número de patentes publicadas encontradas para as buscas mais refinadas, já excluindo os documentos de patentes repetidos.

5.1.3.1. Análise Macro

A análise macro foi realizada a fim de se obter informações sobre a distribuição das patentes por ano de publicação e por país.

A) Distribuição por Ano

Na Figura 5.6 mostra a evolução temporal do número de patentes publicadas relacionados ao aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos.

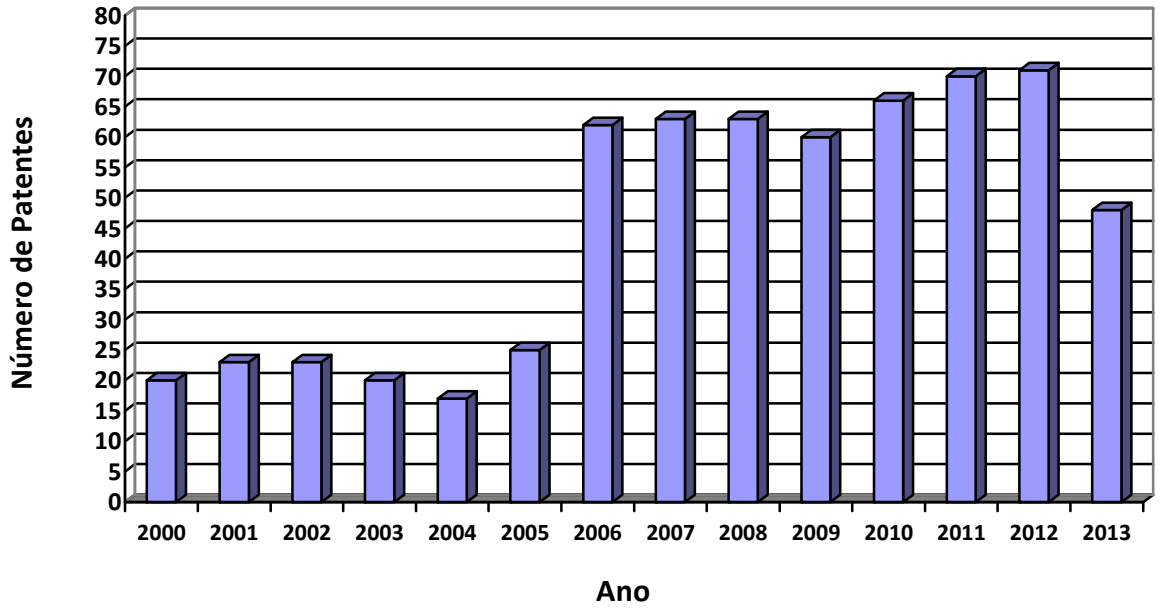


Figura 5.6 – Distribuição das patentes coletadas no site do USPTO por ano de publicação.

Analisando a distribuição dos patentes por ano de publicação, observa que a partir de 2006 ocorreu um aumento das patentes publicadas voltadas para a obtenção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, comprovando novamente a maior preocupação com a destinação adequada dos resíduos sólidos e com a obtenção de energia de fonte renovável..

B) Distribuição por País

Quanto à análise das patentes publicadas na base de dados de patentes USPTO, os Estados Unidos aparece em destaque com 41% das publicações, seguidos pelo Canadá com 13% e Japão com 10% conforme mostra a Figura 5.7.

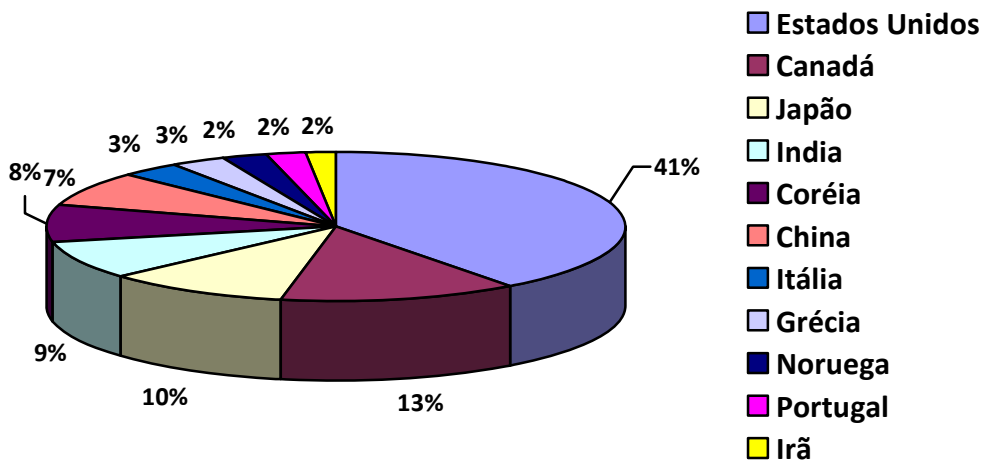


Figura 5.7 – Distribuição das patentes coletadas no site do USPTO publicadas por país.

A Figura 5.7 apresenta o número de patentes depositadas por país, e aponta os Estados Unidos como o principal país depositante. Como o estudo foi feito na base de dados americana, isso pode ter influenciado o resultado, ou seja, outros países podem ter mais patentes depositadas em outras bases. Países europeus, por exemplo, podem ter um número maior de patentes na base de patentes européia, o *European Patent Office*. Na pesquisa realizada apenas a Itália, Grécia, Noruega e Portugal representam o território europeu, com um somatório de 10% do total de patentes, o que indica que deve haver outras patentes de países europeus em outras bases, uma vez que a Europa, no geral, tem bom desenvolvimento, e investe em pesquisa e desenvolvimento, no assunto em questão.

Outra informação que se pode concluir pelo gráfico é o número de patentes depositadas pelo Japão, confirmando a informação que devido ao tamanho de seu território, a destinação de resíduos é um problema e por isso o empenho em novas tecnologias para a destinação adequada é primordial no país, além é claro dos estudos no país para a busca de uma energia sustentável.

5.1.3.2. Análise Meso

Nesta análise meso, foram analisados os tipos de depositante das patentes publicadas no USPTO que são voltadas para o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos.

Pela análise realizada, notou-se que a maioria das patentes foi publicada por empresas, onde do total de 631, 338 foram publicadas por empresa, 197 por pessoa física ou escritório de marcas e patentes e somente 96 por universidades, mostrando assim que a necessidade em aumentar a integração entre as empresas e as universidades, verificado no Brasil, também acontece mundialmente.

5.1.3.3. Análise Micro

Nesta análise, adotou-se como parâmetros o tipo de tecnologia utilizada em cada patente publicada no INPI sobre o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos, conforme apresentado na Figura 5.8.

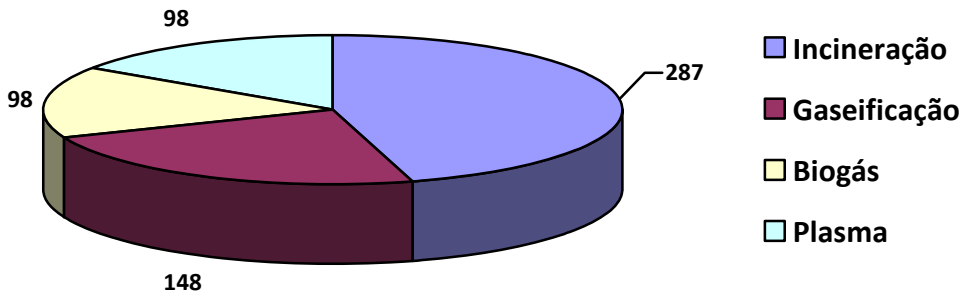


Figura 5.8 – Distribuição das patentes publicadas no USPTO por tecnologia utilizada.

Observando a Figura 5.8 é possível notar que nas patentes publicadas encontradas a tecnologia predominante foi também a incineração, conforme verificado nas patentes do INPI. Também foi verificado patentes que citam sobre a tecnologia de plasma, uma nova tecnologia para aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos. Além disso, também foi possível verificar patentes que utilizam o biogás e gaseificação, conforme mencionado nas buscas anteriores.

5.2. DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA PROSPECÇÃO

Analisando os dados obtidos pelos levantamentos realizados em base de dados de artigos e nas bases de dados de patentes, uma consideração que pode ser feita é sobre os estudos na nova tecnologia de plasma.

Portanto, uma primeira consideração que se pode fazer é que as inovações sobre a tecnologia de plasma estão cada vez mais avançando, pois pelos levantamentos realizados já existem algumas empresas e universidades no Brasil e no mundo pesquisando e investindo nessa nova tecnologia. Por isso, o primeiro possível cenário seria um aumento nos investimentos para os estudos da tecnologia do plasma, onde seria possível a instalação de uma planta piloto para avaliação de custo-benefício e outros itens importantes para a evolução da tecnologia.

