

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

FERNANDO EMMERICH LUCCHESI BECK

Aproveitamento energético do RSU (Resíduo Sólido Urbano) no Brasil e nos países
da Comunidade Europeia.

“Estudo de caso nas cidades de São Paulo e Lisboa.”

São Paulo

2019

FERNANDO EMMERICH LUCCHESI BECK

Aproveitamento energético do RSU (Resíduo Sólido Urbano) no Brasil e nos países
da Comunidade Europeia.

Estudo de caso nas cidades de São Paulo e Lisboa.

Monografia para conclusão do Curso de
Especialização em Energias Renováveis,
Geração Distribuída e Eficiência
Energética da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dra. Suani T. Coelho

São Paulo

2019

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

FICHA CATALOGRÁFICA

Beck, Fernando E. L.

Aproveitamento energético do RSU (Resíduo Sólido Urbano) no Brasil e nos países da Comunidade Europeia. - Estudo de caso nas cidades de São Paulo e Lisboa / Fernando Emmerich Lucchesi Beck; orientadora: Suani T. Coelho – São Paulo, 2019

Monografia para conclusão do Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída E Eficiência Energética da Universidade de São Paulo

1.Gestão Ambiental 2. Resíduos Sólidos Urbanos 3. Incineração 4. Energia Elétrica.

Dedicatória:

À minha família, em especial esposa e filhos, pela atenção e incentivo para cumprir mais esta etapa.

RESUMO

Beck, F. E. L. **Aproveitamento energético do RSU (Resíduo Sólido Urbano) no Brasil e nos países da Comunidade Europeia. Estudo de caso nas cidades de São Paulo e Lisboa, 2019.** Monografia (Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) da Universidade de São Paulo, São Paulo / SP.

O RSU (Resíduo Sólido Urbano), também muito conhecido como *lixo*, é tratado por muitos como sendo algo passível apenas de descarte, sem utilidade e oneroso. Entretanto, quando identificada uma oportunidade de gestão, operação e otimização, pode-se aproveitar este resíduo como uma fonte de renda e, mesmo, uma fonte para geração de energia elétrica.

O aterro sanitário, como forma de destino em grande escala, ou mesmo o descarte inadequado nos chamados ‘lixões’, com o ocorre frequentemente no Brasil, não é a melhor solução. É necessário adequar estas grandes áreas degradadas, que colaboram para o desenvolvimento de doenças, sendo um símbolo de descaso e pobreza; assim sendo, é importante que a sociedade procure alternativas para um destino mais nobre e adequado para os RSU, principalmente considerando a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada em 2010 e até agora sem entrar em vigor.

De acordo com a PNRS, é obrigatória a adequada separação, reutilização, reciclagem, e eventual aproveitamento da matéria orgânica para produção de biogás; em seguida, há a necessidade do reaproveitamento energético, dos materiais não reciclados, fazendo com que apenas os resíduos deste aproveitamento energético sejam destinados para os aterros. Este gerenciamento é complexo, envolvendo diversas etapas desde a coleta, até chegar ao destino. Assim, o processo de aproveitamento energético permite, além da geração de energia, contribuir para o saneamento básico, o que representa uma importante sinergia.

Neste contexto, a presente monografia analisa a situação atual da destinação de RSU em grandes municípios, analisando as particularidades das soluções energéticas, como a incineração. Além disso, é apresentada uma comparação entre as cidades de

São Paulo, Brasil, e Lisboa, Portugal, pelas semelhanças no que se refere a coleta e destinação de RSU. Os resultados das análises ilustram as questões técnicas e de licenciamento, passando pela percepção pública das populações no entorno das plantas de incineração. Além disso, a análise compara as questões econômicas e compara as soluções encontradas para cada uma das cidades, a partir das plantas existentes ou em construção.

Palavras-chave: Gestão Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos, Incineração, Energia Elétrica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 2.1	Deposição dos RSU em células - (LVARAS, 2013)	29
Ilustração 2.2	Captação do metano em aterros sanitários - Ruthmann, 2013.	31
Ilustração 2.3	Planta de Incineração - Zisterdrof na Áustria	36
Ilustração 2.4	Planta de Incineração - Bamberg na Alemanha	37
Ilustração 3.1	Distribuição de plantas de incineração da Europa - CEWEP - 2016	58
Ilustração 4.1	Instalação da empresa - Valorsul	75
Ilustração 4.2	Plataforma de descarga – Valorsul	76
Ilustração 4.3	Garra de Movimentação – Valorsul	77
Ilustração 4.4	Sala de Turbina – Valorsul	78
Ilustração 4.5	Sistema de tratamento de gases – Valorsul	79
Ilustração 4.6	Armazenagem de escórias - Valorsul	80
Ilustração 4.7	Tratamento e valorização de escórias - Valorsul	80
Ilustração 5.1	Cadeia do RSU	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Distribuição da população residente e da população coberta pelo serviço de coleta de resíduos sólidos por região. (IPEA, 2012)	15
Tabela 2.2	Taxa per capita de geração e coleta de RSU no Brasil (ABRALPE, 2007 / 2008 / 2009 / 2010 / 2011)	16
Tabela 2.3	Taxa per capita de geração e coleta de RSU no Brasil (ABRALPE, 2017)	16
Tabela 2.4	Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final - (IPEA, 2012)	18
Tabela 2.5	Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia) (ABRELPE, 2017)	19
Tabela 2.6	Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada (ABRELPE, 2017)	20
Tabela 2.7	Composição Média e produção de RSU (EPE, 2014)	21
Tabela 2.8	Matriz Mundial de Gaseificação por combustível - Gasification Technologies Council, 2013.	28
Tabela 2.9	Produção dos componentes do biogás em relação ao tempo - Unesp, 2005	30
Tabela 2.10	Poder Calorífico por fração de amostra 06 - Nova Iguaçu – RJ / Classe C - (SOARES, 2011)	44
Tabela 2.11	Poder Calorífico por fração de amostra 09 - Nova Iguaçu - RJ - (SOARES, 2011)	44
Tabela 2.12	Poder Calorífico por frações - amostra 04 - Nova Iguaçu – RJ - (SOARES, 2011)	45
Tabela 2.13	Poder Calorífico por frações - amostra 07 - Rio de Janeiro – RJ - (SOARES, 2011)	45
Tabela 2.14	Taxa de MWh/t de RSU bruto – sem separação para reciclagem - ajustada pelo autor.	45
Tabela 2.15	Taxa de MWh/t de RSU bruto – com separação para reciclagem - ajustada pelo autor.	46
Tabela 2.16	Dados de PCI de materiais diversos - CODESC 2003 / CEMIG / FEAM 2011	46
Tabela 2.17	Composição gravimétrica média do RSU no Brasil - ABRELPE 2012 e PNRS 2012	47

Tabela 2.18	Composição do PCI do RSU no município de São Paulo. - Themelis e Kauman 2004b	47
Tabela 2.19	Comparativo de vantagens e desvantagens - Incineração x Gaseificação - (INFIESTA, 2015) e adaptado pelo autor	48
Tabela 2.20	Comparação mensal entre as massas totais de resíduos coletados, 2013 - AMLURB (2014)	52
Tabela 3.1	Distribuição de plantas de incineração na Europa, 2016 - ADAPTADA PELO AUTOR	59
Tabela 3.2	Tratamento do lixo municipal, CEWEP, 2016	60
Tabela 3.3	Tratamento do lixo municipal, U.E e Portugal, 2016 - adaptado pelo autor	60
Tabela 3.4	Tratamento do lixo municipal, U.E. CEWEP - 2001 - 2016	61
Tabela 4.1	RSU per capita em Portugal entre 1995 e 2014 - (INE, 2016)	65
Tabela 4.2	Produção de RSU em Portugal e Regiões Autônomas - APA, 2017	68
Tabela 4.3	Distribuição e encaminhamento do RSU em Portugal - APA, 2017	69
Tabela 4.4	Aproveitamento energético do RSU em Portugal Adaptado pelo Autor	72
Tabela 5.1	Estudos de taxa MWh/t de RSU no Brasil - Adaptado pelo autor	85
Tabela 5.2	Localização futura da URE Barueri (ao lado da ETE Barueri) - (CITVARAS, 2016)	86
Tabela 6.1	Comparativo das taxas de MWh/t de RSU São Paulo / Lisboa - Adaptado pelo autor - (Dados calculados)	88
Tabela 6.2	Comparativo das taxas de MWh/t de RSU – Adaptado pelo autor - (Dados fornecidos pelos concessionários)	88
Tabela 6.3	Dados de tratamento de RSU com geração de energia elétrica - Tabela ajustada pelo autor.	89

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	13
1.2	Definições básicas	13
2.	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Situação dos RSU no Brasil	16
2.2	Destinação do RSU	19
2.3	Caracterização e produção de RSU no Brasil	21
2.4	Aproveitamento energético dos resíduos urbanos	22
2.5	Tipos de tratamento do RSU	25
2.5.1	Gaseificação	25
2.5.2	Biogás de aterro	29
2.5.3	Incineração	33
2.6	Características do RSU para escolha da tecnologia	42
2.7	Comparativo entre processos de incineração e gaseificação de RSU	48
2.8	RSUs coletados na cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar	51
2.9	Reciclagem	54
2.10	Conservação de energia proveniente da reciclagem	56
3.	RSU NA EUROPA	58
4.	PORTUGAL	64
4.1	Resíduos sólidos urbanos (RSU) – Definição	64
4.2	Produção	64
4.3	RSU em Portugal	66
4.4	Incineração de RSU em Portugal	73
4.5	Recolhimento de RSU em Lisboa / Reciclagem	82
5.	BRASIL	84
5.1	Aproveitamento energético do RSU em São Paulo	86
6.	ANÁLISE CRÍTICA EM OS MUNICÍPIOS DE SÃO PAULO E LISBOA	88
7.	CONCLUSÕES	91
8.	REFERÊNCIAS	94

1. INTRODUÇÃO

O maior desafio da sociedade, em pleno século XXI, é sobre o descarte e o destino do resíduo onde alguns pontos deverão ser analisados: como organizar o processo de recolhimento, de separação e de disposição final e qual a forma mais adequada para o seu tratamento. Alternativas de destinos com recuperação de energia, redução do volume e melhoria na redução de doenças infecto contagiosas são alternativas a serem buscadas pelo poder público e privado.

No Brasil foi estabelecida a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) pela lei 12.305 de 2010, que visa a eliminação dos “lixões” e estabelece regras sobre o destino do rejeito, “... *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* ...”, aos aterros sanitários. O tratamento do resíduo sólido será definido mediante a seguinte sequência: da eliminação de sua produção, da redução, da reutilização, da reciclagem, do tratamento e do rejeito em aterros sanitários.

A separação do resíduo domiciliar entre os recicláveis e os não recicláveis, depende de uma educação ambiental, da conscientização da população, da disponibilidade de coleta e de um grande esforço dos órgãos governamentais para implantar, a coleta seletiva. O ciclo do lixo deverá ser associado a separação do resíduo, a inclusão social de entidades de reciclagem, a exploração comercial, a aplicação de geração e energia e o destino dos rejeitos para os aterros sanitários. A escolha de um correto tratamento irá reduzir o impacto ambiental.

Conforme a (ABRALPE,2012) apenas 60% dos resíduos serão destinados corretamente até 2014, prazo inicial previsto PNRS. Em 2012 apenas 58% dos municípios deram a correta destinação. A região sudeste teve o maior índice de geração de RSU no Brasil, com destino de 68.650 t/dia ou 72,2% de RSU para aterros sanitários, de 16.496 t/dia ou 17,3% de RSU para aterros controlados e de 9.996 t/dia ou 10,5% para lixões.

A estrutura do trabalho será iniciada, abordando o assunto temático do RSU de sua distribuição pelas regiões brasileiras, da população coberta pelo serviço de coleta, da quantidade de recolhida, das diferentes formas de destino, de sua composição, da identificação do PCI (Poder Calorífico Inferior) e das possibilidades de geração de energia elétrica no tratamento com processos de incineração, gaseificação e biogás de aterro. Será identificada e explicada a opção da incineração no tratamento a ser adotado para o reaproveitamento energético do RSU para o município de São Paulo.

Na segunda parte do trabalho será realizado um levantamento da distribuição do tratamento nos países membros da Europa, de suas metas, do comparativo e das soluções adotadas entre os países. Para Portugal, serão abordados os assuntos temáticos do RSU desde sua geração, separação, inclusão social, responsabilidades, coletas e tratamentos.

Na parte final, serão identificadas alternativas, argumentos, sugestões, iniciativas e propostas para implantação do tratamento do RSU via incineração, observando as possibilidades e aprendizados da Europa, mais especificamente entre Lisboa pela empresa Valorsul, para aplicação em São Paulo.

1.1 Objetivo

O trabalho tem como objetivo o entendimento do processo de geração e tratamento do RSU no Brasil e em Portugal. Verificar as alternativas e possibilidades na eliminação dos “lixões” e rever as estruturas para o tratamento com geração de energia com a redução do volume resíduo e diminuição do impacto ambiental. Serão estudadas as cidades de São Paulo e Lisboa, identificando quais opções são aplicadas no tratamento e quais oportunidades poderiam ser exploradas.

1.2 Definições básicas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água,

aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentada NBR 10.004, resíduos sólidos são aqueles "(...) nos Estados sólidos e semissólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se, também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível" (ABNT, 2004).

Quando a vida útil de um material se esgota, este se torna um resíduo (NAZAROFF e ALVEZ COHEN, 2001). O termo resíduo sólido é empregado como sinônimo de "lixo" (MANCINI, 1999). Com base em Bidone e Povinelli (1999) os lixos ou resíduos sólidos apresentam grande diversidade e são gerados pelas mais variadas atividades humanas e nos mais diversos ambientes urbanos, constituindo assim uma massa de materiais reunidos julgada sem utilidade e posta fora. (PAVAN, 2010)

A PNRS, instituída pela lei 12.305 de 2 agosto de 2010, regulamentada pelo decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, foi um marco para o Brasil onde trata do assunto resíduo de forma organizada, desde a identificação em sua geração, das responsabilidades das fontes geradoras e das fontes poluidoras, das formas de coletas, dos estudos e possibilidades de reciclagem, das alternativas de tratamento, da eliminação e recuperação dos lixões existentes e da disposição final em aterros.

Um ponto importante no PNRS foi a inclusão do artigo 30, da Seção II, : *"... É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e*

procedimentos previstos nesta seção... “. Faço minhas observações: o assunto lixo ou resíduo é um problema comum e deve ser tratado de forma conjunta unificada e organizada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A SITUAÇÃO DOS RSU NO BRASIL

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), cerca de 42% dos resíduos no Brasil têm destinação inadequada, ou seja, são depositados sem as condições necessárias para garantir a não contaminação do solo e dos recursos hídricos. E, mesmo quando depositados em locais adequados (aterros sanitários), esses resíduos contêm uma grande quantidade de componentes de alto teor calorífico, e seu aterramento é um desperdício considerável.

A tabela 2.1, a seguir, ilustra o número de municípios no Brasil e as populações correspondentes, permitindo verificar o enorme desafio existente para a coleta e destinação adequada do RSU num país com as dimensões do Brasil.

Região	Número de municípios	População residente		População urbana		Taxa de urbanização (%)	
		2000	2008	2000	2008	2000	2010 ¹
Norte	449	12.900.704	15.142.684	9.014.365	11.133.820	70	74
Nordeste	1.794	47.741.711	53.088.499	32.975.425	38.826.036	69	73
Sudeste	1.668	72.412.411	80.187.717	65.549.194	74.531.947	91	93
Sul	1.188	25.107.616	27.497.970	20.321.999	23.355.240	81	85
Centro-Oeste	466	11.636.728	13.695.944	10.092.976	12.161.390	87	89
Total	5.565	169.799.170	189.612.814	137.953.959	159.961.545	81	84

Tabela 2.1 - Distribuição da população residente e da população coberta pelo serviço de coleta de resíduos sólidos por região.

Fonte: (IPEA, 2012)

No Brasil, segundo os dados da ABRELPE, por meio dos valores apresentados na tabela 2.2, constata que desde 2007 há um crescimento na massa de RSU gerada e coletada. Segundo a ABRELPE (2011), a taxa de geração e taxa de coleta de RSU per capita brasileira foi de 1,223 e 1,096 kg/habitante/dia respectivamente.

Comparando as tabelas 2.2 e 2.3, verificou-se uma redução de 1,223 (2011) para 1,035 (2017) kg/habitante/dia de geração, representando -18,16%.

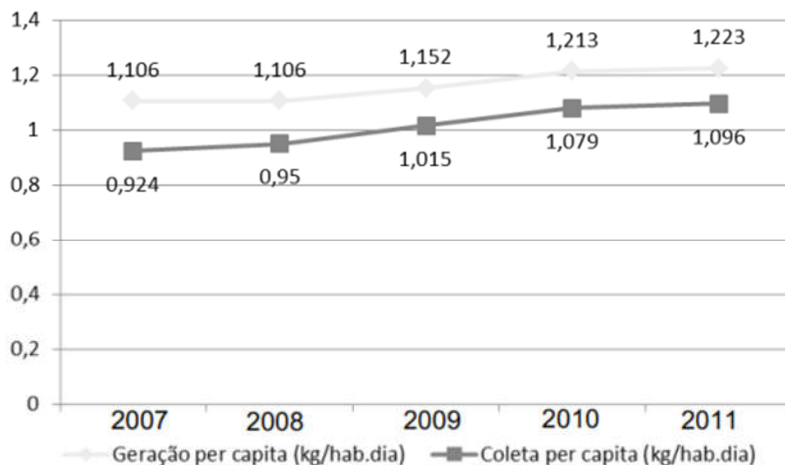


Tabela 2.2 - Taxa per capita de geração e coleta de RSU no Brasil

Fonte: (ABRELPE, 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011)

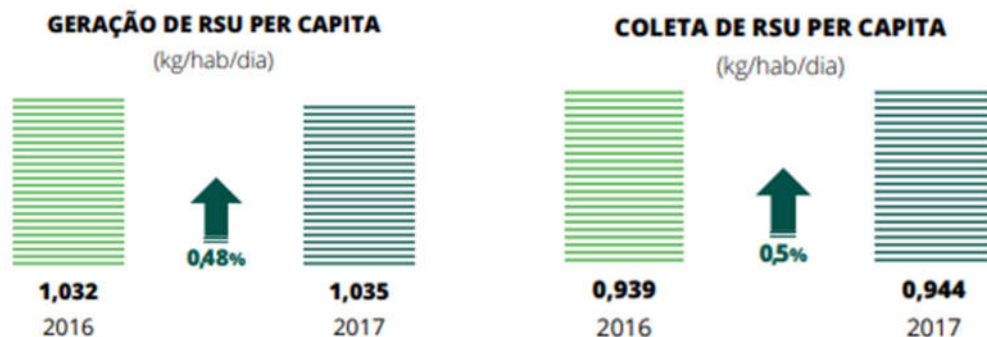


Tabela 2.3 - Taxa per capita de geração e coleta de RSU no Brasil

Fonte: (ABRELPE, 2017)

Os resíduos sólidos podem ser classificados segundo sua origem, ou de acordo com suas características físicas.

Quanto à origem, podem ser:

- Urbanos: provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares;

- Industriais: gerados pelos processos de transformação; ou
- Agrícolas: decorrentes da atividade produtiva do setor primário.

Quanto às características físicas, podem ser:

- Materiais inertes: vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes; ou
- Materiais combustíveis: papéis, cartões, plásticos, madeira, gomas, couro, alimentos e outros.

A definição de classes é regulamentada pela norma NBR 10.004, que ainda classifica os resíduos sólidos nos seguintes grupos: (ABNT, 2004)

- Resíduos perigosos (classe I) – são aqueles que apresentam periculosidade ou constem nos anexos A e B desta norma ou apresentem uma das seguintes características: inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos não perigosos, não inertes (classe IIA) – são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe IIB, nos termos dessa norma. Os resíduos classe IIA podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos não perigosos, inertes (classe IIB) – são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo norma ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G dessa norma.

Além de sua divisão por riscos potenciais, os resíduos podem ser classificados também de acordo com sua natureza física (seco ou molhado), por sua composição química (matéria inorgânica ou matéria orgânica) ou em função da origem (fonte geradora). A classificação dos resíduos quanto à origem, quando se trata de

gerenciamento de resíduos, é a mais útil e apropriada. Nesta classificação os resíduos se dividem em domiciliar, comercial, de estabelecimentos públicos, de serviços de saúde e hospitalares, portos e aeroportos, de terminais rodoviários e ferroviários, de indústrias, da agricultura, da construção civil, ou de fontes radioativas (resíduos nucleares)

2.2. DESTINAÇÃO DO RSU

A Lei no 12.305/2010 define, em seu Artigo 3º ,

“ ... VII - destinação final ambientalmente adequada: 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 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;...” (Brasil, 2010).

