UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Rafaela Lora Grando

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

RIO DE JANEIRO

2017

Rafaela Lora Grando

Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos para Obtenção do Grau de Doutor em Ciências (DSc)

Orientadoras: Dra. Adelaide Maria de Souza Antunes
Dra. Fabiana Valéria da Fonseca

Rio de Janeiro
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

GG751m

Grando, Rafaela Lora
Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás / Rafaela Lora Grando. -- Rio de Janeiro, 2017.
227 f.

Orientadora: Adelaide Maria de Souza Antunes.
Coorientadora: Fabiana Valéria da Fonseca.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, 2017.

1. Biogás. 2. Cadeia Produtiva. 3. Prospecção tecnológica. I. Antunes, Adelaide Maria de Souza, orient. II. Fonseca, Fabiana Valéria da, coorient. III. Título.

SUBSTITUIR

Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de doutor em ciências

Aprovada em 17 de outubro de 2017, por:

_____

Adelaide Maria de Souza Antunes (EQ/UFRJ)
Orientadora (Presidente da Banca)

_____

Fabiana Valéria da Fonseca (EQ/UFRJ)
Orientadora

_____

Elvira Carvajal (IBRAG/UERJ)

_____

Rodrigo Borges Pio (EQ/UFRJ)

_____

Eliana Flávia (EQ/UFRJ)

_____

Nei Pereira Jr. (EQ/UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado todos os instrumentos necessários para realização deste trabalho.

Agradeço às minhas orientadoras, professora Adelaide e professora Fabiana pela confiança, apoio, dedicação, conhecimento e, principalmente, pelo tempo dedicado a este estudo.

A Clarisse, a melhor mãe do mundo, por mesmo longe estar sempre perto, obrigada pelas palavras e orações. Te amo!

Muito obrigada amada irmã Ângela pelo apoio, carinho e paciência. Você é luz, amo você!

Obrigada Teo, meu querido cunhado, que me ajudou nos momentos mais difíceis mostrando que família também são as pessoas que a gente escolhe.

À professora Iolanda Fierro por ter sido fonte de inspiração e meu exemplo de profissional. Obrigada por me apoiar, entender e ajudar ao longo desta caminhada.

Muito obrigada a toda equipe do *Research Group on Composting* (GICOM) da Universidade Autônoma de Barcelona. Especialmente ao Dr. Antoni Sánchez, Dr. Xavier Font e Dra. Raquel Barrena, os quais me acolheram em seu laboratório. Obrigado por permitirem que eu aprimorasse meus conhecimentos sobre biogás durante os seis meses do doutorado sanduíche que realizei nesta instituição.

Ao CNPq e ao programa Ciências sem Fronteiras pelo suporte financeiro durante o intercâmbio.

Agradeço a Mariana e ao Rafael, os irmãos que a vida me deu, que me ouviram, entenderam e, principalmente, me aguentaram nesta fase.

Ao Bernardo, por ser um amigo tão maravilhoso e sempre presente. Obrigada querido!

A Flávia e Priscila, por todo carinho e apoio! Obrigada meninas!

A minha dinda Fátima Rejane, por todo carinho mesmo à distância.

Às professoras do Comitê para o Desenvolvimento Estratégico do Centro Biomédico, da UERJ, por toda compreensão e paciência. Muito obrigada!

À equipe do ProInter Biotecnologia, muito obrigada pela confiança e carinho.

“Nos momentos de crise, não te abatas. Escuta.
Por nada te revoltes, nem te amedrontes. Ora.
Suporta a provação, não reclames. Aceita.
Não grites com ninguém, nem firas. Abençoa.
Lance de sofrimento, é o ensejo da fé. Silencia.
Deus sabe o instante de intervir!”

(Chico Xavier)

GRANDO, Rafaela Lora. **Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás.** Rio de Janeiro, 2017. Tese de doutorado (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

É imprescindível na sociedade atual a minimização das emissões causadoras do efeito estufa, a redução do uso de combustíveis fósseis e a utilização de maneira sustentável dos recursos naturais. O processo de digestão anaeróbia (DA) tem a capacidade de atender estas demandas de forma eficiente através da geração de biogás, um gás versátil em termos de matérias-primas para sua produção e diversas aplicações. Este estudo avaliou, por meio de prospecção tecnológica, na literatura científica, em estudos técnicos, mercadológicos e, especialmente, em depósitos de patentes, a cadeia produtiva do biogás elo a elo. Com o auxílio de ferramentas de *data mining*, foi possível estruturar e analisar o biogás sob a perspectiva de seus elos: matérias-primas para produção; pré-tratamento; processo produtivo; purificação e aplicações. Verificou-se que a tecnologia de DA é consolidada e conhecida no mundo, sendo os principais países depositantes de patentes a China, a Alemanha, o Japão e os Estados Unidos. Observou-se ainda que há diferenças consideráveis na escolha das matérias-primas e na aplicação do biogás, dependendo do avanço das técnicas logísticas e do nível tecnológico do método de purificação empregado, respectivamente. Foi comprovada uma forte correlação entre todos os elos da cadeia, demonstrando que as etapas são sequenciais e não ocorrem de forma isolada. Os subsídios para investimentos em DA nos últimos anos são diversos, o que fomenta a sua geração e abre um espaço importante para crescimento. Os resíduos mais utilizados para produção do biogás são água e esgoto, resíduos agrícolas e celulósicos e resíduos animais. Esta produção pode ocorrer em biodigestores de grande ou pequena escala, uma flexibilidade que permite sua geração em qualquer lugar do mundo. Com este estudo inferiu-se que a prospecção tecnológica permite traçar metas e identificar oportunidades futuras no que concerne ao uso do biogás como fonte energética. Ademais, verificou-se que o Brasil, embora ainda não seja um protagonista no desenvolvimento e no uso da DA, apresenta todos os recursos necessários para se tornar um agente atuante devido a suas dimensões continentais e à abundância de matéria-prima.

Palavras-Chave: Biogás. Cadeia produtiva. Prospecção tecnológica.

GRANDO, Rafaela Lora. **Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do biogás.** Rio de Janeiro, 2017. Tese de doutorado (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Nowadays it is urgently to minimize greenhouse gas emissions, to reduce the use of fossil fuels and to use natural resources in a sustainable way. Anaerobic digestion (AD) has the capacity to meet the demand for efficient products through the generation of biogas, which is a versatile gas in terms of raw materials for its production and several applications. Therefore, this study evaluated through technological prospecting in the scientific literature, technical studies, marketing and especially in patent documents the production chain of the biogas link to link. Using *data mining*, it was possible to structure and analyze the biogas from a perspective of its links: raw materials for production; pre-treatment; production process; purification and applications. It has been found that AD technology is consolidated and known around the world, with China, Germany, Japan and United States being the main patent applicants. It was observed that there are still considerable differences in the choice of raw materials and in the application of biogas depending on the progress of the logistic techniques and the technological level of the purification method used, respectively. A strong correlation between all links in the chain was established, demonstrating that the steps are consecutive and not isolated. There were several supports for investments in AD in the last years that foment its generation and open an important space for growth. The most commonly used wastes for biogas generation are water and sewage, agricultural and cellulosic wastes, animal waste. All these inputs can produce biogas in large or small scale biodigesters, this flexibility allows its generation anywhere in the world. With this study, it was infered that technological prospecting allows us to set goals and identify future opportunities regarding the use of biogas as an energy source. In addition, it was verified that Brazil is not yet an important player in the development of AD, but the country presents all the necessary resources to become an active agent due to its continental dimensions and the abundance of raw material.

Keywords: Biogas. Productive chain. Technological prospecting.

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AD – *Anaerobic Digestion*

ATP - Adenosina Trifosfato

CIBiogás - Centro Internacional do Biogás

CIP - Classificação Internacional de Patentes

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNTP - Condições normais de temperatura e pressão

CSTR - *Continuous Stirred-tank reactor*

DA - Digestão Anaeróbia

EGSB - *Expanded granular sludge bed digestion*

ETE – Estação de Tratamento de Água e Esgoto

MAN – Manual Derwent

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MW - *Megawatt*

NADP - Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato

PGNR - Política Estadual de Gás Natural Renovável

PNRS- Política Nacional de Resíduos Sólidos

PSA - *Pressure Swing Adsorption*

RAFA - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

TSA - *Temperturee Swing Adsorption*

UASB - *Upflow anaerobic sludge blanket reactor*

VSA - *Vacuum Swing Adsorption*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Benefícios advindos do uso do biogás 16
Figura 2 Cadeia de valor do biogás 22
Figura 3 Elos da cadeia produtiva do biogás 22
Figura 4 Etapas da logística 48
Figura 5 Etapas da degradação anaeróbia da matéria orgânica 60
Figura 6 Possibilidades de escolha tecnológica para realização do processo 70
Figura 7 Principais técnicas de purificação utilizadas no mundo 83
Figura 8 Aplicações do biogás de acordo com o teor de metano 84
Figura 9 Etapas sequenciais realizadas durante o estudo 88
Figura 10 Exemplo de um documento de patente 92
Figura 11 Descrições gerais do *Derwent Manual Code* 95
Figura 12 Diagrama do passo a passo da construção da estratégia de busca da Fase 2 96
Figura 13 *Print Screen* da tela da busca realizada no estudo 98
Figura 14 Subclasses da CIP C12M-001referentes a equipamentos 105
Figura 15 Diagrama detalhado das etapas metodológicas 109
Figura 16 Categorização dos documentos de acordo com a frequência CIP no período analisado (2000-set.2016) 112
Figura 17 Países de prioridade dos depósitos 113
Figura 18 Evolução temporal dos depósitos de patentes relacionados a biogás, com prioridade na China 114
Figura 19 País de prioridade x Quantidade de depósitos x Ano de prioridade 116
Figura 20 Mapa de atores europeus desenvolvedores de novas tecnologias para produção de biogás 121
Figura 21 Principais matérias-primas citadas nos pedidos de patentes 125
Figura 22 Evolução temporal dos depósitos dos principais tipos de matéria-prima 128
Figura 23 Evolução temporal dos depósitos dos principais tipos de matéria-prima 128
Figura 24 Fatores de escolha de uma matéria-prima para geração de biogás 130
Figura 25 Países de prioridade que citam esgoto e águas residuais como insumo para produção de biogás 131
Figura 26 Países de prioridade que citam resíduos animais como insumo para produção de biogás 132

Figura 27 Países de prioridade que citam resíduos agrícolas e celulósicos como insumo para produção de biogás 135
Figura 28 Organização das matérias-primas quanto ao nível de desenvolvimento tecnológico . 137
Figura 29 Ano de prioridade dos depósitos relacionados a pré-tratamento para produção de biogás 140
Figura 30 Documentos de patentes relacionados ao Elo Pré-tratamento 141
Figura 31 Grupos de Pré-tratamento Físico 145
Figura 32 Correlação dos depósitos presentes no Elo Processo 154
Figura 33 Evolução temporal dos depósitos relacionados ao Elo Processo: Equipamentos e Processo Geral 155
Figura 34 Pais de Prioridade dos depósitos relacionados ao Elo Processo 156
Figura 35 Principais grupos de documentos relacionados ao Elo Processo 157
Figura 36 Principais reivindicações relacionados aos equipamentos para produção de biogás .. 158
Figura 37 Tipo de depositante relacionado ao grupo de equipamentos para DA 159
Figura 38 Depositantes do Elo Processo 162
Figura 39 Diagrama de interseção entre os tipos de alimentação do processo 165
Figura 40 Diagrama de interseção do Processo quanto ao parâmetro temperatura 166
Figura 41 Principais países de prioridade dos depósitos referentes ao Elo Purificação 169
Figura 42 Depositantes do Elo Purificação 174
Figura 43 Principais contaminantes do biogás 177
Figura 44 Países de prioridade dos depósitos do Elo Aplicação 182
Figura 45 Tipo de depositantes do Elo Aplicação 183
Figura 46 Principais aplicações do biogás 184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Rendimento do biogás e proporção de metano de acordo com substrato..... 23
Quadro 2 Produção diária de dejetos por animal adulto..... 38
Quadro 3 Potencial de produção de biogás de acordo com a matéria-prima utilizada..... 42
Quadro 4 Principais técnicas de pré-tratamentos 52
Quadro 5 Vantagens e desvantagens do uso do processo de DA 59
Quadro 6 Misturas de matérias-primas: Processo de codigestão 63
Quadro 7 Vantagens e desvantagens da codigestão 64
Quadro 8 Relação C: N nas principais matérias-primas usadas para biodigestão anaeróbia 67
Quadro 9 Principais tipos de biodigestores de acordo com a umidade do substrato processado .. 74
Quadro 10 Tolerância de H_2S para as diferentes aplicações do biogás..... 77
Quadro 11 Principais tecnologias usadas para purificação do biogás 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Marcos regulatórios e legislações importantes para o setor 28
Tabela 2 Principais políticas de incentivo no mundo para utilização do biogás 32
Tabela 3 Vantagens e desvantagens dos pré-tratamentos químicos 55
Tabela 4 Palavras-chave para categorização dos depósitos de patentes por elo da cadeia produtiva do biogás 100
Tabela 5 Palavras-chave para organização do Elo Matéria-prima 101
Tabela 6 Organização dos documentos do Elo Pré-tratamento 103
Tabela 7 Organização dos documentos relacionados ao Elo Processo 104
Tabela 8 Palavras-chave relacionadas ao Elo Purificação 106
Tabela 9 Palavras-chave relacionadas ao Elo Aplicação 107
Tabela 10 Comparação entre os principais países com plantas geradoras de biogás 119
Tabela 11 Matérias-primas e objetivos /critérios para escolha 129
Tabela 12 Principais projetos para geração de biogás instalados no mundo de acordo com a matéria-prima utilizada 133
Tabela 13 Exemplos de documentos em cada grande grupo de pré-tratamento identificado 143
Tabela 14 Principais depositantes de pré-tratamento físico 146
Tabela 15 Principais depositantes de pré-tratamentos biológicos 149
Tabela 16 Principais depositantes de equipamentos 160
Tabela 17 Principais depositantes do Elo Processo geral 162
Tabela 18 Exemplos de documentos relacionados ao processo de DA 163
Tabela 19 Exemplos de depósitos recuperados no Elo Purificação 170
Tabela 20 Principais depositantes do Elo Purificação 174
Tabela 21 Principais depositantes do Elo Aplicação 183

