

Rafael Alexandre Taveira Franco Sousa Arruda

Gaseificação de Resíduos: Uma alternativa de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Autónoma dos Açores



UNIVERSIDADE DOS AÇORES

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Ponta Delgada

2010

Rafael Alexandre Taveira Franco Sousa Arruda

Gaseificação de Resíduos: Uma alternativa de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Autónoma dos Açores

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Ambiente, Saúde e Segurança

Orientador:

Professor Doutor Luís Filipe Dias e Silva (Universidade dos Açores)

Co-Orientador:

Mestre Augusto César de Carvalho (Gaia Energy)



UNIVERSIDADE DOS AÇORES

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Ponta Delgada

2010



Resumo

Os modelos de desenvolvimento económico e as mudanças nos padrões e hábitos da sociedade têm levado a uma crescente produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Em Portugal, e em particular nos Açores, o volume crescente de RSU transformou-se num problema para os municípios, quer devido à escassez de espaço, quer devido às soluções e custos para resolver este problema. Nos Açores, no ano de 2009, foram produzidas 141.730 toneladas de RSU. Sendo que, 87% teve como destino final a deposição em aterro, 5% Armazenagem, 5% Reciclagem e Recuperação e 3% Tratamento.

A política de planeamento e Gestão de Resíduos constitui um dos pilares fundamentais em que se baseia a estratégia de desenvolvimentos sustentável para a Região Autónoma dos Açores. No âmbito da estratégia política preconizada pelo Governo Regional em matéria de Gestão de Resíduos, foi aprovada o Plano Estratégico de Gestão de Resíduos dos Açores (PEGRA). O PEGRA tem vigência de 7 anos, traduzidos pelo período de 2007-2013.

A tecnologia de gaseificação não é recente: em 1850, a maior parte da cidade de Londres foi iluminada por um “gás de cidade”, produzido a partir da gaseificação do carvão. A gaseificação é um processo de conversão térmica para produzir, a partir de combustíveis fósseis, biomassa e resíduos, um gás combustível ou um gás de síntese para posterior utilização. No processo podem ser usados diferentes tipos de agentes de gaseificação, entre eles o ar, O_2 e uma mistura ar-vapor de água. Normalmente, um sistema de gaseificação é constituída por três elementos fundamentais: (1) Gaseificador (2) Sistema de limpeza do gás; e (3) Sistema de Recuperação Energética. O sistema é completado com um subsistema adequado ao controle dos impactes ambientais.

O principal objectivo deste trabalho foi analisar o potencial da gaseificação de RSU na RAA.

Palavras-Chave: Gestão de Resíduos, Resíduos Sólidos Urbanos, Gaseificação, Gaseificação de RSU



Abstract

The models of economic development and changes of habits of society have led to an increase in Municipal Solid Wastes (MSW). In Portugal, and particularly in the Azores, the volume of the MSW became a problem for municipalities due to lack of land and to solutions and costs for solving this problem. In the Azores, in 2009, they produced 141,730 tonnes of MSW. Since 87% was destined for the landfill, 5% Storage, 5% Recycling and Recovery and 3% treatment.

The Policy Planning and Waste Management is one of the key pillars that underpin the strategy of sustainable development for the Azores. Under the strategy advocated by the regional government policy relating to Waste Management, was approved the Strategic Plan for Waste Management of the Azores (SPWMA). The SPWMA is valid for seven years, translated by the period 2007-2013.

Gasification technology is by no means new: in the 1850s, most of the city of London was illuminated by “town gas” produced from the gasification of coal. Gasification is a thermal conversion process to produce, from fossil fuels, biomass and wastes, a combustible gas or a synthesis gas for subsequent utilization. In the process, several different types of gasification agents may be utilized, among these are air, O₂ and air/steam. There are currently approximately 160 gasification plants in operation in the world, and another 35 are being planned.

Typically, a gasification system consists of three elements: (1) Gasifier, (2) Gas Stream Cleanup, and (3) Energy Recovery System. The system is completed with an appropriate subsystem to control the environmental impacts.

The main aim of this work was to analyze the potential of gasification of MSW in the Azores.