Entre os anos de 2000 e 2008 houve um aumento de 34,28% no total de resíduos sólidos domiciliares coletados, mas uma pequena parcela, menor que 2%, tinha seu destino para a reciclagem. Faz-se necessária a conscientização de todos na cadeia produtiva do lixo, para aumentar a possibilidade de tratamento e eliminação dos aterros sanitários. Na tabela 2.4 a incineração é nula no processo de tratamento

Destino final	2000		2008	
	Quantidade (t/d)	%	Quantidade (t/d)	%
Aterro sanitário	49.614,50	35,4	110.044,40	58,3
Aterro controlado	33.854,30	24,2	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto (lixão)	45.484,70	32,5	37.360,80	19,8
Unidade de compostagem	6.364,50	4,5	1.519,50	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	2.158,10	1,5	2.592,00	1,4
Unidade de tratamento para incineração	483,10	0,3	64,80	<0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	228,10	0,2	35,00	<0,1
Locais não fixos	877,30	0,6	-	-
Outra unidade	1.015,10	0,7	525,20	0,3
Total	140.080,70	-	188.814,90	-

Tabela 2.4 - Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final

Fonte: (IPEA, 2012)

A disposição final adequada de RSU registrou um índice de 59,1% do montante anual encaminhado para aterros sanitários, índices que foram praticamente inalterados entre os anos de 2016 e 2017, dado pela tabela 2.5. As unidades inadequadas como lixões e aterros controlados, porém, ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com um índice superior a 40%, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde.

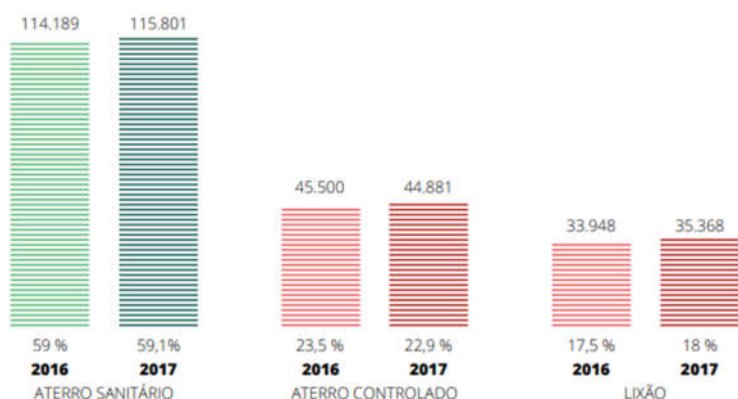


Tabela 2.5 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia)

Fonte: (ABRELPE, 2017)

Passados 7 anos da implantação da PNRS e analisando o ano de 2017, (tabela 2.6), existe uma grande parcela de disposição final adotada por 28,90% municípios no Brasil não adequados, tendo seu destino o “lixão”. A região norte é a mais crítica com 56,00% dos municípios destinando o RSU de forma não adequada, para os lixões.

DISPOSIÇÃO FINAL	BRASIL 2016	2017 - REGIÕES E BRASIL					
		NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
Aterro Sanitário	2.239	90	449	159	817	703	2.218
Aterro Controlado	1.772	108	484	159	634	357	1.742
Lixão	1.559	252	861	149	217	131	1.610
BRASIL	5.570	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

Tabela 2.6 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada.

Fonte: (ABRELPE, 2017)

A principal destinação verificada pelas PNSB do material coletado tem sido aterros controlados e sanitários, contudo grande parte ainda é enviada para áreas popularmente conhecida como lixões. Em pouquíssimos casos são aplicadas outras soluções, que poderiam trazer benefícios adicionais para as localidades. Isto se dá, provavelmente por razões financeiras, uma vez que tais soluções normalmente significam maiores investimentos. (ABRELPE, 2012).

Em quaisquer das destinações que usualmente são dadas para RSU (aterros ou lixões), o monitoramento continuado das áreas de disposição é necessariamente uma preocupação recorrente das administrações municipais, na medida em que nessas áreas são gerados efluentes líquidos e gasosos que, em benefício das condições de saneamento urbano, demandam tratamentos específicos e por prazos superiores ao triplo do tempo de operação para recebimento de resíduos. (EPE, 2014)

2.3. CARACTERIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE RSU NO BRASIL

A base de dados censitários sobre o tema é a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE em 1989, 2000 e 2008, que divulga valores referentes à produção de lixo no país. Até que os resultados da terceira pesquisa sejam disponibilizados no nível municipal, não é possível estabelecer uma tendência a partir desta base. (EPE, 2014)

Na tabela 2.7, a composição inicial é 59% de fração orgânica, 5% de inertes e 36% de recicláveis (18,5% de papéis, 12,3% de plásticos, 3,1% de vidros e 2,1% de metais). A partir destes valores foram realizadas projeções atentando para o crescimento populacional e aumento da renda per capita, haverá uma mudança na composição dos resíduos gerados, como acontece hoje em países de maior renda. Quanto ao Teor de umidade no lixo brasileiro, atualmente na faixa de 60% sobre a parcela de restos alimentares, foi considerado o mesmo. Quanto à produção foi utilizado um fator de produção per capita para o ano base de 2010 de 0,89kg/dia. (EPE, 2014)

		<i>Papel</i>	<i>Plástico</i>	<i>Vidro</i>	<i>Metal</i>
<i>Matéria Orgânica</i>	59,0%	-	-	-	-
<i>Recicláveis</i>	36,0%	18,5%	12,3%	3,1%	2,1%
<i>Outros</i>	5,0%	-	-	-	-
<i>Produção de RSU [Mt]</i>	62,87	11,63	7,76	1,94	1,32

Tabela 2.7 - Composição Média e produção de RSU

Fonte: (EPE, 2014)

A disponibilização de potencial técnico regionalizado, por estado o por município também depende de uma base de dados consistente, não somente com a disponibilidade de resíduos mais com a composição (através da gravimetria). (EPE, 2014)

2.4. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS URBANOS

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) coordena o Programa de Resíduos Sólidos Urbanos (PRSU) onde visa o apoio ao desenvolvimento de processos de gestão integrada de resíduos na busca e possíveis alternativas para os graves problemas ambientais, sociais e de saúde. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), introduzida pela Lei 12.305/10, em alteração da Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, considerou o estilo de vida da sociedade contemporânea, propondo a redução e consumo intensivos que provocam uma série de impactos ambientais, à saúde pública e sociais incompatíveis com o modelo de desenvolvimento socioambiental sustentado que se pretende implantar no Brasil. (MMA, 2010)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) permite a utilização de tecnologias de tratamento dos resíduos sólidos visando à recuperação energética. Neste caso deve ser comprovada a viabilidade técnica e ambiental e a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos, aprovado pelo órgão ambiental (MMA, 2010). Este programa deverá, para o caso de incineradores, obedecer NBR 11.175 (ABNT, 1990).

Entretanto, a PNRS ainda não foi implementada, em virtude de inúmeras dificuldades existentes, como falta de capacitação dos municípios, deficiência de fundos para a implantação das unidades de recuperação energética, falta de organização no processo de coleta, dificuldades de implantação no processo separação do resíduo na fonte geradora, falta de coleta seletiva, ausência na constituição de entidades para fomentar a reciclagem, falta da participação da sociedade no processo do ciclo do lixo. Em 2014, quatro anos após a implantação do PNRS, apenas 40% dos municípios brasileiros destinavam de forma correta os resíduos. No capítulo III, seção II, da PNRS, um item muito relevante, a *Responsabilidade Compartilhada*.

No Brasil com suas dimensões continentais, uma alternativa seria a GD (Geração Distribuída) de energia elétrica. A possibilidade de aproveitamento energético via incineração no tratamento do RSU, antecedendo o destino ao aterro sanitário, com a redução do volume em até 90% e com a eliminação de doenças infecto contagiosas são opções a serem estudadas.

Dentro deste contexto, muitos países adotam, em conjunto com a reciclagem, as tecnologias de aproveitamento energético, sendo a mais usada a incineração, que corresponde à queima dos RSU. hoje tem-se a tecnologia de incineração controlada onde realiza-se o tratamento dos resíduos podendo também ser agregado o aproveitamento elétrico, não sendo uma simples queima dos resíduos. (SOARES, 2011)

O aproveitamento energético dos RSU já apresenta hoje alternativas tecnológicas maduras. Algumas das tecnologias disponíveis e diferentes de aterros datam da

década de 1960, dentre as quais as primeiras usinas implantadas na Europa, na China e na Índia. (EPE, 2014)

Os principais energéticos que podem ser obtidos através do aproveitamento dos RSU são: o biogás, de aterro e conhecido como gás de lixo (GDL) ou de digestão anaeróbica, e que ainda pode sofrer um processo de purificação para ser utilizado como substituto (ou complemento) ao gás natural, que é chamado de biometano ou gás natural renovável (GNR) – por atender à Resolução 16 (ANP, 2008); a eletricidade, gerada a partir da queima do biogás ou da incineração; e o calor, utilizado nos próprios processos ou podendo ser exportado caso haja demanda, inclusive de frio. (EPE, 2014)

O equacionamento adequado do tratamento a ser dado ao lixo gerado em uma localidade ou região requer diversas informações, algumas delas fundamentais. Exemplos dessas informações são: (EPE, 2014)

- (i) quantidade de lixo produzida em cada localidade, produção per capita;
- (ii) composição do lixo (e o que isto representa em termos de desenvolvimento);
- (iii) onde e como o lixo é disposto e qual a disponibilidade de novas áreas;
- (iv) quais os impactos ambientais e sociais que os resíduos causam;
- (v) quais as oportunidades que o reaproveitamento dos resíduos pode viabilizar.

No Município de São Paulo, a geração de energia elétrica nos dois maiores aterros da cidade, Bandeirantes e São João, já é uma realidade. Estão em operação duas termelétricas, com 20 e 24,8 MW de potência instalada, respectivamente. Tomando como referência um fator de capacidade de 80% e tendo em conta o atual consumo médio do consumidor residencial brasileiro, em torno de 150 kWh/mês, a geração de energia nesses dois aterros é suficiente para atender ao consumo de cerca de 170 mil residências, ou o equivalente a uma população entre 500 e 600 mil habitantes. Em Minas do Leão (RS) será inaugurada uma planta de 6,5 MW e na região metropolitana de Belo Horizonte (MG) outra de 6 MW, ambas também a gás de aterro. (EPE, 2014)

Embora o aproveitamento energético de resíduos urbanos não se apresente com potencial de escala suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica ou de biocombustível do país no longo prazo, ele é elemento que deve ser considerado importante de uma estratégia regional ou local que transcende a dimensão energética. Na realidade compõe um arranjo de políticas de cunho social (saúde, saneamento etc.), regional (desenvolvimento local) e ambiental (mitigação de impactos dos resíduos). (EPE, 2014)

2.5. TIPOS DE TRATAMENTO COM RECUPERAÇÃO DE ENERGIA DO RSU

A energia térmica para a geração de energia elétrica ou termoelétrica possui três (3) grupos com fontes de combustíveis variados, sendo elas:

- Gaseificação de CDR – Combustível Derivado do Resíduo Urbano
- Biogás oriundo de aterros sanitários
- Incineração de RSU

Desta forma, a análise deste trabalho está voltada para a geração termoelétrica proveniente dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU, por ser uma fonte de energia substituta aos combustíveis fósseis atualmente utilizados, além do atendimento da lei 12.305/10 que propõe um destino final ao “lixo”, com participação na logística reversa de produtos como pneu e linha branca, eliminação da contaminação do solo e lençol freático pelo chorume proveniente da decomposição dos compostos orgânicos presentes no RSU e principalmente, pela utilização de uma fonte de energia descartada e inesgotável, em uma fonte de energia nobre, crescente e utilizável, como a energia elétrica.

2.5.1 Gaseificação

A gaseificação de combustíveis sólidos é um processo convencional, realizado para produzir combustível gasoso com melhores características de transporte, melhor

eficiência de combustão e que possa também ser utilizado como matéria-prima para outros processos.

No processo de gaseificação, a matéria orgânica (carvão, resíduos ou biomassa) é transformada em gases combustíveis, cujos principais componentes são: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, nitrogênio, hidrocarbonetos leves e vapor de água, em diferentes proporções.

Planta de Gaseificação

A produção do gás ocorre a partir da gaseificação de resíduos orgânicos, ou alguns inorgânicos, em cuja composição química exista cadeias carbônicas, ou seja, a grande maioria de elementos que visualizamos exceção feita às substâncias minerais inertes. Concebida inicialmente como unidade de produção de gases para a atividade industrial, onde gaseificava carvão mineral e turfa, com dezenas de unidades implantadas no Brasil e no exterior, a planta é atualmente vista, e está direcionada, como solução definitiva para destinação de RSU e resíduos agrícolas, com ênfase na geração de energia elétrica mediante a utilização dos gases produzidos, obtidos no processo de reações químicas da decomposição molecular dos materiais. (INFIESTA, 2015)

Fontes de Combustíveis

CDR - Combustível derivado do Resíduo Urbano

RSU - Resíduo Sólido Urbano

RSI – Resíduos sólidos Industriais

- A gaseificação é também chamada de combustão estagiada ou combustão incompleta, já que gás produzido será queimado numa etapa posterior (caldeira e moto geradores);
- A distribuição (transporte) é mais fácil; devido ao produto ser um gás combustível, o mesmo pode ser transportado através de tubulações para grandes distancias, sem a necessidade da construção da usina no local de consumo.

- Controle facilitado; - Combustão limpa, pois a grande parte das impurezas (material particulado) é removida do gás por ciclones;
- Combustão mais eficiente, facilidade na mistura ar-combustível, assim como no fornecimento da quantidade ideal de ar necessária para a queima do gás de síntese;
- Geração de energia: o gás produzido pode ser aplicado em ciclos de potência a ar, ou mesmo em ciclos combinados, com eficiência mais elevadas que aquelas conseguidas com a queima direta do combustível em ciclos Rankine;
- Há a possibilidade de síntese de compostos químicos: p.ex. nitrogênio para fertilizantes, diesel e combustíveis líquidos pelo processo Fisher Tropsch; (INFIESTA, 2015)

A gaseificação pode ser definida como oxidação parcial, à elevada temperatura 500 °C – 1400 °C e pressão variável (atmosférica a 33 bar), de material carbonáceo sólido ou semissólido (biomassa/madeira, resíduos, carvão, etc.), 45 em um gás combustível (gás de síntese, principalmente H₂, CH₄ e CO) (Morrin et al., 2011; Hernández, Ballesteros e Aranda, 2013).

Durante a gaseificação, o produto principal é um gás combustível composto de CO, CO₂, H₂, CH₄, traços de hidrocarbonetos pesados, água, nitrogênio e várias outras substâncias - pequenas partículas de coque, cinza, alcatrão, ácidos e óleos, que são consideradas contaminantes (Bain, et al. 2002).

A composição desse gás de síntese varia em função do tipo de biomassa e do processo de utilizado. Os processos de gaseificação mais simples utilizam o ar como agente gaseificante, neste caso o uso de ar, ao invés de oxigênio, cujo alto valor de mercado inviabiliza esta prática, pode reduzir o poder calorífico do produto gasoso devido à presença de dióxido de carbono e nitrogênio (Ahmed e Gupta, 2012).

O processo de gaseificação é composto por reações complexas, ainda não inteiramente conhecidas (Blasi, 2000; Cenbio, 2002; De Oliveira, 2008; Fonseca, 2009; Morrin et al., 2011), porém pode ser simplificado em três etapas principais: a etapa de secagem, a etapa de pirólise e a etapa de gaseificação, em que ocorre a oxidação parcial dos resíduos e gases voláteis produzidos na etapa de pirólise (Anis e Zainal, 2011).

As principais reações conhecidas da gaseificação que ocorrem em um reator são:

1 – C (sólido) + O_2 (gás) $\rightleftharpoons CO_2$ (gás) (reação de combustão, formação de dióxido de carbono). Reação exotérmica.

2 – C (sólido) + $\frac{1}{2} O_2$ (gás) $\rightleftharpoons CO$ (gás) (combustão parcial, formação de monóxido de carbono). Reação exotérmica.

3 – C (sólido) + H_2O (gás) $\rightleftharpoons CO$ (gás) + H_2 (gás) (reação gás-água "fase 1"). Reação endotérmica.

4 – CO (gás) + H_2O (gás) $\rightleftharpoons CO_2$ (gás) + H_2 (gás) (reação gás - água "fase 2"). Reação exotérmica.

5 - H_2 (gás) + $\frac{1}{2} O_2$ (gás) $\rightleftharpoons H_2O$ (gás) (reação de formação de vapor de água). Reação exotérmica.

6 – C (sólido) + CO_2 (gás) $\rightleftharpoons 2 CO$ (gás) (reação de Boudouard). Reação endotérmica.

7 – C (sólido) + $2 H_2$ (gás) $\rightleftharpoons CH_4$ (gás) (reação de metanização 1). Reação exotérmica.

8 – CO (gás) + $3 H_2$ (gás) $\rightleftharpoons CH_4$ (gás) + H_2O (gás) (reação de metanização 2). Reação exotérmica.

(INFIESTA, 2015)

A gaseificação, apesar de ser conhecida mundialmente há muitas décadas, ainda é pouco utilizada com resíduos sólidos urbanos. A tabela 8, mostra que segundo Conselho de Tecnologia em gaseificação, o principal combustível utilizado na gaseificação industrial é o carvão, com 59% das plantas instaladas, seguido pelo coque de petróleo o qual é utilizado em 22% das plantas instaladas. O resíduo sólido urbano aparece em último como utilização em projetos de gaseificação, com apenas 2% de plantas instaladas. Isso demonstra o grande potencial de desenvolvimento que a gaseificação poderá passar com a utilização deste combustível alternativo. (INFIESTA, 2015)

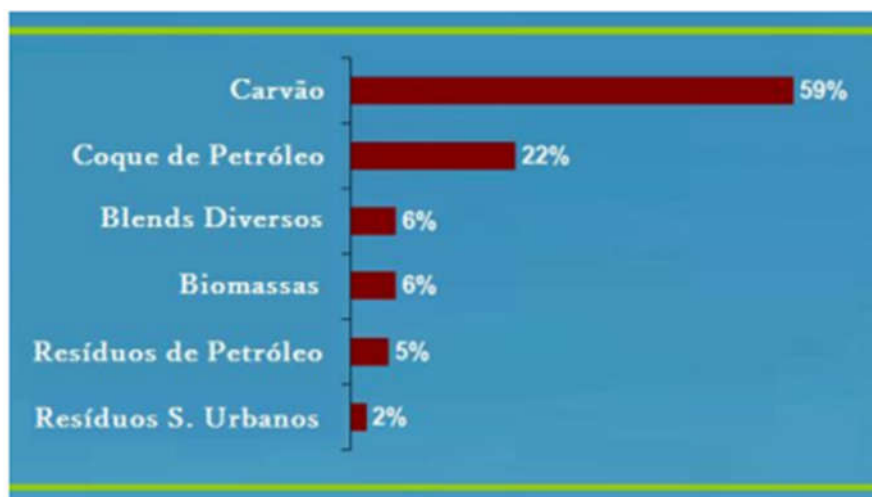


Tabela 2.8 - Matriz Mundial de Gaseificação por combustível

FONTE: Gasification Technologies Council, 2013.

Em relação ao produto, a geração de energia elétrica encontra-se em terceiro lugar, atrás de produtos químicos e combustíveis líquidos. Porém, segundo NETL (2012), a utilização da tecnologia de gaseificação para geração de energia elétrica é a que mais irá crescer nos próximos anos. (Soares, 2012)

2.5.2 Biogás de aterro

Biogás de aterro sanitário Aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, resíduo domiciliar seguindo critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública; ou, forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de acordo com normas operacionais específicas, e de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Os aterros são a forma mais empregada no Brasil para destinação final dos RSU, principalmente pelo fato de necessitar baixo custo de investimento e operação barata e simplificada. Os RSU chegam ao aterro, em sua grande maioria, através de transporte rodoviário, diretamente do local onde foi coletado, ou oriundo de um ponto de separação de recicláveis. Passam primeiramente pelo sistema de pesagem que

permite um acompanhamento do montante de resíduo aterrado. Em seguida os caminhões são encaminhados para descarregar os RSU no local onde estes serão aterrados, chamado de célula. As células de um aterro sanitário, conforme ilustração 2.1, devem ser revestidas por material impermeável, visando impedir a contaminação do solo. À medida que a capacidade de recebimento de cada célula é esgotada elas são seladas, possibilitando a captação do biogás (SEMPRETOPS, 2013, LANZINI 2013).