Uma segunda consideração a ser feita é sobre o aprimoramento das tecnologias existentes hoje para a incineração, onde poderia ser focado na parte de um melhor aproveitamento da energia gerada e na diminuição das emissões de substancias tóxicas, pois em algumas das patentes encontradas na base do USPTO já foi possível verificar esse tipo de preocupação.

Além disso, uma questão ainda problemática são as emissões do processo de incineração, que são as dioxinas e furanos, que mesmo em baixas concentrações, possuem um grande potencial cancerígeno quando em contato com o homem, além disso, a dioxina é uma substância altamente prejudicial à vida. Ainda se desconhecem as áreas de influência das emissões e da sua deposição nos solos e assim, a incineração de resíduos pode colocar em risco a saúde não apenas daqueles que trabalham na planta das usinas, como no entorno, sem um limite seguro de distância, já que o vento e a poeira podem transportar a dioxina para cada vez mais longe com o passar do tempo.

6. ESTUDO DE CASO

Será apresentado a seguir o estudo de caso da Usina Verde, uma usina protótipo de incineração de resíduos sólidos urbanos para obtenção de energia elétrica. No Brasil existem outras plantas piloto para aproveitamento de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, porém como a Usina Verde fica localizada no Rio de Janeiro ela foi escolhida para facilitar as visitas e contato para maiores esclarecimentos sobre a tecnologia.

6.1. LEVANTAMENTO DE DADOS DA USINA VERDE – UFRJ

Os dados da Usina Verde descritos abaixo foram obtidos a visita técnica ao CT Usina Verde realizado em 2012, acompanhado pelo Engenheiro do CT Alain Carelli. O Centro Tecnológico Usina Verde está localizado numa área de 5.000 m², em uma área da Fundação BIORIO, no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ. O projeto de uma Usina Protótipo de incineração de resíduos sólidos urbanos teve como objetivo evitar a formação do metano em aterro e gerar eletricidade para autoconsumo e vem sendo estudado desde 2004 (UFRJ/COPPE, 2004). Na Figura 6.1 é apresentada a localização do CT Usina Verde.

Figura 6.1 – Localização do CT Usina Verde. Fonte: Usina Verde (2012).

Para o desenvolvimento da tecnologia foi firmado um acordo de cooperação técnica com a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos – COPPETEC, em janeiro de 2002, para execução de serviços especializados, em nível de laboratório e de apoio técnico na implantação da Usina Protótipo, estudos do sistema de geração de energia elétrica e otimização do processo Usina Verde.

O Projeto da Usina Verde foi dividido em duas etapas, onde na primeira etapa houve consumo de energia proveniente da rede elétrica pela planta, visto que ainda não era possível ser auto-suficiente em energia elétrica. Na segunda etapa, a Usina passaria a ser auto-suficiente em energia elétrica, e hoje em dia a Usina já se encontra na segunda etapa do projeto, sendo assim auto-suficiente em energia elétrica.

A implantação do Centro Tecnológico Usina Verde e de sua Usina Protótipo ocorreu em duas fases:

- 1ª Fase: Projeto, construção e instalação/montagem da Área de Tratamento de Resíduos Urbanos, incluindo-se o prédio e equipamentos de recepção de resíduos e segregação de recicláveis, sala de controle, a instalação do forno e do sistema de lavagem de gases (2003/2004).
- 2ª Fase: Projeto, construção e instalação/montagem da Área de Recuperação de Calor e Geração de Energia, incluindo-se a instalação da caldeira de recuperação, do conjunto turbo-gerador e equipamentos auxiliares de geração de energia (2005).

Conforme UFRJ/COPPE (2004), esta Usina é considerada um projeto experimental de utilização de resíduos que contribui para o desenvolvimento sustentável do país, uma vez que desenvolve tecnologia de utilização e aproveitamento de resíduos, evita a emissão de metano que seria gerado nos aterros e substitui o uso de combustíveis fósseis na geração de eletricidade.

A tecnologia utilizada na Usina Protótipo denomina-se Mineralização de Resíduos Orgânicos e consiste na incineração do resíduo a temperaturas superiores a 1100ºC, cujos gases resultantes da incineração/pós-queima são neutralizados por processos de lavagem em circuito fechado, sendo que "o saldo qualitativo desta tecnologia reside no tratamento dos gases posterior à queima dos resíduos, desenvolvido para otimizar os custos de controle ambiental" (UFRJ/COPPE, 2004).

A Usina Protótipo implantada no Centro Tecnológico Usina Verde foi concebida de acordo com as normas técnicas e ambientais estabelecidas na Resolução CONAMA 316/2002 que “Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos”, e da Nota Técnica 574 –“Padrões de Emissões de Poluentes do Ar para Processo de Destruição Térmica de Resíduos Sólidos”, do INEA/RJ.

Após concluir com excelentes resultados o Teste de Queima previsto nas normas, o Centro Tecnológico Usina Verde obteve do INEA, em maio de 2005, obteve a Licença Ambiental de Operação (LO) do INEA/RJ.

Desde o mês de setembro de 2005 a Usina Protótipo do CT Usina Verde vem operando em regime contínuo, tratando 30 toneladas/dia de resíduo urbano e gerando 440 kWh que tem sido consumida na própria unidade. Importante observar-se que, embora se tratando de Usina Protótipo, sua capacidade de tratamento é equivalente à geração por dia de resíduo urbano de uma comunidade de aproximadamente 50 mil pessoas.

Os resíduos urbanos tratados na Usina Protótipo do Centro Tecnológico são recolhidos pela Usina Verde na Usina de Triagem e Compostagem da COMLURB, localizada no Bairro de Caju, no Rio de Janeiro, onde são retirados materiais recicláveis como latas de aço e alumínio, vidros, garrafas PET, plástico reciclável, papelão, etc.

A operação da Usina Protótipo do CT Usina Verde é realizada por 19 técnicos distribuídos por três turnos, sendo apoiada nas atividades de preparação da carga para o tratamento térmico por 12 integrantes de Cooperativa de Catadores (separação manual de materiais não combustíveis e de recicláveis ainda existentes).

O CT Usina Verde foi concebido integralmente com equipamentos desenvolvidos e fabricados no Brasil e está equipado com a instrumentação e sistemas de análise necessários para a realização dos mais variados testes e pesquisas: composição dos resíduos sólidos a tratar, temperatura do forno, vazão de ar de combustão, vazão e pH da solução de lavagem de gases e testes de resistência dos materiais.

Na Ilha do Fundão, além das entidades de pesquisa e desenvolvimento instaladas na própria Fundação BIORIO, estão implantados os centros de pesquisa da PETROBRAS (CENPES) e da ELETROBRÁS (CEPEL). A implantação do Centro Tecnológico Usina Verde em local próximo à comunidade acadêmica e a outros importantes órgãos de pesquisa tecnológica e biológica é o testemunho da viabilidade de sua operação em condições amigáveis com o ambiente urbano, confirmando os objetivos básicos do projeto Usina Verde.

A Usina Verde é pioneira, no Brasil, no desenvolvimento de tecnologia e processos para a implantação de Usinas Tratamento Térmico de resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia.

A Usina Verde é detentora de duas patentes:

- INPI 9404414-7 - Processo de Mineralização de Resíduos Orgânicos, registrada no Brasil, Argentina, Chile, Uruguai e Paraguai;
- INPI 9804473-7 - Patente de hélices turbinadas para lavadores de gases da incineração de resíduos, registrada no Brasil, Argentina, Chile, Uruguai e Paraguai, União Européia e Austrália.

Além destas Patentes em vigor, a Usina Verde encontra-se em tramitação no INPI a Patente PI-0700265-4 abrangendo o sistema de alimentação do forno, o sistema de movimentação das grelhas do forno e o arrastador de cinzas e escórias.

O processo Usina Verde pode ser, também, aplicado de forma eficiente para o tratamento de Resíduos Sólidos Industriais não perigosos, produzindo energia elétrica e/ou térmica para o consumo dos próprios geradores dos resíduos ou para comercialização da energia excedente.

O projeto de classificação do Centro Tecnológico Usina Verde como 'Mecanismo de Desenvolvimento Limpo', por evitar a emissão do metano e por gerar energia alternativa, foi aprovado em 14 de outubro de 2005 pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. A comprovação das emissões de CO_2 evitadas pelo CT Usina Verde foi certificada em outubro de 2007 pelo *Bureau Veritas Certification*.

6.1.1. A Tecnologia Usina Verde

O processo da Usina Verde de tratamento térmico e geração de energia a partir dos resíduos urbanos não recicláveis é precedido por criteriosa seleção manual/mecânica de todos os materiais recicláveis – garrafas de PET, papelão, latas de aço e de alumínio, vidros, etc. que serão destinados à indústria de reciclagem.

Somente são submetidos ao tratamento térmico a matéria orgânica e os resíduos combustíveis não recicláveis (papel e plástico contaminado com matéria orgânica, etc) ou seja, exatamente o material que seria destinado ao Aterro (USINA VERDE, 2012). Nas Figuras 6.2,

6.3 e 6.4 abaixo é apresentado fotos do recebimento e separação dos resíduos recebidos pelo CT Usina Verde.