Keywords: Waste Management, Municipal Solid Waste, Gasification, MSW Gasification



ÍNDICE

Resumo.....	3
Abstract.....	4
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tabelas.....	12
Acrónimos.....	13
Tabela de Conversões.....	15
Introdução Geral.....	16
Considerações Gerais.....	16
Objectivos da Dissertação.....	19
Organização da Dissertação.....	19
Capítulo 1.....	21
Gestão de Resíduos.....	21
1.1. Gestão de Resíduos – Conceitos Gerais.....	21
1.2. Políticas de Gestão de RSU.....	26
1.2.1. Enquadramento.....	26
1.2.2. Produção e Quantificação de RSU.....	29
1.2.3. Prevenção, Tratamento e Destino Final dos RSU.....	30
1.2.4. Política dos 3R's e Ciclo de Vida dos Produtos.....	33
1.3. Princípios Gerais da Gestão de Resíduos.....	36
1.4. Planeamento da Gestão de Resíduos.....	38
1.5. Políticas de Gestão de RSU em Portugal.....	40
1.6. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em Portugal Continental.....	43
1.6.1. Produção.....	43
1.6.2. Destino Final.....	46
1.6.3. Composição Física.....	49
Capítulo 2.....	51
Gaseificação.....	51
2.1. Estado Actual da Gaseificação.....	51
2.2. Gaseificação.....	55
2.3. Tipos de Gaseificadores.....	61
2.3.1. Gaseificadores de Leito Fixo (<i>Fixed Bed</i> ou <i>Moving Bed</i>).....	63



2.3.2. Gaseificadores de Leito Fluido (<i>Fluid-bed</i>).....	65
2.3.3. Gaseificadores de Fluxo arrastado (<i>Entrained-flow</i>)	68
2.3.4. Gaseificadores para Aplicações Especiais	70
2.4. Sistemas de Limpeza de Gás de Síntese	71
2.4.1. Fraccionamento Térmico (<i>Thermal Cracking</i>).....	74
2.4.2. Fraccionamento Catalítico (<i>Catalytic Cracking</i>)	74
2.4.3. Purificadores ou Saturadores (<i>Scrubber or Saturation</i>).....	75
2.4.4. Reforma de Vapor e Troca-CO (<i>Steam reforming and CO-Shift</i>).....	75
2.4.5. Filtro de Magas (<i>Baghouse</i>)	76
2.4.6. Condensador de Metais Alcalinos (<i>Alkali Condenser</i>)	76
2.5. Sistemas de Recuperação Energética (SRE)	76
2.5.1. Ciclo do Vapor de Água (<i>Steam cycle</i>)	76
2.5.2. Motores (<i>Engine</i>).....	78
2.5.3. Turbinas a gás (<i>Gas turbine</i>).....	78
2.6. Sistemas de Recuperação de Produtos	79
2.7. Ciclos de Processo	80
2.7.1. Gaseificação/Ciclo de Vapor, Configuração <i>stand-alone</i>	80
2.7.2. Gaseificação/Ciclo de Vapor, Configuração <i>co-firing</i>	81
2.7.3. Gaseificação/Motores (<i>Gasification/engine</i>)	82
2.7.4. Gaseificação Integrada de Ciclo Combinado (IGCC)	83
2.8. Impactes Ambientais	84
2.8.1. Poluição da Atmosfera.....	84
2.8.2. Produção de Resíduos Sólidos.....	85
2.8.3. Produção de Águas Residuais.....	85
2.9. Gaseificação de RSU	86
2.9.1. Considerações Gerais.....	86
2.9.2. <i>Refuse Derived Fuel</i> (RDF)	87
2.9.3. Gaseificação por Plasma (GPP).....	90
2.9.4. Projectos Mundiais de GPP	93
2.9.5. Vantagens da GPP.....	95
2.9.6. Diferenças entre a GPP e a Incineração.....	96
2.9.7. Emissões de CO ₂ da GPP	97
2.9.8. Principais Centrais de GPP	97
2.9.9. Eficiência da GPP	97



Capítulo 3.....	98
Potencial da Gaseificação de RSU na RAA	98
3.1. Introdução	98
3.1.1. O Arquipélago dos Açores.....	98
3.1.2. Políticas de Gestão de RSU na RAA	99
3.1.3. Objectivos	101
3.2. Métodos.....	102
3.2.1. Produção de RSU na RAA	102
3.2.2. Destino Final dos RSU na RAA	102
3.2.3. Características dos RSU na RAA.....	103
3.2.4. Potencial da Gaseificação de RSU na RAA.....	104
3.3. Resultados.....	105
3.3.1. Produção de RSU na RAA	105
3.3.2. Destino Final dos RSU na RAA	115
3.3.3. Características dos RSU na RAA.....	119
3.3.4. Potencial da Gaseificação de RSU na RAA	121
3.4. Discussão.....	126
Referências.....	136