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 14
1.1 JUSTIFICATIVAS 15
1.2 CONSIDERAÇÕES 16
1.3 OBJETIVOS 17
1.3.1 Objetivo geral 17
1.3.2 Objetivos específicos 17
1.4 ESTRUTURA DA TESE 18
BIOGÁS 19
2.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DO BIOGÁS 20
2.1.1 Cronologia 20
2.2 CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS 21
2.2.1 Matéria-prima 23
2.2.2 Logística 24
2.2.3 Pré-tratamento 24
2.2.4 Processo 25
2.2.5 Purificação do biogás 25
2.2.6 Usos do biogás 26
2.3 BIOGÁS NO BRASIL 26
2.4 MARCOS REGULATÓRIOS DO BIOGÁS NO BRASIL 28
ELOS MATÉRIA-PRIMA E LOGÍSTICA 34
3.1 ELO MATÉRIA-PRIMA 35
3.1.1 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) 35
3.1.2 Resíduos alimentares 36
3.1.3 Resíduos da produção pecuária 37
3.1.4 Resíduos lignocelulósicos e florestais 41
3.1.5 Resíduos agrícolas 43
3.1.6 Resíduos de processos industriais 43
3.1.7 Lodos de Estação de Tratamento de esgoto (ETE) e Águas Residuárias 46
3.2 ELO LOGÍSTICA 47
ELO PRÉ-TRATAMENTO 50
4.1 ELO PRÉ-TRATAMENTO 51
4.1.1 Pré-tratamento Físico: Mecânico 53
4.1.2 Pré-tratamento Físico: Térmico 54
4.1.3 Pré-tratamento Físico: Radiação 54
4.1.4 Pré-tratamento Químico: Ácido e Alcalino 54
4.1.5 Pré-tratamento Químico: Oxidativo 56
4.1.6 Pré-tratamento Biológico: Enzimático e Microbiológico 56
4.1.7 Pré-tratamentos Combinados 57

ELO PROCESSO 58
5.1 ELO PROCESSO DIGESTÃO ANAERÓBIA: FUNDAMENTOS 59
5.2 CODIGESTÃO E PROCESSOS COMBINADOS 62
5.3 FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA 64
5.3.1 Composição química dos resíduos 65
5.3.2 Temperatura 65
5.3.3 Teor de água - Umidade 66
5.3.4 Tempo de residência da matéria-prima 66
5.3.5 Relação Carbono: Nitrogênio 67
5.3.6 pH 68
5.3.7 Nutrientes 68
5.3.8 Materiais Tóxicos 69
5.4 CLASSIFICAÇÃO DOS BIODIGESTORES QUANTO AO MODO DE OPERAÇÃO 71
5.4.1 Biodigestores Contínuos para produção de biogás 71
5.4.2 Biodigestores Descontínuos ou Batelada para produção de biogás 73
ELOS DE PURIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DO BIOGÁS 75
6.1 ELO PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS 76
6.1.1 Absorção 79
6.1.2 Adsorção 79
6.1.2.1 Pressure Swing Adsorption (PSA) ou Vacuum Swing Adsorption (VSA) 79
6.1.3 Purificação por lavagem 80
6.1.4 Separação por membrana 80
6.1.5 Purificação via processos criogênicos 81
6.1.6 Purificação biológica 81
6.2 ELO APLICAÇÃO DO BIOGÁS 84
METODOLOGIA 87
7.1 ETAPAS PARA A ELABORAÇÃO DO ESTUDO 88
7.2 FASE 1: ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 88
7.2.1 Prospecção na literatura patentária: Definições 89
7.2.1.1 Documentos de patentes como fonte de informação 90
7.2.1.2 Estrutura de um documento de patente 91
7.2.1.3 Organização dos documentos de patentes 93
7.2.2 Artigos como fonte de informação 95
7.3 FASE 2: CATEGORIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS, DE ACORDO COM OS ELOS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS 96
7.3.1 Escolha da base de dados 96
7.3.2 Elaboração da estratégia 97
7.3.3 Escolha do software de tratamento dos dados 98
7.3.4 Validação da estratégia e Limpeza dos documentos 98
7.4 FASE 3: CATEGORIZAÇÃO GERAL DOS DEPÓSITOS E ORGANIZAÇÃO DOS DOCUMENTOS DE ACORDO COM OS ELOS 100

7.4.1 Separação dos documentos do Elo Matéria-prima 101
7.4.2 Separação dos documentos do Elo Pré-tratamento..... 101
7.4.3 Separação dos documentos do Elo Processo 103
7.4.4 Separação dos documentos do Elo Purificação 106
7.4.5 Separação dos documentos do Elo Aplicação 107

7.5 FASE 4: ANÁLISE DE CADA ELO COM BASE NO REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO E NA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA..... 107

RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 110

8.1 PANORAMA DAS PATENTES RELATIVAS À CADEIA DO BIOGÁS 111

8.1.1 Breve descrição do conteúdo tecnológico dos depósitos..... 111
8.1.2 Evolução temporal e país de prioridade 112
8.1.2.1 China..... 114
8.1.2.2 Alemanha..... 117
8.1.2.3 Japão 118
8.1.2.4 Estados Unidos 118
8.1.2.5 Coréia do Sul 119
8.1.2.6 Considerações gerais sobre os países 119
8.1.3 Pontos principais gerais da cadeia..... 122

9.2 PATENTES RELATIVAS AO ELO MATÉRIA-PRIMA 124

9.2.1 Panorama macro do Elo Matéria-prima..... 124
9.2.2 Águas residuais e Esgoto..... 130
9.2.3 Resíduos Animais..... 132
9.2.4 Resíduos agrícolas e celulósicos 134
9.2.5 Codigestão de matérias-primas..... 135
9.2.6 Considerações finais sobre o Elo Matéria-prima..... 136
9.3.7 Pontos principais do Elo Matéria-prima..... 137

9.3 PATENTES RELATIVAS AO ELO PRÉ-TRATMENTO..... 139

9.3.1 Panorama macro do Elo Pré-tratamento..... 139
9.3.2 Pré-tratamento Físico..... 145
9.3.2.1 Pré-tratamento Físico: Mecânico..... 146
9.3.2.2 Pré-tratamento Físico: Térmico..... 147
9.3.2.3 Pré-tratamento Físico: Radiação..... 148
9.3.3 Pré-tratamento Biológico..... 149
9.3.4 Pré-tratamento Químico 151
9.3.5 Outras técnicas de pré-tratamentos..... 152
9.3.6 Considerações finais sobre o Elo Pré-tratamento..... 152
9.3.7 Pontos principais do Elo Pré-tratamento 153

9.4 PATENTES RELATIVAS AO ELO PROCESSO 154

9.4.1 Panorama macro do Elo Processo 154
9.4.2 Equipamento..... 157
9.4.2.1 Considerações gerais sobre os equipamentos..... 157
9.4.2.2 Depositantes 159
9.4.3 Processo de Digestão Anaeróbia 161
9.4.3.1 Depositantes do Elo Processo propriamente dito 161

9.4.3.2 Processos gerais 163
9.4.3.3 Parâmetros operacionais do Processo 164
9.4.4 Pontos principais do Elo Processo 167

9.5 PATENTES RELATIVAS AO ELO PURIFICAÇÃO 168

9.5.1 Panorama macro do Elo Purificação 168
9.5.2 Depositantes do Elo Purificação 173
9.5.3 Organização dos depósitos de acordo com o contaminante a ser removido 176
9.5.3.1 Gás carbônico (CO_2) 178
9.5.3.2 Enxofre 178
9.5.4 Pontos principais do Elo Purificação 178

9.6 PATENTES RELATIVAS AO ELO APLICAÇÃO DO BIOGÁS: USOS 180

9.6.1 Panorama macro do Elo Aplicação 180
9.6.2 Depositantes do Elo Aplicação 182
9.6.3 Organização dos depósitos 184
9.6.3.1 Eletricidade 184
9.6.3.2 Armazenamento 185
9.6.3.3 Combustível 185
9.6.4 Pontos principais do Elo Aplicação 186

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 188

REFERÊNCIAS 192

APÊNDICE A 217

APÊNDICE B 218

APÊNDICE C 219

APÊNDICE D 220

APÊNDICE E 221

APÊNDICE F 222

APÊNDICE G 223

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, que combinam o uso de resíduos ou subprodutos com a geração de energia, ganhou espaço, especialmente, após as crises do petróleo na década de 1970. Seu uso se difundiu também em função do movimento de sustentabilidade que levantou questões como a geração de resíduos, a poluição ambiental decorrente de ações antrópicas e a emissão de gases causadores do efeito estufa (JÚNIOR, 2017).

Dentro do vasto leque de tecnologias sustentáveis, as verdes[1], como a digestão anaeróbia (DA) despontam como uma alternativa favorável para geração de energia em função do potencial de unir soluções para todas estas questões: minimização das emissões de gases do efeito estufa, gerenciamento e tratamento de resíduos e produção de energia. Neste processo, a matéria orgânica é convertida em biogás – mistura composta de metano, dióxido de carbono e outros gases em menor porporção – através de micro-organismos que em anaerobiose atuam como catalisadores biológicos.

O biogás tem sido alvo de estudos não somente por ser um gás facilmente produzido pela digestão anaeróbia da matéria orgânica, mas também devido a sua versatilidade em termo de aplicações e seu relativo baixo custo de produção. É inquestionável o papel que o biogás está desempenhando no mercado de energias renováveis. A meta para produção e geração de energias renováveis da União Europeia, em 2020, conta com pelo menos 25% do seu total proveniente do biogás (HOLM-NIELSEN; SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009). Além disso, é importante observar que a capacidade de geração mundial de energia a partir de instalações de biogás comerciais vai mais que dobrar na próxima década, de 14,5 giga watts (GW) em 2012 para 29,5 GW em 2022 (PIKE, 2012).

[1] Tecnologias verdes englobam todas as técnicas de geração de produtos que causem menor impacto ambiental. Estas estão em constante evolução e são aprimoradas para atender às demandas de sustentabilidade.

Para ampliar conhecimentos sobre a aplicação de determinada tecnologia é usual a utilização de ferramentas de prospecção tecnológica, uma vez que estas fornecem uma visão global da tecnologia, permitindo a identificação de soluções e oportunidades de novos desenvolvimentos científicos e tecnológicos. Uma destas ferramentas é a análise bibliométrica de artigos científicos e documentos de patentes, que permite, entre outras avaliações, um panorama e / ou um mapeamento da cadeia de um produto ou determinada tecnologia. A identificação dos principais atores envolvidos e dos países que detêm determinados conhecimentos também é possível.

É importante para o desenvolvimento de uma tecnologia a percepção dos elos formadores de sua cadeia, no sentido de saber que direcionamento esta tecnologia está tomando, o que está sendo estudado e quais tendências podem ser observadas. A análise de depósitos de patentes permite identificar quem está desenvolvendo determinada tecnologia e se tornando líder no setor, que nação possui *know how* e se uma tecnologia está em expansão, por exemplo. Portanto, utilizando prospecção em documentos de patentes, esta tese avalia a cadeia produtiva do biogás. O diferencial deste estudo é a aplicação da prospecção tecnológica elo a elo da cadeia, a fim de criar uma visão abrangente sobre a tecnologia.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Como apresentado, o uso da tecnologia de digestão anaeróbia (DA) permite a interface e solução de três questões bastante atuais que impactam significativamente o meio ambiente (geração de resíduos, emissões de gases causadores do efeito estufa e produção de energia). Esta relação é esquematizada na Figura 1.

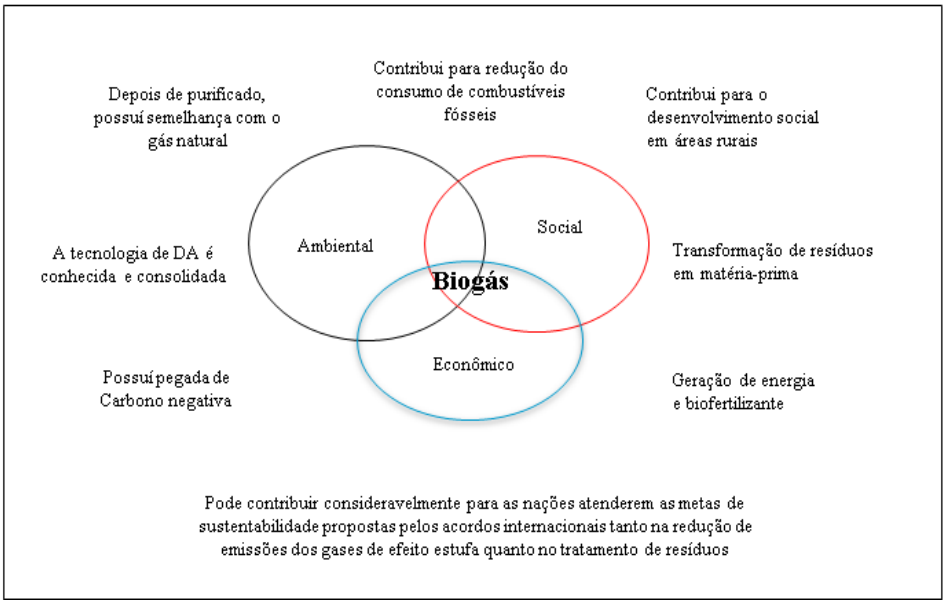

Figura 1 Benefícios advindos do uso do biogás
Fonte: Elaboração própria.