Figura 6.2 – Prédio de pré-tratamento dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012).

Figura 6.3 – Área de recepção dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012).

Figura 6.4 – Esteira de separação dos resíduos. Fonte: Usina Verde (2012).

6.1.2. Fluxograma de operação

Na Figura 6.5 é apresentado um fluxograma esquemático do CT Usina Verde com todas as etapas do processo.

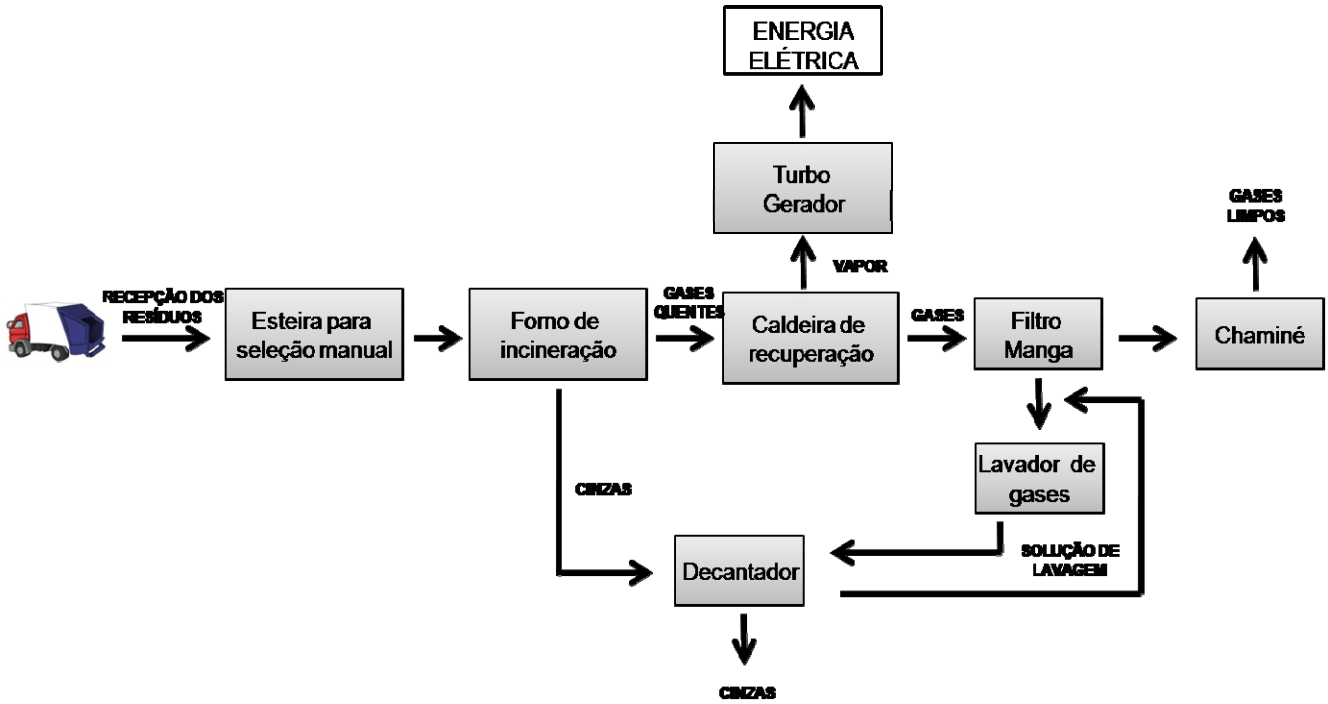


Figura 6.5 – Fluxograma geral. Fonte: Elaboração própria.

O funcionamento do sistema é controlado automaticamente por meio eletrônico podendo ser acionado diretamente pelo operador chefe na sala de controle. Um sistema de inter-travamento impede a alimentação de resíduos pela temperatura do forno de incineração por intermédio de sinais enviados pelos sensores nele instalados em diversos pontos, evitando assim que o forno seja alimentado sem estar na temperatura adequada, desligando na mesma hora o alimentador do forno, evitando-se com isto a contínua alimentação do forno e a conseqüente incineração incompleta dos resíduos. Estas temperaturas poderão ser ajustadas manualmente no painel de controle.

O material combustível é introduzido no forno para ser queimado em 2 estágios:

- 1° Estágio: incineração dos materiais à temperatura superior a 900°C;
- 2° Estágio: pós-queima (conversão total dos gases), a temperatura de até 1200°.

O forno possui um sistema de alimentação a gás natural ou GLP utilizado para a partida inicial e para a correção da temperatura de incineração, garantindo que o nível de temperatura dos gases se mantenha estável e no nível necessário para a geração de energia.

O forno é composto por duas câmaras em série, uma de incineração propriamente dita, e a seguinte de pós-queima, ambas revestidas com material refratário. O fundo da câmara de combustão é equipado com grelhas móveis em liga de aço fundido em configuração de escada, de forma a induzir o resíduo a atravessar toda a grelha até a sua combustão completa. O tempo de residência dos resíduos no interior do forno é de cerca de 90 minutos, e dos gases, na pós-queima, de 2 segundos. Os resíduos são introduzidos no forno continuamente por um alimentador e as cinzas são descartadas pelo fundo do forno, em uma corrente de água.

Para o comando e controle dos sistemas da unidade de incineração, existe um Painel de Comando CLP - “Comando Lógico Programável”, com as funções principais de comando nos seguintes equipamentos:

- Ventiladores dos queimadores;
- Queimadores;
- Exaustores e seus variadores de velocidade;
- Alarmes (sonoros e visuais de todas as seguranças);
- Grelhas do forno (controle de freqüência)

Nas Figuras 6.6 e 6.7 são apresentados o forno de incineração e o painel de controle do CT Usina Verde.

Figura 6.6 – Forno de Incineração. Fonte: Usina Verde (2012).

Figura 6.7 – Painel de Controle da unidade Usina Verde. Fonte: Usina Verde (2010).

Os gases quentes (cerca de 1000º C) são aspirados através de uma Caldeira de Recuperação, onde é produzido vapor a 45 bar de pressão e 400° C. Na Figura 6.8 é apresentado a caldeira de recuperação do CT Usina Verde.

Figura 6.8 – Caldeira de recuperação. Fonte: Usina Verde (2012).

O vapor gerado pela caldeira acionará um Turbo-gerador, gerando aproximadamente 600 kW de energia elétrica por tonelada de resíduo tratado. As turbinas são do tipo condensação total acionando um gerador de energia elétrica de 4 MW de potência. O sistema também possui um gerador a óleo diesel para a partida dos módulos de tratamento e eventuais falhas do sistema, sendo este acionado automaticamente.

É muito importante observar-se que a energia gerada é um sub-produto do processo de destinação final ambientalmente correta do resíduo urbano e como tal uma Unidade de Tratamento de RSU jamais deve ser comparada com hidrelétricas ou termelétricas, cuja única função exclusiva é gerar energia . O processo Usina Verde, além de aproveitar o potencial energético contido em resíduos que seriam simplesmente enterrados, contribui com a conservação da energia contida nos materiais segregados para fins de reciclagem (alumínio, metais ferrosos, vidros etc..). Nas Figuras 6.9 e 6.10 é apresentada a caldeira novamente, a casa do turbo-gerador e o conjunto turbo-gerador do CT Usina Verde.

Figura 6.9 – Caldeira e casa do turbo-gerador. Fonte: Usina Verde (2012).

Figura 6.10 – Conjunto turbo-gerador. Fonte: Usina Verde (2012).

Os gases exauridos da Caldeira de Recuperação são neutralizados por processo que ocorre em circuito fechado (filtro de mangas, lavadores de gases e tanque de decantação). O processo de lavagem ocorre em dois estágios: no 1º estágio, ocorre a captura dos materiais particulados ainda presentes nos gases, com a utilização de um filtro de mangas; no 2º estágio os gases são resfriados e lavados com uma solução alcalina, no interior de um lavador primário dotado de *spray jets;* posteriormente os gases são forçados a passar por *"barreiras"* de solução alcalina micronizada por hélices turbinadas existentes no interior dos lavadores, ocorrendo o chamado *"polimento dos gases"*. Na Figura 6.11 é apresentado o sistema de purificação dos gases do CT Usina Verde.

Figura 6.11 – Sistema de purificação de gases. Fonte: Usina Verde (2012).

A solução de lavagem proveniente dos lavadores é recolhida em tanques de decantação onde ocorre a neutralização com as cinzas do próprio processo, hidróxido de sódio e a mineralização (decantação dos sais), retornando posteriormente ao processo de lavagem.