Índice de Figuras

Figura 1.1. Sistema Integrado de RSU (Fonte: Levy e Cabeças 2006).....	25
Figura 1.2. Valorização de Resíduos.....	31
Figura 1.3. Hierarquia dos procedimentos de GRS (Fonte: Srinivas (n.d.)).....	33
Figura 1.4. Política dos 4R's e GICV (Fonte: Srinivas (n.d.)).....	34
Figura 1.5. Produção de RSU e PIB a preços de 2000 (Fonte: APA 2009).....	43
Figura 1.6. Produção de RSU e capitação diária de RSU em Portugal Continental (Fonte: APA 2010, APA 2009, APA 2008b).....	44
Figura 1.7. Capitação diária de RSU em Portugal Continental e na UE (Fonte: Eurostat 2009).....	45
Figura 1.8. Capitação anual de resíduos urbanos na UE-27, em 2007 (Fonte: Eurostat 2009).....	46
Figura 1.9. Destino dos RSU em Portugal Continental (Fonte: APA 2010, APA 2009, APA 2008b).....	47
Figura 1.10. Destino Final dos RSU em percentagem na UE, no ano de 2007 (Fonte EUROSTAT 2008).	48
Figura 1.11. Destino dos RUB em Portugal Continental, em 2008 (Fonte: APA 2009).....	49
Figura 1.12. Composição física média dos RSU. A - APA em 2007, B – AMAGRA, em 2004 e C – VALORSUL, em 2004. (Fonte: APA 2008a, Carvalho 2005, AMBILITAL 2004).....	49
Figura 2.1. Capacidade de gaseificação mundial (Fonte: Higman & van der Burgt 2008).....	51
Figura 2.2. Capacidade mundial de gaseificação de acordo com a sua aplicação (Fonte: Higman & van der Burgt 2008).....	52
Figura 2.3. Quatro grandes centrais de demonstração desenvolvidas durante a década de 90.....	53
Figura 2.4. Central de Gaseificação de Beulah, North Dakota.....	54
Figura 2.5. <i>Shell Middle Distillate Synthesis</i> (SMDS) em Bintulu, Malásia.....	55
Figura 2.6. Processos de Tratamento Térmico, Produtos e Sistemas de Recuperação (Fonte: Bridgwater 1994a).....	56
Figura 2.7. Processos de Gaseificação e Pirólise (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	58
Figura 2.8. Processo de gaseificação directa e indirecta (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	58
Figura 2.9. Sistema de gaseificação (Fonte: Tennant 2010).....	61
Figura 2.10. Gaseificador de leito fixo e temperaturas atingidas no interior do mesmo (Fonte: NETL 2010).....	64
Figura 2.11. Gaseificador de leito fluído e temperaturas atingidas no interior do mesmo (Fonte: NETL 2010).....	66
Figura 2.12. Gaseificador Leito Fluído Borbulhante (LFB) (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003)....	67
Figura 2.13. Gaseificador Leito Fluído Circundante (LFC) (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003)....	68