Ilustração 2.1 – Deposição dos RSU em células

FONTE: (Lavras, 2013)

Com a decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários, à formação de um gás denominado de biogás. Ele é um recurso energético 40 renovável, que deriva da decomposição de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos por bactérias em condições anaeróbicas, ou seja, na ausência de oxigênio. Sua constituição em volume é, em sua maioria, metano CH_4 com 40-55% e gás carbônico CO_2 com 30-45% e 5% de uma mistura de outros gases (hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis) e cujo conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico (ANEEL, 2005).

A obtenção do biogás é feita obedecendo a critérios de fermentação, temperatura, umidade, acidez e com a ausência de oxigênio. A forma natural do biogás é conseguida pela ação de micro-organismos bacteriológicos sobre o acúmulo de materiais orgânicos (Biomassa) como lixo doméstico, resíduos industriais vegetais,

esterco de animais, entre outros. E a forma artificial é dada pelo uso de um reator químico-biológico chamado de Biodigestor Anaeróbico (ROYA, FREITAS, 2011).

Na tabela 2.9, é indicada as fases e de como os fatores que podem influenciar na produção de biogás são: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, Idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação. A primeira fase, a decomposição aeróbica, ocorre imediatamente depois do RSU ter sido destinado ao aterro, enquanto o oxigênio está presente dentro do resíduo. A decomposição aeróbica produz dióxido de carbono, água (chorume) e calor. O próximo estágio é a fase anaeróbica, sem a formação do metano em que compostos ácidos e gás hidrogênio são formados, enquanto há continuada produção de dióxido de carbono. A terceira fase é a instável formação do metano. Durante esta fase, a produção de dióxido de carbono começa a declinar porque a decomposição do RSU muda da decomposição aeróbica para a decomposição anaeróbica. A decomposição anaeróbica produz calor e água, mas, diferentemente, da decomposição aeróbica, também produz metano. Durante a quarta fase, o metano é gerado na faixa entre 40 e 70 por cento do volume total (McBEAM; ROVERS; FARQUHAR, 1995).

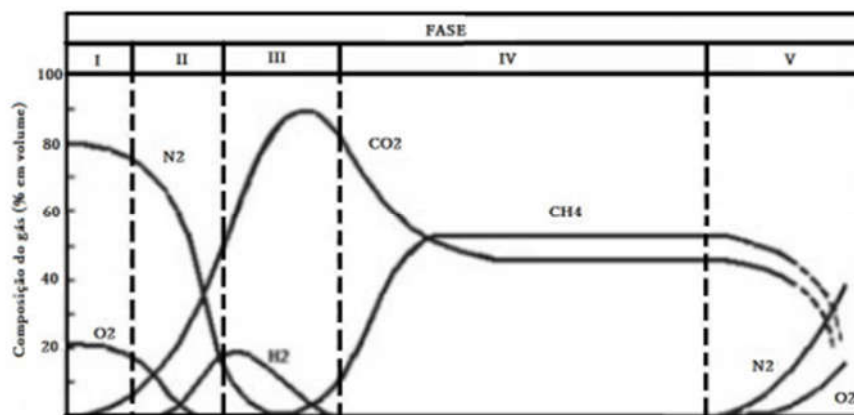


Tabela 2.9 - Produção dos componentes do biogás em relação ao tempo

Fonte: Unesp, 2005

As bactérias que se encontram no lixo se proliferam, ocorrendo a fermentação e promovendo a liberação do biogás. Desta forma, nos aterros sanitários, há dutos que captam os gases liberados, que posteriormente, passam por processos de limpeza e desumidificação. Em seguida são pressurizados e queimados em “flares”, onde o

metano (CH_4) é transformado em gás carbônico (CO_2) após sua queima, o qual possui um potencial de aquecimento global cerca de 25 vezes menor. (INFIESTA, 2015)

Existem diversos projetos de aproveitamento energético no Brasil, como nos aterros Bandeirantes e São João, no município de São Paulo, que já produzem energia elétrica da captação do metano, conforme ilustração 02. Por ser produzido em grande escala, o biogás também é usado como um combustível alternativo em relação ao gás natural proveniente da extração do petróleo, em caldeiras a vapor, veículos e motores geradores para geração de energia elétrica. (INFIESTA, 2015)



Ilustração 2 – Captação do metano em aterros sanitários.

FONTE: Ruthmann, 2013.

O processo de utilização do biogás de aterro possui alguns benefícios comparado a utilização do gás natural como;

- É um recurso energético renovável, pois a degradação de matéria orgânica é praticamente inesgotável. Assim, gera energia ecologicamente correta, diminuindo a utilização de recursos fósseis.
- Devido a presença de metano em sua composição isso pode ser utilizado em caldeiras, veículos e em moto-geradores para a geração de energia elétrica. Já existe também uma tecnologia que permite usar esse gás para iluminar e aquecer áreas urbanas e rurais em que se combina utilização do biogás como matéria-prima principal juntamente com a automatização para acender e apagar os postes de iluminação.

- O biogás auxilia nessa questão do aquecimento global e reduz os efeitos causados principalmente para a população em torno do aterro.
- O resíduo formado do biodigestor é utilizado como fertilizante agrícola. - Além disso, o biogás é, com certeza, uma importante fonte energética substituta para os combustíveis derivados do petróleo, como a gasolina e o diesel, por exemplo;

Por outro lado, como todo combustível, possui suas desvantagens a seguir: (INFIESTA, 2015)

- Por conta da alta concentração de gás metano em sua constituição, o biogás acaba também poluindo muito o meio ambiente, contribuindo diretamente para o efeito estufa e o aquecimento global. Por isso a necessidade da transformação do metano em gás carbônico nos “flares”, como dito anteriormente.
- A quantidade de energia gerada pelo biogás não é constante, variando ao longo do período de produção;
- Em função da lei nº 12.305, de agosto de 2010 – Política nacional de Resíduos Sólidos, no futuro será minimizada a deposição de resíduos biodegradáveis em aterro sanitário, desta forma as instalações de recuperação de biogás terão um prazo tempo limitado de existência;
- Alto período de recuperação do investimento

2.7.3 Incineração

Usinas de incineração dos RSU, também classificadas como URE (Unidades de Recuperação de Energia) utilizam o calor de queima do RSU, como combustível, para produzir o vapor e assim, abastecer um gerador de energia elétrica ou ser usado diretamente em processos industriais (ou para aquecimento). (PAVAN, 2010)

Desde os primórdios da civilização humana, a incineração de resíduos era praticada mediante processos rudimentares, e o primeiro incinerador da era moderna de que se tem notícia foi construído na cidade de Nottingham, Inglaterra, em 1854. Entre 1885 e 1908, 180 incineradores foram construídos nos EUA, na cidade de Nova York. Desde

então iniciaram-se nesses países os experimentos para gerar eletricidade (PDH ENGINEER, 2007)

No Brasil, a primeira unidade foi instalada na cidade de Manaus, em 1876, vinte e dois anos depois da implantação da primeira unidade inglesa. Na cidade de São Paulo, o primeiro incinerador de RSU foi instalado no bairro de Araçá, hoje Sumaré. Este incinerador utilizava lena auxiliar a combustão de resíduos, e a alimentação era feita manualmente. Esse equipamento operou durante 27 anos, até 1940, quando foi desativado por sua capacidade ter ficado abaixo da necessária e por encontrar nas proximidades de áreas residenciais. (RUBERG, 2006)

O conceito de incineração foi se modernizando ao longo dos anos. Países com pequena disponibilidade de área adequada para aterro, como o Japão, Suécia, não somente apresentam muitas unidades em operação, como também apresentam tendência acentuada de crescimento desta forma de tratamento de resíduos ao longo dos anos. Isto tem ocorrido devido à incorporação, às novas unidades de incineração, de sistemas de mais eficientes de recuperação de energia e de tratamento de gases de combustão, tornando-se mais interessantes do ponto de vista econômico e mais seguros do ponto de vista ambiental. (CEWEP, 2007)

Tipos de Incineradores (objeto de estudos)

- i. Combustão de grelha
- ii. Combustão em leito fluidizado
- iii. Combustão em câmaras múltiplas
- iv. Forno Rotativo

i. Combustão de grelha

Os sistemas tipo grelha, entretanto, são os mais adequados para resíduos grandes e irregulares. Podem ser mantidos em uma grelha móvel ou estacionária, permitindo que o ar penetre, passando através dos resíduos, sendo o formato mais adequado para aplicação no tratamento do RSU. A disposição mais adequada é para sistemas que contém um paralelismo operacional podendo chegar até 4 sistemas, com

capacidades unitárias variando de 50 a 1.000 t/d de consumo de RSU. Esses incineradores comportam o RSU em seu estado bruto ou de forma beneficiada, também conhecido por combustível derivado de resíduo (CDR), sendo este proveniente de um processo prévio de separação de materiais recicláveis, favorecendo um material com menor granulometria e maior uniformidade que o resíduo bruto, sendo mais adequado e com maior rendimento para incineração. (PAVAN, 2010)

A entrada do RSU nos incineradores é dada geralmente em seu estado bruto, sendo anteriormente apenas dispensado em baias de alvenaria despejadas diretamente dos caminhões de coleta. Feita a pesagem do RSU, descartado nas baias, tendo como sua movimentação posteriormente via garras operadas por pontes rolantes e misturas para ajustes e homogeneização da carga. Uma vez homogeneizado, a garra pega o RSU que será o combustível do incinerador e despeja nos silos, que através de cilindros hidráulicos faz sua injeção para a parte interna da câmara de combustão. Através de uma grelha inclinada, tipo basculante, desloca o RSU através da câmara de combustão, revolvendo-o e expondo-o a elevadas temperaturas. Através da passagem pela grelha o RSU irá sendo aquecido, desidratado, retirando os compostos voláteis. Sai da câmara de combustão com uma pequena quantidade de material orgânico, mas já na forma de carvão. A grelha em questão pode trabalhar com materiais de diversas granulometria diversificada, o que possibilita a incineração do RSU em seu estado bruto. (PAVAN, 2010)

Cerca de 60% da carga do ar é introduzida pela parte de baixo da grelha, sendo o restante do ar entra pela parte de cima. O ar injetado por baixo da grelha, normalmente pré aquecido, tem a função de resfriá-la e auxiliar na secagem e combustão do RSU. O ar introduzido por sobre a grelha é injetado em alta velocidade para criar uma região com elevada turbulência e promover sua mistura com o gases e vapores combustíveis gerados durante a decomposição térmica do RSU. A temperatura na região sobre a grelha atinge 1.200°C, decompondo a maioria dos compostos orgânicos em CO₂ e água. Os gases de combustão a alta temperatura, ao saírem dessa região, trocam calor com as paredes do incinerador e trocadores de calor, produzindo vapor, que pode ser utilizado para gerar energia elétrica ou para fins de aquecimento. (PAVAN, 2010)

Ao fim da grelha, a fração orgânica do RSU deve estar completamente consumida, restando apenas uma pequena fração predominantemente inorgânica, onde é denominada por cinzas. Na prática, uma pequena fração orgânica ainda sai nas cinzas na forma de carvão. Estas cinzas são apagadas em um tanque de água e, posteriormente desaguadas, enviadas para disposição final em aterros. (PAVAN, 2010)

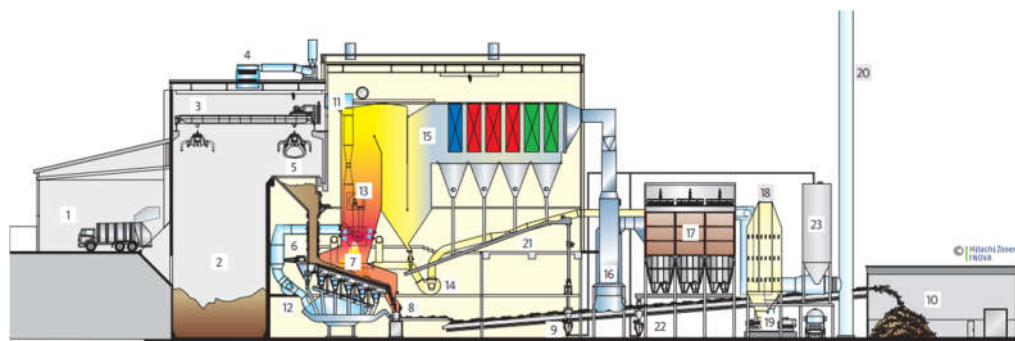
O vapor gerado pode ser utilizado na geração exclusiva de energia elétrica ou energia elétrica adicionada com vapor, onde pode ser empregado em sistema de aquecimento de processos térmicos industriais. O sistema de geração simultânea de vapor e energia elétrica também é conhecido como co-geração. Na co-geração o aproveitamento do vapor se através de uma baixa pressão, geralmente algo em torno de 3,0 bar e, ao sair da turbina, é enviado para uma unidade consumidora. O condensado gerado pela unidade consumidora é retornado à usina de incineração e o rendimento energético final pode chegar a 85%, sendo muito superior que uma unidade com geração exclusiva de energia elétrica que atinge valores de 35%. (PAVAN, 2010)

Na combustão do RSU, além do CO₂ e água, também podem se formar gases extremamente corrosivos, como ácido clorídrico, cloro, ácido fluorídrico, assim as grelhas devem estar revestidas por material refratário. Na saída da região, os gases ainda encontram-se aquecidos a cerca de 400°C, e geralmente passam por mais seção de troca térmica (recuperação de calor), aquecendo o ar de combustão. Os gases, então resfriados de 400°C para 250°C e enviados para o sistema de tratamento de gases para a remoção de gases ácidos, material particulado, dioxinas, furanos e metais pesados eventualmente presentes. (PAVAN, 2010)

Existem diversos sistemas de limpeza de gases, também chamados de filtros, onde apresentam elevada eficiência de retenção e purificação do ar antes do seu lançamento à atmosfera. Os filtros retêm as impurezas, sendo com índice tóxicos superior aos das cinzas de fundo das grelhas, devendo ser dada uma devida atenção e destino para aterros especiais, para resíduos de classe I (perigosos). Existem estudos e processos para tratamentos de cinzas e resíduos da filtração dos gases de combustão que visam a passivação e inertização, podendo gerar um subproduto para aplicações futuras no mercado. (PAVAN, 2010)

É importante ressaltar que, dependendo da composição do RSU a ser incinerado, deve-se aplicar uma parcela de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), GN (Gás Natural) ou outro combustível, para corrigir o PCI (Poder Calorífico Inferior) do combustível em questão é complementar com a queima auxiliar. (PAVAN, 2010)

A ilustração 2.3 é uma planta de incineração localizada na cidade de Zisterdrof na Áustria, com início de operação em 2009, uma capacidade de consumo de 27 t/h de RSU e uma capacidade instalada de 14,0 MWe. Está identificada na ilustração 3 o recebimento do RSU em sua forma bruta, sendo despejado diretamente em um poço de resíduo, para posteriormente ser transportado para a grelha de queima e combustão. Contem sistema de tratamento de gases provenientes da queima e não contém a recuperação de calor com excedente para aquecimento. Esta planta opera apenas na geração de energia elétrica.



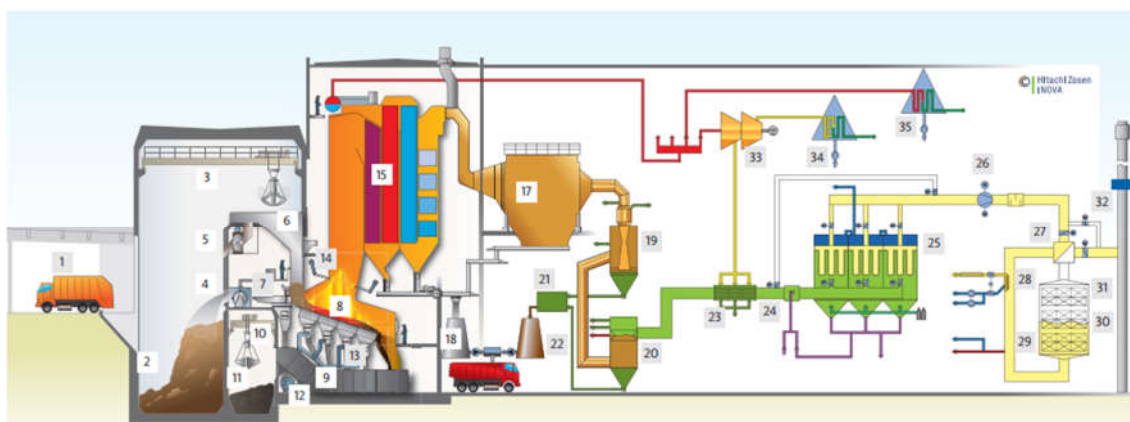
Recebimento e Armazenagem	Queimador e Caldeira		Tratamento de Gases de Combustão	Manipulação de resíduos e tratamento
1 Recebimento	6 Funil alimentação	11 Ar primário	18 Reator seco	21 Transportador de cinzas
2 Poço de resíduo	7 Grelha	12 Ventilador ar primário	17 Filtro de manga	22 Transportadora de resíduos
3 Guindaste	8 Extrator de cinzas	13 Ventilador ar secundário	18 Catalizador	
4 Ventilação do poço				

	9 Transporte de cinzas	14 Ventilador recirculação de gases de combustão	19 Ventoinha de tiragem forçada	23 Silo de resíduos
	10 Armazenagem de cinzas	15 Caldeira 4 passes	20 Chaminé	

Ilustração 2.3 - Planta de Incineração

Adaptado pelo Autor

A ilustração 2.4 é uma planta de incineração com recuperação térmica associada, localizada na cidade de Bamberg / Alemanha, com início de operação em 2009, uma capacidade de consumo de 2 x 6 t/h de RSU e uma capacidade instalada de 6,3 MWe e aquecimento de 23,0 MWt. Está identificada na ilustração 4 o recebimento do RSU em sua forma bruta, sendo despejado diretamente em um poço de resíduo, para posteriormente ser transportado para a grelha de queima e combustão. Contem sistema de tratamento de gases provenientes da queima e contém a recuperação de calor com excedente para aquecimento. Esta planta opera na geração de energia elétrica e na geração de energia térmica.



Recebimento e Armazenagem	Queimador e Caldeira		Tratamento de Gases de Combustão	
1 Recebimento	6 Funil alimentação	12 Ventilador de ar primário	17 Filtro eletrostático	27 Trocador gás/gás
2 Poço de resíduo	7 Alimentador		18 Silo de pó	28 Queimador

3 Guindaste	8 Grelha	13	19 Purificador	29 Injeção de
4 Dispersão de	9	Distribuição	molhado 1	NH ₄ OH
lodo	Transportador	de ar primário	20 Lavador	30 Reator
5 Tesoura	cinza de fundo	14 Ventilador	úmido 2	31 Chaminé
rotativa	10 Guindaste	de ar	21	33 Turbina
	cinza de fundo	secundário	Tratamento	condensação
	11 poço cinza	15 Caldeira	de águas	34
	de fundo	de 5 passos	residuais	Condensador
		16 Aba alívio	22 Silo de	refrigerado a
		de pressão	cinza de	ar
			fundo	35 Suporte ar
			23	refrigerado
			Permutador	condensador
			vapor / gás	
			24 Reator	
			compacto	
			25 Filtro bolsa	
			26 Ventoinha	
			de tiragem	
			induzida	

Ilustração 2.4 - Planta de Incineração

Adaptado pelo Autor

De uma forma geral, em plantas de incineração de RSU com geração de energia elétrica, do tipo combustão em grelha, o resíduo é descarregado no silo da usina de onde é tomado por agarradores mecânicos e jogado em moegas. Das moegas o lixo é empurrado gradualmente para o interior do incinerador. O calor produzido pela queima do lixo é utilizado na caldeira para aquecimento de água e o vapor gerado nesta é conduzido por tubulações para um sistema de turbina e gerador, para a produção de energia elétrica. Depois de o resíduo ser incinerado restam, sobre as grelhas, as escórias, que são drenadas para sistemas coletores situados abaixo das grelhas, resfriadas com água, passando posteriormente por separadores eletromagnéticos que promovem a extração de metais para reciclagem. Os gases de combustão são enviados para os sistemas de tratamento e remoção de poluentes

passam por filtros para retenção de partículas finas (poeiras) e são lançados ao meio ambiente através da chaminé.

ii. Leitos fluidizados tipos circulante ou borbulhante:

São mais utilizados para lodo de esgoto; os resíduos, que devem estar triturados a diâmetro igual ou inferior a 2,5 cm, são incinerados em suspensão em leito de partículas inertes como areia e cinzas, insuflado com ar primário de combustão; exige maior complexidade operativa e ainda não alcançou seu pleno desenvolvimento comercial.

iii. Câmaras múltiplas:

São adotadas geralmente para capacidades pequenas (0,2 a 200 t/dia), aplicável, por exemplo, a determinados grupos de resíduos de serviços de saúde; os resíduos são incinerados na grelha fixa da câmara primária e a pós-queima dos gases ocorre na câmara secundária; como gera baixas pressões de vapor, não é recomendado para a geração de energia elétrica (CEMPRE, 2010)

iv. Forno rotativo:

É mais utilizado para resíduos industriais e quantidade de resíduos superior a 24 t/dia (CEMPRE, 2010).