Adicionalmente, este estudo foi motivado também pelos inúmeros casos de sucesso do uso do biogás como um recurso energético ao redor do mundo, especialmente na China, Europa, Japão e Estados Unidos. Ademais, estudos de agências como a *International Energy Renewable Energy* (IRENA) e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sugerem que os países da América Latina e Caribe possuem um grande potencial para geração de biogás. Associa-se a este potencial a ausência de pesquisas de prospecção patentária neste tema para lançar luz à questão tecnológica da digestão anaeróbia.

1.2 CONSIDERAÇÕES

Visando uma análise da cadeia produtiva do biogás pelo processo de DA, a primeira ressalva a ser feita é que o biogás de segunda geração, ou seja, aquele produzido pelo processo de gaseificação termoquímica e metanação catalítica, não será considerado neste estudo, apenas o biogás gerado via processos biológicos.

Sabe-se que o processo de DA gera biogás a partir da degradação da matéria orgânica, porém esta geração não ocorre somente de forma controlada em biodigestores. A DA acontece de forma natural em pântanos, brejos, áreas alagadiças e aterros sanitários. Nestes locais o biogás

produzido pode ser também coletado e canalizado como alternativa para geração de energia. Nesta pesquisa, o biogás produzido em aterros sanitários ou de forma natural não será considerado.

Esta decisão baseou-se na natureza distinta do biogás produzido. Embora a tecnologia de produção seja a mesma, digestão anaeróbia, a captação e o processo de coleta em aterros sanitários possuem técnicas diferenciadas, quando comparados ao realizado em biorreatores. Em acréscimo, a composição do biogás nestes dois sistemas é distinta e o processo de captação e purificação tem diferenças consideráveis.

Por fim, é importante mencionar que o processo de DA produz também dióxido de carbono e biofertilizante, junto com a mistura gasosa. Em condições especiais, este processo pode gerar etanol, hidrogênio, ácidos graxos voláteis, surfactantes e outros bioprodutos, contudo apenas o biogás será abordado nesta tese.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a cadeia produtiva do biogás e identificar as tendências e avanços tecnológicos desta cadeia, desde a escolha da matéria-prima, pré-tratamento, produção, purificação até sua aplicação.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Mapear individualmente cada um dos elos da cadeia produtiva do biogás, visando identificar qual ou quais são as etapas dificultam seu uso.
- ❖ Verificar como os elos da cadeia se inter-relacionam.
- ❖ Levantar os principais países detentores de tecnologia e atores do processo de DA para geração de biogás.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

No capítulo 1 é apresentada são apresentados a introdução, as justificativas e os objetivos desta tese. O restante do estudo está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a revisão da literatura acerca do biogás, identificando os elos da sua cadeia, como este está sendo implementado no Brasil e quais são os atuais marcos regulatórios que viabilizam sua produção e utilização. O capítulo 3 apresenta um levantamento bibliográfico sobre os dois primeiros elos da cadeia: matéria-prima e logística, detalhando como estes se inter-relacionam e de que forma sua escolha influencia os demais elos da cadeia. O capítulo 4 descreve o elo de pré-tratamento, etapa fundamental para o processamento de resíduos, especialmente os que possuem alta recalcitrância ou dificuldade para degradação biológica. Já no capítulo 5, o elo processo é detalhado. São apresentados os fatores que afetam a reação e como ocorre o processo de DA, em acréscimo são apontados os principais equipamentos utilizados para a produção de biogás. O capítulo 6 apresenta uma revisão do antepenúltimo elo da cadeia, a purificação do biogás. Por fim, encerrando a revisão dos elos da cadeia produtiva do biogás, o capítulo 7 pontua as principais possibilidades de utilização do biogás, mostrando que este pode ser uma plataforma tecnológica, não somente um gás com alto teor energético. Em seguida, o capítulo 8 aborda a metodologia de análise utilizada para a condução desta pesquisa. O capítulo 9 apresenta e discute os principais resultados encontrados neste estudo. Por fim são apresentadas as conclusões.

Capítulo 2

BIOGÁS

Este capítulo elucida questões básicas como a origem da tecnologia de digestão anaeróbia; o processo de formação do biogás e como esta tecnologia se divide em uma cadeia estruturada. Ademais, introduz os temas e definições que possuem relevância para esta pesquisa: os elos da cadeia nos quais todo estudo foi centralizado e as principais correlações existentes entre eles.

2.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DO BIOGÁS

O biogás é produzido pela decomposição de resíduos com composição majoritariamente orgânica. É um gás com alto teor energético, sendo seus principais constituintes o gás metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2)[2]. Sua formação se dá pela ação microbiana no processo de degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Entretanto, sua composição é bastante variável, dependendo principalmente do tipo de matéria orgânica usada no processo de biodigestão e das condições às quais o processo de fermentação é submetido.

Jonsson *et al*. (2003) apontam que o biogás produzido em biodigestores, utilizando esgoto como matéria-prima, contém normalmente entre 55 a 65% de metano, 35 a 45% de dióxido de carbono e <1% de nitrogênio. Já quando utilizados resíduos orgânicos (de origem urbana) a composição varia normalmente entre 60 a 70% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono e <1% nitrogênio. Moura *et al.* (2012) apresentam o metano representando de 50 a 75% da mistura e gás carbônico nos 25 a 40% restantes. Outros gases podem estar presentes em proporções menores. Muito embora a literatura aponte diferenças na composição do gás, independente da matéria-prima utilizada, sua composição é majoritariamente metano e gás carbônico. Vale ressaltar que quanto maior a presença de metano, mais puro o biogás.

2.1.1 Cronologia

Segundo He (2010), o uso do biogás foi relatado desde o séc. X A.C. quando os Assírios e povos da Antiga China já dominavam a técnica de produção e a usavam para o aquecimento de banhos e preparação de alimentos. Além disso, o digestato (material de saída do biodigestor que possui propriedades fertilizantes) era utilizado como fertilizante na agricultura. No século XVII, Robert Boyle e Stephen Hales observaram que ao perturbar o sedimento dos rios e lagos um gás inflamável era liberado. Contudo, a descoberta do biogás foi associada a Shirley em 1667, uma descoberta ainda incipiente, uma vez que o pesquisador

[2] Estes dois gases pertencem ao grupo de gases conhecidos como causadores do efeito estufa e estão associados ao aquecimento global, dentre outros problemas ambientais, quando dispensados de forma inadequada no ambiente.

não estudou detalhadamente a natureza do gás. Somente em 1776, Alessandro Volta reportou a presença de metano no gás dos pântanos, nome comum ao biogás (COELHO *et al*., 2001).

Já no século XIX, em 1808, Humphry Davy comprovou a presença de metano nos gases produzidos pelo estrume de gado. Em seguida, um aluno de Louis Pasteur, Ulysses Grayon, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35ºC. Sua experiência resultou na obtenção de 100 litros de gás/m³ de matéria. Anos depois, em 1884, Louis Pasteur continuando as pesquisas considerou que a fermentação podia gerar uma fonte de aquecimento e iluminação (FIGUEIREDO, 2007).

Em 1857 houve um relato de seu uso em uma colônia de leprosos, em Bombaim. Este foi o primeiro digestor anaeróbio destinado a produzir e utilizar o biogás em grande escala para geração de energia. Em 1895 a tecnologia foi desenvolvida em Exeter, Inglaterra, onde uma fossa séptica foi usada para gerar gás e, através de um duto, fornecer energia para a iluminação existente na época.

2.2 CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

A cadeia produtiva está relacionada ao processo de produção, como este é feito e de que forma seus elos se interligam para transformar dada matéria-prima em um produto. Por outro lado, a cadeia de valor está relacionada com a transformação do produto final, no caso o biogás, em diferentes produtos com valor agregado ou novas aplicações. Na fFigura 2 é apresentada a cadeia de valor do biogás. Verifica-se, neste caso, que o produto a ser transformado é o biogás, não mais a matéria-orgânica como na cadeia produtiva.

Segundo Porter (1989), a análise da cadeia de valor permite uma avaliação abrangente do escopo de atividade realizada por determinada empresa e do modo como essas atividades interagem no contexto da disseminação de uma determinada tecnologia.

Já Castro, Lima e Cristo (2002) conceituam cadeia produtiva como um instrumento de visão sistêmica. Sua origem está na linearização da produção dos bens, sendo esta representada como um conjunto, onde os diversos atores estão relacionados e interligados por informações em um fluxo dinâmico e contínuo.

Uma definição complementar sobre cadeia produtiva é aquela fornecida pela *Association Française de Normalisation*. Esta instituição parte de um conceito mais amplo e

generalista que define a cadeia produtiva como um encadeamento de modificações da matéria-prima, visando algum ganho econômico. Isto contempla desde o processo de exploração dessa matéria-prima, passando pelos circuitos produtivos, de consumo, de recuperação, tratamento, eliminação de resíduos no meio e seu descarte ambientalmente correto (RODRIGUES, 2014).

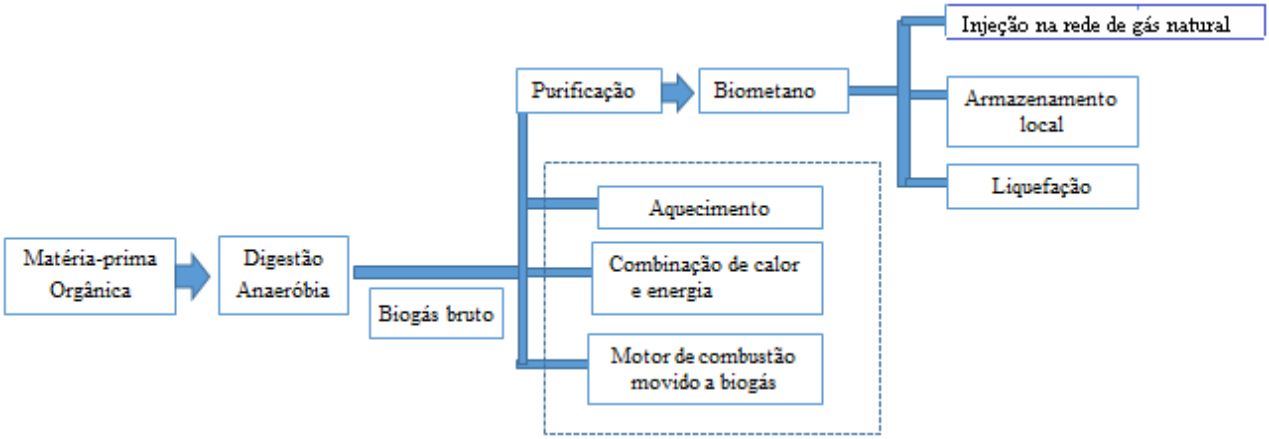

Figura 2 Cadeia de valor do biogás
Fonte: Elaboração própria.

Relativo à cadeia de valor do biogás, deve-se destacar que podem ser obtidas diferentes fontes de renda, além das mencionadas como, por exemplo:

- Venda de energia elétrica (em leilões ou venda direta ao consumidor);
- Venda de biofertilizantes contendo fósforo, nitrogênio e potássio;
- Venda de créditos de carbono;
- Comercialização de subprotudos como o gás carbônico e outros gases presentes na mistura.

Na Figura 3 os principais elos que compõem a cadeia produtiva do biogás são apresentados. Algumas definições quanto a estes elos serão apresentadas e suas particularidades discutidas individualmente nos capítulos seguintes.

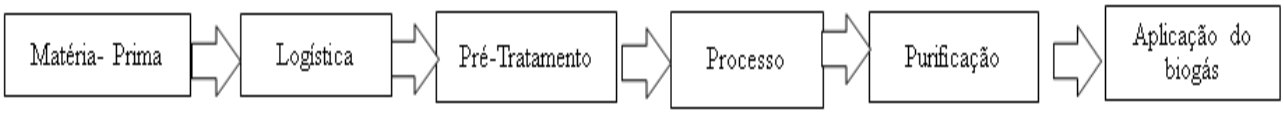

Figura 3 Elos da cadeia produtiva do biogás
Fonte: Elaboração própria.

2.2.1 Matéria-prima

Para que ocorra a produção de biogás é necessário que se tenha a presença de matéria orgânica (biomassa) em ausência de oxigênio, ocorrendo assim a anaerobiose.

É esperado que diferentes matérias-primas produzam diferentes quantidades de biogás com teor de metano e CO_2 que variam em função da sua composição. O teor de carboidratos, gorduras e proteínas é o que mais influencia nesta variação. No Quadro 1 é apresentada a influência dos principais constituintes de matérias orgânicas na composição final do biogás. Os carboidratos são os que propiciam os menores rendimentos finais de metano. Este menor rendimento está associado à amplitude na taxa de degradação dos carboidratos no processo de DA. Por exemplo, açúcares simples e dissacarídeos são degradados de maneira fácil e rápida, o que pode levar a problemas de instabilidade devido à quantidade de ácidos graxos formados.

Quadro 1 Rendimento do biogás e proporção de metano de acordo com substrato

Substrato	Rendimento em Biogás (l/Kg de sólidos voláteis)	Metano %
Gorduras	1.000 – 1250	70 - 75
Proteínas	600 - 700	68 - 77
Carboidratos	700 - 800	50 - 55

Fonte: Petersson & Wellinge (2009).