Figura 2.14. Gaseificador de Fluxo Arrastado e temperaturas atingidas no interior do mesmo (Fonte: NETL 2010).....	69
Figura 2.15. Sistema de Gaseificação – Sistema de Pré Tratamento do Gás de Síntese (Fonte: Tennant 2010).....	72
Figura 2.16. Principiais sistemas de limpeza de GDS. (Fonte: Bridgwater 1994b).....	74
Figura 2.17. Uma possível configuração do sistema <i>co-firing</i> com duas diferentes caldeiras (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	77
Figura 2.18. Uma possível configuração do sistema <i>co-firing</i> com apenas uma caldeira (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	78
Figura 2.19. Processo de Gaseificação utilizando o processo F-T (Fonte: Kikuchi & Gerardo 2008).....	79
Figura 2.20. Esquema do processo <i>Gasification/steam cycle, stand-alone configuration</i> (Fonte: De Feo <i>et al.</i> 2000).....	81
Figura 2.21. Esquema do processo <i>Gasification/steam cycle, co-firing configuration</i> (Nieminen <i>et al.</i> 1999).....	82
Figura 2.22. Central de gaseificação TPS/ARBRE em Eggborough (Reino Unido) (Van Ree <i>et al.</i> 1997).....	83
Figura 2.23. Central de gaseificação TEF em Cascina (Italy) (De Lange & Barducci 2000)..	84
Figura 2.24. Sistema de Gaseificação de RSU (Fonte: IRSW 2009).....	86
Figura 2.25. Resíduos adequados para o processo de gaseificação (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	87
Figura 2.26. RSU, após pré-tratamento - <i>Refuse Derived Fuel</i> (RDF).....	87
Figura 2.27. Processo generalizado de produção de CDR (Fonte: Gendebien <i>et al.</i> 2003)...	88
Figura 2.28. Representação esquemática do Processo de Centrais de Tratamento Mecânico Biológico (Fonte: Gendebien <i>et al.</i> 2003).....	89
Figura 2.29. Tratamento térmico de resíduos num Sistema integrado de GR (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	90
Figura 2.30. Esquema síntese do sistema de GPP (Fonte: ETEC 2010).....	91
Figura 2.31. Gaseificador de plasma WPC (Fonte: NETL 2010).....	92
Figura 2.32. Processos de GPP da WPC (Fonte: WPC 2010).....	93
Figura 2.33. Processo de GPP do <i>PLASCO Energy Group Inc.</i> (Fonte: PEG 2010).....	94
Figura 2.34. Processo de GPP da <i>PEAT Internacional</i> (Fonte: PEAT 2008).....	94
Figura 2.35. Processo de GPP da APP (Fonte: APP 2010).....	95
Figura 2.36. Processos de produção eléctrica e emissões de CO ₂ por MWh (Fonte Circeo 2010).....	97
Figura 3.1. A - Arquipélago dos Açores. B - População residente, em 2009 (nº de Habitantes) (Fonte: SREA 2010). C – População empregada por sector de actividade (Percentagem), em 2009 (Fonte: SREA 2010). D - Produção de RSU (toneladas), em 2009 (Fonte: SRAM 2010).....	99



Figura 3.2. Produção anual declarada de RSU e Produção per capita, de 1999 a 2005, na RAA (Fonte: SRAM 2006).....	106
Figura 3.3. Produção anual declarada <i>per capita</i> de RSU, de 1999 a 2005, por ilha (Fonte: SRAM 2006).....	107
Figura 3.4. Produção de RSU na RAA (Fonte: SRAM 2010) e Estimativa da Produção de RSU na RAA (Fonte: SRAM 2007), ambas para o ano de 2009.....	108
Figura 3.5. A - Produção de RSU (Fonte: SRAM 2010), População residente (Fonte: SREA 2010), Estimativa da Produção de RSU e Estimativa da População residente (Fonte: SRAM 2007), ambas para o ano de 2009, por ilha. B - Distribuição da produção de RSU, por ilha, em 2009 (Fonte: SRAM 2010).....	109
Figura 3.6. Produção diária de RSU (Fonte: SRAM 2010) e Estimativa da Produção diária de RSU (Fonte: SRAM 2007), por ilha, ambas para o ano 2009.....	110
Figura 3.7. Capitação de RSU: Portugal Continental, em 2009 (Fonte: APA 2010); RAA, em 2009 (Fonte: SRAM 2010); Arquipélago das Canárias, em 1998 (Fonte: CPTMA 2001); RAM, em 2007 (Fonte: VA 2008); Arquipélago de Cabo Verde, em 2002 (Fonte: MAAP 2003).....	110
Figura 3.8. Capitação de RSU na RAA, em 2009 (Fonte: SRAM 2010).....	111
Figura 3.9. Estimativa da capitação de RSU na RAA, por ilha, em 2009 (Fonte: SRAM 2007).....	112
Figura 3.10. Capitação anual <i>per capita</i> de RSU na UE-27, em 2007 (Fonte: Eurostat 2009) e Capitação de RSU na RAA, em 2009 (Fonte: SRAM 2010).....	112
Figura 3.11. Estimativa da Produção de RSU na RAA, para o período 2010-2013 (Fonte: SRAM 2007).....	113
Figura 3.12. Estimativa da Produção de RSU, por ilha, para o período 2010-2013 (Fonte: SRAM 2007).....	113
Figura 3.13. Estimativa da capitação de RSU na RAA para o período 2010-2013 (Fonte: SRAM 2007).....	114
Figura 3.14. Estimativa da capitação de RSU, por ilha, para o período 2010-2011 (Fonte: SRAM 2007).....	114
Figura 3.15. Estimativa da capitação de RSU, por ilha, para o período 2012-2013 (Fonte: SRAM 2007).....	115
Figura 3.16. A - Destino Final dos RSU em toneladas, para o ano 2009. B - Destino Final dos RSU em Percentagem, para o ano 2009 (Fonte SRAM 2010).....	117
Figura 3.17. Destino Final dos RSU em percentagem: Portugal Continental, em 2009 (Fonte: APA 2010); RAA, em 2009 (Fonte: SRAM 2010); Arquipélago das Canárias, em 1998 (Fonte: CPTMA 2001); RAM, em 2007 (Fonte: VA 2008); Arquipélago de Cabo Verde, em 2002 (Fonte: MAAP, 2003).....	118
Figura 3.18. Destino Final dos RSU em percentagem na UE, no ano de 2007 (Fonte: Eurostat 2008) e Destino Final dos RSU em percentagem na RAA, no ano de 2009 (Fonte SRAM 2010).....	118