Principais exigências técnicas operacionais

Temperatura elevada na câmara de combustão: Recomendado cerca de 1.200 °C, para decompor a maior parte dos compostos orgânicos a gás carbônico e água; quanto às tubulações metálicas próximas às grelhas, devido aos gases corrosivos formados, devem ser revestidas com material refratário e a temperatura não deve ser superior a 420 °C (CEMPRE, 2010). Entretanto, para evitar a formação de NO, principal composto de NOx a ser considerado na combustão, deve-se controlar a temperatura para não ultrapassar 1.100 °C (LUFTECH, 2011).

Teor de oxigênio elevado nos gases de combustão emitidos na chaminé: deverá ser acima de 7% em volume, para assegurar que houve suficiente excesso de ar na combustão; mas se muito elevado poderá reduzir significativamente a temperatura na câmara de combustão.

Turbulência elevada nos gases de combustão: obtida, por exemplo, por injeção de ar a alta velocidade sobre a grelha.

Tempo de residência dos gases na câmara de pós-combustão: deve ser superior a 1 segundo, à temperatura acima de 800 °C, para possibilitar a destruição de compostos orgânicos poluentes nos gases de combustão.

Sistema automático de intertravamento da alimentação do forno que deverá impedir a alimentação de resíduos ao forno sempre que ocorra uma das condições especificadas em normas ambientais. No arranque, enquanto não for atingida a temperatura de 850 °C ou outra temperatura mais elevada definida na Licença Ambiental, quais sejam (Diretivas Europeia 2000/76/CE e 2010/75/UE):

- baixa temperatura de combustão (menor que 850 °C ou outra temperatura mais elevada definida na Licença Ambiental);
- falta de indicação de chama;
- falta de energia elétrica ou queda brusca de tensão;
- queda do teor de oxigênio na câmara pós-combustão ou na chaminé;
- excesso de monóxido de carbono na chaminé, acima de 500 ppmv;
- mau funcionamento dos monitores e registradores de oxigênio ou de monóxido de carbono;
- interrupção do funcionamento de equipamentos de controle/tratamento de efluentes atmosféricos;
- parada do ventilador ou exaustor;
- sobre pressão positiva na câmara de combustão
- queda de suprimento do ar de instrumentação;
- medições contínuas previstas pelo Órgão Ambiental indicando que foi excedido qualquer um dos valores-limites de emissão.

2.6 CARACTERÍSTICAS DO RSU PARA ESCOLHA DA TECNOLOGIA

Interessa à incineração as frações de RSU que apresentem elevado poder calorífico, como plásticos, papel/papelão e borrachas. Entretanto, os RSU no Brasil, possuem uma elevada fração de matéria orgânica a qual, devido à sua elevada umidade, apresenta baixo poder calorífico em relação a outros materiais; isto pode resultar em resíduos misturados com carga térmica inferior à de projeto do forno de incineração, implicando no aumento do consumo de combustível auxiliar.

Considerando que os princípios da PNRS resultarão no impedimento do processamento de resíduo bruto em plantas de incineração, os RSU não procedentes de coleta seletiva deverão ser previamente destinados a um processo de triagem, para a separação dos materiais efetivamente recicláveis ainda presentes e a preparação de lotes de combustível derivado de resíduos (CDR).

Os principais resíduos que têm sido incinerados são: RSU, industrial, perigoso, de serviços de saúde e lodo de esgoto. Para os RSS o tratamento térmico por incineração é uma das formas adequadas de destinação final, entretanto, considerando o reduzido volume em relação aos RSU, tem sido adotado, em alguns países, a destinação destes para incineração conjunta, pois os sistemas de tratamento de gases adotados para RSU permitem atender aos padrões de emissão. Há, entretanto, necessidade de prever local específico nas instalações para o recebimento e a manipulação dos RSS, antes de sua destinação ao forno de incineração.

Segundo a EPE, a caracterização completa de um resíduo visando sua incineração engloba a determinação de:

(EPE, 2014)

- a. Poder Calorífico Inferior (PCI), que indica a quantidade de energia útil que pode ser liberada durante a queima de resíduo. Quanto maior o PCI, maiores são as potências liberadas no interior do incinerador e maiores as temperaturas atingidas.

- b. Análise imediata, que determina os teores de água, cinzas e matéria volátil dos resíduos. O teor de cinza determina o montante de material a ser descartado em aterros, após a incineração de resíduo.
- c. Análise elementar, que determina os teores médios de elementos tóxicos presentes nos resíduos (mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, níquel, cloro, enxofre, etc...) e não somente nas cinzas dos resíduos, para estimar o potencial de geração e formação de compostos tóxicos durante o processo de incineração e dimensionar adequadamente o sistema de limpeza de gases da unidade.

De fato, a incineração dos RSU com poder calorífico inferior a 1.675 kcal/kg apresenta dificuldades técnicas e exige a adição de combustível auxiliar. Embora a classificação segundo o PCI não deva ser considerada definitiva para estabelecer a destinação do RSU, considera-se que:

- PCI < 1.675 kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável;
- 1.675 kcal/kg < PCI < 2.000 kcal/kg, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de Pré tratamento que eleve o poder calorífico;
- PCI > 2.000 kcal/kg, a queima bruta (“mass burning”) é tecnicamente viável.

O poder calorífico inferior dos resíduos sólidos, expresso em kcal/kg, pode ser calculado a partir da expressão matemática formulada por Themelis (2003) com base em estatísticas levantadas em pesquisas de campo: (

$$PCI = [18.500 * Y_{\text{combustível}} - 2.636 * Y_{\text{H}_2\text{O}} - 628 * Y_{\text{vidros}} - 544 * Y_{\text{metais}}] / 4,185$$

onde as variáveis Y combustível, Y H₂O, Y vidros e Y metais representam a proporção de cada elemento em uma unidade de massa dos RSU.

Necessário esclarecer que do peso da fração orgânica combustível (putrescíveis, folhas e madeira) deve ser descontado o percentual de água. O peso do percentual de água desses orgânicos corresponde à variável YH₂O. Na ausência de dados específicos, utiliza-se o valor típico de 60% como estimativa do teor de água nesses componentes do RSU.

Usinas de incineração para geração elétrica trabalham tipicamente na base, isto é, a geração de energia elétrica se dá de forma permanente ao longo do dia. Isto decorre de a tecnologia produzir calor, utilizado para gerar vapor e, este, mover a turbina. Para otimizar este processo, as usinas contam com sistemas de armazenamento dos RSU para até uma semana, com vistas a adequar a mistura caso haja variação do poder calorífico.

Os principais componentes de uma moderna usina convencional de incineração dos RSU são: poço de armazenamento do lixo, câmara de combustão, sistema de movimentação do lixo na câmara de combustão (grelha móvel, jateamento de ar comprimido, etc.), sistema de descarga das cinzas, sistema de geração de vapor, depurador de gases, filtros de sacos, ventilador e chaminé.

A redução entre 85% e 90% do volume original de resíduos depositados em aterro sanitário é uma das principais vantagens da incineração, além de não impedir a recuperação dos metais recicláveis e suas cinzas poderem servir como matéria-prima para a produção de cimento do tipo Portland. Embora produza mais energia elétrica que as duas alternativas anteriormente apresentadas, é preciso ressaltar que:

- A incineração é um processo emissor de dioxinas e exige cuidados específicos no tratamento dos gases de exaustão, relacionados à própria usina e à capacidade de suporte da bacia aérea; as cinzas produzidas na incineração também contém diversos poluentes;
- De acordo com trabalho técnico publicado pelo Banco Mundial¹⁶, usinas de incineração apresentam elevados custos de investimento, operação e manutenção.

As principais tecnologias disponíveis com plantas em funcionamento sugerem a escala de 150 t/d (EPE, 2007). Cabe destacar que, ainda não existem usinas de incineração dos RSU com recuperação de energia em escala comercial em funcionamento no Brasil.

Um estudo realizado levou em consideração o local e a separação do resíduo sólido coletado conforme as tabelas 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13, ajustadas pelo autor na tabela 2.14. O fracionamento adotado foi a separação manual. Os dados a seguir são de levantamento específico, mas tem como objetivo a identificação real do PCI (poder calorífico inferior) do RSU de cada local, onde tem-se a influência desde o tipo do RSU no seu quantitativo quanto qualificativo.

Foi realizado uma comparação entre os diferentes locais de coleta e um estudo para levantamento do potencial energético de cada região, adotando-se um consumo constante igual entre as 4 amostras, para a simulação e identificação da taxa de MWh/t de RSU.

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Metais	0,00	3,60	4,00	0,00
Matéria Orgânica	2294,00	30,50	33,94	778,58
Papel/Papelão	3814,00	22,10	24,58	937,48
Plástico Macio	2727,00	13,30	14,79	403,32
Plástico Duro	5360,00	12,00	13,35	715,56
Trapos	1850,00	1,80	2,00	37,00
Rejeito	3098,00	6,60	7,34	227,39
Total		89,90	100,00	3.099,34

Tabela 10 - Poder Calorífico por fração de amostra 06 - Nova Iguaçu – RJ / Classe C

Fonte: (SOARES, 2011)

<i>Frações</i>	<i>P.C. kcal/kg</i>	<i>Composição</i>		
		<i>Kg</i>	<i>%</i>	<i>P.C. da fração kcal/kg</i>
Isopor	8967,00	0,60	0,60	53,80
Madeira	2053,00	6,40	6,39	131,19
Matéria Orgânica	0,00	34,80	34,73	0,00
Papel/Papelão	2017,00	5,30	5,29	106,70
Plástico Macio	3967,00	4,80	4,79	190,02
Plástico Duro	5417,00	5,10	5,08	275,18
Trapos	1612,00	2,40	2,40	38,69
Coco	371,00	8,40	8,38	31,09
Capim	1113,00	16,00	15,97	177,75
Fibras	884,00	16,40	16,37	144,71
Total		100,20	100,00	1.149,13

Tabela 11 - Poder Calorífico por fração de amostra 09 - Nova Iguaçu - RJ

Fonte: (SOARES, 2011)

Frações	P.C. kcal/kg	Composição		
		Kg	%	P.C. da fração kcal/kg
Vidro	48,00	2,90	2,80	1,34
Couro	4467,00	3,28	3,17	141,60
Isopor	9170,00	1,97	1,90	174,23
Matéria Orgânica	1300,00	38,90	37,58	488,54
Papel/Papelão	3780,00	12,81	12,38	467,96
Plástico Macio	7830,00	6,98	6,74	527,74
Plástico Duro	7830,00	7,90	7,63	597,43
Trapos	4170,00	5,43	5,25	218,93
Fraldas	5384,00	3,68	3,56	191,67
Rejeito*	2075,00	14,16	13,68	283,86
Espuma	341,00	5,49	5,31	18,11
Total		100,90	100,00	3111,41

Tabela 12 - Poder Calorífico por frações - amostra 04 - Nova Iguaçu – RJ

Fonte: (SOARES, 2011)

Frações	P.C. kcal/kg	Composição		
		Kg	%	P.C. da fração kcal/kg
Metais	0,00	4,30	5,47	0,00
Isopor	9170,00	0,90	1,15	105,46
Papel/Papelão	3780,00	16,50	21,02	794,56
Plástico Macio	7830,00	6,30	8,03	628,75
Plástico Duro	7830,00	9,60	12,23	957,61
Espuma	341,00	4,60	5,86	19,98
Rejeito*	2075,00	36,30	46,24	959,48
Total		78,50	100,00	3465,83

Tabela 13 - Poder Calorífico por frações - amostra 07 - Rio de Janeiro – RJ

Fonte: (SOARES, 2011)

Local	PCI RSU kcal/kg	RSU t/d	RSU kg / h	RSU kcal/h	RSU kWth/h	Eficiência	kWe	MWe	Taxa MWh/t
Nova Iguaçu 06	3.099,3	500,0	20.833,3	64.569.583	75.080,9	22%	16.518	16,52	0,79
Nova Iguaçu 09	1.149,1	500,0	20.833,3	23.940.208	27.837,5	22%	6.124	6,12	0,29
Nova Iguaçu 04	3.111,4	500,0	20.833,3	64.821.042	75.373,3	22%	16.582	16,58	0,80
Rio de Janeiro 07	3.465,8	500,0	20.833,3	72.204.792	83.959,1	22%	18.471	18,47	0,89
Média (RJ)	2.706,4	500,0	20.833,3	56.383.906	65.562,7	22%	14.424	14,42	0,69

Tabela 14 – Taxa de MWh/t de RSU bruto – sem separação para reciclagem

Fonte ajustada pelo autor.

Na tabela 2.15, para o novo cálculo do MWh/t, foi incluído o coeficiente de correção pelo índice de processo de reciclagem que foi adotado o RSU onde nos extremos: 0% para o RSU sem qualquer tipo de reciclagem com um fator de correção multiplicador de 1,00 e para 100% do RSU reciclado com um fator de correção multiplicador de 0,8181.

Reciclagem (base média RJ)	Fator Correção	PCI RSU kcal/kg	PCI corr RSU kcal/kg	Taxa corr MWh/t
0%	1,00	2.706,4	2.706,4	0,69
10%	0,9966	2.706,4	2.697,2	0,69
25%	0,9575	2.706,4	2.591,5	0,69
50%	0,9175	2.706,4	2.483,1	0,66
75%	0,8758	2.706,4	2.370,3	0,63
100%	0,8181	2.706,4	2.214,1	0,59

Tabela 15 – Taxa de MWh/t de RSU bruto – com separação para reciclagem

Fonte ajustada pelo autor.

A composição do RSU se dá por diversos fatores, desde sua localização, seus geradores no caso os munícipes, pela classe social ou mesmo a região influencia diretamente na sua composição. A composição do RSU não é uma constante, mas pode-se calcular o PCI (poder calorífico inferior) através dos valores unitários de cada componente através da tabela 2.16.

RSU	PCI (base seca) kcal/kg	Umidade (%)	Cinzas (%)	PCI* (base úmida s/ cinzas) kcal/kg
Matéria orgânica	4.300	66	25	712
Papel e papelão	3.800	21	5	2.729
Têxteis e couro	4.200	36	10	1.921
Madeira	3.700	25	5	2.490
Plástico	10.300	17	3	8.193
Borracha	9.700	5	6	8.633

(*) obtido por cálculo com base nos dados da CODESC.

Fonte: CODESC (2003) apud CEMIG GT e FEAM (2011).

Tabela 2.16 – Dados de PCI de materiais diversos

No Brasil o RSU bruto, conforme tabela 2.17, antes da separação, reciclagem e compostagem, contém na sua composição gravimétrica predominante de matéria orgânica, sendo 51,4% da participação.

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.610.499
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.275.012
Plástico	13,5	7.497.149
Vidro	2,4	1.332.827
Matéria Orgânica	51,4	28.544.702
Outros	16,7	9.274.251
TOTAL	100,0	55.534.440

Tabela 17 - Composição gravimétrica média do RSU no Brasil

Fonte: ABRELPE 2012 e PNRS 2012

Indicado pela tabela 18, específico para a cidade de São Paulo, contém na granulometria de seu RSU uma concentração de 57,80% de material orgânico, para um poder calorífico inferior médio total, antes da reciclagem, separação e compostagem de 2.824,46 kcal/kg (ABRELPE, 2014).

Parâmetro - São Paulo	Mater. Orgânico	Plástico	Papel/papelão	Metais	Outros
Composição do RSU	57,80	16,77	11,08	2,18	12,43
Fração RSU s/ metal	0,59	0,17	0,11	-	0,13
PCI (kcal/kg)	1.310,00	6.300,00	4.030,00	-	4.102,50
Energia RSU (kcal/kg)	772,00	1.077,20	455,26	-	519,92
RSU não metálico (%)	98,08	PCI total (kcal/kg RSU)			2.824,46

Themelis e Kauman (2004.b) - Abrelpe

Tabela 18 – Composição do PCI do RSU no município de São Paulo.

2.7 COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE INCINERAÇÃO E GASEIFICAÇÃO DE RSU

As plantas de incineração e de gaseificação, além de rigorosos sistemas de tratamento / disposição de efluentes e resíduos, devem dispor de sistemas de monitoramento contínuo dos controles operacionais e das emissões atmosféricas geradas. Deve-se monitorar regularmente a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, os efluentes líquidos gerados e descartados, o nível de ruído ambiental, a qualidade do ar, solo e, em situações específicas, inclusive de alimentos produzidos na área de influência do empreendimento.

Os controles operacionais também contribuem como medidas preventivas para redução de emissões atmosféricas, como CO e NOx. Referente às emissões atmosféricas, em países desenvolvidos tem sido exigido como monitoramento contínuo: CO, partículas, HCl, SO₂, NOx, TOC, HF, NH₃; e como periódico: Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Cd, Tl, Hg e dioxinas e furanos.

Na tabela 19, fez-se uma comparação entre os tratamentos de incineração (mass burn) e de gaseificação (L.F.C) para o beneficiamento do RSU com a geração de energia elétrica, com um rendimento energético estimado final de 22% para os dois processos.

Vantagens

Incineração – mass burn	Gaseificação – L.F.C.
Reduz 70 – 75% da massa e cerca de 90% do volume dos RSU; Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser inseridos no incinerador; Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina; Não há formação de chorume; Elimina emissões de CH₄; Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzindo a queima de combustíveis fósseis em termelétricas; Produção de energia elétrica que pode ser injetado diretamente a rede de energia, participando do processo de GD; Venda da energia térmica excedente; Destruição de patógenos existentes nos resíduos; Cinzas inertes;	Reduz 75-85 % da massa e cerca de 90% do volume do RSU; Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser inseridos no gaseificador; Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina; Não há formação de chorume; Elimina emissões de CH₄; Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzindo a queima de combustíveis fósseis em termelétricas. Produção de gases que podem ser consumidos longe do local de geração (transportados por dutos); Possibilidade de geração de combustíveis líquidos pelo processo de Fisher Tropsch; Baixo custo de investimento-de implementação;

Otimiza a logística de transporte; Aplicação aos municípios de elevada geração de RSU; Possibilidade de utilização direta do RSU sem a separação do CDR. Aproveitamento energético do calor excedente no fornecimento no aquecimento da água para indústria, rede hoteleira e domicílios.	Não há formação de dioxinas e furanos; Não há formação de NOx, SOx Possibilidade de abatimento do enxofre no leite com CaCO₃; Baixas potências elétricas instaladas nos motores e sopradores instaladas para o processo de gaseificação, devido aos baixos volumes de gases; Tecnologia nacional; Destruição de patógenos existentes nos resíduos; Passível de ser utilizado em motores de combustão interna; Cinzas inertes; Plantas modulares; Atendimento aos municípios de baixa geração de RSU;
---	---

Desvantagens

Incineração – mass burn	Gaseificação – L.F.C.
Necessita de tratamento do resíduo urbano para retirada de metais, vidro, abatimento de umidade antes do envio ao incinerador; Emite grande quantidade de CO₂ nas chaminés; Pode emitir poluentes como CO, SOx, NOx, material particulado, dioxinas e furanos caso medidas mitigadoras não sejam tomadas; Rendimento global de transformação em energia elétrica de 22%;	Necessita de tratamento do resíduo urbano para retirada de metais, vidro, abatimento de umidade antes do envio ao gaseificador; Pode emitir poluentes como CO, CH₄ e material particulado, caso medidas mitigadoras não sejam tomadas; Rendimento global de transformação em energia elétrica de 22%; Consumo “on line”, não havendo a possibilidade de envasamento do gás a alta pressão; Gás de baixo poder calorífico;

Alto custo de investimento – Capex e manutenção – Opex; Geração de energia elétrica apenas local por ciclo Rankine; Corrosão dos feixes tubulares da caldeira pelo HCL presente no resíduo; Altas potências elétricas instaladas nos motores e sopradores devido aos grandes volumes de gases – excesso de oxigênio Tecnologia Importada; Necessita de grandes quantidades diárias de resíduos; Necessidade de contratos de longo prazo de fornecimento de resíduos para utilização da capacidade da Usina; Necessidade mínima de 500 t/dia;	Efeito escala para plantas acima de 50 MWth; Necessidade de contratos de longo prazo de fornecimento de resíduos para utilização da capacidade da Usina; Monitoramento e operação por pessoal especializado; Impossibilidade de utilização direta do RSU sem a separação do CDR.
--	---

Tabela 19 – Comparativo de vantagens e desvantagens.