A matéria-prima utilizada para a produção de biogás através do processo de biodigestão deve atender a uma série de requisitos para que o processo tenha sua eficiência garantida. O mais importante é que um ecossistema favorável para o desenvolvimento e atividade metabólica dos micro-organismos envolvidos no processo seja criado. Tendo como base as referências consultadas para realização deste estudo, as matérias-primas recorrentes na literatura serão abordadas e explicitadas quanto ao seu potencial, suas características e particularidades. Isso é feito no capítulo 3. É importante, mais uma vez, enfatizar que a intenção não é esgotar as possibilidades de substratos para digestão anaeróbia, uma vez que qualquer resíduo orgânico possui este potencial, mas sim mencionar as principais e mais estudadas matérias-primas reportadas nos estudos atualmente disponíveis.

A digestão anaeróbia vem sendo utilizada como tecnologia para o tratamento de resíduos domésticos, industriais, agropecuários e alimentícios. Seu uso está disseminado em

diversos locais do mundo e é uma prática bastante recorrente, especialmente na zona rural, onde há matérias-primas com alto teor orgânico de maneira abundante.

2.2.2 Logística

Para uma planta de biogás, que visa à geração de energia, é fundamental que fatores importantes sejam observados como: a disponibilidade dos substratos utilizados, a localização da planta, o estudo técnico de construção da unidade de biogás, o destino da energia gerada e o atendimento a todos os requisitos legais. Em geral, um dos problemas mais comuns no elo da logística é o transporte de substrato. Portanto, para garantir o abastecimento da planta é necessário calcular o custo logístico de transporte da matéria-prima, bem como a capacidade de processamento dos reatores para que a matéria-prima não sofra deterioração antes do previsto.

2.2.3 Pré-tratamento

Uma das primeiras medidas a serem adotadas para o tratamento da matéria-prima antes de sua inserção no biodigestor é a homogeneização, essencial para dispersão e desagregação da matéria-orgânica. Inicialmente ocorre a fragmentação do substrato, o que possibilita a adequação de substratos sólidos com pouca disponibilidade de degradação (especialmente palhas e outros resíduos lignocelulósicos) a um tamanho apropriado à conversão mais rápida em biogás (SENAI, 2016).

O pré-tratamento é uma etapa que pode ser considerada como um ajuste na matéria-prima para garantir um processo de digestão eficiente e rentável. Este pré-tratamento pode ser simples, desde uma separação, ou complexo, como um processo de hidrólise para exposição das frações carbônicas que, sem uma “quebra”, são recalcitrantes ao processo de DA. Especialmente em função da sua heterogeneidade, a matéria prima pode necessitar de redução do tamanho de suas partículas, remoção do excesso de umidade e mistura com agentes estruturantes que forneçam porosidade ao material (RUSSO, 2003).

2.2.4 Processo

Segundo Dobre, Matei e Nicolae (2014), para que o processo de DA ocorra de forma eficiente o meio de fermentação deve ter as seguintes características: conter matéria orgânica biodegradável; ter faixa de pH entre 6,8 - 7,3 (próxima a neutralidade, tendendo para a basicidade); a relação C:N deve ser entre 15 e 25; não deve conter substâncias inibidoras do crescimento de micro-organismos como detergentes, antibióticos, anti-sépticos, anti-micóticos, entre outros agentes bactericidas e/ou bacteriostáticos. Sabe-se que a degradação da matéria orgânica pode ocorrer através de duas formas, por via aeróbia, na presença de oxigênio que é o aceptor de elétrons, ou por via anaeróbia, na ausência de oxigênio. Neste caso os nitratos, sulfatos e dióxido de carbono são os aceptores de elétrons do processo (BRITO, 2011).

Especialmente em função do aceptor de elétrons, os produtos formados no processo de biodigestão são diversos, enquanto na biodigestão aeróbia a matéria orgânica sofre uma transformação completa (CO_2 e água). Por outro lado, nos processos ocorridos na ausência de oxigênio há formação de compostos como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono em detrimento da água. A estabilização da matéria orgânica, ocorrida na anaerobiose, possibilita a transformação de um material orgânico de constituição diversa e complexa em compostos como o biogás (BRITO, 2011).

Dentro do elo de processo, têm-se ainda os equipamentos, parte importante e fundamental para que este seja realizado de uma maneira eficiente. Sendo assim, o elo de processo pode ser dividido em processo propriamente dito e em equipamentos para biodigestão.

2.2.5 Purificação do biogás

Neste elo da cadeia do biogás são enfatizadas as formas de se purificar o biogás. Como já reportado, a produção do biogás pode ocorrer naturalmente por meio da ação de bactérias em materiais orgânicos (lixo doméstico, resíduos industriais de origem vegetal, esterco de animal, entre outros resíduos orgânicos). O gás com maior valor agregado nesta mistura é o metano, inflamável, inodoro e, nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), com

um poder calorífico de aproximadamente 33.980 kJ/m^3. De acordo com Miyawaki (2014), um dos contaminantes mais importantes do biogás é o sulfeto de hidrogênio (H_2S). Os principais problemas causados pela presença de H_2S no biogás, além do odor desagradável, são o comprometimento do funcionamento dos motores e a corrosão de dutos e tubulações de armazenamento. Adicionalmente, o pesquisador ressalta que, mesmo após a remoção de H_2S, a presença de CO_2 no biogás reduz o seu poder calorífico e inviabiliza seu uso como combustível.

2.2.6 Usos do biogás

Atualmente são reportadas na literatura diversas aplicações para o biogás, inúmeras possibilidades para transformar a energia química contida nas moléculas do biogás em outro tipo de energia, como térmica, elétrica ou mecânica. Segundo Rohstoffe (2010), as principais aplicações conhecidas para o biogás são: 1) Uso em usinas de cogeração ou com motores de combustão; 2) Microturbinas a gás; 3) Uso do calor residual em sistemas de cogeração prioritária de eletricidade; 4) Injeção na rede de gás natural; 5) Injeção em microrredes de gás; 6) Combustível para veículos e 7) Fonte de energia térmica.

2.3 BIOGÁS NO BRASIL

O Brasil é um país tropical e recebe intensa radiação solar praticamente durante todo o ano. Esta característica geográfica permite uma abundante produção de biomassa. Além da biomassa, o país possui grande geração de resíduos urbanos e uma agroindústria muito representativa, especialmente o cultivo de grãos e a produção pecuária. Esta intensa atividade produtiva, associada ao clima, favorece o desenvolvimento de tecnologias de energias renováveis e limpas, aproveitando os resíduos produzidos para geração de energia. O país tem ainda um grande potencial para a produção de biogás, mas hoje o setor contribui apenas com uma parte muito pequena do total de energia renovável produzida. De acordo com dados do Balanço Energético Brasileiro, em 2014, cerca de 84,5% da eletricidade foram produzidos a partir de uma fonte renovável. A produção de eletricidade a partir de biomassa corresponde a 8,5% na rede elétrica brasileira a partir de uma capacidade instalada de 11 337 MW. Uma

parte deste, 80 MW, é de usinas de biogás (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015).

Quanto ao histórico de utilização da tecnologia, sabe-se que foi introduzida apenas na década de 70, quando ocorreram as crises do petróleo, em 1973 e 1979, e novas alternativas energéticas surgiram. De acordo com a BGS (2013), no país o interesse pela utilização de biodigestores começou com a instalação de um biodigestor em novembro de 1979, na Granja do Torto, em Brasília. Tal projeto pioneiro foi bastante relevante uma vez que demonstrou a real possibilidade da utilização de matérias-primas da pecuária na produção de energia alternativa. Em acréscimo, esta planta estimulou a instalação de equipamentos em outras propriedades rurais.

Neste período – década de 70 - foram instalados cerca de sete mil biodigestores nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. No país, a utilização de processos de biodigestão começou a ganhar espaço principalmente na suinocultura, atividade que gera um grande volume de dejetos com altas cargas orgânicas.

Durante a década de 1980 houve uma diminuição na utilização da tecnologia de DA, especialmente por dificuldades encontradas no processo. A falta de cuidado com a biomassa e o emprego de materiais inadequados na construção de biodigestores reduziu a eficiência do processo, e inúmeros produtores desacreditaram a DA e deixaram de implantar novas plantas em suas propriedades. Logo, os biodigestores tornaram-se equipamentos ineficientes e seu uso foi gradativamente descontinuado (BGS, 2013).

Porém, nos anos de 1990 a nova onda de desenvolvimento sustentável, vinculada a preocupação ambiental, ganhou destaque por meio da Conferencia Rio-92, que enfatizou a necessidade de redução das emissões de gases do efeito estufa. Esse movimento trouxe novamente em voga a utilização do biogás como recurso energético no Brasil. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que foi estabelecido no âmbito do Protocolo de Kioto, se mostrou uma excelente opção para implementação de projetos nos países em desenvolvimento, na área de energia renovável (OLIVEIRA, RIBEIRO, 2006).

Mesmo com este novo olhar, somente em meados de 2000, segundo Bley (2015), o biogás começou a ser visto como um combustível utilizável para geração de energia, deixando de ser um passivo ambiental para se tornar um ativo energético. O biogás passou a ser uma

matéria prima para geração de biometano, um produto combustível, fonte renovável de energia.

No final de 2016, o Ministério de Minas e Energia lançou dois Programas de Políticas de Estado que envolvem diretamente o biogás. São os Programas RenovaBio e Gás para Crescer. O RenovaBio tem como propósito alavancar a produção de etanol, biodiesel e biogás, com alcance na redução de emissões de gases do efeito estufa, para que o país possa cumprir as metas de redução desses gases, com as quais se comprometeu na COP21 em Paris/2015 e ratificou na COP22 em Marraquesch/2016 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

2.4 MARCOS REGULATÓRIOS DO BIOGÁS NO BRASIL

Para o correto dimensionamento das aplicações do biogás é relevante um levantamento dos marcos regulatórios, das agendas políticas e legislações que incentivam seu uso no país.

Na Tabela 1 estão compilados os principais aspectos teóricos e legislativos relacionados à cadeia produtiva do biogás. Observa-se que as ações do governo federal nos últimos anos visaram fornecer uma estrutura, um arcabouço teórico embasador. A ideia central é fornecer os mecanismos para o fomento aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), bem como a diversificação da matriz energética utilizando fontes renováveis. De acordo com a CIBiogás[3] (2015) é essencial que os marcos regulatórios sejam atualizados, somente assim os produtores de energia terão a oportunidade de se conectar à rede de distribuição, em forma de Geração Distribuída de Energia e receber pelo serviço prestado.

Tabela 1 Marcos regulatórios e legislações importantes para o setor

Documentos de referência	Descrição
Plano Nacional de Agroenergia (2005)	O Plano contempla as principais cadeias produtivas: etanol, do biodiesel e biomassa florestal. A cadeia do biogás, resíduos agropecuários,

[3] Centro Internacional do Biogás: É uma instituição científica, tecnológica e de inovação, em forma de pessoa jurídica de direito privado, constituída como associação sem fins lucrativos e autonomia administrativa e financeira.

Documentos de referência	Descrição
	agroindústria e RSU também estão contemplados, de forma integrada com os princípios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
Diretrizes de Política de Agroenergia (2006-2011)	Analisa a realidade e as perspectivas da matriz energética mundial. Estabelece um direcionamento nas políticas e ações públicas de Ministérios diretamente envolvidos no aproveitamento de oportunidades e do potencial da agroenergia brasileira, sob parâmetros de competitividade, sustentabilidade e equidade social e regional.
Projeto de Lei do Senado Nº 495 (2009)	Proposta que autoriza o poder Executivo a criar a Agência Nacional de Energias Renováveis (Aner), voltada para a utilização das formas mais limpas de transformação de energia e para seu uso sustentável. (Arquivada ao final da Legislatura (art. 332 do RISF).
Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009	Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% em 2020.
Lei Federal nº 12.305/2010	Trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
Lei Estadual nº 6361, de 18 de dezembro de 2012 (Rio de Janeiro)	Dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR) e visa incentivar a produção e o consumo de GNR, o qual resulta do processo de purificação do biogás oriundo de biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos.
Resolução 482 da ANEEL (2012)	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
Projeto de Lei 6559/13	Refere-se à exploração das atividades econômicas de geração de energias com biogás originado do tratamento sanitário de resíduos e efluentes orgânicos, em especial os gerados em atividades de produção agropecuária e agroindustrial de que tratam a Lei 12.187/09.
	O objetivo é consolidar as informações obtidas sobre a regulamentação do

Documentos de referência	Descrição
Nota Técnica n° 132/2013 Sociedade Brasileira de Química	biometano. Esta nota técnica visa preencher a lacuna regulatória identificada no que tange ao biometano, em especial quanto à sua especificação de qualidade.
MMA - Programa Abc	Redução de emissão de 1 ton. de CO_2 no setor agrícola.
Resolução 05 da ANEEL de 2014	Estabelece as condições gerais para o acesso de micro-geração e mini-geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
Nota Técnica nº: 157/2014 Sociedade Brasileira de Química	Criação de Resolução que estabelece a especificação do Biometano de origem nacional a ser comercializado em todo o território nacional
Resolução nº 8 da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis)	Publicada em janeiro de 2015, eautoriza a venda do biometano (chamado de gás natural renovável) em postos, como qualquer outro combustível.
Decreto nº 8.576, de 26 de novembro de 2015	Institui a Comissão Nacional para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes do Desmatamento e da Degradação Florestal, Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento de Estoques de Carbono Florestal - REDD+.
Portaria 44 do Ministério de Minas e Energia (2015)	Realização de Chamada Pública para incentivo à geração nas próprias unidades consumidoras de energia.
Plano Nacional de Energia 2030 (PNE)	É o mais tradicional documento do setor energético brasileiro. Toda contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil é divulgada. Contempla atividades e operações ligadas à exploração e produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas secundárias, às contas de importação e exportação, à distribuição e ao uso final da energia.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponíveis publicamente.