Figura 3.19. Caracterização Física dos RSU de Recolha Indiferenciada, na RAA, em 2009 (Fonte: SRAM, 2010).....	119
Figura 3.20. Consumo de energia eléctrica e Consumo por habitante, por ilha, no ano de 2009 (Fonte: EDA 2010, SREA 2010).....	121
Figura 3.21. Cenário I: Consumo de energia eléctrica, em 2009 (Fonte: EDA 2009), Energia Líquida (NEF), Energia Eléctrica Líquida (NEPGE) e a Percentagem de fornecimento à EDA da NEF e NEPGE.....	122
Figura 3.22. Cenário II: Consumo de energia eléctrica, em 2009 (Fonte: EDA 2009), Energia Líquida (NEF), Energia Eléctrica Líquida (NEPGE) e a Percentagem de fornecimento à EDA da NEF e NEPGE.....	123
Figura 3.23. Cenário III: Consumo de energia eléctrica, em 2009 (Fonte: EDA 2009), Energia Líquida (NEF), Energia Eléctrica Líquida (NEPGE) e a Percentagem de fornecimento à EDA da NEF e NEPGE.....	125
Figura 3.24. Aumento da eficiência da GPP e respectiva energia líquida produzida, para os três cenários em estudo.....	125



Índice de Tabelas

Tabela 1.1. Componentes de um Sistema de GRS (Fonte: Kreith & Tchobanoglous 2002).....	28
Tabela 1.2. Fontes, Locais de Produção e Tipos de Resíduos (Fonte: Kreith & Tchobanoglous 2002).....	29
Tabela 2.1. Poder calorífico dos processos de gaseificação (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003)...	59
Tabela 2.2. Características das diferentes categorias de gaseificadores (Fonte: NETL 2010, Higman & van der Burgt 2008).....	62
Tabela 2.3. Exemplos de Centrais de gaseificadores Fixed Bed ou Moving Bed (Fonte: NETL 2007).....	65
Tabela 2.4. Exemplos de Centrais de gaseificadores Leito Fluído (Fluid-bed) (Fonte: NETL 2007).....	68
Tabela 2.5. Exemplos de Centrais de gaseificadores <i>Leito arrastado (Entrained-flow)</i> (Fonte: NETL 2007).....	70
Tabela 2.6. Contaminantes presentes no GDS e seus problemas (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	72
Tabela 2.7. Propriedades do GDS necessárias aos diferentes SRE (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	73
Tabela 2.8. Contaminantes presentes no GDS, os problemas que estes causam e o sistema de Pré-tratamento (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	73
Tabela 2.9. Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de remoção de alcatrão (Fonte: Belgiorno <i>et al.</i> 2003).....	75
Tabela 2.10. Principais diferenças entre a GPP e a Incineração (Fonte: Dovetail Partners 2010, ACEDF 2008).....	96
Tabela 2.11. Exemplos de Centrais de GPP (Fonte: Circeo 2010).....	97
Tabela 3.1. Composição química dos RSU em percentagem (Fonte: Tchobanoglous <i>et al.</i> 1993).....	120
Tabela 3.2. Conteúdo em energético dos RSU na RAA. (Fonte: SRAM 2010, Tchobanoglous <i>et al.</i> 1993).....	120
Tabela 3.3. Cenário Actual – GPP de 87% dos RSU que têm como destino final a deposição em aterro.....	122
Tabela 3.4. Cenário em 2013, caso a RAA seguisse o exemplo da UE-27.....	123
Tabela 3.5. Cenário em 2013, caso a RAA seguisse o exemplo da GR da Alemanha.....	124