Fonte: (INFIESTA, 2015) e adaptado pelo autor.

No objeto de estudo, tendo como comparação as cidades de São Paulo e Lisboa, a alternativa encontrada e adotada foi a incineração (mass burn) para o atendimento de elevada demanda de RSU/dia, superior a 500 t/dia a ser processada, na transformação direta do processo em energia elétrica para injeção na rede, no reduzido espaço disponível para implantar nas proximidades dos centros geradores de resíduos, e na possibilidade de processo direto do RSU sem a separação do CDR.

2.8 RSUS COLETADOS NA CIDADE DE SÃO PAULO POR MEIO DE COLETA SELETIVA E DOMICILIAR

O município de São Paulo abriga aproximadamente 6% da população do país, com mais de 11 milhões de habitantes, sendo a maior cidade do hemisfério sul. São Paulo também pode ser caracterizada como uma das cidades mais extensas do mundo, com 40 km de comprimento aproximado no sentido leste/oeste e 80 km no sentido norte/sul, totalizando uma área de 1.509 km². Destes, 1.000 km² são urbanizados

(IBGE, 2014). A cidade de São Paulo é dividida em 32 subprefeituras, sendo que apenas a concentração populacional de cada uma já seria suficiente para colocá-las entre os 85 maiores municípios do Brasil. Em relação ao abastecimento de água, 99,32% dos domicílios paulistanos dispõem do serviço e 92,3% têm coleta de esgoto (PMSP, 2014a).

Em 1989, foram conduzidas na cidade de São Paulo as primeiras iniciativas em relação à promoção da coleta seletiva de materiais secos, projeto retomado em 2002, quando a gestão daquela época implantou o programa de coleta seletiva solidária. Naquele mesmo ano também foram implantadas centrais de triagem, efetuados acordos e convênios com cooperativas de catadores e implantado o programa de coleta de resíduos orgânicos denominado “Feira Limpa”. Também teve início a normatização e organização do sistema de gestão de resíduos de construção e demolição, com a instalação de ecopontos, incentivos a áreas de triagem e transbordo (ATT) e recicladoras (PMSP, 2014a).

De acordo com dados da prefeitura de São Paulo, o município gera uma grande quantidade de resíduos de diferentes origens. Foram contabilizadas 20,1 mil toneladas por dia de resíduos sólidos em 2012 (PMSP, 2014a). Análises de composição gravimétrica indicaram a predominância de matéria orgânica (51%), sendo também observados 35% de resíduos secos recicláveis e 14% de rejeitos em 2012 (PMSP, 2014a).

De acordo com o PGIRS (PMSP, 2014a), a composição gravimétrica dos RSD na cidade de São Paulo é de 51% de matéria orgânica, 35% de resíduos secos e 14% de rejeitos; Jacobi e Besen (2006) apontam uma porcentagem de 30% de resíduos secos na composição gravimétrica dos RSD. Assumindo esses valores percentuais e tendo como base a massa RSD aferida por esta pesquisa em 2013, pode-se estimar uma massa variando entre 843.300 e 983.850 toneladas de resíduos secos com boa aptidão para reciclagem e que poderiam ser desviados de aterro. Entretanto, de acordo com o PGIRS (PMSP, 2014a), a recuperação de resíduos recicláveis na massa de RSD é de apenas 1,6%. De acordo com CEMPRE (2013), o Brasil perde aproximadamente 8 bilhões de reais ao enterrar resíduos que poderiam ser reciclados.

Na tabela 2.20, é identificado que uma pequena parcela da coleta seletiva, apenas 2%, representa do total da coleta domiciliar. Será um grande desafio para implantar as metas previstas no PNRS.



Tabela 2.20 – Comparação mensal entre as massas totais de resíduos coletados, 2013 - Fonte: AMLURB (2014)

A cidade de São Paulo tem uma elevada parcela dos RSD para aterros e ressaltam a necessidade de adoção de ferramentas para a sua redução. Os aterros dos grandes municípios caminham para a inevitável saturação. Além do mais, a implantação de novos aterros na cidade de São Paulo esbarra em diversas dificuldades.

Em 54% do território metropolitano de São Paulo apresenta restrições ambientais para implantar novos aterros. Dessa forma, os resíduos são dispostos em distâncias cada vez maiores, implicando custos mais onerosos para o município. Jacobi e Besen (2011) afirmam, baseados em dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que a prefeitura de São Paulo investiu em 2008 cerca de 60 milhões de reais mensais com coleta, transporte e aterramento dos resíduos, sendo investido apenas 0,001% desse valor em coleta seletiva. O PGIRS informa que, do orçamento previsto para 2014, de 2,01 bilhões de reais, 27 milhões serão destinados para apoio aos catadores de materiais recicláveis, ou seja, 1,35% do orçamento previsto para o ano.

As massas destinadas de resíduos para os aterros ainda superam muito àquelas encaminhadas para a reciclagem. Apesar da prefeitura municipal de São Paulo apresentar significativa evolução no manejo e gestão dos resíduos urbanos gerados, ainda há muito por fazer, uma vez que apenas 1,9% da massa total de resíduos aferida por esta pesquisa foi proveniente de coleta seletiva. Diariamente, uma grande massa de resíduos que poderiam ser reciclados estão simplesmente sendo aterrados como rejeito, causando, além de perdas econômicas, o esgotamento precoce dos aterros disponíveis no município.

Dentro desse contexto, destaca-se a importância do PGIRS de São Paulo que, após reformulação e publicação em 2014, apresenta o panorama da situação de manejo e de gestão dos RSU, assim como tendências futuras e ações efetivas para mitigação dos seus impactos.

2.9 RECICLAGEM

A reciclagem é um processo bastante útil na cadeia de resíduos, uma vez que possibilita a sua reinserção em outros processos. Há basicamente, quatro tipos de processos: (Nagalli, 2015)

Primária: consiste na transformação do resíduo em material original. Por exemplo: pneu usado transformado em pneu novo, concreto asfáltico processado e reaplicado como novo pavimento, engradados de cerveja moídos e empregados como matéria prima para novos engradados. (Nagalli, 2015)

Secundária: transformação de resíduos para um propósito diferente. Exemplo: pneu usado utilizado para a fabricação de esteiras, engradados de cerveja moídos e empregados como matéria prima para sacolas plásticas. (Nagalli, 2015)

Terciária: transformação em um produto sintético para fabricação de outro plástico (despolimeração). Exemplo: garrafas PET. (Nagalli, 2015)

Quaternária: transformação de materiais primários em energia. Exemplo: incineração de material sintético ou papel usado, gerando energia e aproveitamento de biogás de estação de tratamento de esgoto. (Nagalli, 2015)

A reciclagem dos resíduos pode ser classificada como uma ferramenta de sustentabilidade. A possibilidade de ganhos financeiros e a valorização dos resíduos que venham a ser gerados durante o processo de reciclagem estão diretamente ligados ao pilar econômico, a redução de carga nos aterros, a inserção social no mercado formal do trabalho, na redução do consumo de energia, na melhoria do ciclo de vida do produto e na redução da emissão de carbono na atmosfera.

A atividade de reciclagem não zera os efeitos e desgastes ambientais. É uma forma de mitigar com possibilidades e alternativas de curto e longo prazo de tempo, valorizando e aprimorando o uso de bens e favorecendo as matérias primas.

Genericamente, denomina-se reciclagem ao retorno da matéria-prima ao ciclo de produção. Assim, reciclagem é o vocábulo adequado para designar o reaproveitamento de materiais beneficiados e já utilizados como matéria-prima para um novo produto.

Modernamente, a reciclagem faz parte do estado de consciência de todos para sua utilização. Produtos novos com a inclusão de matéria prima reciclada, com a utilização de fontes de energia renováveis, conquistam novos espaços e oportunidades, favorecendo o ciclo de produção e mais ainda ao ciclo de vida de um produto.

O alumínio por exemplo, seu efeito de reciclagem é em torno de 95%, torna-se um elemento indispensável para toda a cadeia produtiva onde tem-se desde as organizações de coleta, a economia na extração e consumo de energia, assim como maximiza o ciclo de vida final do produto. Outros materiais de grande interesse para reciclagem são vidros, papéis, plásticos, metais e borrachas.

Os materiais reciclados de menor grau de interesse comercial permitem a utilização para o reaproveitamento energético do RSU via incineração, visando exclusivamente

a geração de energia. É uma solução ideal a ser alcançada, mas depende de análises de viabilidade econômica.

Em alguns mercados desenvolvidos, os EUA (Estados Unidos da América) por exemplo a falta de interesse comercial para o uso, muitos plásticos após passar por um processo de reciclagem são destinados ao aterro. Talvez por uma falta de interesse comum, visando única e exclusivamente o retorno financeiro, associada a uma falta de oportunidade, mesmo sabendo-se do elevado poder calorífico na geração de energia elétrica.

A reciclagem é parte integrante do processo de destino do RSU, diferente dos que muitos pensam. Mesmo sabendo-se da diminuição do poder calorífico do RSU após sua separação deve-se avaliar um balanço energético final e não simples fato da queima com geração de energia. Alternativas devem ser colocadas em prática e sempre complementares, solução única não existe, deve-se moldar para cada região e situação, recuperação de energia via incineração associada ao processo de compostagem suas rotas a serem analisadas.

Reciclar está associado diretamente a não envio ao aterro sanitário, dando um destino mais nobre ao lixo.

2.10 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PROVENIENTE DA RECICLAGEM

Considerando-se que os resíduos são gerados na mesma proporção em que se desenvolve o consumo e a alimentação dos mercados, temos um problema emergente que precisa ser administrado, sob pena de se converter em uma situação crônica e irreparável. Isto porque, definitivamente, os resíduos, em qualquer das suas formas de destinação e tratamento causam impactos ambientais. (Soares, 2016)

A reciclagem visa a diminuição do volume a ser descartado e redução na demanda de novas fontes naturais de matéria prima, podendo não ser renovável, e pela redução na demanda de energia aplicada para a transformação de em produtos provenientes desta matéria-prima.

O simples fato de se utilizar um material reciclado, tem-se como resultado um decréscimo no consumo de energia com relação ao mesmo produto convencional versus um proveniente de material reciclado ou reutilizado. Podemos entender como sendo um balanço de energia tudo que se consome no processo de fabricação tendo como base um produto com matéria prima reciclada e outro com matéria prima não reciclada,

3. RSU NA EUROPA

A Europa, desde que a Diretiva Europeia – EU 1999/31 – exigiu a redução significativa do aterramento de resíduos orgânicos, a compostagem se tornou uma alternativa aos aterros sanitários (Altinbas et al., 2007). A aplicação de estratégias nacionais para reduzir de modo progressivo a quantidade de resíduos orgânicos dispostos nos aterros sanitários também é uma meta estabelecida por esta diretiva. Slater e Frederickson (2001) afirmam que, na Europa, cerca de 15% da fração orgânica é reaproveitada via compostagem. De acordo com Massukado (2008), a coleta seletiva dos resíduos orgânicos existe em muitos países europeus, por exemplo Áustria, Alemanha, Grécia, Luxemburgo e Holanda.

Em 1999 a Diretiva de Aterros (Landfill Directive) da Comunidade Européia Econômica recomendou a todos os seus membros a redução drástica de 75% do envio de resíduos biodegradáveis (matéria orgânica e papel, entre outros) para os aterros sanitários até 2006, com metas adicionais para os anos seguintes e eliminação dos aterros até 2016. Países como a França, a Alemanha, Áustria, Dinamarca e Holanda, já em 2005, haviam atingido os objetivos de 2016.

Waste to Energy, em uma tradução livre: *lixo para energia*. É o aproveitamento do resíduo na geração de energia elétrica e energia térmica. Na Europa e diversos países da Ásia estão com os processos de incineração bem evoluídos, com a aplicação de regras claras para a eliminação do resíduo evitando-se o descarte direto, sem tratamento, em aterros. Na ilustração 3.1, verifica-se uma ampla difusão do tratamento do RSU via processo de incineração com aproveitamento de energia elétrica e identifica-se também pontos além do aproveitamento de energia elétrica um processo secundário, com recuperação de calor, para favorecimento de energia térmica.

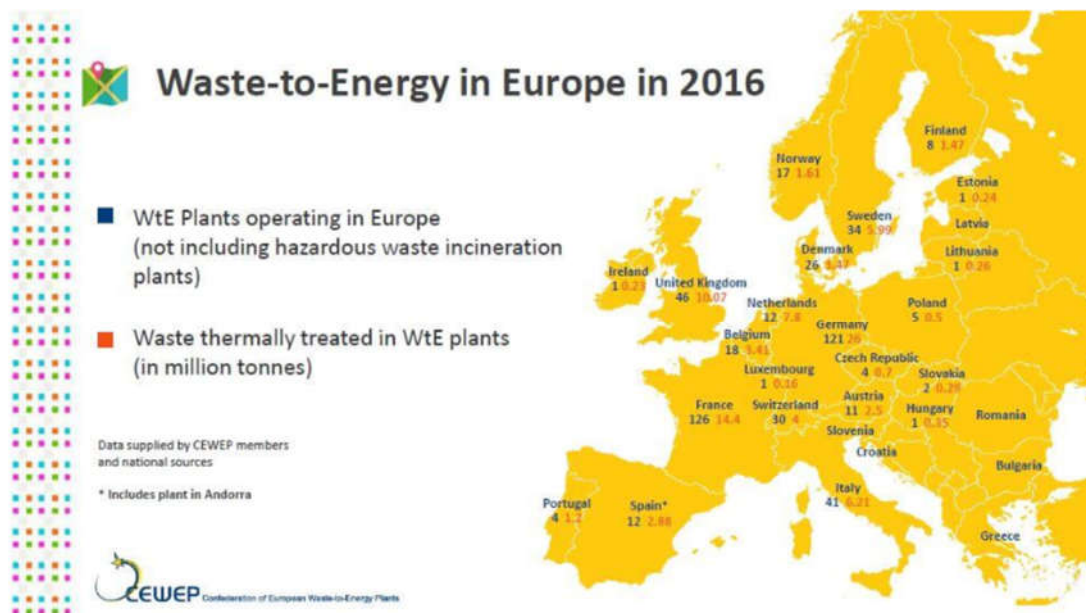


Ilustração 3.1 – Distribuição de plantas de incineração da Europa

Portugal contém 3 plantas de tratamento de RSU, com um volume de 1.200.000 t/ano de RSU. A Europa, com seus estados membros contém 562 unidades de tratamento, absorvendo um total de 99.907.000 t/ano de RSU. Todo este volume de 99M t/ano de RSU, com um tratamento adequado e uma redução de 80% a 90% do volume. Países, mais evoluídos na questão ambiental, contém uma parcela maior no tratamento do lixo. Na tabela 3.1, foi realizado um levantamento das plantas de tratamento distribuídas por país e chegou-se a uma média de processamento de 583 t/dia de RSU.

Pais	t (x 1.000.000) (Waste Trated) Year	Plants	t/plant day
Portugal	1,20	4	821,92
Spain	2,88	12	657,53
France	14,40	126	313,11
Ireland	0,22	1	602,74
UK	10,07	46	599,76
Italy	6,20	41	414,30
Switzerland	4,00	30	365,30
Italy	6,20	41	414,30
Belgium	3,41	18	519,03
Netherlands	7,80	12	1.780,82
Germany	26,00	121	588,70

Austria	2,50	11	622,67
Hungary	0,35	1	958,90
Slovakia	0,29	2	397,26
Czech Republic	0,72	4	493,15
Poland	0,50	5	273,97
Denmark	3,58	26	376,92
Lithuania	0,26	1	712,33
Norway	1,61	17	259,47
Sweden	5,99	34	482,68
Estonia	0,25	1	684,93
Finland	1,48	8	506,85
TOTAL	99,91	562	583,94

Tabela 3.1 – Distribuição de plantas de incineração na Europa, 2016

ADAPTADA PELO AUTOR

De acordo com a Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP), em 2010 na Europa, a média dos países do RSU municipal tratado foi de: 38% do total destinado para aterros, 22% para incineração e 40% reciclado. Passados 6 anos, no último levantamento disponibilizado foi de 2016, o volume tratado foi reduzido para 24% e destinados para aterros, com a incineração elevou-se para 28% e a reciclagem elevou-se para 47%. Na tabela 3.2, o país mais bem classificado foi a Suécia, com 1% para aterro, 50% para incineração e 49% para a reciclagem. Portugal aparece em 17º no ranking de um total de 28 estados membros da União Europeia analisadas, identificado pela tabela 22, gerou 47% do total de RSU para o aterro, 21% destinado para a incineração e 33% para a reciclagem.

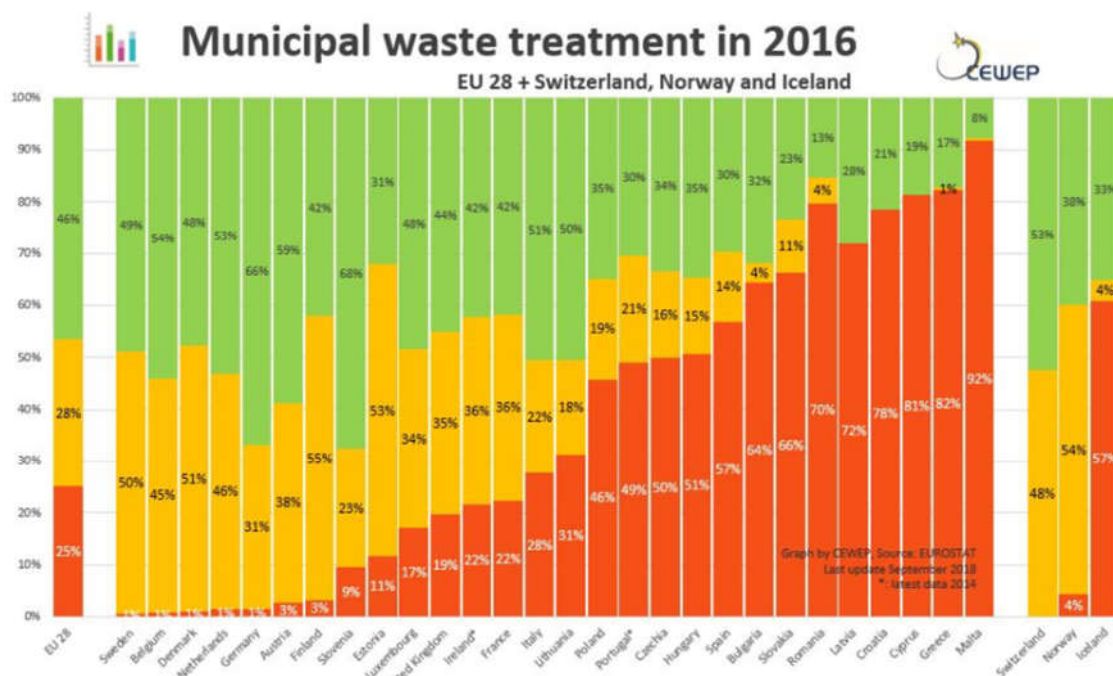


Tabela 3.2 – Tratamento do lixo municipal, U.E. 2016

Destino lixo municipal 2016	Europa	Portugal
Aterro	24%	47%
RSU para energia	28%	21%
Reciclagem + Compostagem	47%	33%
RSU Tratado	99,9	1,2
Plantas de tratamento	562	3

Tabela 3.3 – Tratamento do lixo municipal, U.E. e Portugal 2016

Adaptado pelo Autor

Em uma constante tendência, analisados os diferentes destinos do RSU, evidencia-se pela tabela 3.4, que entre os anos de 2001 e 2016: uma redução de 31%, uma elevação de 11% e uma elevação de 19%, nos aterros, incineração e reciclagem respectivamente, como formas de tratamento.