A Agência Nacional de Energia Elétrica ainda destaca que, em 2012, a Resolução 482/12 permitia recebimento pela venda da energia excedente. Entretanto, houve um

retrocesso e esta mesma Resolução agora só permite que sejam pagos créditos e não mais recursos financeiros. Isto trouxe frustração e desinteresse para que agricultores se tornem também provedores de energia elétrica ao Sistema Integrado Nacional. Ainda, segundo a instituição, é essencial que a política e os marcos regulatórios implementem o biogás como uma fonte de energia, somente assim novos atores se sentirão estimulados a participar de forma mais efetiva nos leilões e comercialização desta forma de energia (CIBiogás, 2015).

Corroborando o exposto, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através do processo n° 48610.005948/2013-22, aponta que a injeção do biometano no gasoduto representa a solução mais eficiente do ponto de vista energético, embora a destinação direta ao uso veicular seja também uma possibilidade (Agência Nacional de Petróleo, 2013). Contudo, a agência reguladora afirma que a principal dificuldade para a regulamentação do biometano é a presença de contaminantes, biopersistentes e biocumulativos, especialmente siloxanos e compostos halogenados. Estes compostos podem causar problemas à saúde, principalmente no caso de uso residencial, sendo necessários mais estudos que assegurem a completa remoção desses componentes (ANP, 2014). Quando submetido a processos de limpeza e *clean up*[4], o biogás é chamado de biometano. Este pode complementar e até substituir o gás natural em todas as suas aplicações. No Brasil, em 2015, o biometano foi reconhecido como combustível, Resolução Nº 8/2015 de Biometano, ANP (apresentado na tabela), podendo ser utilizado na mesma forma como o gás natural ou gás natural veicular.

Pela Resolução Normativa Aneel 390/2009 não há restrição para a distribuição de energia elétrica, ou seja, qualquer entidade pode fazer chamadas públicas para comprar eletricidade produzida por biodigestores. Esta regulamentação beneficia os produtores rurais e empresas de saneamento básico que poderão produzir energia em biodigestores. De forma comparativa, na Tabela 2 observa-se que países, principalmente europeus, possuem políticas de incentivo bem mais amplas em relação ao uso do biogás.

[4] Há uma diferença conceitual entre purificação e *clean up*, o primeiro entendido como o processo que visa à remoção dos gases contaminantes do biogás, e o segundo tem por objetivo o aumento do poder calorifico do biogás.

Tabela 2 Principais políticas de incentivo no mundo para utilização do biogás

País	Ação
Alemanha	Emprega tarifa *feed-in* como bonificação e é dependente do tipo de substrato e em sistemas de purificação a Biometano. Até 2020 as fontes renováveis no país devem atingir 35% de representatividade no setor elétrico e 18% em relação a demanda de energia total
Áustria	Utiliza tarifa *feed-in* sujeita a um mínimo de 30% de esterco como substrato para produção de biogás. O objetivo governamental é incluir 20% de biometano no gás natural até 2020
Dinamarca	Faz uso da tarifa *feed-in*. Objetiva tornar-se independente de fontes fósseis até 2050
Finlândia	Aplica a tarifa *feed-in* para instalação de acima de 100kva e não tributa o consumo de biogás. Possui programa de apoio financeiro governamental para construção de plantas de produção
França	Adepta da tarifa *feed-in*. Promove ainda o pagamento de bonificação para plantas de purificação a biometano. Até 2030, objetiva produzir 70 TWh a partir do biogás, com destinação de 50% para rede de gás natural ,30% para eletricidade 20% como calor. Pretende instalar 600 plantas produtivas cada ano
Holanda	Destina benefícios financeiros para eletricidade, calor e gás gerados por meio de fontes renováveis. Deseja aumentar em 14% a quantidade de energia limpa disponível. Até 2020. Pretende elevar para 6,7 TWh o volume de biometano injetado na rede de gás natural. Hoje esse n° está em 1 TWh
Irlanda	Não conta com tarifa *feed-in* atrativa. Políticas de exigência de separação de lixo reciclável e orgânico em andamento devem gerar novas oportunidades
Noruega	Efetua política de incentivo para diminuir a emissão de dióxido de carbono na agricultura e possui sistema de bonificação por tonelada de esterco destinada a biodigestores. Estimula o uso de biogás por isenção de imposto sobre o uso da estrada e pelo investimento em infraestrutura de mobilidade sustentável. Contudo, o preço do transporte do biocombustível ainda é alto e tem limitado a popularização da tecnologia

País	Ação
Reino Unido	Contempla tarifa *feed-in*, bem como incentiva a utilização de biometano. Emite certificados para uso de digestão anaeróbica e mantem fundo financeiro para apoiar a realização do procedimento em pequena escala, além de estudos e projetos relacionados. Até 2020, a Inglaterra deve gerar 3-5 TWh de calor e eletricidade por meio desse tipo de processo. O País de Gales e a Irlanda do norte, por sua vez registram subsídios governamentais atrativos para tecnologias de digestão anaeróbica. Já a Escócia proibiu o envio de lixo orgânico para aterros, o que deve estimular a produção de biogás.
Suécia	Estimula o uso de biometano em carros. Pratica isenção de impostos sobre o biogás. Os produtores recebem um certificado para cada MWh de eletricidade produzida a partir de recursos renováveis. Dependendo do consumo de energia o usuário (pessoa jurídica) é obrigado a adquirir certificados de empresas produtoras. Também possui sistemas de pagamentos de benefícios por KWh produzido a partir de esterco. Tem planejados a é 2016 investimentos parar comercialização de novas tecnologias e soluções nesse campo
Suíça	Conta com tarifa *feed-in*. Deseja abandonar energia nuclear e substituí-la por energia renováveis.

Fonte: SENAI (2016).
**Tarifa *feed-in* é um mecanismo de incentivo de adoção de energias renováveis por meio da criação de uma legislação que obrigue as concessionárias regionais e nacionais a comprarem eletricidade renovável a valores acima do mercado, estabelecidos pelo governo.

Capítulo 3

ELOS MATÉRIA-PRIMA E LOGÍSTICA

Neste capítulo são descritas as principais matérias-primas reportadas na literatura utilizadas como insumo no processo de biodigestão anaeróbia, bem como suas características; países onde são mais utilizadas e suas combinações quando ocorre processo de codigestão. Em acréscimo é apresentada a etapa de logística, o segundo elo da cadeia do biogás.

3.1 ELO MATÉRIA-PRIMA

3.1.1 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída no Brasil através da Lei nº 12.305, de 2010, Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) - comumente denominado lixo - são subprodutos da ação do homem sobre o meio ambiente. Estes podem ter diferentes origens: industrial, comercial, residencial, ou ainda serem oriundos de atividades agrícolas / rurais decorrentes dos processos de urbanização e crescimento populacional. Neste marco normativo Resíduo Sólido é definido como:

> "*...resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível..." (BRASIL,2010).*

O segundo marco regulatório considerado de extrema relevância para a política de resíduos no Brasil é a NBR 10.004 - Resíduos sólidos – Classificação de 2004, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Nesta os resíduos sólidos são definidos como:

> *" Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de 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 de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível."*

Estudos apontam que, em 2012, no Brasil, a produção de RSU cresceu 1,3%, quando comparada ao ano de 2011. Esse aumento é maior do que o crescimento populacional[5] o que

[5] O crescimento populacional neste mesmo período de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi de 0,9%.

reflete, ainda, uma baixa conscientização sobre sua produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PUBLICA E RESIDUOS ESPECIAIS, 2012).

Sabe-se que a composição dos resíduos é variada dependendo do local, dos hábitos de vida das pessoas e da natureza da presença de reciclagem e reutilização de rejeitos. De toda forma, os componentes principais são materiais plásticos, vidros, papéis, metais e matéria orgânica. De acordo com Hoornweg & Bhada-Tata (2012), no mundo, 47% de todos os resíduos sólidos coletados possuem natureza orgânica, sendo esta a maior fração coletada.

No Brasil também são vistas iniciativas desta natureza como parceria - para transformar restos de comida em adubo e energia para aquecimento de água, com baixo custo - da Fundação Osvaldo Aranha (UniFoa), do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) e do governo do estado do Rio de Janeiro. A ideia é que, a partir do material orgânico descartado de um restaurante popular estadual, possa-se, através da biodigestão anaeróbia, gerar biogás e utiliza-lo como fonte de energia (VILLELA; CAVALCANTE, 2012).

3.1.2 Resíduos alimentares

Nas últimas décadas, o crescimento da população humana e o consumo estão fomentando consideravelmente a geração de resíduos orgânicos provenientes da alimentação. Os resíduos de natureza alimentar *(food waste)* possuem natureza orgânica e podem ser facilmente degradados e aproveitados como um insumo no processo de DA. Em seu estudo, Kim *et al.* (2011) demonstram que as características dos resíduos alimentares são favoráveis à recuperação da energia neles contida, quando tratados pela digestão anaeróbia, especialmente em função dos elevados teores de sólidos voláteis e da umidade que aumenta a velocidade do processo. Mesmo com os benefícios de alta biodegradabilidade e de baixo custo de obtenção, os resíduos alimentares apresentam algumas dificuldades quanto ao seu baixo rendimento de metano e elevado grau de instabilidade no processo (Zhang *et al.*, 2014). Ademais, há fatores que afetam o processo de DA, como a carga orgânica, o pH, o tempo de retenção hidráulica e a temperatura. Destes, de acordo com Yang *et al* (2015), o pH é crucial, pois afeta diretamente tanto as bactérias acidogênicas quanto as metanogênicas, o que está diretamente relacionado ao rendimento de biogás.

Pham *et al*. (2015) estimam que cerca de 1,3 bilhões de toneladas, ou seja, um terço dos alimentos produzidos no mundo para consumo humano, anualmente, são perdidos ou desperdiçados ao longo da cadeia de abastecimento, desde a produção até o seu consumo. Cerca de 40% dos alimentos produzidos nos Estados Unidos são perdidos na forma de resíduos durante o seu processamento e distribuição dos retalhistas, restaurantes e consumidores. O Reino Unido e Japão também seguem uma tendência semelhante, ao desperdício, onde são descartados entre 30% e 40% dos alimentos produzidos todos os anos (KOSSEVA, 2009). Na África do Sul, a geração de resíduos de alimentos foi estimada em nove milhões de toneladas por ano (OELOFSE; NAHMAN, 2012).

Cingapura, uma cidade densamente povoada e industrializada, produziu cerca de 703.200 toneladas de RSU em 2012, de acordo com a Agência Ambiental Nacional de Cingapura. Na União Europeia, estima-se um aumento de 89 milhões de toneladas, em 2006, para 126 milhões de toneladas em 2020 (EUROPEAN COMISSION, 2010).

3.1.3 Resíduos da produção pecuária

A cadeia produtiva de pecuária intensiva destaca-se devido à grande quantidade de resíduos líquidos gerados nos processos de criação, abate e industrialização. Estes dejetos possuem um alto teor de matéria orgânica e estão disponíveis para o aproveitamento energético. Uma das formas, tecnológica e economicamente viáveis, é a utilização de biodigestores para fermentação destes resíduos com geração de biogás e seu consequente aproveitamento energético (MALAGGI; SOUZA, 2014).

Utilizar dejetos de animais, esterco, urina, ou seus fluídos metabólicos pode fornecer uma boa oportunidade para o desenvolvimento rural sustentável. Com o uso da digestão anaeróbia é possível vislumbrar a produção de biogás nas fazendas e sítios, além do que se minimizaria a contaminação e poluição do ambiente com patógenos e vetores. Tem-se ainda como destaque que a utilização de resíduos agropecuários é positiva na redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa. Reforçando estes benefícios, Angonese *et al*. (2006) demonstram em seu estudo que o baixo índice de tratamento adequado à grande quantidade de dejetos produzidos, sobretudo na suinocultura, é justamente um dos graves problemas que a intensificação da produção trouxe para o meio ambiente e para as nações de uma forma geral.

A utilização da técnica de biodigestão anaeróbia contribui para a integração das atividades agropecuárias, aproveitando o esterco ao qual, normalmente, é dado pouco ou nenhum valor comercial, convertendo-o em dois subprodutos de interesse: energia renovável (biogás) e fertilizante orgânico (FERNANDES & TESTEZLAF, 2002).

De acordo com Diesel, Miranda e Perdomo (2002), o esterco é constituído pelas fezes, urina, suor e outros resíduos metabólicos do processo de criação de animais. Usualmente esterco é composto por matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais.

Devido ao seu alto teor orgânico, qualquer dejeto de animal pode ser usado, contudo até a presente data foi reportado na literatura o uso de esterco de bovinos, suínos, caprinos, aves, equinos e ovinos e, mais recentemente, da piscicultura. No Quadro 2 está apresentado o potencial produtivo do biogás para alguns dos principais dejetos de animais listados.

Quadro 2 Produção diária de dejetos por animal adulto

Tipo de animal	**Média de produção de dejetos (Kg/dia)**	**Produção de Biogás (material seco em m^3 t^{-1})**	**Percentual de gás metano produzido em %**
Bovinos	10,00	270	55
Suínos	2,25	560	50
Aves	0,18	-	Variável
Equinos	10,00	260	66
Ovinos	2,0	250	50

Fonte: Collato e Langer (2011).