Restará no decantador um precipitado salino (concentração de cálcio e potássio) e material inerte, correspondendo a algo em torno de 8%, em massa, dos resíduos para tratados. Este material está sendo testado, segundo o engenheiro responsável, em substituição à areia, na

fabricação de tijolos e pisos. Um módulo de 150 ton/dia gera material suficiente para a produção de 1500 tijolos/dia (1 casa de 50 m^2 por dia), porém essa utilidade só será possível em plantas industriais. Na planta piloto todo o precipitado é enviado para destinação em aterro sanitário.

Os gases limpos, após passagem por eliminador de gotículas (demister), são liberados para a atmosfera pela chaminé. Exaustores instalados imediatamente após o filtro de mangas garantem que todo o sistema combustão dos resíduos no forno e de recuperação de calor na caldeira opere em pressão negativa, impedindo que haja vazamento dos gases da combustão diretamente para a atmosfera. Diariamente é realizado monitoramento da qualidade do ar no entorno do CT Usina Verde através de um analisador portátil, porém devido às limitações do método só é possível a análise de alguns compostos. Na Figura 6.12 é apresentado o decantador e a torre de refrigeração do CT Usina Verde.

Figura 6.12 – Decantador e torre de refrigeração. Fonte: Usina Verde (2012).

Na Tabela 6.1 é apresentado os testes realizados para avaliação da qualidade do ar na saída da chaminé da CT Usina Verde com a comparação com os limites legais estabelecidos na

Resolução CONAMA 316/2002 realizado em 2009. Não foram disponibilizados pela Usina Verde dados mais recentes das análises da saída da chaminé para comparações.

Tabela 6.1 – Tabela de emissões medidas no CT Usina Verde com a comparação dos limites impostos pela Conama em 2009. Fonte: Usina Verde (2010).

PARÂMETRO	***Concentração***	***Limite Legal – CONAMA 316/2002***
Ácido Clorídrico (HCl)	38,52 mg/Nm^3	80
Ácido Fluorídrico (HF)	0,03 mg/Nm^3	5
Óxido de Nitrogênio (NOx)	425 mg/Nm^3	560
Óxido de Enxofre (SOx)	3,75 mg/Nm^3	280
Material Particulado	27,85 mg/Nm^3	70
Dioxinas e Furanos	0,27 ng/Nm^3	0,50
Metais Pesados – Classe I	0,13 mg/Nm^3	0,28
Metais Pesados – Classe II	0,29 mg/Nm^3	1,4
Metais Pesados – Classe III	6,27 mg/Nm^3	7,0

Pela Tabela 6.1 pode-se verificar que o CT Usina Verde do ponto de vista das emissões atmosféricas, atende às exigências que constam na resolução CONAMA nº 316/2002, derrubando uma das maiores barreiras existentes na utilização dos incineradores, as emissões atmosféricas.

Analisando a tecnologia Usina Verde à luz das recomendações da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), verfica-se que está adequada às recomendações:

- No processo Usina Verde a oxidação térmica dos gases é completa, ocorrendo a uma temperatura de cerca de 1050º C e com excesso de ar na queima de 110%, o que se reflete na eliminação total do monóxido de carbono. Os resultados dos testes indicam, no máximo, 2 ppm de CO nos gases emitidos na chaminé. Por outro lado, o método de

limpeza dos gases por absorção em solução de lavagem com pH alcalino mostra-se bastante eficaz.

- O processo Usina Verde utiliza sistemas fechados de gases de combustão (pressão negativa) e de lavagem com água alcalinizada em circuito fechado.
- No processo Usina Verde os resíduos são tratados a uma temperatura mínima de 850ºC, e os gases, na câmara de pós-combustão, são submetidos a uma temperatura de 1050ºC com tempo de residência mínimo de 2 segundos. As temperaturas são controladas automaticamente.

A tecnologia Usina Verde também está absolutamente alinhada com o 'Sumário para Formuladores de Políticas' elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC/ONU) quando recomenda especificamente a incineração de resíduos com geração de energia como rota preferencial para a destinação final dos resíduos urbanos, pois impede a formação do biogás de aterro responsável por 3% do total de emissões dos gases do efeito estufa.

Na Figura 6.13 é apresentada uma foto com a vista geral da área industrial do CT Usina Verde.

Figura 6.13 – Vista geral da área industrial. Fonte: Usina Verde (2012).

6.1.3. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na Usina Verde

O processo de certificação da Usina Modelo do CT Usina Verde como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi elaborado em conjunto com o *'CentroClima'* (IVIG/COPPE/UFRJ) e aprovado em 14 de outubro de 2005 pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima.

O escopo do Projeto de MDL da Usina do CT Usina Verde é, exclusivamente, a eliminação das emissões do gás metano que seria gerado caso a mesma matéria orgânica tratada termicamente fosse depositada em seu destino final atual (aterros do Rio de Janeiro/RJ). Entretanto, nas Usinas comerciais este escopo poderá ser bastante ampliado, considerando:

a) A localização da Unidade ao lado de um aterro ou lixão desativado, com a captação do biogás e sua utilização como combustível auxiliar no processo ou mesmo na geração de energia adicional, dará margem a créditos de carbono oriundos da redução de emissão do metano (cerca de 50% da composição do biogás de aterro) gerado pelo material ali depositado.

b) A substituição da energia produzida a partir de combustíveis fósseis pela energia gerada a partir do resíduo, considerada internacionalmente como fonte alternativa e renovável. No Norte do Brasil, por exemplo, parte expressiva da energia consumida é gerada em termelétricas a diesel.

c) Redução das emissões do transporte do resíduo, durante a coleta e na transferência para o aterro, que em geral localiza-se distante dos centros geradores de resíduos.

6.2. DISCUSSÃO DOS DADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO

O combustível utilizado no CT Usina Verde, o resíduo sólido urbano, é um combustível de composição heterogêneo, ou seja, a sua composição varia muito ao longo do tempo, principalmente a sua umidade e o seu poder calorífico. Por isso, os sistemas modernos de incineração de RSU's são dotados de sistemas automatizados de controle contínuo das variáveis de combustão, tanto na câmara primária, quanto na câmara de pós-combustão, além do controle em outras etapas. Estes sistemas corrigem em tempo real os diversos parâmetros da queima, mantendo a combustão regular durante a sua operação.

O CT Usina Verde apresenta níveis de emissões que respeitam os limites exigidos na legislação, porém elas ainda emitem no ar, as dioxinas e furanos, que são poluentes altamente tóxicos que se acumulam nos organismos ao longo do tempo, apesar de alguns estudos recentes apontarem que é possível filtrá-la totalmente. As dioxinas e furanos, mesmo em baixas concentrações, possuem um grande potencial cancerígeno quando em contato com o homem, além disso, a dioxina é uma substância altamente prejudicial à vida, seja ela humana ou de outros seres vivos. Assim, a incineração de resíduos pode colocar em risco a saúde não apenas daqueles que trabalham na planta das usinas, como toda a sociedade no entorno, sem um limite seguro de distância, já que o vento e a poeira podem transportar a dioxina para cada vez mais longe com o passar do tempo.

Em um país onde os custos da prática dos aterros sanitários é muito baixa, como é o caso do Brasil, os custos de instalação e de operação de uma planta de incineração é considerado um fator negativo. Países como o Brasil ainda possuem grandes espaços físicos para a construção de novos aterros.

A tecnologia utilizada pelo CT Usina Verde está alinhada com as premissas adotadas na PNRS, visto que é citado na PNRS que a utilização de tecnologias que visem à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos é prevista e autorizada, desde que se tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e que seja previsto a implantação de monitoramento de emissão de gases tóxicos que seja aprovado pelo órgão ambiental local, o que foi realizado no projeto do CT Usina Verde, visto que possuem LO emitida pelo INEA, patentes concedidas para a tecnologia utilizada, além de monitoramento e tratamento dos gases tóxicos gerados.

Um dos princípios da PNRS é o 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, portanto o CT Usina Verde, apesar de ter sido planejado antes da publicação da PNRS, está em total acordo com as premissas adotadas.

A incineração de resíduos com o aproveitamento energético é uma das soluções existentes para o gerenciamento dos RSU, conforme apresentado pela tecnologia do CT Usina Verde e pela PNRS, porém ela somente se tornará uma opção viável para o tratamento dos resíduos sólidos se todo o processo for ambientalmente correto.

Comparando a tecnologia da Usina Verde com os dados obtidos nos levantamentos de dados de artigos e patentes, pode-se observar que essa tecnologia está sendo amplamente estudada, porém já existem técnicas mais avançadas, como o plasma, que já vem sendo discutido e estudado mundialmente, porém ainda sem grandes avanços. Além disso, também foi verificado que na incineração os novos estudos estão voltados para o aprimoramento do aproveitamento energético dos resíduos sólidos e para a redução da emissão de substâncias tóxicas ao ambiente. Portanto, uma nova visão para a Usina Verde seria esse aprimoramento da sua tecnologia, fazendo assim com que a planta piloto possa ter mais visibilidade e aproveitamento no Brasil.