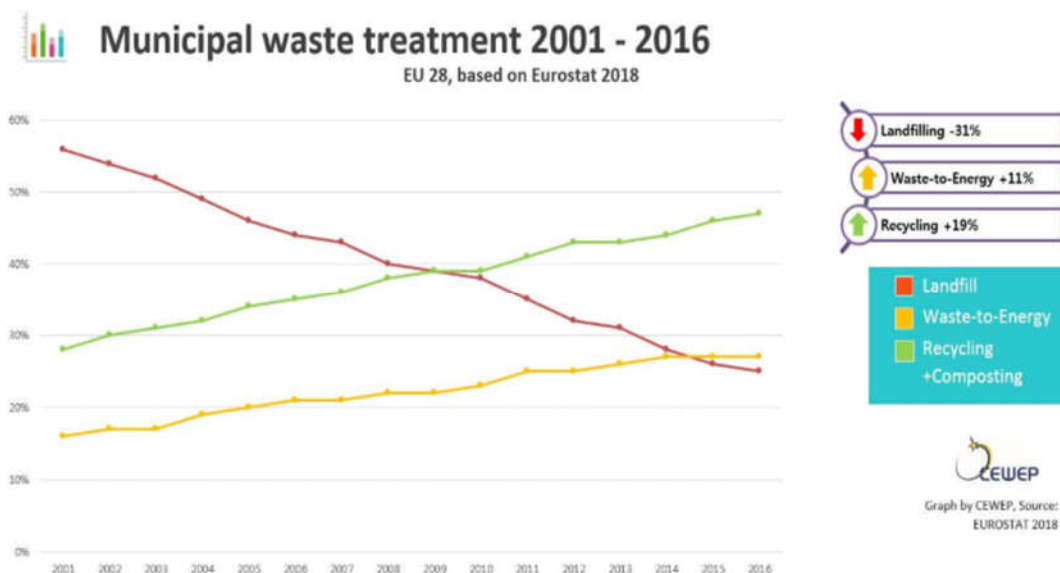


Tabela 3.4 - Tratamento do lixo municipal, U.E. 2001 - 2016

Este fato se deve, principalmente, à política europeia de separação de resíduos na origem. Mas ainda existem diferenças na quantidade de resíduos orgânicos coletados de maneira seletiva. Enquanto na Áustria e na Alemanha este tipo de coleta atinge mais de 75% dos resíduos orgânicos, os quais são encaminhados para a compostagem, na Grécia, Irlanda e Inglaterra este percentual é inferior a 10%. Em alguns países europeus, como Finlândia, Holanda e Itália, a coleta separada da fração orgânica dos resíduos é realizada em sacolas biodegradáveis, compostadas com os resíduos orgânicos.

Na Europa, a classificação (posicionamento) do país é o quanto destina-se do lixo para aterro, para a incineração e para a reciclagem / compostagem. Sua “nota” fica mais baixa quanto maior for o destino do lixo para o aterro e vice-versa.

Na Itália, o rápido desenvolvimento da compostagem ocorreu a partir de 1993 e decorreu de três fatos principais: aumento dos custos de disposição final; exaustão dos aterros sanitários aliada à dificuldade em se obter a aceitação da população para a criação de novos aterros e plantas de incineração; e introdução, em 1997, da legislação nacional que determina políticas e promove taxas para reciclagem. Em 1993, o número de plantas de compostagem era inferior a cinquenta, e dados de 2004 reportam para um total de 258 plantas (Newman, 2005). O composto é utilizado como

condicionador de solo, cumprindo as diretrizes estabelecidas pela Lei Federal Italiana no 748/1984. Quanto ao mercado, o composto é doado quando o poder público é o responsável pela planta de compostagem, pois o interesse é evitar custos de aterramento.

A situação da Catalunha, Espanha, é semelhante à da Itália. Até 1997, havia somente uma usina de compostagem, e, após este período, seguindo as Diretrizes Europeias, houve um aumento na quantidade de usinas, passando-se para 25 (Barrios et al., 2004). Esta mudança foi também consequência da legislação da Catalunha, que obriga a coletar separadamente a fração compostável dos RSUs em cidades com mais de 5 mil habitantes. De acordo com dados apresentados, a coleta separada é ainda muito limitada e não há material suficiente para as usinas processarem. Quanto à qualidade do composto, na atualidade, vários países europeus – Alemanha, Áustria, Itália, Dinamarca entre outros – já possuem normas para certificar a qualidade de composto de lixo. Para possuir este certificado, o composto deve cumprir algumas exigências com relação à concentração de metais pesados, ao tipo de matéria prima utilizada, ao grau de maturidade e às aplicações autorizadas para o produto (ACR, 2005).

Alguns países da Ásia vêm adotando um novo modelo de compostagem em substituição às grandes usinas. A proposta é tratar os resíduos em uma escala menor e que a planta esteja localizada próxima ao local no qual o resíduo foi gerado. O objetivo é melhorar não só a gestão dos resíduos sólidos nesses países, a partir de iniciativas locais da comunidade, mas também a qualidade da população. Ali (2004), pesquisando a gestão de resíduos em Etiópia, Índia, Bangladesh e Sri Lanka, identificou alguns problemas que provocaram a não continuidade dos projetos de compostagem nestes países, dos quais destacam-se: escassez de parceria com governos: parcerias se têm mostrado bastante necessárias para o sucesso dos projetos de compostagem. Em geral, existe pouca parceria entre governo e ONGs ou com o setor privado. Mecanismos devem ser criados para subsidiar os programas de compostagem em troca do benefício que eles trazem para a municipalidade (redução dos custos de transporte e disposição).

4. PORTUGAL

Após a adesão à UE, Portugal enfrentou o repto da integração da política de ambiente nas políticas setoriais. Este desafio, no que respeita à gestão dos resíduos, significou a oportunidade para “limpar” o país. E os progressos alcançados foram ímpares assinalando-se uma profunda reorganização institucional no sector dos resíduos (Queirós, 2001).

4.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU) – Definição

Segundo Gupta et al. (2015), os RSU são geralmente uma combinação de RSD (agregados familiares), comerciais ou industriais, que incluem resíduos sólidos degradáveis (papel, têxteis, desperdícios de comida, resíduos de jardins), parcialmente degradáveis (madeira, guardanapos descartáveis, lama) ou não degradáveis mas recicláveis (couro, plástico, borracha, metais, vidro, entre outros), sendo os seus conteúdos, quantidades e características ao longo do tempo variáveis de país para país, nomeadamente entre países desenvolvidos e em desenvolvimentos.

Os RSU de países em desenvolvimento têm uma proporção maior de resíduos orgânicos do que nos países desenvolvidos. No entanto, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), RSU é um conceito abrangente relativo à mistura de materiais e objetos. Tem como referência os de origem doméstica englobando resíduos provenientes do setor de serviços, estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades que prestam cuidados de saúde com uma natureza ou composição semelhantes aos resíduos domésticos, cuja produção diária não exceda 1.100L por produtor (Decreto-Lei n.º 178/2006 de 2006-09-05 do Diário da República n.º 171/2006, 2006). (Queirós, 2002).

4.2 Produção

Em 2007 a produção de RSU no Continente atingiu 4,7 milhões de toneladas o que corresponde a cerca de 1,3 kg/hab.dia. Nos Açores e Madeira a produção per capita foi superior. Foram as regiões do Norte e de Lisboa e Vale do Tejo que contribuíram

com a maior parcela para a produção deste tipo de resíduos ao nível do Continente, facto certamente relacionado com a maior densidade populacional e com a maior concentração de atividades económicas nessas áreas geográficas. (Queirós, 2002)

Em 2014, último ano de informação disponível acerca da UE, 15 dos 28 países geraram uma quantidade de RU per capita superior à média dos 28 que era de 474 kg/hab, destacando-se Dinamarca (758 kg/hab) e Alemanha (618 kg/hab). Portugal, com 464 kg/hab em 2015 (inferior à média dos 28), fica próximo dos valores de 2014 da Bulgária com 442 kg/hab, da Inglaterra e Finlândia, ambos com 482 kg/hab (INE, 2016b).

Portugal gerou anualmente em média 4,6 milhões de toneladas de RU, com o maior valor em 2009 (5,5 milhões de toneladas). Entre 2009 e 2013, a geração de resíduos diminuiu a um ritmo médio anual de 5,6%, possivelmente devido ao poder de compra em Portugal ter diminuído. Apesar do ligeiro aumento da geração de RU em 2014, nos últimos cinco anos (2010-2014) verificou-se uma redução média de 3,6% nas quantidades anuais de RU recolhidos. Em 2014 foram geridas pelos sistemas de gestão de RU um total de 4,7 milhões de toneladas. Verificou-se que, em 2014, cada habitante gerou anualmente, em média, cerca de 453 kg (1,2 kg/dia), quantidades similares às de 2005 e a segunda mais baixa desde então. A tendência observada nos últimos anos estará relacionada com o período de recessão económica, com alterações nos padrões de consumo e, consequentemente, na geração de resíduos (INE, 2016c).

No entanto, o Instituto Nacional de Estatística (INE), através dos dados preliminares apurados para o ano 2015, mostra que foram recolhidas em Portugal cerca de 4,8 milhões de toneladas de RU e foram gerados cerca de 464 kg de RU per capita (mais 11 kg do que em 2014, identificado pela tabela 4.1. Assim, pelo segundo ano consecutivo, há um aumento dos RU recolhidos e gerados, com o ano de 2015 a apresentar o segundo resultado mais elevado dos últimos cinco anos. (INE, 2016).

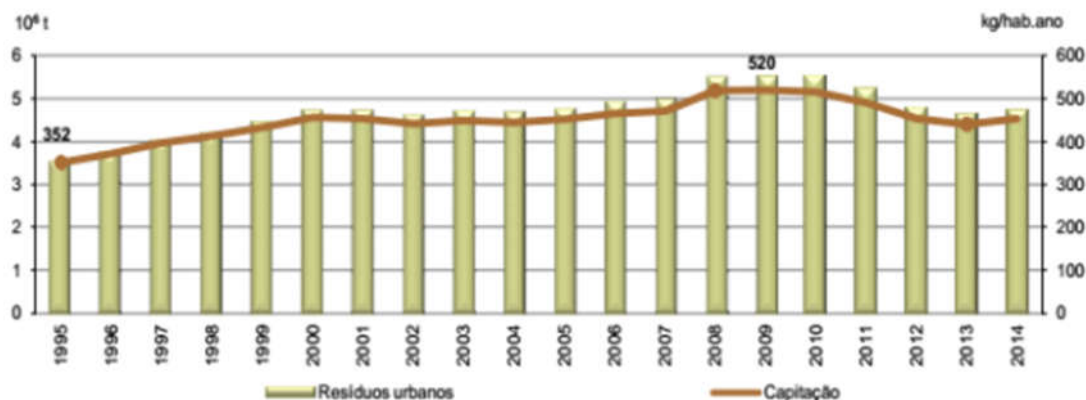


Tabela 4.1 - RSU per capita em Portugal entre 1995 e 2014 (INE, 2016)

No que diz respeito às opções de gestão de destino dos RU, a comparação entre Portugal e a EU constatou-se que o valor de 2014 de RU eliminados em aterro (222 kg/hab) é superior ao valor médio da UE (132 kg/hab) em 90 kg/hab. O valor coloca Portugal como o 17.º (CEWEP, 2016) Estado Membro (EM) com maior quantidade de RU eliminados em aterro, com valores per capita próximos da Irlanda (223 kg/hab ano) e da Hungria (221 kg/hab ano).

Os EM que com menores quantidades de resíduos encaminhados para aterro são a Suécia (3 kg/hab), a Bélgica (4 kg/hab) e a Holanda (8 kg/hab) que recorrem à incineração como principal meio de gestão e valorização dos seus RU. A Dinamarca (737 kg/hab), a Alemanha (537 kg/hab) e a Áustria (525 kg/hab) surgem com os maiores níveis de resíduos encaminhados para valorização, enquanto Portugal (232 kg/hab) surge na 14ª posição, ficando abaixo da média da UE 28 (319 kg/hab).

4.3 RSU em Portugal

Com efeito, é com a entrada na então Comunidade Europeia (UE), em 1986, que Portugal recebeu contrapartidas de vários tipos - técnicas e financeiras, por exemplo destinadas ao incremento da economia do país. Em contrapartida, o Estado português teve de se subordinar a vários critérios, neste caso, relativos à proteção ambiental, impostos por aquele bloco regional (LAINS, 1994).

A configuração de um modelo de gestão e reciclagem eficiente dos resíduos foi um dos principais objetivos da política ambiental dos anos 1990 em Portugal. E neste contexto, os progressos alcançados foram ímpares, se bem que ao nível da UE já se apelasse para a urgência da integração da gestão dos resíduos numa estratégia que abordasse o problema no fluxo total material gerado pela sociedade (QUEIRÓS, 2002).

Efeito desta “imposição” foi a subsequente aprovação do Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), em que a gestão dos RSU em Portugal seria alterada substancialmente. Neste plano, foram definidas três prioridades: a) encerramento e recuperação ambiental dos lixões; b) criação e construção de infraestrutura de coleta, transporte, tratamento e destino dos RSU e similares; c) criação da base de apoio ao desenvolvimento da coleta seletiva e da triagem.

Neste período foram feitos expressivos investimentos em infraestruturas, como por exemplo, encerramento controlado das lixeiras municipais, planejamento e construção de aterros sanitários, estações de transferência, centros de triagem, unidades de valorização orgânica e unidades de incineração com geração de energia elétrica. Deste modo, os municípios se organizaram em função de suas especificidades territoriais, demográficas, e econômicas a fim de alcançar resultados positivos para a gestão adequada dos RSU (POLZIN, 2004).

Foram ainda criadas estruturas específicas de recursos humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas, a fim de operacionalizar a gestão integrada dos diversos fluxos de resíduos sólidos. Como referido, um fator determinante para os objetivos propostos foi a desativação e extinção total dos lixões, fato que incrementou a implantação e disseminação dos sistemas de coleta seletiva dando-se ênfase nas ações de reciclagem, valorização orgânica e incineração dos resíduos provenientes dos sistemas de gestão dos RSU portugueses (POLZIN, 2004).

Além disso, foi identificada a necessidade de se atuar na prevenção da produção de RSU. Como tal, foi promovida a reciclagem, fomentados investimentos na pesquisa e desenvolvimento de novos materiais produzidos a partir de matérias-primas secundárias, de novas técnicas de reciclagem e o incentivo à iniciativa privada acerca

do estabelecimento de estratégias comerciais para assegurar a utilização e escoamento de produtos reciclados/recicláveis ao mercado consumidor. Revela-se, por conseguinte, o fortalecimento do conceito e das práticas, evoluindo do termo “lixo” - tudo que não presta -, para RSU - matéria-prima - que, em termos institucionais, passou a ter um preço e um custo mensurável, por meio do sistema de gestão dos RSU, passando a ser compreendido como mais um produto inserido - e/ou com potencial de inserção - no mercado capitalista (INE, 2010).

Saliente-se que dada a dispersão de conceitos e as divergências no seio da UE, adotou-se uma lista de resíduos, independentemente do seu destino, com a identificação das características que lhes conferem periculosidade (Catálogo Europeu de Resíduos, CER). Importa ainda referir a importância da harmonização de conceitos nos países europeia de modo a permitir a recolha uniforme e a atualização de informação. Assim, no seio da UE, a definição do universo dos resíduos foi-se encaminhando sucessivamente para o abandono da abordagem exclusivamente ligada às origens da sua produção de algo sem valor que era urgente eliminar, em favor de um enquadramento em fileiras e fluxos com potencial para aproveitamento económico (QUEIRÓS, 2002).

Como podemos perceber, o processo de implementação das políticas relativas aos RSU em Portugal, foram se materializando como o resultado de políticas do Estado português que seguiram as diretrizes da política ambiental oriundas da UE (PNPOT, 2006).

A adoção de políticas ambientais mais ativas em relação à gestão sustentável dos RSU orientadas pelas diretivas da UE e sua respectiva aplicação no território português, edificou um novo cenário que muito rapidamente possibilitou alcançar os objetivos propostos nos programas de política e nos planos de ação. Estas mudanças buscaram enquadrar o país nas normas de conduta estabelecidas pela UE para todos os países membros.

As modificações pragmáticas impostas a partir das políticas públicas voltadas para a gestão racional dos RSU, para a sua redefinição conceptual, e para a abertura de um mercado de resíduos e de reciclados/recicláveis trouxeram uma evolução assinalável

da proteção ambiental. Segundo a APA, 2014b, em 2012, foram coletadas em Portugal, 4.782 mil toneladas de RSU, menos 377 mil toneladas que em 2011, o que representa um decréscimo de cerca de 7% na produção de RSU, confirmando a tendência de decréscimo já verificada em anos anteriores. Todavia, a redução no volume de RSU coletados pode também ser atribuída - à crise financeira de Portugal - que se arrasta e se amplia desde 2008 -, deteriorando as capacidades econômicas da população e do mercado local, incidindo negativamente, na capacidade de consumo e, por conseguinte, nas quantidades de RSU decorrentes (HARO, 2013).

Região\Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Portugal Continental	4 525	4 363	4 474	4 523	4 640	4 745
Região Autónoma da Madeira	114	106	110	110	119	124
Região Autónoma dos Açores	143	139	136	132	132	137
Total	4 782	4 608	4 719	4 765	4 891	5 006
Variação face ao ano anterior	↓ 7%	↓ 4%	↑ 2%	↑ 1%	↑ 3%	↑ 2%

(unidade: milhares de toneladas)

Tabela 4.2 - Produção de RSU em Portugal e Regiões Autônomas

Fonte: APA

Na tabela 4.3, é possível e, mesmo preferível observar que o ganho de eficiência na gestão dos RSU em Portugal é resultado concreto da harmonização de políticas ambientais racionais organizadas e suportadas pelo Estado e por agentes supra estatais em prol da sustentabilidade dos recursos socioambientais locais, internacionais e globais. Pode ainda inferir-se que a crise da economia portuguesa - como reflexo e exemplo da crise do sistema capitalista -, contribuiu diretamente para o decréscimo na geração de RSU e, por conseguinte, viabiliza seu manejo de modo eficaz, a partir das infraestruturas já existentes.

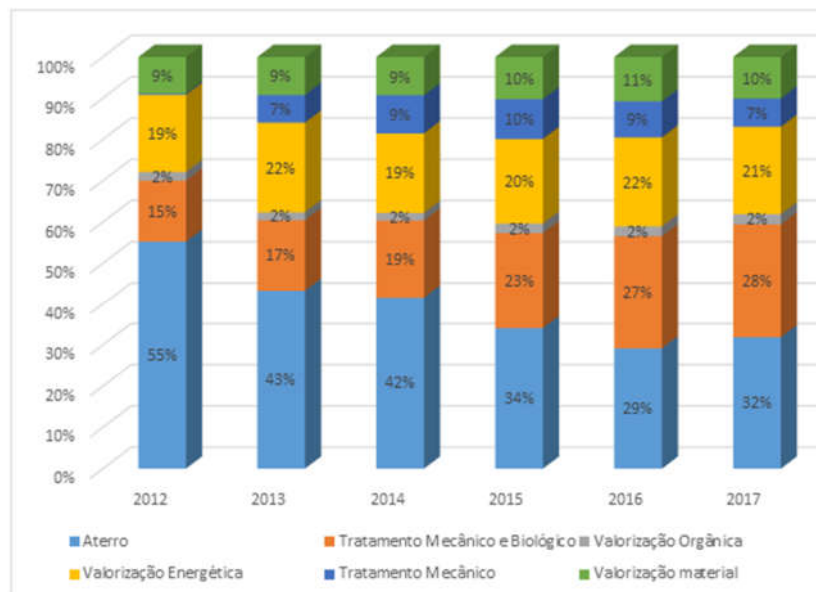


Tabela 2.3 - Distribuição e encaminhamento do RSU em Portugal

Fonte: APA

Entretanto, o governo português - mesmo contra as expectativas e o clamor popular -, acaba de relegar a concessão total dos serviços de gestão de RSU no país a uma empresa privada a partir de um leilão em prol dos fundos de saneamento das contas públicas do Estado. Este fato se sobrepõe efetivamente aos legítimos interesses da população e das indicações técnicas e científicas que apontavam outra direção. Ou seja, o Estado cede aos privados, colocando em risco a segurança ambiental de seu território e as condições sanitárias relativas à gestão dos RSU portugueses (HALL, 2013).

Por sua vez, esta estrutura da gestão dos RSU atingiu de forma direta o circuito econômico de coleta e separação destes, fazendo com que a atividade dos catadores de papel, cartão e de metais, por exemplo, fosse extinta (GONÇALVES, 2006).

Evidente que - ao longo do tempo - todo este processo de gestão dos RSU passou por desafios e provações em relação a sua capacidade metodológica, eficiência técnica e sustentabilidade financeira, uma vez que existem resistências por parte dos agentes sociais e institucionais envolvidos e, visto como, se demandam mudanças e adaptações em rotinas, infraestruturas e hábitos, além dos custos envolvidos e da heterogeneidade do espaço geográfico e do público para onde e, para quem, se

desenvolvem as ações correlacionadas - coleta, transporte, tratamento, etc. (GONÇALVES, 2016)

De modo colateral e simultâneo a este debate, um ponto específico deve ser abordado, como é o problema dos RSU em ambiente transfronteiriço - Portugal e Espanha. Esta questão é de extrema importância uma vez que impacta no modelo de desenvolvimento de estratégias de dinamização de atividades econômicas com bases em recursos compartilhados e, cuja organização e coordenação transfronteiriça podem - igualmente -, contribuir para definição e aplicação de medidas pautadas no desenvolvimento sustentável, melhorando simultaneamente as oportunidades de incremento social dos países contíguos. (GONÇALVES, 2016)

Por conseguinte, quanto aos RSU no espaço fronteiriço luso-espanhol, cerca de apenas 8% dos RSU coletados são recolhidas de forma seletiva. Tal valor é muito inferior à média do conjunto dos países da UE, pelo que se deduz que a esta fronteira apresenta menor nível de infraestruturas voltadas ao tratamento adequado aos RSU (CASTRO, 2013).