Dimensionando este potencial contido nos resíduos de pecuária, Tiez *et al.* (2013), utilizando os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2012, constataram que o rebanho bovino brasileiro é um dos maiores do mundo. Sendo que, em 2011, foram estimadas 212,7 milhões de cabeças bovinas, com maiores concentrações no Centro-Oeste, Norte e Sudeste. Os maiores efetivos de bovinos do Brasil encontravam-se no estado de Mato Grosso, seguido pelos estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. O estado de Roraima foi o que apresentou o maior aumento no percentual do rebanho bovino em relação a 2009 (BRASIL, 2010).

A tecnologia de biodigestão anaeróbia para produção de biogás é atualmente a forma mais sustentável de utilizar o conteúdo energético do estrume e, ao mesmo tempo, aumentar a reciclagem de nutrientes e minimizar as emissões dos gases causadores do efeito estufa (ESTADOS UNIDOS, 2011). De acordo com Santos (2016), são pelo menos 158 projetos no Brasil em curso, que utilizam dejetos animais na produção de biogás e biofertilizante. O autor menciona que no país é priorizado o uso de esterco de bovinos em detrimento de suínos, mas que ambos os dejetos possuem potencial de aproveitamento.

Rizzoni *et al.* (2012) corroboram os benefícios do aproveitamento dos dejetos de resíduos agropecuários reiterando que, além do biogás, podem ser vistos ainda como vantagem a redução de odores, eliminação de patógenos, redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, baixa produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento e possibilidade de sistemas descentralizados (OLIVEIRA, 2004; RIZZONI *et al.*, 2012).

A pecuária, como um todo, traz, associados, impactos ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo Amaral *et al.* (2004) os dejetos de bovinos usualmente são utilizados para adubação e forragens. Entretanto, a dispersão deste material sobre os campos está associada à continuidade da disseminação de bactérias intestinais, como a *Escherichia coli*, e de nematódeos gastrintestinais. Desse modo, o potencial de contaminação dos seres humanos e os riscos biológicos de infecções permanecem.

Um programa bastante interessante realizado no Brasil visa utilizar dejetos de suínos como matéria-prima para a produção de biogás. Um dos mais relevantes é o Programa Suinocultura Sustentável da Sadia. Uma iniciativa pioneira na indústria alimentícia na América Latina, inserido no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A ideia inicial é que, pelo Programa, o suinocultor mantém em sua propriedade um sistema de biodigestor para tratar os dejetos suínos de sua operação. O gás metano (CH_4) proveniente dos dejetos é convertido, através de queima, em dióxido de carbono, reduzindo a emissão do gás metano que tem um potencial poluidor ainda maior. Atualmente, 1.090 suinocultores são beneficiados com os sistemas de tratamentos (biodigestores e *flares*) mantidos pelo Programa (SADIA, 2014).

Outro exemplo, em Santa Catarina, é uma parceria entre as empresas catarinenses Brasil Clean Energy e Eco Conceitos, uma subsidiária no Brasil da empresa alemã de

tecnologia em geração de biogás Archea. Esta parceria deu origem ao projeto da primeira usina de biometano e gás carbônico do estado, inaugurada em setembro de 2014, na cidade de Pomerode. Nesta usina, os dejetos de suínos são conduzidos a um reator de alta performance, que possui tecnologia para controlar a temperatura, movimentar a biomassa e eliminar o enxofre. O biogás provindo do reator é separado em metano e gás carbônico, posteriormente purificado e utilizado como combustível (BRASIL CLEAN ENERGY, 2014).

Ainda no que concerne ao uso de resíduos da agropecuária, sabe-se que muito tem sido estudado no sentido de aproveitar os dejetos avícolas. Os resíduos da exploração da atividade de criação de aves são compostos por excrementos, penas, restos de ração, ovos quebrados, larvas de moscas e material do piso do aviário, a "cama de frango" como é conhecida (STEIL, 2001; GOMES; CAPPI, 2010; ZANATO, 2014). Uma das principais dificuldades na utilização deste dejeto como matéria-prima para produção de biogás está no fato destes compostos apresentarem uma relação C:N baixa (ZANATO, 2014). Os dejetos de aves de postura apresentam teor de sólidos totais de 37,02% e 66,0% de sólidos voláteis (STEIL, 2001; ZANATO, 2014). Usualmente este resíduo é utilizado em processos de codigestão, visando assim minimizar suas características desfavoráveis ao processo. Segundo Dobre; Matei e Nicolae (2014), resíduos de aves têm um excelente potencial de geração de biogás com um teor de metano que pode chegar a 68% da mistura.

Amorim; Júnior e Resende (2004) realizaram um estudo sobre o uso de dejetos de caprinos na produção de biogás. Os autores investigaram os dejetos produzidos por caprinos, em diferentes estágios fisiológicos e submetidos ao mesmo regime alimentar, nas quatro estações do ano. Os testes foram conduzidos em biodigestores modelo batelada com volume útil de 60L de substrato em fermentação e mantidos sob temperatura ambiente. Os resultados da produção de biogás foram de 1,06 m^3 no verão, 0,88 m^3 no outono, 0,88 m^3 no inverno e 0,99 m^3 na primavera. Já para os potenciais médios de produção foram de 0,02 m^3 de biogás/Kg de substrato e 0,2 m^3 de biogás/Kg de estrume para todas as estações do ano.

Outros estudos preliminares indicam viabilidade da produção de biogás utilizando-se dejetos de coelhos, patos e lhamas (LI *et al.*, 2010). Adicionalmente os dejetos provenientes da piscicultura são considerados fontes de poluição do ambiente. Dessa maneira, a geração de biogás, a partir dos dejetos da produção de peixes em sistema intensivo, é uma alternativa sustentável à produção, bem como ecológica (ZANIBONI FILHO, 2005). Um estudo

apresentado por Gabeur (2004) mostra que é possível o tratamento de lamas provenientes de efluentes de piscicultura salina oriunda da criação de salmão na Noruega.

Em acréscimo, Cu *et al*. (2015) demonstram em seu estudo uma interessante pesquisa que visa estimar o potencial de produção de biogás de biomassas típicas comuns no Vietnã. Os autores testam estrume animal, resíduos de matadouros e resíduos vegetais, e desenvolvem um modelo que relaciona a produção de metano (CH_4) com as características químicas da biomassa. Os estrumes de animais neste estudo foram os mais diversos, incluindo dejetos de coelhos, elefantes, búfalos, pássaros, além dos tradicionais de aves, caprinos, ovinos e bovinos.

Machado *et al*. (2013) avaliaram o potencial de produção de biogás da digestão anaeróbia de dejetos provenientes de uma criação intensiva de peixes, espécie Tilápia Gift (*Oreochromis niloticus*). Em seus achados os autores demonstram que há um potencial de 917 cm^3/dia por 50 litros de matéria bruta, com tempo de retenção de 10 dias.

3.1.4 Resíduos lignocelulósicos e florestais

De acordo com o *Biogas Research Center* (2014), aproximadamente metade de todo carbono fixado globalmente por fotossíntese é encontrado na lignocelulose da parede celular das plantas. Sendo abundante, este recurso se torna um insumo potencial para a DA e, consequente, aproveitamento de sua energia. No entanto, o material lignocelulósico muitas vezes é recalcitrante e necessita de um pré-tratamento antes de sua utilização.

A biomassa lignocelulósica consiste principalmente em três tipos de polímeros: celulose, hemicelulose e lignina, as proporções entre os três constituintes dependem da espécie de planta (ZHAO *et al.*, 2012).

Os componentes de hidratos de carbono (celulose e hemicelulose) são fermentáveis após hidrólise, o que os torna uma matéria-prima acessível à degradação biológica. Já a fração lignocelulósica possui propriedades químicas e estruturais que a torna resistente à degradação por enzimas e outros organismos necessitando etapas adicionais de degradação.

A biomassa verde, ou seja, resíduos contendo celulose e lignocelulose, apresenta alto teor de açúcares fermentescíveis em sua composição. Esta fonte energética abundante pode ser considerada substrato adequado para utilização de processos biológicos de geração de energia,

como é o caso da biodigestão com consequente produção de biogás. No entanto, a estrutura compacta e recalcitrante destes dejetos agrícolas e florestais exige uma etapa antecessora fundamental de pré-tratamento para liberação destes açúcares no meio onde ocorrerá a digestão anaeróbia, somente deste modo, a produção de biogás poderá ser realizada. Yao *et al.* (2013) investigam o potencial de biogás a partir de madeira, mostrando uma produção de metano de 0,28 L/g VS a partir de resíduos de processamento de álamo pré-tratado com NaOH 5% em comparação com cerca de 0,13 L/g VS para o material não tratado. Mohsenzadeh *et al.* (2012) também investigam a produção de metano a partir de madeira utilizando pré-tratamento alcalino. Nesta pesquisa foi analisado o rendimento do abeto vermelho (*Picea abies*) e do vidoeiro (*Betula pendula*), sendo 0,36 L g VS e 0,21 L g VS respectivamente. Vivekanand *et al*. (2013) também testaram a bétula, realizando um pré-tratamento a vapor (explosão a 170-230°C), o rendimento de biogás foi de 0,37 L CH4/g VS. No Quadro 3, o potencial de outros resíduos lignocelulósicos é apresentado.

Quadro 3 Potencial de produção de biogás de acordo com a matéria-prima utilizada

Matéria–prima lignocelulósica	**Teor médio de matéria seca %**	**Potencial de produção de Biogás l/kg S.V.**	**Teor de metano %**
Palhas de trigo	86,5	367	78,5
Palhas de cevada	84	380	77
Alfafa	22,5	445	77,7
Silagem de milho	34	108	52
Talos de milho	86	309	-
Folhas secas	12,5	260	58,0
Folhas de beterraba	13,5	501	84,8

Fonte: Traduzido e adaptado de Dobre; Matei; Nicolae (2014).

As folhas de beterraba possuem o maior teor de metano no biogás formado em seu processo de biodigestão. Porém deve-se ressaltar que, para o aproveitamento deste resíduo, é necessário um pré-tratmento, que visa disponibilizar o material biodegradável e permitir a exposição das frações celulósicas e hemicelulósicas.

3.1.5 Resíduos agrícolas

A relevância deste grupo de resíduos é justificada pela escala que o setor agrícola tem nos países em desenvolvimento. Estima-se que os países emergentes produzam cerca de 1.680 milhões de toneladas (base seca) de resíduos agrícolas por ano. Na China, por exemplo, estima-se que 800 milhões de toneladas de resíduos de palha agrícola sejam produzidos por ano (BI; GAO; WANG, 2009). Apesar da composição dos resíduos de culturas agrícolas variar significativamente com o tipo de vegetal, em geral, resíduos de culturas têm relativamente baixo teor de umidade e alto teor de sólidos voláteis o que os tornam favoráveis à biodigestão.

De acordo com Zafar (2014), a utilização mais expressiva destes resíduos está associada à facilidade do setor agrícola em realizar codigestão deste material (resíduo agrícola + resíduo agropecuário). De acordo com a *Anaerobic Digestions & Biogas Association* (2015), as principais culturas agrícolas utilizadas na geração de biogás incluem milho, silagem de capim, beterraba, cereais, centeio, sorgo e girassol.

3.1.6 Resíduos de processos industriais

Todos os processos produtivos, invariavelmente, geram resíduos. Setores como metalúrgico, têxtil, automotivo, químico, calçados, papel e petroquímico geram dejetos com composição variada, mas que podem apresentar uma semelhança em seu difícil tratamento e recalcitrância. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas na intenção de se aproveitar os resíduos industriais para geração de energia via digestão anaeróbia. Zanette (2009) seleciona como os principais setores industriais com potencial de produção de biogás, as indústrias de papel e celulose, de açúcar e álcool, laticínios, cervejas, óleos vegetais e as demais indústrias de alimentos e bebidas, em função da sua elevada carga orgânica. O autor relata que a possibilidade de se usar efluentes industriais na geração de biogás está atrelada à alta concentração de matéria orgânica biodegradável presente no volume de efluentes e3 à alta demanda química de oxigênio.

Nas últimas décadas, muitos estudos têm demonstrado o potencial de aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. Um dos grandes exemplos tratados é vinhoto ou vinhaça, resíduo da produção de álcool, que é produzido nas destilarias.

> "*A vinhaça de cana-de-açúcar é um líquido de cor marrom escuro, de natureza ácida, que sai da bica de destilação à temperatura de aproximadamente 107 o C, com cheiro que vai do adstringente ao nauseabundo, qualidade está relacionada ao teor residual de açúcar o qual, por sua vez provoca um processo de putrefação tão logo a vinhaça é descarregada, liberando gases fétidos que tornam os ambientes insuportáveis" (FREIRE CORTEZ, 2000 apud SALOMON; LORA, 2006).*

Usualmente para cada litro de álcool produzido tem-se de 10 a 14 litros de vinhoto (XAVIER, 1970; GRANATO E SILVA, 2002). O seu aproveitamento energético é possível através da biodigestão anaeróbia. Lamo (1991) apresentou o potencial energético contido na cana de cana de açúcar, demonstrando que uma tonelada de cana poderia gerar 909,90 x 10^3 kcal de energia (álcool + biogás). Entretanto, se o biogás resultante da biodigestão da vinhaça não for utilizado, 7,5% do total de energia disponível em uma tonelada do material serão desperdiçados. Ainda segundo Granato e Silva (2002), a possibilidade de tratar a vinhaça por biodigestão anaeróbia só começou a se tornar atraente a partir do desenvolvimento de reatores de alto desempenho, onde os tempos de retenção hidráulica eram bastante reduzidos e aceleravam o processo.