Acrónimos

- AEP - American Electric Power
- AMISM - Associação de Municípios de São Miguel
- ANR - Autoridade Nacional dos Resíduos
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente
- APP - Advanced Power Plasma
- ARR – Autoridade Regional dos Resíduos
- CTL - Coal-to-Liquids
- EDA – Electricidade dos Açores
- ENRRUBDA - Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Biodegradáveis
- ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais
- F-T - Fischer-Tropsch
- FEED - Front End Engineering Design
- GDS - Gás de Síntese
- GEE - Gases de Efeito de Estuda
- GICV - Gestão Integrada de Ciclo de Vida
- GPP - Gaseificação por Plasma
- GR - Gestão de Resíduos
- GRS - Gestão de Resíduos Sólidos
- GRSU – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
- GTL - Gas-to-Liquids
- IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle
- LER - Lista Europeia de Resíduos
- LHV - Lower Heating Value
- NEF- Net Energy Efficiency
- NEPGE - Net Electrical Power Generation Efficiency
- PEGR - Planos Específicos de Gestão de Resíduos
- PEGRA - Plano Estratégico de Gestão de Resíduos dos Açores
- PERAGRI - Plano Estratégico dos Resíduos Agrícolas
- PERH - Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares
- PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos



PESGRI - Plano Estratégico dos Resíduos Industriais
PIMA - Planos Intermunicipais de Acção
PIRSUE - Plano de Intervenção para os Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados
PMA - Planos Municipais de Acção
PMMA - Planos Multimunicipais de Acção
PNAPRI – Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais
PNGR - Plano Nacional de Gestão de Resíduos
POP - Poluentes Orgânicos Persistentes
PPRU - Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos
QREN - Quadro de Referência Estratégico Nacional
RAA - Região Autónoma dos Açores
RAM – Região Autónoma da Madeira
RC&D - Resíduo de Construção e Demolição
REEE - Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos
REFGR - Regime Económico e Financeiro de Gestão de Resíduos
RGGR - Regime Geral da Gestão de Resíduos
RH - Resíduo Hospitalar
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
RUB - Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SGIR - Sistema de Gestão de Informação sobre Resíduos
SIR – Sistema Integrado de Resíduos
SIRAPA - Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente
SIRER - Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos
SMDS - Shell Middle Distillate Synthesis
SRAM – Secretaria Regional do Ambiente e do Mar
SRE – Sistemas de Recuperação de Energia
SREA - Serviço Regional de Estatística dos Açores
SRIR - Sistema Regional de Informação sobre Resíduos
Syngas - Synthesis gás
TMB - Tratamento Mecânico e Biológico
UE – União Europeia
WPC - Westinghouse Plasma Corporation



Tabela de Conversões

Temperatura			
° C (Graus Celsius)	° F (Graus Fahrenheit)	° K (Graus Kelvin)	° R (Graus Réaumur)
1	33,799	274,150	0,800
- 17,222	1	255,927	- 13,777
- 272,150	- 457,870	1	- 217,720
1,250	34,249	274,400	1

Potência				
W (Watt)	Kcal/h (Quilocalorias/hora)	Btu/h (British Thermal Unit/hora)	MW (Megawatt)	GW (Gigawatt)
1	0,860	3,412	1×10^{-6}	$x 10^{-9}$
1,162	1	3,966	$1,162 \times 10^{-6}$	$1,162 \times 10^{-9}$
0,293	0,252	1	$2,93 \times 10^{-7}$	$2,93 \times 10^{-10}$
1×10^6	$0,860 \times 10^6$	$3,412 \times 10^6$	1	1×10^{-3}
1×10^9	$0,860 \times 10^9$	$3,412 \times 10^9$	1×10^3	1

Volume		
m ³ (Metro Cúbico)	l ou dm ³ (litro ou decímetro cúbico)	bbil (Barril de Petróleo)
1	1000	6,290
1×10^{-3}	1	$6,290 \times 10^{-3}$
0,159	158,987	1

Energia ou Trabalho				
J (Joule)	kWh (Quilowatt-hora)	Btu (British Thermal Unit)	1 MBtu (1 MegaBtu)	cal (Calorias)
1	$2,778 \times 10^{-7}$	$9,485 \times 10^{-4}$	$9,485 \times 10^{-10}$	0,239
$3,6 \times 10^6$	1	3414,426	$3,414 \times 10^{-3}$	$8,598 \times 10^5$
1054,350	$2,929 \times 10^{-4}$	1	1×10^{-6}	251,827
$1,054 \times 10^9$	292,875	1×10^6	1	$2,518 \times 10^8$
4,184	$1,162 \times 10^{-6}$	$3,968 \times 10^{-3}$	$3,968 \times 10^{-9}$	1

Peso ou Massa		
Kg (Quilograma)	lb (Libra)	oz (Onça)
1	2,205	35,274
0,454	1	16,000
0,028	0,063	1



Introdução Geral

Considerações Gerais

O homem nas suas actividades diárias produz um conjunto diversificado de resíduos, para os quais nem sempre existiram soluções de destino final adequadas. Com o aumento dos aglomerados populacionais, crescente industrialização e produção individual de resíduos sólidos, o problema do destino final dos mesmos foi-se agravando nos países mais desenvolvidos ou em desenvolvimento.