Neste sentido, uma maneira de mitigar ou minorar os riscos inerentes aos potenciais impactos negativos dos RSU no meio ambiente fronteiriço, foi a regulamentação e a rigorosa fiscalização em função dos movimentos transfronteiriços que estes resíduos sólidos podem vir a perfazer na busca pelo tratamento, valoração e disposição final ambientalmente mais adequados. Para qualquer caso que envolva o movimento transfronteiriço de resíduos sólidos e outros tipos de resíduos (perigosos e/ou não perigosos), para as instalações de tratamento devidamente legalizadas, devem cumprir normas comuns - estabelecidas pela UE, embasadas na Convenção da Basileia -, pelos agentes responsáveis. (GONÇALVES, 2016)

Salienta-se que, no que diz respeito aos resíduos sólidos na fronteira, Portugal-Espanha, não há qualquer tipo de plano sinérgico comum. No caso europeu o sucesso da empreitada em prol da sustentabilidade nos ambientes transfronteiriços está alicerçado na teórica capacidade dos Estados em cumprir seus desígnios com relação à gestão de seus resíduos sólidos e, a busca pela mitigação dos impactos ambientais

nas fronteiras ocorre por meio da fiscalização com relação à movimentação transfronteiriça de resíduos entre os países. (GONÇALVES, 2016)

Compartilha uma cultura de educação ambiental levada desde a escola e aprimorada em todos os níveis sociais. São anos de ajustes, acertos, muitos erros com certeza, mas tem que se trabalhar pelo bem comum.

Grande comprometimento e interação entre os agentes públicos e privados para atender a política ambiental da U.E. – União Europeia. Contém uma política sócio econômica definida e consolidada, onde gerou um avanço concreto em atenção à UE, quando desde 1986 Portugal é um estado membro, para a implantação por imposição e aporte técnico / financeiro. Impulsionou o envolvimento dos agentes governamentais, privados e sociais em prol da construção e do alcance pleno das metas estabelecidas.

Atendimento de metas definidas no processo junto a U.E., onde a principal necessidade e objetivo é a eliminação dos aterros.

Definição igualitária entre os estados membros da UE. Portugal não pode atuar de forma isolada para o processo de RSU, tanto em seu território quando nas suas fronteiras. As definições e regimentos ambientais são compartilhados e aceitos por todos na U.E.

Extremamente dependente das políticas externas, sócio ambientais por participar da U.E. Possibilidade de financiamento pela U.E. para a implantação e operação do sistema. Estruturação de entidades de catadores e reciclagem do lixo. Criação de zonas de coleta de materiais recicláveis, classificados como eco pontos ou SPV (Sociedade de Ponto Verde), sendo entidades não governamentais que predispõe de programas de capacitação e identificação de players na cadeia produtiva.

Favorecimento, reconhecimento e retirada da ilegalidade e eliminação de qualquer trabalho análogo e marginal nas tratativas do processo de reciclagem.

Abertura de novas possibilidades de negócio com empregos diretos e indiretos, valorização das pessoas no fomento do negócio reciclagem.

Na U.E., as fronteiras são livres entre os estados membros para o aprimoramento técnico e/ou mesmo a redistribuição do RSU para seu devido tratamento e reaproveitamento coexistindo uma sinergia.

4.4 Incineração do RSU em Portugal

Portugal tem a presença de três URE, unidades de recuperação de energia por incineração de RSU, também chamadas e conhecidas localmente como centros de valorização energética. Na tabela 4.4, é identificado o processo de tratamento de RSU por incineração em com uma produção anual de 530 GWh. A unidade de Lisboa contém um total incinerado de 482.000 t/ano de RSU para uma produção anual de 286 GWh de energia injetada a rede nacional.

Cidade	Empresa	Municípios população atendidos	RSU t/ano produção	RSU t/ano incinerado	Produção Anual GWh
Porto - PT	Lipor	8 1.000.000	500.000	384.000	191
Lisboa - PT	Valorsul	5 1.200.000	750.000	482.000	286
I. Madeira - PT	Valorambiente	11 246.000	173.000	120.000	53

Tabela 4.4 - Aproveitamento energético do RSU em Portugal

Adaptado pelo Autor

No ano 2007, 18% dos RSU produzidos em Portugal continental foram incinerados, onde o aterro continua a ser o principal destino desta tipologia de resíduos. Na Madeira 73% dos resíduos foram incinerados. Nos Açores não há incineração. Unidades de incineração dos resíduos sólidos urbanos. Existem duas unidades de incineração de RSU no continente e uma na Madeira. As do Continente estão

localizadas na região de Lisboa e do Porto, na Valorsul e Lipor respectivamente. (INE, 2016)

Incineração na Lipor.

A Lipor, sistema intermunicipalizado de gestão de resíduos do grande Porto, integra 8 municípios – Porto, Espinho, Gondomar, Valongo, Matosinhos, Maia, Vila do Conde e Póvoa do Varzim, servindo uma população aproximada de 1 milhão de habitantes e abrange uma área de cerca de 650 km². A produção global de RSU é de aproximadamente 500 000 t/ano o que corresponde a 1,4 kg/hab.dia. Em 2008 foram incineradas na Lipor 384 mil toneladas de resíduos indiferenciados o que permitiu a produção de 191 GWh de energia eléctrica, suficiente para abastecer um aglomerado populacional de 150 mil habitantes.

Incineração na Valorsul.

A empresa Valorsul tem fundamental participação na sociedade com o desenvolvimento na gestão, programa social e ambiental frente aos municípios atendidos:

“... A iniciativa "Vamos Limpar a Europa" já acontece desde 2014. Em 2019, estas ações de limpeza volta a acontecer em toda a Europa de 01 de Março e 30 de Junho mas é no fim de semana de 10 a 12 de Maio que se assinala com maior destaque esta iniciativa para chamar a atenção da população para este tema e criar consciência para este problema do lixo abandonado. O objetivo do projeto é que as questões relacionadas com a produção de resíduos por parte dos cidadãos estejam na ordem do dia e, ao mesmo tempo, contribuir para a limpeza de espaços naturais (como praias, terrenos, florestas etc.) Todos os anos, milhões de toneladas de lixo acabam nos oceanos, nas praias, nas florestas e nos mais variados sítios da natureza. As principais causas deste problema são os padrões insustentáveis de produção e consumo, estratégias de gestão de resíduos desadequadas e a falta de consciência dos cidadãos. Quer fazer parte da solução? Junte-se à campanha Vamos Limpar a Europa! A Valorsul é a entidade coordenadora regional desta iniciativa para os 19 municípios que integram a sua área de intervenção. Não perca a oportunidade de

fazer a diferença e inscreva a sua ação na próxima edição em 2019, até ao dia 15 de junho. ...” - VAMOS LIMPAR A EUROPA! [VALORSUL, 2019]

No programa a empresa Valorsul é a responsável pela valorização energética, valorização de orgânica, aterros e triagem de materiais recicláveis.

Valorização energética recebe o RSU de geração indiferenciada no seu estado bruto com as seguintes valorizações: energia elétrica; escórias; sucata ferrosa; cinzas volantes; gases de combustão, site localizada em São João da Talha – Loures

valorização orgânica, o recebimento é exclusivo de resíduos urbanos dos mercados, cantinas, restaurantes, hotéis tendo uma energia bruta gerada de 8.0000.0000 a 12.000.000 kWh/ano e um auto consumo de 4.000.000 a 6.000.000 kWh/ano, para uma capacidade de processamento de 60.000 t/ano, onde contém o aterro do biogás do Aterro Sanitário do Oeste.

Aterro sanitário, dispostos em duas unidades a de Mato da Cruz e do Oeste.

Triagem de materiais recicláveis: recebe os materiais recicláveis via ecopontos ou coleta seletiva porta a porta (vidro, papel/cartão e plástico/metall sendo encaminhados para os dois centros de triagem sendo a de Lumiar e do Cadaval.

A empresa Valorsul é a responsável pelo sistema de gestão de resíduos na região de Lisboa. Integrada por 5 municípios: Lisboa, Amadora, Odivelas, Loures e Vila Franca de Xira, atende uma população de 1,2 milhões de habitantes numa área de 596 km².

A capacidade de processamento é de 750 000 t/ano de RSU, sendo incinerados 482 mil toneladas, para uma produção de 286 GWh de energia eléctrica que é suficiente para abastecer um aglomerado populacional de 150 mil habitantes. (Valorsul, 2014)

O resíduo para incineração contém um poder calorífico do RSU de entrada com a composição de máximo e mínimo de PCI entre 5.860 e 10.460 kJ/kg, onde para efeitos de projecções é adotado um valor nominal de 7.820 kJ/kg (1.868 kcal/kg).

A grelha da fornalha é do tipo: Detroit Stoker Reverse-Acting Stoker, com uma capacidade de processamento de 28 toneladas por hora e por linha, com 3 linhas instaladas e reserva para uma quarta, com regime de operação de 24 horas por dia, 365 dias por ano.

A capacidade da turbina de vapor, tipo condensação com 14 estágios, é de 198.000 kg/h, onde é gerado vapor superaquecido a pressão de 52,8 bar e a uma temperatura 420°C. A produção elétrica bruta é de 587 kWh / t de RSU (ao PCI nominal) e com um autoconsumo elétrico aproximado de 89 kWh/t de RSU (ao PCI nominal).

No processo de incineração os resíduos gerados são: (1) 200 kg/ t de RSU em escórias que podem ser utilizados como material inerte na construção civil, obras públicas e eventual recuperação paisagística de pedreiras e minas após a conclusão da exploração, e são realizadas ainda a recuperação de metais ferrosos e não ferrosos, e (2) 30 kg/ t de RSU em cinzas que são inertizados e enviados para uma célula própria do Aterro Sanitário de Mato da Cruz.

A área da valorização energética da empresa Valorsul está localizada às margens do rio Tejo, vide ilustração 4.1, próxima do centro de Lisboa, distante cerca de 20 km, favorece o transporte, logística, recepção e processamento do RSU.



Imagem 06 - Instalação da empresa VALORSUL

Os camiões que fazem o recolhimento do lixo são pesados nas zonas de balanças, na entrada e na saída das instalações para identificar a quantidade de resíduos que foram destinados para tratamento. Depois de pesados, os caminhões dirigem-se para a plataforma de descarga e depositam os resíduos numa grande fossa, identificada na ilustração 4.2.



Ilustração 4.2 – Plataforma de descarga – Valorsul

Da plataforma de descarga, a movimentação é realizada por duas garras, identificadas na ilustração 4.3, que tem a finalidade de misturar os resíduos e transportar para as tremonhas. As tremonhas são funis gigantes que encaminham os resíduos até as esteiras e posteriormente para chegar aos fornos de incineração.



Ilustração 4.3 – Garra de movimentação do RSU - Valorsul

No interior do forno será feita a queima dos resíduos, a uma temperatura de 900°. A central tem 3 fornos e são incineradas cerca de 28 t/h de resíduos por forno.

O calor gerado durante a combustão, processo de incineração, transforma a água que está na caldeira em vapor. Esse vapor, em estado de vapor superaquecido, pressão de 52,8 bar e temperatura de 420 °C, sai da caldeira e vai para a turbina (ilustração 4.4) que irá movimentar o eixo acoplado diretamente ao gerador de eletricidade. Parte da eletricidade produzida, após o autoconsumo da URE, é injetada na Rede Elétrica Nacional.



Ilustração 4.4 – Sala da Turbina – Valorsul

Os gases libertados durante a incineração dos resíduos, antes de serem lançados na atmosfera identificados na ilustração 4.5, passam por um rigoroso processo antipoluição e são tratados através de um sistema de filtragem de gases. Os poluentes dos gases retirados, posteriormente são misturados em cimento e enviados para uma área especial do aterro, própria para resíduos perigosos.



Ilustração 4.5 – Sistema de tratamento de gases – Valorsul

O resíduo da incineração proveniente das grelhas é chamado de escória e é o que resta dos resíduos depois de queimados. As escórias são arrefecidas, armazenadas em ambiente controlado conforme ilustração 4.6, para posterior envio para a unidade de tratamento e valorização de Escórias.



Ilustração 4.6 – Armazenagem de Escórias - Valorsul

Na etapa de tratamento das escórias, em uma unidade específica, faz-se a separação de metais ferrosos e não ferrosos para posterior envio para a reciclagem. O metal ferroso separado durante um ano seria suficiente para a construção de 16.500 automóveis. Outro destino das escórias após sua separação e devidamente valorizadas, são utilizadas na construção de sub-bases de estradas ou na cobertura de aterros sanitários. (Ilustração 4.7)



Ilustração 4.7 – Tratamento e valorização de escórias - Valorsul

Incineração na Valorambiente.

A terceira incineradora de RSU de Portugal está na Madeira na Valorambiente. Este sistema integra os 11 municípios deste arquipélago e serve uma população de 246 mil habitantes numa área de 741 km². A produção global de resíduos urbanos é de 173 000 t/ano. Em 2007 foram incineradas 120 mil toneladas de resíduos o que permitiu a produção de 53 GWh de energia eléctrica. Segundo a Valorambiente, a energia produzida, é suficiente para abastecer um aglomerado populacional de 23 mil habitações.

4.5 Recolhimento de RSU em Lisboa / Reciclagem

São as autarquias e os operadores licenciados que efetuam no recolhimento / coleta de resíduos urbanos. Se há coleta seletiva (porta a porta e/ou através de ecopontos), então esses resíduos são entregues nos Centros de Triagem e serão entidades como a SPV (Sociedade Ponto Verde) que os encaminha para a valorização e indústria da reciclagem.

Nos municípios da Grande Lisboa, é a Valorsul que solicita à SPV o seu encaminhamento para a valorização e reciclagem. A SPV tem a responsabilidade da logística da coleta dos materiais para valorizar, de contatar (por exemplo, no caso do papel é através de um leilão na Internet) as entidades tomadoras e recicladoras credenciadas. Estas empresas recebem a informação da SPV e contactam diretamente com os detentores do material que pode ser reciclado. Funcionando como sistema de incentivos, o valor de contrapartida desse material recolhido, normalmente acima do valor de mercado, aprovado pela entidade reguladora, reverte para a SPV que redistribui os montantes de acordo com as embalagens recolhidas para as autarquias / sistemas, efetua campanhas de educação ambiental e financia projetos. (MORGADO, 2017)

Em Portugal, a moldura institucional do setor dos resíduos obriga a que todas as operações relacionadas com a valorização e a reciclagem dos resíduos urbanos

estejam articuladas, havendo obrigatoriamente vínculos contratuais. Veja-se, por exemplo, que muitas das entidades que hoje se integram na lista de tomadores e recicladores da SPV, correspondem a empresas que já existiam neste mercado antes da criação da Sociedade Ponto Verde - era uma situação de mercado, porém desarticulado e não regulado. Se bem que na concepção do modelo tenha havido um aproveitamento deste tipo de estruturas, beneficiando da experiência e do conhecimento destas entidades, a SPV corresponde a um catalizador de transferência de informação e conhecimento entre todos os aderentes do sistema de gestão dos resíduos de embalagem.

Como assentam numa articulação de responsabilidades e processos entre um conjunto bem definido de parceiros, fechando o ciclo de vida dos resíduos, os sistemas do tipo Ponto Verde não permitem a sobrevivência de outros agentes não articulados com o sistema, impedindo a formação de circuitos informais de coleta seletiva de, por exemplo, resíduos de embalagens. Esta situação revela que em Portugal há uma resposta de política eficaz para a gestão integrada de RSU. (MORGADO, 2017)

5. BRASIL

No Brasil uma política efetiva para o destino do RSU está bem distante da necessidade. Os baixos custos de aterros, onde em muitos municípios brasileiros prevalecem os ditos “lixões” como a realidade, distancia cada vez mais das oportunidades dispensadas.

Pilar da PNRS, reduzir, reutilizar e reciclar, a Lei nº 12.305/2010 (Título I, Cap. II, art. 3º, XI) traz em suas diretrizes a problemática da gestão integrada de resíduos sólidos, definida como: o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. A responsabilidade pelo lixo passa a ser compartilhada entre os cidadãos, empresas, prefeituras e os governos estaduais e federal. Ao conceber a gestão integrada de resíduos sólidos como um conjunto de fatores relacionados, a Lei assume uma dimensão politicamente complexa ao integrar questões sociais e econômicas às questões ambientais. O gerenciamento envolve, indiretamente, várias etapas de coleta: transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (REIS, 2018)

O não destino correto do RSU, apenas posterga os benefícios gerados:

- Diminuição na ocupação de grandes espaços públicos para destino, tendo como futura consequência a sociedade, problemas na administração do local, frente a disseminação de doenças patológicas e contaminação do solo.
- Reaproveitamento energético na incineração para a geração de energia elétrica via GD e injeção na rede do SIN.
- Processo de coleta seletiva e aprimoramento na conscientização cultural com inclusão de diversos setores na sociedade.
- Aplicação nas melhorias no ciclo de vida dos produtos.
- Diminuição do volume e peso a ser destinado ao aterro.
- Formação de parcerias público privadas PPP para exploração comercial e desenvolvimento de novas técnicas de destinos.

- Toda uma cadeia de valores comerciais que poderiam ser explorados, não fazendo o correto uso e destino, vai literalmente para o aterro.

Falta de efetividade dos agentes públicos para a implantação da PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Brasil como estado participante e líder no MERCOSUL, sem destaques em suas atividades e manobras políticas, onde não é prioridade do bloco a questão ambiental.

A PNRS (Lei 12.305/2010) brasileira sancionada em 02/08/2010 e através do senado federal em 01/07/2015 e postergada para 2018, para a extinção dos lixões, nas seguintes condições:

As capitais e municípios de região metropolitana, terão o prazo de até 21/07/2018; municípios de fronteira e os que têm mais de 100.000 habitantes, terão o prazo de até 21/07/2019; municípios que têm entre 50.000 a 100.000 habitantes, terão o prazo de até 21/07/2020; municípios com menos que 50.000 habitantes, terão o prazo de até 21/07/2021; para uma base do CENSO de 2010.

Em 02/08/2014, (conforme fonte do portal G1), com quatro anos da data original para a extinção dos lixões, apenas 40% das cidades cumpriram as necessidades impostas pelo PNRS. Um grande descaso para a política ambiental.

A não continuidade ou mesmo a falta de um processo de cultura da reciclagem. Dificuldade no favorecimento e abertura de mercado interno, exploração comercial, valorização das pessoas e conscientização do uso correto das matérias primas.

Melhorias na mobilização e organização de ONG para a exploração comercial dos RSUs. Possibilidade de integração entre o reciclável frente ao consumo e reinserção no produto acabado. Caracterização e consciência sobre a reciclagem a inclusão social. Novas alternativas e possibilidades da comunidade carente perante a sociedade.

Falta de recursos financeiros necessários para a implantação da política ambiental.

Falta de um programa definido de curto, médio e longo prazo com diretrizes e incentivo dos governos municipais, estaduais e federais no assunto lixo. Em grande parte dos problemas temos o destino não ideal para aterros pelo simples fato de custo. Não se pensa no amanhã e ignora-se uma grande alternativa político – comercial – social.

Para uma usina no Brasil de 500 tonelada/dia de RSU com eficiência de 22% de transformação do RSU em MWe , teríamos a seguinte geração (vide tabela 28): 500 t/dia / 24 horas = 20,83 t/h de RSU x 1908,14 kcal/kg de PCI x 1000 kg = 39.752.917 kcal/h / 860 (taxa de conversão de kcal para kWth) = 46.220,9 kWth/h. Com uma eficiência de 22% teremos 46.220,9 kWth/h x 0,22 = 10.169 kWe ou 10,17 MWe. Ou seja, uma taxa de 0,49 MWh/t de RSU. (INFIESTA, 2015)

Local	PCI RSU kcal/kg	RSU t / dia	RSU kg / h	RSU kcal/h	RSU kWth/h	Eficiência	kWe	MWe	Taxa MWh/t
Brasil (nom.)	1.908,1	500,0	20.833,3	39.752.917	46.224,3	22%	10.169	10,17	0,49
Brasil (máx.)	1.980,0	500,0	20.833,3	41.250.000	47.965,1	22%	10.552	10,55	0,51
Brasil (min)	1.850,0	500,0	20.833,3	38.541.667	44.815,9	22%	9.859	9,86	0,47

Tabela 5.1 – Estudos de taxa MWh/t de RSU no Brasil

Adaptado pelo autor

5.1 Aproveitamento energético do RSU em São Paulo

No município de Barueri, na grande São Paulo do Estado de São Paulo, a empresa Foxx – Raztec será a primeira unidade de tratamento térmico de resíduos do Brasil, a URE Barueri terá a capacidade para tratar 825 toneladas de lixo por dia a potência instalada de 20MW de energia.