Outra indústria de grande importância no Brasil, ainda dentro do setor de biocombustíveis, é a de produção de biodiesel. O lançamento do Programa Nacional de Produção e uso de Biodiesel pelo Governo Federal, em 2004, trouxe um acréscimo na oferta da glicerina, um coproduto originado do processo de transesterificação dos óleos vegetais e animais na produção deste combustível. A glicerina representa cerca de 10%, em peso, da matéria-prima. Como subproduto, sua composição é basicamente uma mistura de glicerol, álcool, água, sais e ácidos graxos mono-di- e tri-glicerídeos e metil ésteres livres que não reagiram (HU *et al.*, 2012; NARTKER *et al.*, 2014). Na literatura já é sugerida a utilização do glicerol como matéria-prima em processos de biodigestão anaeróbia. Especialmente, em função de seu alto teor de carbono, fácil degradação e grande disponibilidade (AMON *et al.*, 2006), este resíduo tem se mostrado uma alternativa factível para a geração de energia,

particularmente o biogás. Entretanto, sua utilização é feita, usualmente, através de coprocessamento.

Outro setor bastante expressivo no que tange à geração de resíduos é a indústria de papel e celulose, que desponta como um importante ator para geração de biogás. De acordo com estudos recentes, o benefício adicional desta utilização é a possibilidade de tratamento de efluentes produzidos nas unidades de produção e branqueamento de papel (PRIADI *et al*., 2014).

De acordo com Kipper (2013), no Brasil, a indústria coureira também apresenta grande importância econômica. O Brasil produziu, em 2012, 41,2 milhões de toneladas de couro, o que representa uma participação de quase 13% da produção mundial. Esta expressividade mostra o potencial do setor coureiro para a geração de biogás.

Pesquisas visando destinar adequadamente dejetos coureiros têm sido desenvolvidas. Dentre as mais recentes consta o uso dos resíduos da indústria coureira como matéria-prima para a produção de biogás. Priebe *et al*. (2012) realizaram estudos mostrando que aterros com resíduos de curtume (restos de couro *wet-blue* e lodo de ETE) apresentam baixas emissões de biogás. Em laboratório mostraram a alta estabilidade do couro *wet-blue* no processo de biodegradação. Para tanto, foi sugerido, antes da utilização dos resíduos de couro, um tratamento prévio, que visasse à quebra destes resíduos em frações menores acessíveis aos micro-organismos. A produção de biogás a partir de resíduos de couro também foi estudada por Covington *et al*. (2003), Dhayalan *et al*. (2007) e Kameswari *et al*. (2011), baseados na diminuição do tempo de processo e no aumento da quantidade de biogás.

Adicionalmente, estudos sobre a codigestão de resíduos de curtume (restos de couro, peles e lodos) com resíduos sólidos urbanos foram desenvolvidos por Shanmugam *et al*. (2009), Thangamani *et al*. (2010) e Kameswari *et al*. (2011, 2012) (KIPPER, 2013).

A produção da fécula de mandioca, por exemplo, gera diversos resíduos durante o processo. Em uma de suas primeiras etapas, são feitos processos de lavagem e descascamento, seguidos pela ralação e pela prensagem.

Todas estas fases geram efluentes líquidos. A manipueira é um dos resíduos mais problemáticos dos processos das fecularias, devido a suas elevadas cargas de compostos tóxicos. O processo de tratamento destes efluentes, através de biodigestores anaeróbios, com a consequente geração de biogás se apresenta como uma forma de economizar energia, uma vez

que é comum às fecularias utilizarem lenha como combustível para aquecimento de caldeiras (TEIXEIRA; CUNICO, 2013).

3.1.7 Lodos de Estação de Tratamento de esgoto (ETE) e Águas Residuárias

Segundo Chernicharo (2007), os esgotos sanitários são formados basicamente por água, em torno de 99,9%, o remanescente desta composição sendo sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, gases e micro-organismos. O Brasil apresenta dificuldade no tratamento do esgoto e das águas residuais, especialmente em função dos serviços de saneamento básico que, em alguns locais, ainda é precário e incipiente. Devido aos custos dos processos mais avançados de tratamento de esgoto, como, por exemplo, o reator biológico com membranas (BRM), verifica-se uma forte tendência ao uso de processos mais simples para tratamento, como o tratamento aeróbio e a digestão anaeróbia de lodo de esgoto. Este último processo tem sido utilizado em estações de tratamento de águas residuais há décadas. É uma tecnologia bem conhecida, eficiente e ambientalmente sustentável, que permite a produção de energia na forma de calor, eletricidade ou combustível para veículos, bem como a estabilização e redução de volume de lodo.

Nota-se, entretanto, que o uso de lodos e águas residuais como fonte de energia nem sempre é uma tarefa trivial. Sabe-se que estes materiais podem conter compostos refratários e não passíveis de biodegradação direta pelos micro-organismos, como é o caso de compostos húmicos, fúlvicos e resíduos celulósicos. Isso diminui o rendimento de biogás e pode inviabilizar o processo de biodigestão. Logo, muitas vezes, para que o processo de degradação e consequente fermentação ocorra, são necessárias etapas adicionais de pré tratamento, que viabilizem sua utilização.

Já são vistos na prática projetos de sucesso que utilizam esgoto, lodos e águas residuais como matéria-prima para a produção e geração de biogás. Na Finlândia, por exemplo, cerca de um milhão de toneladas de lodo de esgoto são produzidas anualmente, com digestão anaeróbia em 15 estações de tratamento. No ano de 2006, os 15 biodigestores produziram 23,5 milhões de m^3 de biogás (KUITTINEN *et al*, 2007; LUOSTARINEN; SILLANPÄÄ, 2009).

Para que haja um incremento na produção de biogás pela digestão anaeróbia de esgoto e águas residuárias, tem sido muito utilizado o processo de codigestão anaeróbia. Este consiste na mistura de substratos, matéria orgânica de outras fontes, ao lodo para melhorar suas propriedades e favorecer a digestão e consequente aumento da produção de biogás. De acordo com Zanette (2009), uma das iniciativas pioneiras, no Brasil, para aproveitamento do biogás gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é o projeto da Companhia de Abastecimento do Paraná (Sanepar), que, através da estação de tratamento de esgoto Ouro Verde gera eletricidade desde 2008. A energia elétrica gerada está interligada ao sistema da cidade e é distribuída para a população. O tratamento nesta ETE é feito essencialmente com tecnologias anaeróbias utilizando reatores anaeróbios de leito fluidizado.

3.2 ELO LOGÍSTICA

De acordo com o dicionário Aurélio, a palavra logística tem origem do francês *logistique*, que, por sua vez, deriva de *loger* (colocar, alojar, habitar). O sentido original deste termo se refere ao transporte, abastecimento e alojamento voltado para questões militares, uma vez que se referia à logística de suprimentos ou tropas para o momento de uma guerra. Na atualidade, o termo logística se relaciona a uma maneira ordenada de administração e organização de operações de transporte. No caso desta tese, esta etapa geralmente está contemplada no inicio da instalação e construção de um biodigestor, ou seja, na execução do projeto da planta de digestão anaeróbia. A escolha de um local para instalação leva em consideração fatores como a logística da matéria-prima, de transporte do produto final, seja o biogás purificado, biometano, ou o transporte do biogás bruto para central de conversão em energia, ou a movimentação de qualquer *input* dentro da cadeia produtiva. Ademais, a logística está pautada nos custos de transporte de toda a cadeia desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto final.

Ainda, a logística pode ser vista sob a perspectiva da matéria prima, a qual é essencial para se evitar perdas com o acumulo de resíduos e sua degradação antecipada e também evitar contaminações ambientais. Um claro exemplo da importância da etapa logística para a cadeia do biogás pode ser apresentado através da utilização de RSU como insumo para o processo de DA. Para a utilização deste material é imprescindível se pensar na logística de separação de

resíduos e na coleta seletiva. Muitas revisões na literatura foram feitas sobre a logística da coleta seletiva, e uma das mais importantes é a apresentada por Beigl, Lebersorger e Salhofer (2007), onde os autores demostram que, sem a etapa logística de separação, o processo de DA utilizando RSU não poderia ocorrer.

Entretanto a etapa de logística envolve muito mais do que o transporte da matéria-prima, englobando também o seu armazenamento e tratamento para introdução no biodigestor. Para um melhor entendimento estas etapas são esquematizadas na Figura 4.

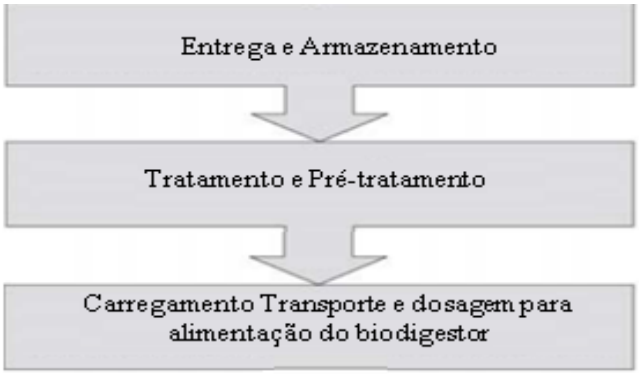

Figura 4 Etapas da logística
Fonte: Adaptado de Próbiogás, 2010.

O armazenamento é uma etapa essencial, cuja função é depositar e manter a matéria-prima em quantidade e qualidade suficiente até seu uso como substrato no processo. Com o armazenamento, é possível se fazer uma previsão e manter a produção de biogás em um determinado patamar de constância. A forma como esta armazenagem é feita depende do tipo de substrato e, também, se há codigestão de materiais. O mais importante na etapa de armazenamento é o espaço físico, além das condições em que o substrato será armazenado. Além disso, deve atender aos requisitos legais exigidos para os níveis de emissões de gases.

O tratamento e pré-tratamento do insumo contemplam o espaço para higienização da matéria-prima, se for o caso, e deve-se atentar para que os substratos não sejam misturados e percam suas características antes de sua utilização.

Por fim, a terceira etapa de carregamento, transporte e dosagem do substrato é de suma relevância porque, de acordo com as características do substrato, este pode ser introduzido no biodigestor de maneira distinta. Substratos líquidos como esterco, por exemplo, podem ser bombeados para o digestor e para isso é necessária uma preparação logística.

O planejamento para a produção de biogás e novas ferramentas para a otimização da logística são necessários para que as oportunidades mais lucrativas possam ser identificadas e a tecnologia de DA constantemente aprimorada.

Capítulo 4

ELO PRÉ-TRATAMENTO

Neste capítulo são descritos os principais pré-tratamentos para a preparação da matéria-prima antes de sua entrada no biodigestor, além de suas características e particularidades.

4.1 ELO PRÉ-TRATAMENTO

O principio básico do pré-tratamento é facilitar a degradação da matéria-prima, remover impurezas e ajustar o insumo às condições adequadas do processo. Isso pode ser feito através da remoção de outros substratos não desejados, aumentando a concentração da matéria-prima de interesse, através de uma diluição, por exemplo (LUCAS JUNIOR *et al*. 1993). O pré-tratamento de substratos, de uma forma mais específica, pode aumentar a produção de biogás e sólidos voláteis e favorecer sua solubilização, tornando-o mais acessível às enzimas e à degradação microbiana (TANAKA *et al.*, 1997). Os objetivos do pré-tramento podem ser resumidos em quatro, de acordo com Carrere *et al*. (2016):

i) Tornar o processo de DA mais rápido;

ii) Aumentar o rendimento de biogás;

iii) Permitir o uso de diferentes substratos disponíveis, e

iv) Diminuir a formação de espuma durante a mistura da materia-prima.

Sabe-se que a adição de uma etapa em um processo pode representar custos adicionais. Contudo, Rodriguez *et al.* (2017) justificam o uso do pré-tratamento. Apesar de tornar o processo mais complicado e caro, esta técnica melhora a eficiência do processo e reduz o custo total para que um balanço energético positivo possa ser obtido em comparação com a biomassa não pré-tratada, o que representa ganhos econômicos globais na DA.

Na literatura são descritas diferentes formas de se categorizar os pré-tratamentos. Para Passos *et al* (2014), estes estão divididos em quatro grandes categorias: Térmicos, Químicos, Biológicos e Físicos. Taherzadeh e Karimi (2008) e Zheng *et al*. (2014), de forma similar, também agrupam os pré-tratamentos em três grandes categorias: 1- Pré-tratamento Físico, subdividido em Mecânico; Radiação e Térmico); 2 - Pré-tratamento Químico e 3 - Pré-tratamento Biológico. Costa *et al*. (2014) adicionam a estas técnicas um grupo denominado termoquímicos, que combinam técnicas térmicas e químicas. Por fim, compilando diversos estudos e unificando conceitos, Montgomery e Bochmann (2014) apresentam uma forma de caraterização dos métodos de pré-tratamento. No Quadro 4 é apresentado um esquema de como os processos de pré-tratamento para produção de biogás podem ser organizados.

Quadro 4 Principais técnicas de pré-tratamentos

Princípio	**Técnica**
Físico	Mecânico
	Térmico
	Radiação
	Eletroquímico
Químico	Alcalino
	Ácido
	Oxidativo
Biológico	Microbiológico
	Enzimático
Processos combinados	Explosão a vapor
	Extrusão
	Termoquímicos

Fonte: Montgomery & Bochmann (2014).