7. CONCLUSÕES

Através dos dados obtidos nas buscas de artigos na base *Web of Science* pode-se concluir que as pesquisas estão avançando sobre o aproveitamento energético de resíduos sólidos, porém foi possível observar que em alguns países do mundo os estudos estão bem a frente de outros, como exemplo pode-se citar os países da Europa que tem esse assunto bem mapeado em diversos estudos e também possuem a tecnologia sendo utilizada, de outro lado pode-se citar o Brasil, que está ampliando os estudos sobre o tema, mas ainda não possui a tecnologia bem difundida pelo país.

Fazendo uma comparação com os dados obtidos na base de patentes brasileira e a americana é possível observar que já existe um número considerável de tecnologias patenteadas para o aproveitamento de energia a partir de resíduos sólidos urbanos em todo o mundo, porém em um estágio mais avançado nos Estados Unidos e Europa do que no Brasil, apesar da quantidade de patentes publicadas estar aumentando a cada ano no Brasil. Isso permite dizer que o assunto ainda está em amplo desenvolvimento e necessita de diversos estudos e pesquisas no setor, porém com o avanço das tecnologias atuais em breve esse assunto será abordado com um maior conhecimento, tanto para obtenção de energia por biogás, por incineração ou gaseificação, além dos estudos sobre a nova tecnologia de plasma. Por essa comparação é possível observar que tanto no Brasil como internacionalmente, a tecnologia da incineração ainda é a mais utilizada se comparado com as demais tecnologias.

A tecnologia utilizada pelo CT Usina Verde está alinhada com as premissas adotadas na PNRS, visto que é citado na PNRS que a utilização de tecnologias que visem à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos é prevista e autorizada, desde que se tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e que seja previsto a implantação de monitoramento de emissão de gases tóxicos que seja aprovado pelo órgão ambiental local, o que foi realizado no projeto do CT Usina Verde, visto que possuem LO emitida pelo INEA, patentes concedidas para a tecnologia utilizada, além de monitoramento e tratamento dos gases tóxicos gerados. O que permite observar que apesar do CT Usina Verde ter sido planejado antes da publicação da PNRS, está em total acordo com as premissas adotadas.

Devido à tecnologia empregada em uma planta de incineração de resíduos sólidos, conforme visto, o custo da instalação/operação dessa uma planta de incineração é considerado um fator negativo quando no contexto de um país onde os custos da prática dos aterros sanitários é muito baixa, como é o caso do Brasil, pois países como o Brasil ainda possuem

grandes espaços físicos para a construção de novos aterros e a tecnologia empregada em aterros deixa o projeto bem mais barato se comparado a incineração.

A incineração de resíduos com o aproveitamento energético é uma das soluções existentes para o gerenciamento dos RSU, conforme apresentado pela tecnologia do CT Usina Verde e pela PNRS, porém ela somente se tornará uma opção viável para o tratamento dos resíduos sólidos se todo o processo for ambientalmente correto.

Comparando a tecnologia da Usina Verde com os dados obtidos nos levantamentos de dados de artigos e patentes, pode-se observar que essa tecnologia está sendo amplamente estudada, porém já existem técnicas mais avançadas, como o plasma, que já vem sendo discutido e estudado mundialmente, porém ainda sem grandes avanços. Além disso, também foi verificado que na incineração os novos estudos estão voltados para o aprimoramento do aproveitamento energético dos resíduos sólidos e para a redução da emissão de substâncias tóxicas ao ambiente. Portanto, uma nova visão para a Usina Verde seria esse aprimoramento da sua tecnologia, fazendo assim com que a planta piloto possa ter mais visibilidade e aproveitamento no Brasil.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se destacar:

1) Elaborar cenários futuros baseado nas informações obtidas ao longo de todo o trabalho, para melhor mapear o futuro do assunto em questão;
2) Realizar estudo utilizando outras variáveis como forma de análise dos dados encontrados;
3) Correlacionar os dados encontrados nesse estudo de artigos com patentes;
4) Estudar com mais detalhamento a nova tecnologia do plasma que vem se mostrando promissora no cenário mundial;
5) Realizar o estudo de caso em outra usina de incineração;
6) Iniciar o estudo de uma usina de incineração desde a sua instalação, para que assim possam ser avaliados todos os custos envolvidos na instalação/operação de uma usina, e assim seja possível realizar um estudo técnico e econômico de uma usina de incineração.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. Disponível em: **http://www.portaldoconsumidor.gov.br/noticia.asp?id=24021.** Acesso em: 12 de agosto de 2013 às 10:00 h.

AGÊNCIA PETROBRÁS. Disponível em: **http://www.jornalbrasil.com.br/?pg=desc-noticias&id=89421&nome=Reduc%20receber%E1%20biog%E1s%20gerado%20no%20Aterro%20de%20Gramacho.** Acesso em: 12 de agosto de 2013 às 09:30 h.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – **"Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos."** – NBR 8419. São Paulo, 1992.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais] e Plastivida. **Caderno informativo – Recuperação Energética – Resíduos Sólidos Urbanos.** São Paulo, 2012.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2008.** São Paulo - ABRELPE, 2008.

ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2009.** São Paulo - ABRELPE, 2009.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.** (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ALVES, J. W.; FILHO, E. C. Biogás – **Aproveitamento energético de aterros sanitários, 2009.** Divisão de Questões Globais da CETESB. PROCLIMA – Programa de Prevenção às Mudanças Climáticas. São Paulo, 2012.

BECKER, L. O. **A termeletricidade a gás natural no Brasil. Brasil**. In: Ministério das Minas e Energia – Secretaria de Petróleo e Gás, 2003.

BEL, D. D., **Disposição Final de Rejeitos**. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V.; **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Coleção Ambiental** – Editora Manole, 2012.

BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Paulo: EESP-USP, 1999. 109 p.

BIDONE, R. F. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso: Central de Resíduos do Recreio, em Minas Do Leão/ RS**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 138 p.

BRANDÃO, L. G. L. Análise de risco em novos empreendimentos considerando o índice de custo benefício. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - Brasília, 2009. 102 p.

BRITO FILHO, L. F.**, Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

BRITO, M. J. C., **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. Aracajú, 2008.

BUENROSTRO, O.; BOCCO, G. **Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspectives**. Resources, Conservation and Recycling, v. 39, n. 3 p. 251-263, Oct. 2003.

CARDOSO FILHO, E. P. **Fatores que influenciam na digestão anaeróbia de efluentes líquidos.** Sem publicação. CETESB, 2001.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ-USP. **Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil.** Piracicaba, 2004.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de Capacitação – Mudanças Climáticas e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo.** Edição revista e atualizada. Brasília – DF, 2010.

CHRISTENSEN, T. H.; BJERG, P. P. L.; JENSEN, D. L.; J. B.; CHRISTENSEN, A.; BAUM, A.; ALBRECHTSEN, H-J.; HERON G. **Biochemistry of landfill leachate plumes.** Applied Geochemistry. V.16, p. 659-718, 2001.

COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; SANTOS, M. M.; FELLOWS FILHO, L. Caminhos para o desenvolvimento em prospecção tecnológica: *Technology Roadmapping* – um olhar sobre formatos e processos. Parc Estrat, 2005.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - COMLURB. **Caracterização gravimétrica e bacteriológica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro - 2012.** Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

CONPET – Programa nacional da racionalização do uso dos derivados de petróleo e do gás natural. **Gás natural**. 2007.

COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização.** (Monografia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2002.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources.** Ed. Wiley - VCH, 2008.

DIAS, G. F. D. **Educação Ambiental: Princípios e Praticas.** São Paulo. 6 ed. Editora GAIA, 2000.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

DOLEZAL, R., 2001, **Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke**, 1a edição, Berlin Heidelberg, Springerverlag

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2ª ed., São Paulo, Páginas & Letras, 370 p - IPT/CEMPRE – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2000.

EHRLICH, P. J.Dinâmica de Sistemas na Gestão Empresarial, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em http://www.epe.gov.br, acessado em Agosto de 2012

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas/SP.** (Dissertação de Mestrado) Universidade de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2003.

EPA, U.P.A. – **Solid Waste Management and Green House Gases – A Life-Cycle Assessment of Emissions and Senks**. US.EPA, 2003.

FARIA, F. S. **Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos.** Engenharia Civil. Rio de Janeiro – UFRJ, 2002.

FAVRETTO, C. R., **Análise ambiental e potencial econômico do processo de reciclagem no município de Morro Redondo**. Universidade Federal de Pelotas, 2011.

FERREIRA, C. J. **Avaliação do Programa de Compostagem Doméstica do Município de Oeiras e Contributos para uma Central de Compostagem de Resíduos Verdes.** Tese de Licenciatura em Ciências do Ambiente, Qualidade do Ambiente, Universidade de Évora, 2005. 247p.

FIGUEIREDO, N. J. V., **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás** – estudo de caso. São Paulo, 2007.