Por outro lado, a pressão do homem sobre o ambiente e os níveis de degradação que este tem atingido, devido ao crescimento industrial e populacional, com a utilização mais exaustiva de recursos naturais, cada vez maior e mais intensiva utilização do solo, bem como um crescente aumento do nível de vida das populações, tem levado a que as mesmas comecem a ter maiores exigências no que respeita ao ambiente, tendo-se tornado um direito fundamental dos cidadãos consignado na Lei Básica dos Países desenvolvidos como é exemplo o constante na Constituição da República Portuguesa no Artº 9º, em que o Estado *...deve promover o bem estar e a qualidade de vida do povo... dos seus direitos económicos, sociais, culturais e ambientais...; ...proteger e valorizar o ambiente e recursos naturais...* ou no seu Artº 66º onde se refere que *...todos os cidadãos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado...* reafirmado no Princípio Geral (Artº 2º) da Lei de Bases do Ambiente.

De entre os diferentes resíduos produzidos os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), pelo seu volume e características apresentam-se como um dos principais problemas com que as sociedades desenvolvidas se vêem confrontadas.

A solução de destino final mais utilizada no passado passava pela deposição no solo, quase sempre sem controlo ambiental ou em condições mais ou menos controladas e em locais que nem sempre eram os mais indicados para o efeito, pelo impacte ambiental que



provocavam, na contaminação dos solos e recursos hídricos, na proliferação de odores e ainda pelo facto de serem potenciais focos de infecções e doenças.

Com a pressão legislativa, social e ambiental dos últimos anos, essa deposição passou a ser efectuada em condições mais adequadas designadamente em aterros sanitários escolhidos com rigor, estudando o seu impacte ambiental e com exploração controlada. Porém, face a um volume cada vez maior de resíduos, esta solução exige cada vez maiores áreas disponíveis (o que é incompatível com a crescente ocupação do solo) e acarreta custos substanciais, para além do facto de cada novo local de instalação contar normalmente com o descontentamento das populações, face à memória que tinham dos locais destinados a esse fim.

Perante esta situação e à maior racionalização do desenvolvimento, as soluções apontadas como preferenciais para a problemática dos resíduos são a prevenção (evitar ou reduzir os resíduos), a valorização (reciclagem, valorização energética e outras) e só por fim a deposição em aterro sanitário.

No caso dos RSU e face às suas características, a reciclagem assume um papel importante na redução dos volumes a colocar em aterro sanitário, na protecção do ambiente e na poupança energética. Nesta perspectiva é hoje comum ouvir-se falar da reciclagem do vidro, papel, cartão e metais, entre outros.

O aumento do consumo de materiais pela actividade humana reflecte-se numa maior produção de resíduos em Portugal. Segundo a APA (2010), em Portugal Continental, no ano de 2009, cada cidadão produziu diariamente 1,4 kg de RSU, o que perfaz um total de 5.184.592 toneladas de RSU, valor superior à meta estabelecida pelo PERSU II para o mesmo ano. Do total de RSU produzidos, 61,7% tiveram como destino final a deposição em aterro (APA, 2010). Na RAA, no ano de 2009, cada cidadão produziu diariamente 1.6 kg de RSU o que perfaz um total de 141.730 toneladas de RSU, valor inferior ao previsto



no PEGRA para o mesmo ano. Do total de RSU produzidos na RAA, 87% tem como destino final a deposição em aterro sanitário (SRAM 2010).

Portugal é um país com escassos recursos energéticos (Meyer *et al.* 2002), nomeadamente, recursos que asseguram a generalidade das necessidades energéticas, como os combustíveis fósseis – petróleo, carvão e gás natural.

O sector dos transportes é o maior consumidor de energia final que atingiu cerca de 80% da média da União Europeia (UE) em 1998, contra 45% de 1985 (Meyer *et al.* 2002). Muitos fabricantes automóveis (*DaimlerChrysler, Ford, Mazda, Nissan, Mercedes, etc.*) consideram que o conceito “zero emissões”, no ramo automóvel, pode ser alcançado através de tecnologia da célula combustível (Kikuchi 2001). Esta célula combina o hidrogénio com o oxigénio, produzindo directamente electricidade (isto é, uma espécie de electrólise inversa). Embora o facto notável desta tecnologia seja não emitir qualquer poluente para a atmosfera durante a sua utilização, torna-se necessário uma fonte de hidrogénio (Hoffmann 2001). Estima-se que o consumo de hidrogénio triplicará em 2015 na UE (Kazim 2003).