A energia gerada pelo empreendimento é suficiente para abastecer 80 mil residências, como a própria Barueri (SP) que passará a ser o primeiro município do Brasil a adotar uma solução que contribui para a construção do “Ciclo Positivo do Resíduo” – ilustração 5.1, ou seja, que soluciona passivos ambientais, transformando o lixo em uma fonte de geração de energia renovável.

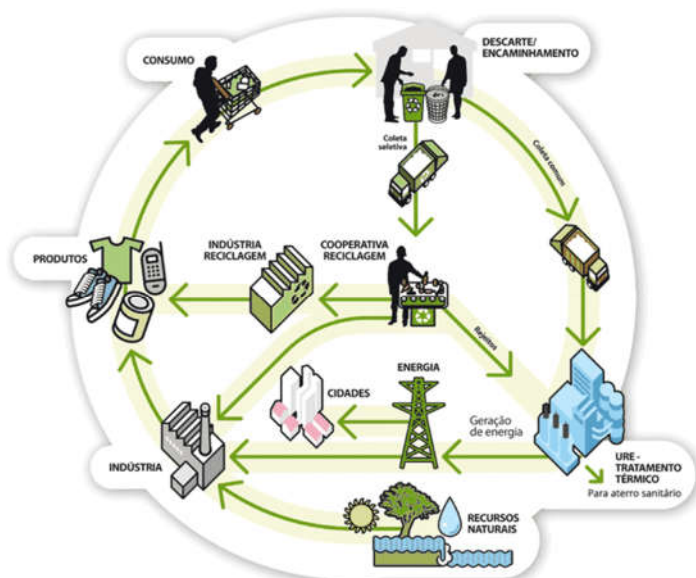


Ilustração 5.1 – Cadeia do RSU

Com dificuldade em atender as licenças ambientais, do aguardo na emissão do alvará de construção, do financiamento, da efetivação de uma PPP (Parceria Público Privada), onde prometida desde 2015, a primeira URE - Barueri (Usina de Recuperação de Energia) será a pioneira no Brasil, – ilustração 5.2, terá seu início de construção no segundo semestre de 2019 e conclusão operação para 2021, conforme Foxx-Haztec. (notícia ajusta pelo autor em 03/05/19 – Jornal de Barueri).



Ilustração 5.2 – Localização futura da URE Barueri (ao lado da ETE Barueri) (CITVARAS, 2016)

6. ANÁLISE CRÍTICA EM OS MUNICÍPIOS DE SÃO PAULO E LISBOA.

Em Lisboa o RSU é coletado juntando 5 cinco cidades para uma população estimada e atendida de 1,2 milhão de pessoas e um processamento de 1.320 t/dia, onde do total 18% é incinerado enquanto em São Paulo a incineração é zero. A composição do RSU municipal coletado para Lisboa foi de 401 (kg/hab. ano) (2014) e no município de São Paulo foi de 667 (kg/hab. ano) (PMSP, 2014). O PCI (Poder Calorífico Inferior) estimado do RSU para o município de São Paulo foi de 1.908 kcal/kg (INFESTA, 2015) e para Lisboa foi de 1.875 kcal/kg (VALORSUL, 2014).

São Paulo conta com um plano diretor o SP2040. A cidade deverá ter seus interesses alinhados para atuar consistentemente por várias gestões e ciclos de negócios. (BUCALEN, 2018). Diversas perguntas necessitam ser ponderadas e respondidas: Como será a cidade daqui a 20 / 30 anos.? O que esperamos encontrar.? Qual a dinâmica de suas necessidades.? Qual o rumo a ser tomado.? Haverá crescimento populacional.? As perguntas são muitas e as soluções não são únicas. Um plano de 10 anos para uma cidade do porte de São Paulo não tem qualquer efeito.

A distribuição da população na cidade de São Paulo não vincula o núcleo central na cidade para o uso residencial, diferente e no caminho contrário é encontrado na cidade de Lisboa. A característica de Lisboa é proveniente de um padrão europeu, com os centros urbanos compartilhados em uso residencial e misto, favorecendo a mobilidade urbana, mas com acentuada concentração (hab/m²). Uma das metas para as cidades europeias é uma cidade padrão de 15 minutos, já São Paulo a expectativa é de um padrão de 30'. Como fazer, como associar; o planejamento, a redistribuição na ocupação e a mobilidade irão ditar os novos hábitos e negócios.

A URE de Barueri / SP será localizada a 30 km do centro da cidade de São Paulo, onde aguarda a liberação da licença de construção com a previsão de entrada em operação e incineração de RSU com geração de energia elétrica em 2021.

Portugal impulsionada pela política ambiental da U.E. conta com recursos tecnológicos e financeiros para a implantação do sistema de (URE). Lisboa, tem suas atividades no tratamento do RSU para gerar não apenas o tratamento de destinação

com eliminação dos aterros, mas de proporcionar a geração de benefícios sociais e ambientais.

Organizando os dados, conforme tabela 6.1, a taxa de MWh/t de RSU para o município de São Paulo (0,47 MWh/t) é muito próxima da nominal de Lisboa (0,48 MWh/t), indicando valores praticamente iguais para os PCI's do RSU na forma bruta.

Local	PCI RSU kcal/kg	RSU t / dia	RSU kg / h	RSU kcal/h	RSU kWth/h	Eficiência	kWe	MWe	Taxa MWh/t
Europa	2.400,0	500,0	20.833,3	50.000.000	58.139,5	22%	12.791	12,79	0,61
Estados Unidos	2.600,0	500,0	20.833,3	54.166.667	62.984,5	22%	13.857	13,86	0,67
Brasil (máx.)	1.980,0	500,0	20.833,3	41.250.000	47.965,1	22%	10.552	10,55	0,51
Brasil (min)	1.850,0	500,0	20.833,3	38.541.667	44.815,9	22%	9.859	9,86	0,47

(INFIESTA, 2015)

Lisboa (nom.)	1.875,9	500,0	20.833,3	39.081.146	45.443,2	22%	9.998	10,00	0,48
Lisboa (min)	1.398,6	500,0	20.833,3	29.136.834	33.880,0	22%	7.454	7,45	0,36
Lisboa (máx.)	2.496,4	500,0	20.833,3	52.008.751	60.475,3	22%	13.305	13,30	0,64

(Valorsul, 2018)

Tabela 6.1 – Comparativo das taxas de MWh/t de RSU São Paulo / Lisboa
Adaptado pelo autor - (Dados calculados)

Houve uma diferença de dados encontrados entre os dados calculados e os dados cedidos pelos concessionários. Um comparativo entre a tabela 6.1 e a tabela 6.2 a taxa de MWh/t de Lisboa passou de 0,48 para 0,59 e a de São Paulo de 0,47 para 0,51.

Cidade	Empresa	RSU t/ano incinerado	Produção Anual GWh	RSU t/h incinerado	Produção hora MWh	Taxa MWh/t
Porto - PT	Lipor	384.000	191	44	22	0,50
Lisboa - PT	Valorsul	482.000	286	55	33	0,59
I. Madeira - PT	Valorambiente	120.000	53	14	6	0,44
São Paulo - BR	Foxx Haztec	300.000	153	34	17	0,51

Tabela 6.2 – Comparativo das taxas de MWh/t de RSU – adaptado pelo autor
(Dados fornecidos pelos concessionários)

As cidades de São Paulo e Lisboa estão localizadas às margens dos rios Pinheiros / Tietê e Tejo, respectivamente, mas com um diferencial, Lisboa tem seu canal despoluído, navegável e com saída para o mar.

Na tabela 6.3, utilizando os dados de PCI, pela taxa calculada de MWh/t de geração de RSU, frente a população de São Paulo e Lisboa, chegou-se aos dados de produção anual de 2.074 GWh/ano e 231 GWh/ano para as cidades de São Paulo e Lisboa respectivamente.

Local	PCI RSU kcal/kg	População atendida	RSU kg/hab.ano	RSU t/h incinerado	Taxa MWh/t	Produção Anual GWh
São Paulo	1.908,1	7.000.000	607	485,05*	0,49	2.074
Lisboa	1.875,9	1.200.000	401	54,93	0,48	231

*Projeção de RSU

Tabela 6.3 – Dados de tratamento de RSU com geração de energia elétrica

Fonte: Tabela ajustada pelo autor.

Identifica-se imenso potencial não aproveitado para o tratamento do RSU na cidade de São Paulo. Estudos específicos, a distribuição de URE ao redor da cidade, coleta seletiva, integração de setores terciários com a sociedade, desenvolvimento, geração de emprego e geração de renda para o pessoal local são alternativas possíveis de implantação.

7. CONCLUSÕES

De acordo com a Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2012), estima-se que, em 2012, os municípios brasileiros coletaram mais de 35 milhões de toneladas de RCD's, que representa cerca de 55% de todo o resíduo sólido urbano (RSU) coletado naquele ano. A União Europeia, preocupada com essa questão, estipulou a meta ousada de recuperar 70% em peso dos resíduos na construção e demolição (RCD) até 2020 (Llatas, 2011). No Brasil, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2021b), a meta é que todas as regiões do país estejam aptas a reciclar seus resíduos até 2027 por meio de unidades de recuperação, com eliminação das áreas de disposição irregular. (Nagalli, 2015).

O potencial energético do Brasil, apenas para regiões com população superior a 1.000.000 de pessoas, separadas por 522 municípios, possui uma capacidade de 2.401 MW de geração de energia com uma potência anual gerada de 14.400 GWh/ano, através das URE (Unidade Recuperadora de Energia) tendo como principal combustível o RSU, em território nacional, dividido entre 15 a 20 plantas com capacidade unitária de 300 MW, podendo ser implantada em um prazo de 15 a 20 anos. (Citvaras, 2016)

Para viabilizar o sistema da incineração com reaproveitamento de energia térmica na geração de energia elétrica tem que disponibilizar um consumo mínimo diário de 500 ton de RSU por URE. O RSU contém diversas características de composição que varia com a granulometria, concentração de umidade, localização, disposição e classe social dentre outros, que incidem diretamente sobre o poder calorífico inferior. O valor do PCI superior a 2.000 kcal/kg / RSU evita-se a aplicação de combustível, como o GN ou GLP, suplementar ao processo de queima. Sua aplicação deve ser focada em cidades com grandes centros urbanos ou coleta centralizada entre cidades para uma população de 1.000.000 habitantes.

A URE com RSU é uma alternativa energética, diversificando o mercado e favorecendo a GD (Geração Distribuída). O tratamento do resíduo em pouco espaço, diminuição do volume de rejeito, proximidade dos centros urbanos e aproveitamento

energético como produto da incineração são argumentos a serem analisados para mitigar os efeitos ambientais.

O Brasil carece de novas tecnologias e soluções ambientais. Desenvolver um setor industrial com empresas voltadas ao mercado de sustentabilidade, incentivar, fomentar novos negócios com diversificação de áreas na gestão dos resíduos sólidos.

Geração de um fundo de investimento como o presente na Europa, com metas e políticas público privadas (PPP) que privilegiem a aplicação de tecnologias. Implantar uma tecnologia embarcada junto com a massificação e escalonamento, para a redução dos custos e aumentar a competitividade do sistema.

Oportunidades de mercado inseridas na cadeia de logística reversa no emprego da mão de obra local, desde a coleta, separação, reutilização e reciclagem, na reinserção da matéria prima reciclada na indústria, associada ao destino das “sobras” para a incineração no reaproveitamento energético e para usinas de compostagem / biogás.

Aplicação de regras claras e objetivas nas políticas e regras ambientais, com processos mitigatórios bem definidos e corpo técnico avaliativo bem estruturado. O empreendedor não pode ser desprezado, muito menos ignorado. Encontrar parceiros dispostos a ajudar quando necessário e aproveitar os dados disponibilizados pelos gestores das cidades na implantação dos futuros negócios.

O mercado é dinâmico e avesso: a incertezas, a falta de oportunidades e a falta de capacitação. Aproximar e aproveitar a utilização de recursos acadêmicos na interação entre o mercado, a indústria e a instituição de ensino são estruturas a serem implantadas.

Previsibilidade, acesso às informações de dados e de tecnologia, viabilidade de recursos via agentes financeiros, disponibilidade de implantação, necessidade de redução e eliminação de aterros, estabilidade governamental e projetos de valorização demandam longo prazo para retorno do investimento. Deverá ter o comprometimento e a continuidade dos objetivos e das metas pelos agentes públicos.

No circuito do RSU, deverá ser implantada uma política sócio cultural, para treinamento, desenvolvimento e inclusão no mercado de recursos secundários, terciários e quaternários. Deverá ser prevista metas com utilização do Ciclo de Vida do produto.

Novos players do setor de energia irão se formar com a solidificação dos mercados de energia renovável, na organização mútua com irrestrito apoio governamental.

Os países Europeus com o inverno rigoroso ou mesmo que contém uma necessidade de consumo contínuo de aquecimento da água, o excedente no processo de incineração via trocadores de calor (permutadores) tem o seu aproveitamento maximizado, transformando o rejeito térmico na calefação ou pré-aquecimento de sistemas, obtendo-se um melhor rendimento e melhor custo benefício de geração.

Nos países tropicais onde a utilização de para a calefação de residências basicamente inexistente, o excedente térmico da incineração poderá ser utilizado em: - água quente para indústrias no preaquecimento da água de alimentação de caldeiras, aquecimento de água para hotéis, aquecimento de água para cozinhas industriais, - geração de água gelada via resfriador de líquidos por absorção.

Com todas as limitações: política, econômica ou social, mesmo no pior dos cenários o reaproveitamento energético é nulo no Brasil, gerando um grande prejuízo e desperdício para a sociedade. São Paulo com proporções de uma megacidade necessita, urgente rever seus conceitos.

Indiferente do potencial energético, mesmo não sendo o único ponto de avaliação, a incineração do RSU, após a separação e reciclagem, é uma alternativa para mitigar o efeito negativo ao meio ambiente, reduzindo o volume e o efeito de doenças infecto contagiosas.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAL, *Informativo Recuperação de Energia*, Abrelpe, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: *Resíduos Sólidos* – classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.175: *Incineração de resíduos sólidos perigosos* - Padrões de desempenho, Rio de Janeiro, ABNT, 1990.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. PERSU 2020: *Plano estratégico para os resíduos urbanos*. Lisboa: APA, 2014a.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. *Dados sobre resíduos urbanos*. Lisboa: APA, 2014.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. *Dados sobre resíduos urbanos*. Lisboa: APA, 2016.

BUCALEN, L. M., *SP2040, A Cidade que queremos*. Apresentação da Universidade de Sorbonne, 2018.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração *per capita* de resíduos sólidos no Brasil. *Rev. Eng. Sanit. Ambiente*, v. 17, n. 2, Abr/jun 2012.

CASTRO, M. *A fronteira Portugal / Espanha, 18 anos depois de Schengen. O caso de Portalegre/Elvas - Valência de Alcântara/Badajoz*. 2013. Tese. (Doutorado em Geografia) – Universidade de Lisboa - CEG/IGOT, Lisboa, 2013.

CEWEP, *Confederation of European Waste-to-Energy Plants*, – acessos via internet no período de 03/2019 a 05/2019.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Guia da coleta seletiva de lixo*. 2ª Ed. São Paulo, 2014.

CITVARAS, A. 5TH Annual *World Wat to Energy – City Summit*, London, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE ENERGIA, *Nota Técnica DEA 18/14* - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos, Rio de Janeiro, EPE, 2014

FERREIRA, N. *Portugal de perto*. Lisboa: FFMS, 2014.

FUNASA. *Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na região metropolitana de São Paulo: relatório final*. Brasília: Ministério da Saúde, 2010.

GONÇALVES, L. O.; MENUCCI, D. L. *Gestão de resíduos sólidos nos portos e aeroportos brasileiros: estratégias e desafios*. Brasília: FUNASA, 2012. (Relatório de trabalho).

GONÇALVES, M. A. *O trabalho no lixo*. 2006. Tese. (Doutorado em Geografia) – UNESP, Presidente Prudente, 2006.

GONÇALVES, M. A. et. all. *Geração e disposição de resíduos sólidos urbanos e as formas de organização dos trabalhadores catadores de resíduos recicláveis nos municípios localizados na sub-bacia no rio Ivinhema-MS*. Nova Andradina: UFMS, 2013.

GONÇALVES, M. A.; GONÇALVES, A. H. *Resíduos sólidos urbanos na fronteira do Brasil com a Bolívia: um estudo de caso no município de Corumbá-MS* (no bioma Pantanal). In: Encontro de Geógrafos da América Latina – EGAL, 2015, Havana. *Anais...* Havana-Cuba, 2015.

GONÇALVES, M. A.; GONÇALVES, A. H; VALE, M. M. A. A. V. Q. *Um estudo comparado entre a realidade brasileira e portuguesa sobre a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Uberlandia, 2016

HALL, D. *Waste management in Europe: UE context, public privates' roles, efficiency and evaluation*. Greenwich: PSIRU, 2013.

HARO, F. A. *As retóricas da crise em Portugal*. Lisboa: CIES, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS - IPEA. *Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável e reutilizável*: Brasília: IPEA, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS - IPEA. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório de Pesquisa*: Brasília: IPEA, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000, 2014

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE PORTUGAL - INE. *Síntese econômica de conjuntura*: outubro de 2014. Lisboa: INE, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE PORTUGAL - INE. *Gestão de resíduos em Portugal (2004-09): o setor de resíduos em Portugal*. Lisboa: INE, 2010.

LAINS, P. *O Estado e a industrialização em Portugal, 1945-1990*. *Rev. Análise Social*, 1994.

LEMOS, L., *Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: qual a melhor opção de aproveitamento energético?* LEMOS, 1997

LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências*. (MMA, 2010)

INFIESTA, L R., *Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Vale do Paranapanema – Projeto Civap.*, Monografia, 2015

MANCINI, P. J. P. *Uma Avaliação do Sistema de coleta informal de resíduos sólidos recicláveis no município de São Carlos, SP*. São Carlos. 150p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

MORGADO, D. M., P. *Gestão estratégica de resíduos sólidos urbanos no Município de Alenquer, Aplicação do Sistema PAYT*. Dissertação para obtenção o Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, 2017.

NASCIMENTO NETO, P.; MOREIRA, T. A. *Política nacional de resíduos sólidos: reflexões acerca do novo marco regulatório nacional*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 15, 2010.

NAGALLI, A. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil*. Oficina de Textos, São Paulo - 2015.

NAZAROFF, W. W; ALVAREZ-COHEN, L. *Environmental engineering Science*. New York, United States. John Wiley & Sons, Inc. 690p. 2001.

PAVAN, M. C. O. *Geração de Energia a partir de resíduos sólidos urbanos: Avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil*. (Tese de Doutorado em Energia) – FEA-IEE-IF, São Paulo, 2010.

POLZIN, D. A. O. F. M. *Gestão dos resíduos sólidos urbanos: análise comparativa entre Portugal e Brasil*. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – UFF, Niterói, 2004.

PROGRAMA NACIONAL DA POLÍTICA DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO - PNPOT. *Relatório*. Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional. Lisboa, 2006.

QUEIRÓS, M.; GONÇALVES, M.A. *Formalidade e informalidade nos modelos de gestão de RSU em áreas urbanas: A grande Lisboa e o Pontal de Paranapanema / São Paulo em análise*, Lisboa, 2002.

QUEIRÓS, M. O *Desafio ambiental. As Políticas e a Participação dos Actores*. ULISBOA. 2002. Dissertação (Doutoramento em Geografia Humana), Lisboa, 2002.

REIS, D; FRIEDE, R; DUSEK, P, M.; MIRANDA, G, M: *A lei 12.305/2010 e educação ambiental*, Revista Augustus, Rio de Janeiro, 2018

SILVA, G. B. *Portugal em ruínas*. Lisboa: FFMS, 2014.

SOARES, E. L. S. F. *Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos*: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2011.

SOARES, F. R. *Impacto Ambiental de Tecnologias de Tratamento e Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos*, Paco Editorial, 268 p: Jundiai - SP, 2016.

TROTTA, P. *A gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal*. Anais: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2011.

VALORSUL, Empresa de Valorização de RSU, *acessos via internet de 02/03/19 a 28/05/2019*, Lisboa – PT, 2019