FLECK, E. **Resíduos Sólidos: Gestão, Tratamento e Destinação** - Volume 1 – Porto Alegre, 2008

GODET, M.; MONTI, R.; MEUNIER, F.; ROUBELAT, F. A. **"Caixa de Ferramentas" da Prospectiva Estratégica.** Caderno do CEPES. Lisboa: CEPES, 2000.

GOUVEIA, N., PRADO, R. R., **Análise espacial dos riscos à saúde associados à incineração de resíduos sólidos: avaliação preliminar**. São Paulo, 2010.

GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos**: considerações sobre a proposta para São Paulo. São Carlos: 1998. 208 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

HENRIQUES, R. M., OLIVEIRA, L. B., COSTA, A. O. **Geração de energia com resíduos sólidos urbanos: Análise custo benefício**. 2004.

HOLSTIUS, K.; MALASKA, P. **Advanced Strategic Thinking**: **Visionary Management**; 2004

HOORNWEG, D.; THOMAS, L.; VARMA, K. **What a waste: solid waste management in Asia**. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development. 2000.

IBAM - **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos** – 2001.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008** – IBGE/PNSB: 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2010** – IBGE/PNSB: 2010.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. Disponível em http://www.inpi.gov.br, acessado em Janeiro de 2013.

IPCC – **Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions – Intergovernmental Panel on Climate Change – Guidelines for National Green House Gas Inventory** – Londres – Cambridge University Press, 1996.

IPM – **Histórico da Incineração no Brasil** – Divisão de Sistemas e Métodos – São Paulo, 2002.

JANUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. – **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos – Meio Ambiente, Conservação de energia e Fontes Renováveis.** Campinas: Editora Autores Associados, 2004.

JARDIM, N. S.; WELLS, C. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

JARDIM, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos –** 19p. UNICAMP: Campinas, 2005.

KGATHI, D. L., BOLAANE, B. **Instruments for sustainable solid waste management in Botswana.** Waste Management & Research 19: 342-353. 2001.

KJELDSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. **Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review.** Environmental Science and Technology. V. 32, (4), p. 297 - 336, 2002.

KOHL, H. W.; BLAIR, S. N.; PAFFENBARGER, R. S. JR; MACERA, C. A.; KRONENFELD, J. J. **A mail survey of physical activity habits as related to measured physical fitness.** Am. J. Epidem., v.127, p.1228-39, 1985.

LAENDER, A. T. **Combustíveis gasosos: biogás.** Departamento de engenharia mecânica, DEMEC. 2007.

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás.** (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MEDEIROS, O. M.; ALVES JUNIOR, C. **PLASMA: uma tecnologia fascinante para destruição de resíduos sólidos.** UFRN, 2011.

MEIO AMBIENTE. Créditos de carbono. Disponível em: http://www.revistameioambiente.com.br/2008/03/28/creditos-de-carbono/. Acessado em: Set. de 2012.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. **Estágio atual da incineração no Brasil.** In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública. Curitiba, 2000.

METIN, E.; ERZTÜRK, A.; NEYIM, C. **Solidwaste management practices and reviewof recovery and recycling operations in Turkey**. Waste Manage. 23(5):425-432. 2003.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental.** São Paulo: Tomson Learning, 2007.

MINCHENER, A., 2005, **"Coal gasification for advanced power generation"**, Fuel, v. 84, n. 17, pp. 2222-2235

MME – Ministério de Minas e Energia - **Balanço Energético Nacional** – 2012.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, Editora ABAM, 2001.

MONTEIRO, V. E. D. **Interações físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca Recife**. Tese (Doutorado): Universidade Federal de Pernambuco, 2003, 251p.

MUYLAERT, M. S. **Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta** – Ed. COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, 2000.

OLIVEIRA, D. A. F. **Estabilidade de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Mestrado): Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2002, 154p.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento estratégico**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

OLIVEIRA, L. B. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases de Efeito Estufa** – Programa de Planejamento Energético / COPPE – Rio de Janeiro, 2000.

OLIVEIRA, L. B.; HENRIQUES, R.; PEREIRA, A. S. **Coleta seletiva, reciclagem e conservação de energia**. Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE, 2005.

OLIVEIRA, L. B. e ROSA, L. P. **Brazilian Waste Potential: Energy, Environmental, Social and Economic Benefits.** In: Energy Policy, v. 31, pp. Amsterdam: Elsevier, 2003.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. **Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário.** Eng. Sanit. Ambient., v.9 n 3 – jul/set, pp. 240-249, 2004.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2006.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo.** Belo Horizonte, UNICEF, 1996. 18 p.

PORTER, M. **Vantagem competitiva.** 12. ed. São Paulo: Campus, 1998.

PRICE, J.S.; JACKSON, B.; EASTELL, R.; WILSON, A.M.; RUSSELL, R. G.; LANYON, L. E.; GOODSHIP, A. E. **The response of the skeleton to physical training: a biochemical study in horses.** Bone 17:221–227, 1995.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment.** Lancaster: Technomic, 1994. 339 p.

REICHERT, G. A. **A vermicompostagem aplicada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. 136p. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, 1999.

RODRIGUES, F. A., **Resíduos Perigosos**. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V.; **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Coleção Ambiental** – Editora Manole, 2012.

SANTOS, G. G. D., **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros.** Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, M. M.; COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; FELLOWS FILHO, L. **Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens.** Parc Estrat, 2004

SCHALCH, V. **Análise Comparativa do Comportamento de dois Aterros Sanitários e Correlações dos Parâmetros do Processo de Digestão Anaerobia.** 220 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

SCHWARTZ, P. **A arte da visão de longo prazo**. 2. ed. São Paulo: Best Seller, 2003.

SENAGA, M.; EGYDIO, R. **Sistema de crédito de carbono pode trazer benefícios a aterros sanitários.** S.l: 2004. 3 p.

SHARMA, D.; REUBEN, A.C.; OJHA, A. **Solid Waste Management in Developing Countries through Plasma Arc Gasification- An Alternative Approach.** APCBEE Procedia – Volume 1. Índia, 2012.

SOLER, F. D.; MACHADO FILHO, J. V.; LEMOS, P. F. I. **Acordos setoriais, regulamentos e termos de compromisso**. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V.; **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Coleção Ambiental** – Editora Manole, 2012

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H. e VIGIL, A.S. **Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues.** McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, 978 p. 1993.

TEIXEIRA, L.B.; GERMANO, V.L.C.; OLIVEIRA, R.F. ; FURLAN JÚNIOR, J. **Processo de Compostagem a Partir de Lixo Orgânico Urbano e Caroço de Açaí.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 8p.

THEMELIS, N.J.; ULLOA, P.A. **Methane generation in landfills.** Renewable Energy 32, 1243–1257, 2007.

THEMELIS, N.J., **"Gas turbine co-generation improves energy recovery from WTE plants"**. Waste Management World, pp. 97-105, August 2007.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Interciência – Rio de Janeiro, 2003.

UFRJ/COPPE – **Usinaverde: Incineração de resíduos sólidos urbanos para evitar a formação de metano em aterro e geração de eletricidade com aproveitamento energético para autoconsumo.** UFRJ/COPPE, 14 p. – Rio de Janeiro, 2004.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE – USPTO. Disponível em http://www.uspto.gov/, acessado em Janeiro de 2013.

USINAVERDE, 2010. **Reciclagem Energética de Resíduos Sólidos Urbanos - Informações Gerais.** Documento obtido através de contato direto com a empresa, através do funcionário Luiz Malta.

USINAVERDE, 2012. Informações obtidas através de contato direto com a empresa, através do gerente Alain Carelli.

VETTER, 2001, “Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung“, Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse, Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow, Alemanha

VILLA NOVA, J. **A Reciclagem das Latas de Alumínio e o seu Efeito na Economia Informal.** Disponível em http://www.abralatas.org.br/downloads/reciclagem_na_economia_informal.pdf. (13p.) Acesso em Setembro de 2012 – UNIVAP.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Tradução Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN C. et al. **Grate-firing of biomass for heat and power production.** Progress in Energy and Combustion Science 34 – pg 725–754, 2008.