Neste sentido, é importante que a produção de combustíveis a partir de RSU possa contribuir não só para a carência actual de energia, mas também colmatar as carências futuras.

Segundo a APA (2010), em 2009, 18,5% dos RSU foram incinerados. Este processo térmico permite a recuperação do calor produzido por combustão, mas será difícil distribuir o calor recuperado pelas fábricas, automóveis, domicílios, entre outros, como fonte de energia primária. Por enquanto, o calor recuperado é normalmente consumido na proximidade da instalação de incineração (Kikuchi & Gerardo 2008). Face ao exposto a tecnologia de gaseificação tornar-se uma alternativa viável à valorização de RSU, uma vez que, produz-se um Gás de Síntese que pode apresentar diversas aplicações.



Segundo Higman & van der Burgt (2008) a gaseificação é um processo de conversão termoquímica de materiais sólidos ou líquidos (*feedstock*), à base de carbono, num combustível gasoso (Gás de Síntese). Neste processo podem ser utilizados diferentes tipos de agentes de gaseificação, entre eles o ar, oxigénio e vapor de água (Belgiorno *et al.* 2003).

Normalmente, um sistema de gaseificação é constituída por três elementos fundamentais: (1) Gaseificador (*Gasifier*), (2) Sistema de limpeza do gás (*Gas Stream Cleanup*), e (3) Sistema de Recuperação Energética. O sistema é completado com um subsistema adequado ao controle de impactes ambientais (poluição atmosférica, produção de resíduos sólidos, águas residuais) (Belgiorno *et al.* 2003).

Objectivos da Dissertação

A presente dissertação tem como principais objectivos:

- Realizar uma análise minuciosa do panorama dos RSU em Portugal Continental e na RAA;
- Revisão bibliográfica do processo de gaseificação;
- Revisão bibliográfica do processo de gaseificação de RSU;
- Avaliar o Potencial da Gaseificação de RSU na RAA.

Organização da Dissertação

Capítulo 1 – Gestão de Resíduos – Este capítulo é dividido em 6 subcapítulos. No primeiro subcapítulo apresentam-se os conceitos gerais da Gestão de Resíduos. No segundo subcapítulo enumera-se as políticas de gestão de RSU. No terceiro subcapítulo descreve-se os princípios gerais da Gestão de Resíduos. No quarto subcapítulo estabelece-se as orientações para a elaboração de planos de gestão de RSU. No quinto



subcapítulo descreve-se as políticas de Gestão de RSU em Portugal. No sexto subcapítulo é realizada uma análise minuciosa da problemática dos RSU em Portugal.

Capítulo 2 – Gaseificação – Este capítulo é dividido em 9 subcapítulos. No primeiro subcapítulo analisa-se o estado actual da gaseificação. No segundo subcapítulo é definido o conceito de gaseificação. No terceiro subcapítulos são enumerados os diferentes tipos de gaseificadores. No quarto subcapítulo são descritos os diferentes sistemas de limpeza do Gás de Síntese. Nos subcapítulos cinco e seis, são analisados os sistemas de recuperação energética e os sistemas de recuperação de produtos. No sétimo subcapítulo são descritos alguns ciclos de processo de gaseificação. No oitavo subcapítulo são analisados os impactes ambientais da gaseificação e por ultimo, no nono subcapítulo é descrito o processo de gaseificação de RSU.

Capítulo 3 – Potencial da Gaseificação de RSU na RAA - Este capítulo é dividido em 4 subcapítulos. No primeiro subcapítulo elabora-se uma pequena introdução: apresenta-se sucintamente o Arquipélago dos Açores, enumeram-se as políticas de Gestão de Resíduos na RAA e estabelecem-se os objectivos referentes a este capítulo. O segundo subcapítulo é dedicado à Metodologia, elenca-se as principais fontes de informação e estabelecem-se vários cenários para analisar o potencial da gaseificação de RSU na RAA. No terceiro subcapítulo apresentam-se os resultados da produção de RSU na RAA, destino final dos RSU na RAA, caracterização dos RSU na RAA e Potencial da Gaseificação de RSU na RAA. No quarto subcapítulo procede-se à discussão dos resultados.