ANEXO 1 – ARTIGOS – BASE DE DADOS WEB OF SCIENCE

TÍTULO	ANO DE PUBLICAÇÃO	PAÍS	INSTITUIÇÃO	REVISTA	TIPO DE TECNOLOGIA
ENERGY RECOVERY FROM INCINERATION OF TEHRAN MUNICIPAL SOLID WASTE AND ITS AIR POLLUTION EFFECTS	2000	Irã	College of Engineering	Energy Conversion and Management	Incineração
COGENERATION IN A SOLID-WASTES POWER-STATION: A CASE-STUDY	2000	Brasil	Universidade de São Paulo - USP	Applied Energy	Biogás
RECOVERY OF ENERGY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE IN FABRICATED DIGESTERS	2001	EUA	College of Engineering	Energy Conversion and Management	Incineração
RETROFIT THERMAL DENOX INSTALLATION AND OPERATION AT A RESOURCE RECOVERY FACILITY EQUIPPED WITH A SPRAY DRYER/ESP	2002	Japão	National Institute for Environment Studies	Fuel and Energy Abstracts	Incineração
ENERGY RECOVERY FROM SOLID WASTE FUELS USING ADVANCED GASIFICATION TECHNOLOGY	2002	EUA	College of Engineering	Waste Management	Plasma

REPORT: MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION WITH ENERGY RECOVERY IN THE U.S.A.	2003	EUA	College of Engineering	Waste Management	Incineração
ESTIMATION OF ENERGY RECOVERY AND REDUCTION OF CO2 EMISSIONS IN MUNICIPAL SOLID WASTE POWER GENERATION	2003	Japão	National Institute for Environment Studies	Resources, Conservation and Recycling	Incineração
ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE IN SMALL COMMUNITIES	2004	Itália	University of Cassino	Fuel and Energy Abstracts	Incineração
THE APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT TO INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT: PART 2—PERSPECTIVES ON ENERGY AND MATERIAL RECOVERY FROM PAPER	2004	Suécia	Swedish Defence Research Establishment	Process Safety and Environmental Protection	Incineração
ALTERNATIVE STRATEGIES FOR ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE: PART A: MASS AND ENERGY BALANCES	2005	Itália	Politecnico di Milano	Waste Management & Research	Incineração
ALTERNATIVE STRATEGIES FOR ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE: PART B: EMISSION AND COST ESTIMATES	2005	Itália	Politecnico di Milano	Waste Management	Incineração

AN OVERVIEW OF RENEWABLE ENERGY UTILIZATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW) INCINERATION IN TAIWAN	2005	China	Chia Nan University of Pharmacy and Science	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Incineração
MODELLING OF ELECTRICAL ENERGY RECOVERY FROM URBAN SOLID WASTE SYSTEM: THE CASE OF DHAKA CITY	2006	Bangladesh	Bangladesh Agricultural University	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Incineração
AN OVERVIEW OF RENEWABLE ENERGY UTILIZATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE (MSW) INCINERATION IN TAIWAN	2006	China	Chia Nan University of Pharmacy and Science	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Incineração
SOLID WASTE PLASMA GASIFICATION: EQUILIBRIUM MODEL DEVELOPMENT AND EXERGY ANALYSIS	2006	Grécia	School of Chemical Engineering	Energy Conversion and Management	Plasma
BIOENERGY FROM LANDFILL GAS (LFG) IN TAIWAN	2007	China	Chia Nan University of Pharmacy and Science	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Biogás
CO-GENERATION BASED ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE INTEGRATED WITH THE EXISTING ENERGY SUPPLY SYSTEM	2007	Finlandia	Lappeenranta University of Technology	Waste Management	Biogás

PLASMA GASIFICATION OF SEWAGE SLUDGE: PROCESS DEVELOPMENT AND ENERGY OPTIMIZATION	2008	Grécia	National Technical University of Athens	Energy Conversion and Management	Plasma
THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE ENERGY RECOVERY FROM THE AEROBIC BIOCONVERSION OF SOLID URBAN WASTE ORGANIC FRACTION	2008	Itália	Universita degli Studi di Perugia	Waste Management	Biogás
OPTIMISATION OF ENVIRONMENTAL GAS CLEANING ROUTES FOR SOLID WASTES COGENERATION SYSTEMS PART I – ANALYSIS OF WASTE INCINERATION STEAM CYCLE	2008	Brasil	Universidade do Estado de São Paulo - UNESP	Energy Conversion and Management	Incineração
A MULTI-CRITERIA RANKING OF DIFFERENT TECHNOLOGIES FOR THE ANAEROBIC DIGESTION FOR ENERGY RECOVERY OF THE ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTES	2009	Grécia	Aristotle University of Thessaloniki	Bioresource Technology	Biogás
AN INTEGRATED APPRAISAL OF ENERGY RECOVERY OPTIONS IN THE UNITED KINGDOM USING SOLID RECOVERED FUEL DERIVED FROM MUNICIPAL SOLID WASTE	2009	Japão	National Institute for Environment Studies	Fuel and Energy Abstracts	Incineração

MODELLING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF AN INTEGRATED PLASMA GASIFICATION COMBINED CYCLE (IPGCC) POWER PLANT	2009	Itália	University of Cassino	Energy Conversion and Management	Plasma
QUANTITATIVE APPRAISAL AND POTENTIAL ANALYSIS FOR PRIMARY BIOMASS RESOURCES FOR ENERGY UTILIZATION IN CHINA	2010	China	Chinese Academy of science	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Plasma
BIO-DRYING AND SIZE SORTING OF MUNICIPAL SOLID WASTE WITH HIGH WATER CONTENT FOR IMPROVING ENERGY RECOVERY	2010	China	College of Environmental Science and Engineering	Waste Management & Research	Plasma
ENERGY RECOVERY IN SOLID WASTE MANAGEMENT THROUGH CDM IN INDIA AND OTHER COUNTRIES	2010	India	National Institute of Industrial Engineering	Resources, Conservation and Recycling	Biogás
PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY RECOVERY IN AN ITALIAN MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL	2010	Itália	University of Brescia	Energy Conversion and Management	Biogás
A LINEAR PROGRAMMING APPROACH FOR THE OPTIMAL PLANNING OF A FUTURE ENERGY SYSTEM. POTENTIAL CONTRIBUTION OF ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTES	2011	Grécia	Aristotle University of Thessaloniki	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Incineração

ENERGY AND ENVIRONMENTAL POTENTIAL OF SOLID WASTE IN BRAZIL	2011	Brasil	Faculdade de Engenharia Mecânica - Campinas	Energy Policy	Biogás
HYDROGEN RECOVERY FROM THE THERMAL PLASMA GASIFICATION OF SOLID WASTE	2011	Coreia	School of Environmental Science and Engineering	Journal of Hazardous Materials	Plasma
WET AND DRY COOLING SYSTEMS OPTIMIZATION APPLIED TO A MODERN WASTE-TO-ENERGY COGENERATION HEAT AND POWER PLANT	2011	Itália	Bergamo University	Applied Energy	Plasma
ENERGY RECOVERY AND IMPACT ON LAND USE OF MALTESE MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION	2012	Portugal	Minho University	Energy Conversion and Management	Incineração
AN OVERVIEW FOR ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTES (MSW) IN MALAYSIA SCENARIO	2012	Malásia	Faculty of Chemical Engineering	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Biogás
EVALUATION OF OPTIONS FOR ENERGY RECOVERY FROM MUNICIPAL SOLID WASTE IN INDIA USING THE HIERARCHICAL ANALYTICAL NETWORK PROCESS	2013	Índia	Aston University	Energy Conversion and Management	Incineração

ANEXO 2 – DOCUMENTOS DE PATENTES – BASE DE DADOS INPI

TITULO	ANO DE DEPOSITO	ANO DE PUBLICAÇÃO	INSTITUIÇÃO	TIPO DE TECNOLOGIA
CELULA PARA QUEIMA DE RESIDUOS SOLIDOS.	1981	1982	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
PROCESSO E FORNO PARA INCINERAÇAO CONCOMITANTE E COOPERATIVA DE RESIDUOS SOLIDOS, LIQUIDOS E GASOSOS	1989	1991	TRS - Engenharia, Comércio e Indústria Ltda (BR/RJ)	Incineração
DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO ADICIONAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE MATERIAIS ORGANICOS A SEREM INCINERADOS EM EQUIPAMENTOS, TIPO REATORES E CONGENERES	1991	1993	Umwelt-Equipamentos de Tecnologia Ambiental e Energéticos Ltda (BR/RS)	Incineração
SISTEMA INTEGRADO PARA TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS COM GERAÇAO ENERGETICA E AUTO-SANEAMENTO	1993	1994	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
USO DE RESIDUOS SOLIDOS GERADOS NA PIROLISE DE MATERIA ORGANICA FOSSIL, PARA O OBTENÇAO DE COMPOSIÇOES AGRICOLAS	2000	2001	Mulching Six do Brasil - Ind. e Com. de Corretivos LTDA. (BR/PR)	Incineração
PROCESSO RECUPERATIVO PARA TRATAMENTO DOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	2001	2003	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
USINA GERADORA DE ENERGIA ELETRICA A PARTIR DA TRANSFORMAÇAO DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARES	2002	2004	ECO - Ambientek Tecnologia para o Meio Ambiente LTDA. (BR/RJ)	Incineração

PROCESSO DE RECICLAGEM DE PRODUTOS E RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARES	2003	2004	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
UNIDADE INDUSTRIAL MOVEL DE RECICLAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS	2003	2006	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
PROCESSO INDUSTRIAL TERMODINAMICO DE ESTERILIZAÇAO E DESTINAÇAO FINAL DOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS; SUA TRANSFORMAÇAO EM BIOCOMBUSTIVEL SOLIDO E BENEFICIAMENTO DO MATERIAL RECICLAVEL; EQUIPAMENTOS PARA A EXECUÇAO DO PROCESSO; PROCESSO PARA OPERAÇAO DOS EQUIPAMENTOS, BEM COMO A UTILIZAÇAO DO BIOCOMBUSTIVEL SOLIDO	2003	2007	Ecomassa S/A Energia Alternativa (BR/RJ)	Incineração
SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM COMPLEXO TERMOELETRICO COM MDL, (MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO), MOVIDO A COMBUSTIVEL DERIVADO DOS RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARES E COMERCIAIS URBANOS	2004	2006	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
SISTEMA E PROCESSO CONTINUO PARA TRATAMENTO E RECICLAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARES E PRODUTOS OBTIDOS	2005	2007	Mundo Limpo S.A (BR/RJ)	Incineração

PROCESSO PARA TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS BASEADO EM REATOR COM TECNOLOGIA DE PLASMA VORTEX	2006	2008	Polaris Indústria e Comércio de Componentes Mecânicos Ltda EPP (BR/SP)	Plasma
SISTEMA PARA AUMENTO DA EFICIENCIA TERMICA DE USINAS TERMELETRICAS A RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (LIXO) DE CICLO COMBINADO	2006	2008	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
SISTEMA DE TRANSPORTE DE RESIDUOS EM UM FORNO ESTACIONARIO PARA INCINERAÇAO DE RESIDUOS SOLIDOS, ALIMENTADOR DE RESIDUOS, ARRASTADOR DE CINZAS E REMOVEDOR DE INERTES	2007	2008	Usinaverde S.A (BR/RJ)	Incineração
USINAS TERMELETRICAS A RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (LIXO) E GAS NATURAL DE ALTA EFICIENCIA	2007	2008	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
INCINERADOR DE RESIDUOS SOLIDOS DE SAUDE FIXO NAO DESMONTAVEL CONSTRUIDO COM REFRATARIOS 20X20X40 TRATAMENTO DO AR E DA AGUA CONVENCIONAL E UVC	2007	2010	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
PROCESSO PARA TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS BASEADO EM REATOR COM TECNOLOGIA DE PLASMA	2008	2011	Polaris Indústria e Comércio de Componentes Mecânicos Ltda. EPP (BR/SP)	Plasma

PROCESSO DE CARBONIZAÇAO DOS RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARES (RSD) PARA PRODUÇAO DE CARVAO	2009	2010	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Incineração
PROCESSO DE PIROLISE DE BIOMASSA E RESIDUOS SOLIDOS EM MULTIPLOS ESTAGIOS	2009	2011	Universidade Federal de Minas Gerais (BR/MG)	Incineração
PROCESSO DE TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS E INSTALAÇAO FISICA PARA REALIZAÇAO DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS	2010	2013	Aliança Orgânica Soluções Ambientais LTDA - EPP (BR/SP)	Biogás
ROCESSO DE TRANSFORMAÇAO SIMULTANEA DA FRAÇAO ORGANICA DOS RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIAR (LIXO URBANO DOMICILIAR) EM BIOFERTILIZANTE E BIOGAS)	2010	2013	Pessoa física ou escritório de marcas e patentes	Biogás
PROCESSO DE TRATAMENTO DE RESIDUOS SOLIDOS BASEADO EM GRADIENTE TERMICO COMPOSTO POR DUAS FONTES TERMICAS DISTINTAS.	2011	2013	Solum Ambiental e Equipamentos Eletromecânicos Ltda. (BR/SP)	Incineração

ANEXO 3 – DOCUMENTOS DE PATENTES – BASE DE DADOS USPTO

TITULO	ANO DE PUBLICAÇÃO	PAIS	DEPOSITANTE	TIPO DE TECNOLOGIA
SOLID WASTE DISPOSAL	2000	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
PROCESS FOR TREATING ORGANIC WASTES	2001	Estados Unidos	Combustion Equipment Associates	Incineração
SOLID FUEL COMBUSTOR AND METHOD OF BURNING	2002	China	Hague International	Incineração
WET PROCESS RECOVERY SYSTEM FOR SOLID WASTE	2003	Japão	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
METHOD AND APPARATUS FOR THE REDUCTION OF SOLID WASTE MATERIAL USING COHERENT RADIATION	2004	Japão	Phoenix Ambiental	Plasma
METHOD AND APPARATUS FOR ENHANCED SUPPRESSION OF THE MULTIPLE POLLUTANTS PRODUCED BY A COMBUSTED FUEL	2005	Estados Unidos	Electric Power Research Institute	Incineração
EFFICIENT INCINERATOR	2006	Estados Unidos	Power Generating	Incineração
EXHAUST FUME ENERGY SOURCE AND WASTE COMBUSTION APPARATUS	2006	Japão	Cosmos Ventures	Incineração
METHOD FOR PROCESSING SOLID, HAZARDOUS WASTE MATERIAL FOR USE AS A FUEL	2007	Estados Unidos	Continental Cement Company	Incineração

MICROWAVE PLASMA DETOXIFICATION REACTOR AND PROCESS FOR HAZARDOUS WASTES	2007	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Plasma
SOLID FUEL AND PROCESS FOR COMBUSTION OF THE SOLID FUEL	2007	Japão	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
MATERIALS TREATMENT PROCESS AND APPARATUS	2008	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
MUNICIPAL SOLID WASTE PROCESSING FACILITY AND COMMERCIAL LACTIC ACID PRODUCTION PROCESS	2008	Japão	Controlled Environmental Systems Corporation	Biogás
APPARATUS FOR WASTEWATER TREATMENT	2008	Estados Unidos	PEC Research	Biogás
MULTISTAGE DOUBLE CLOSED-LOOP PROCESS FOR WASTE DECONTAMINATION	2009	China	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
METHOD OF TREATING SOLID WASTE, RECOVERING THE CONSTITUENT MATERIALS FOR RECYCLING AND REUSE, AND PRODUCING USEFUL PRODUCTS THEREFROM	2009	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Biogás
EXTERNALLY FIRED COMBINED CYCLE GAS TURBINE SYSTEM	2010	Estados Unidos	Ormat Industries Ltd	Incineração

SUSPENDED VORTEX-CYCLONE COMBUSTION ZONE FOR WASTE MATERIAL INCINERATION AND ENERGY PRODUCTION	2010	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
MUNICIPAL SOLID WASTE PROCESSING FACILITY AND COMMERCIAL ETHANOL PRODUCTION PROCESS	2010	Canadá	Controlled Environmental Systems Corporation	Incineração
METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING RECYCLABLE ITEMS CONCEALED WITHIN SOLID WASTE	2011	Estados Unidos	System Planning Corporation	Incineração
MUNICIPAL SOLID WASTE PROCESSING FACILITY AND COMMERCIAL ETHANOL PRODUCTION PROCESS	2011	Japão	Controlled Environmental Systems Corporation	Incineração
PROCESS AND APPARATUS FOR THE CONTROLLED PYROLYSIS OF PLASTIC MATERIALS	2011	Canadá	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Incineração
SOLID-WASTE ENERGY PLANT USING CATALYTIC IONIC-IMPACT DECOMPOSITION AND COMBUSTION PRODUCT REGENERATION	2011	Estados Unidos	Pessoa física / Escritório de marcas e patentes	Plasma
MUNICIPAL WASTE BRIQUETTING SYSTEM AND METHOD OF FILLING LAND	2011	Estados Unidos	Ecosystems Projects	Biogás
METHOD AND DEVICE FOR COMBUSTION OF SOLID FUEL	2011	Noruega	Organic Power ASA	Incineração

INTEGRATED PROCESS FOR WASTE TREATMENT BY PYROLYSIS AND RELATED PLANT	2012	Itália	BEG S.p.A.	Incineração
METHOD FOR THE PRODUCTION OF NATURAL ENERGY FROM WASTE	2012	Estados Unidos	Ecodeco S.R.L.	Incineração
SYSTEM AND METHOD FOR RECYCLING WASTE INTO ENERGY	2012	Estados Unidos	Natural Resource Recovery	Incineração
PROCESS AND SYSTEM FOR CONVERTING CARBONACEOUS FEEDSTOCKS INTO ENERGY WITHOUT GREENHOUSE GAS EMISSIONS	2012	Estados Unidos	Intellergy Corporation	Biogás
METHOD FOR RECOVERING ENERGY FROM THE ORGANIC FRACTION OF SOLID URBAN WASTE AND ASSOCIATED FACILITY	2013	Japão	Industrias Mecanicas Alcudia	Plasma
METHODS AND SYSTEMS FOR CONVERTING WASTE INTO COMPLEX HYDROCARBONS	2013	Estados Unidos	Innoventor	Plasma