Carrere *et al.* (2016) realizaram um levantamento na base *Web of Science* usando as palavras: ‘‘anaerobic digestion” e ‘‘pretreatment”, nos campos título e resumo. Como resposta, foram recuperados mais de 100 artigos publicados por ano de 2009 a 2011. Em 2012, 170 trabalhos foram recuperados, 220 em 2013 e 305 em 2014. Estes pesquisadores comparam as técnicas de pré-tratamento com as matérias-primas e identificam que, para lodo e esgoto, o pré-tratamento térmico com explosão de vapor é o mais referido, uma vez que aumenta o potencial de metano e a taxa de digestão. Para resíduos ricos em lipídeos, a saponificação é preferida por melhorar a solubilização e biodisponibilidade. No caso dos dejetos animais, este pré-tratamento (saponificação) pode ser otimizado para garantir a esterilização, solubilização e reduzir a inibição ligada aos ácidos graxos de cadeia longa. Para resíduos agrícolas ou com natureza lignocelulósica, o primeiro objetivo deve ser a deslignificação, seguida da degradação da hemicelulose e a hidrólise de celulose, os pré-tratamentos alcalinos ou biológicos (fungos) são os mais abordados. No que diz respeito às microalgas, o pré-tratamento térmico parece ser a técnica mais promissora. Nesta mesma linha, Ariunbaatar *et al.* (2014) reforçam que a escolha de um pré-tratamento está associada, em sua essência, ao tipo de matéria-prima. Estes pesquisadores realizam um trabalho com revisões dos diferentes métodos utilizados para pré-tratamento visando o aumento da taxa de DA.

Ariunbaatar *et al.* (2014) investigaram a DA da fração orgânica dos resíduos municipais (OFMSW), pré-tratada com diferentes técnicas disponíveis e concluíram que usualmente são utilizados pré-tratamentos físicos, uma vez que os demais ainda não estão disseminados em grandes plantas industriais. Por outro lado, estes mesmos autores pontuam que, para resíduos lignocelulósicos, tratamentos térmicos ou termoquímicos são mais efetivos, uma vez que a quebra das fibras permite o acesso às moléculas de açúcar que antes estavam protegidas pela estrutura cristalina e rígida da planta. Ainda, para resíduos de natureza lignocelulósica, Rodriguez *et al*. (2017) apresentam uma revisão sobre as técnicas de pré-tratamento para gramíneas e demonstram que a maioria das técnicas podem melhorar a produção de biogás, chegado a casos de um incremento de até 50%. Para melhor categorização deste elo tão importante, estes grupos de técnicas serão abordados em detalhes utilizando a classificação das técnicas propostas por Montgomery e Bochmann (2014), apresentada no inicio deste capítulo.

4.1.1 Pré-tratamento Físico: Mecânico

Este tratamento consiste na quebra ou remoção mecânica das partículas. Sua utilização visa, especialmente, reduzir o tamanho de partícula da biomassa e aumentar a área de superfície de contato da matéria-prima disponível para os micro-organismos e, portanto, melhorar o rendimento do biogás. Menind e Normak (2010) em seu estudo compararam feno seco moído (0,5 mm) e feno normal (20 a 30 mm) quanto ao rendimento, concluindo que a cominuição por métodos mecânicos aumentou em 10% o rendimento em biogás. Mshandete *et al.* (2006) avaliaram a fibra de sisal de 100 mm moída para 2 mm e tiveram um rendimento aproximadamente 20 a 25% maior. Ambos os resultados foram obtidos a partir de testes em escala laboratorial. Um exemplo de pré-tratamento mecânico denominado triturador de fluxo cruzado é desenvolvido pela *MeWa Recycling*, empresa alemã. Dentro da câmara da máquina, um metal espesso com uma corrente gira ao redor e o impacto da corrente nas fibras faz com que quebrem (corte e esmerilhamento). Esta unidade está instalada em uma planta agrícola que gera biogás com silagem de capim como substrato principal (MONTGOMERY E BOCHMANN, 2014).

4.1.2 Pré-tratamento Físico: Térmico

Este tipo de tratamento consiste no aquecimento do substrato, geralmente de 125 a 200°C, sob pressão, e mantido a essa temperatura durante até uma hora. O princípio da técnica é o fato de que, na presença de calor e água, as ligações de hidrogênio que mantêm a celulose cristalina e os complexos de lignocelulose unidos se rompem, fazendo com que a biomassa inche (GARROTE *et al.*, 1999). O pré-tratamento térmico é frequentemente realizado com produtos químicos ou em combinação com cisalhamento mecânico. Um exemplo de pré-tratamento térmico em larga escala é o TDH (do alemão *Thermo-Druck-Hydrolyse*), também conhecido como "hidrólise térmica", desenvolvido no *ATZ Entwicklungszentrum*, na Alemanha. Neste processo, os substratos, como os resíduos de cozinha, são diluídos para cerca de 10 a 15% de matéria seca. O reator é colocado sob uma pressão de 20 a 30 bar a uma temperatura de 170 a 200° C durante 20 minutos. O calor é reciclado neste processo, pois pode ser recuperado do material que sai do reator e também dos gases de escape do processo. A empresa afirma que os rendimentos de biogás são aumentados de 20 a 30% para as culturas energéticas em larga escala e os tempos de residência são significativamente mais curtos (MONTGOMERY; BOCHMANN, 2014).

4.1.3 Pré-tratamento Físico: Radiação

O pré-tratamento utilizando ultrassom é um tipo de tratamento de natureza física que pode aumentar a área de superfície específica, reduzindo o grau de polimerização. Todos os fatores aumentam o rendimento de hidrólise total da lignocelulose. No entanto, a alta energia demandada por estes processos fazem este método pouco utilizado (RODRIGUEZ *et al*., 2017).

4.1.4 Pré-tratamento Químico: Ácido e Alcalino

O pré-tratamento químico baseia-se na utilização de produtos químicos diferentes, principalmente ácidos e bases. Na Tabela 3 uma comparação das técnicas químicas é apresentada.

Tabela 3 Vantagens e desvantagens dos pré-tratamentos químicos

Pré-tratamento	Definição	Vantagem	Desvantagem
Alcalino/Ácido	Usado para uma degradação parcial do substrato visando aumentar a área de contato e o acesso dos micro-organismos. Pode ser ácido ou básico de acordo com o pH do agente químico utilizado.	É muito eficiente para resíduos lignocelulósicos	Seu custo pode ser alto, comparado a outros pré-tratamentos, e atua em pH ácido, o que pode ser corrosivo ao equipamento e tóxico ao micro-organismo
Oxidativo	Utiliza compostos químicos para oxidar a matéria-prima orgânica e disponibilizar os açúcares.	Permite uma degradação consistente da matéria-prima	Seu custo pode ser alto, comparado a outros pré-tratamentos.

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Russo (2003) e Allendes (2015).

A adição de uma base, por exemplo, provoca inchaço da lignocelulose e solubilização parcial de lignina (KONG; ENGLER; SOLTES, 1992). O tratamento alcalino pode ser realizado com diferentes álcalis, comumente usando calcário ou hidróxido de sódio (NaOH). As técnicas usando ácidos geralmente são combinadas a técnicas térmicas.

Ramos-Suárez *et al*. (2017) estudam, em laboratório, a aplicação de óxido de cálcio (CaO), ácido peracético e uma combinação de ambos para reduzir o teor de lignina e aumentar o potencial de biogás gerado a partir do estrume de vaca e palha de milho. O aumento na produção de biogás com uma combinação de CaO e PAA, e a aplicação separada de PAA e CaO foram de 156,5%, 39,1% e 26,1% para estrume de vaca e 125%, 137,5% e 37,5% para palha de milho, respectivamente, em comparação com amostras não pré-tratadas. Os autores concluem que o pré-tratamento do estrume de vaca com os reagentes mencionados não aumenta a rentabilidade de uma planta de biogás, devido, principalmente, ao aumento dos custos operacionais pelo uso intensivo de produtos químicos.

Um dos maiores impeditivos para o uso destas técnicas de pré-tratamento é o fato de produtos ácidos exigirem equipamentos resistentes à corrosão, o que aumenta o custo de instalação e aplicação da planta (BENSAH; MENSAH, 2013).

4.1.5 Pré-tratamento Químico: Oxidativo

O pré-tratamento oxidativo geralmente é feito a base de peróxido de hidrogênio ou ozônio. Estas técnicas atuam na lignocelulose realizando a quebra da lignina. Um estudo em escala laboratorial realizado por Song *et al*. (2012) analisou o efeito do peróxido de hidrogênio e do pré-tratamento com amônio na produção de biogás a partir de palha de arroz. Como resultado, houve um aumento de duas vezes na produção de biogás. Uma desvantagem deste sistema é que a introdução de oxigênio no sistema pode favorecer a formação de gás carbônico, deixando o biogás com um menor teor de metano.

4.1.6 Pré-tratamento Biológico: Enzimático e Microbiológico

O objetivo do pré-tratamento biológico é melhorar o processo de hidrólise em um estágio adicional antes da digestão principal (Carrère, 2010), utilizando enzimas ou micro-organismos. O uso de enzimas é um método efetivo e simples para a degradação de resíduos lignocelulósicos, contudo, seu uso em grande escala pode ser muito custoso dependendo da origem das enzimas. Por outro lado, o uso de micro-organismos, como fungos, para ajudar a degradação, é mais barato e menos tóxico para as arqueas metanogênicas, quando comparado a outros métodos, todavia, o controle da degradação é mais difícil e os fungos consomem o material lignocelulósico para suas atividades metabólicas.

A taxa de pré-tratamento biológico é muito lenta para fins industriais. Algumas desvantagens do pré-tratamento biológico, que o tornam menos adequado para a indústria, incluem um longo período de permanência de 10-14 dias, condições de crescimento extremamente precisas e a necessidade de um grande espaço para sua realização. Outra desvantagem potencial é que alguma fração do carboidrato é consumida pelos micro-organismos. O pré-tratamento biológico pode ser explorado como um primeiro passo, pré-tratamento padrão em combinação com outro método de pré-tratamento ou por conta própria, se a biomassa tiver um baixo teor de lignina (AGBOR *et al.*, 2011).

4.1.7 Pré-tratamentos Combinados

Dentro deste grupo tem-se, por exemplo, a explosão a vapor, técnica que utiliza um sistema de alta pressão combinado com calor para degradação da biomassa, cujo objetivo é aumentar o acesso, especialmente ao conteúdo celulósico da matéria-prima. Esta é uma técnica com alto custo, visto que necessita de bastante energia para aquecimento do insumo em altas temperaturas. Outro exemplo é o tratamento hidrotérmico, o qual utiliza água na temperatura de 170 a 220°C para tornar mais efetiva a ação enzimática, liberando a celulose e a glicose, método que produz subprodutos menos tóxicos e não corrosivos. A explosão de vapor é uma técnica bem conhecida para o pré-tratamento de várias matérias-primas de biomassa. Durante o pré-tratamento, o material lignocelulósico é exposto a um vapor saturado de alta pressão, a uma temperatura de 160-260°C e a uma pressão correspondente de 5-50 atm por alguns minutos. A pressão é gradualmente liberada e o vapor se expande dentro da matriz lignocelulósica, fazendo com que as fibras individuais se separem e a estrutura da parede celular seja interrompida (KUMAR *et al.*, 2009; AGBOR *et al.*, 2011).

.

Capítulo 5

ELO PROCESSO

Neste capítulo é detalhado o quarto elo da cadeia. É apresentada uma revisão da literatura sobre o processo *per se*, bem como um estudo de seus fatores limitantes, suas características e peculiaridades. É também apresentada uma revisão sobre os principais tipos de equipamentos de acordo com sua finalidade de uso, agrícola, sanitário ou industrial.

5.1 ELO PROCESSO DIGESTÃO ANAERÓBIA: FUNDAMENTOS

Segundo Motte *et al*. (2013), a DA é uma técnica consolidada, com desenvolvimento constante desde 1990. A escolha dos parâmetros operacionais que identificam o processo depende, principalmente, da matéria-prima e do equipamento escolhido. Os principais parâmetros são:

i) Temperatura, podendo ser mesófíla ou termófila;

ii) Configuração do equipamento, sendo reatores de um ou dois estágios;

iii) Modo de alimentação do reator, mono-substrato ou codigestão;

iv) Modo de operação do reator, contínuo ou em batelada;

v) Teor total de sólidos (TS), geralmente usado para definir dois tipos de processos: Digestão úmida para TS <15% e Digestão Seca ou TS > 15 a 20%.

Muito embora tenha um alto grau de maturidade tecnológica e parâmetros operacionais bem consolidados, a DA, assim como toda tecnologia, enfrenta alguns desafios, tendo algumas desvantagens na sua utilização. No Quadro 5 são apresentados, de forma comparativa, os pontos fortes e oportunidades de melhoria na utilização do processo de DA.

Quadro 5 Vantagens e desvantagens do uso do processo de DA

Pontos Fortes	**Pontos Fracos**
Geração de biogás: mistura gasosa que contem metano, gás combustível com alto poder calorífico	As bactérias anaeróbias são sensíveis à inibição por uma grande quantidade de compostos e fatores do processo
Redução das emissões de gases do efeito de estufa através de recuperação de metano	O início do processo pode ser bem lento na ausência de inóculo
Permite o tratamento combinado de resíduos orgânicos distintos	Geralmente é necessário algum pré-tratamento para o aproveitamento máximo da matéria-prima
Proporciona uma redução de sólidos	Por ser um processo biológico requer complexos controles para seu pleno rendimento
Remoção de micro-organismos patogênicos em função da temperatura do processo	Geração de compostos sulfurosos que, quando não controlados, causam fortes odores
Baixo consumo de energia	.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Baixa demanda de área para implementação do digestor	
Aplicação em pequenas e grandes escalas	

Fonte: Adaptado de Chermicaro (2007).

O processo de biodigestão anaeróbia engloba quatro etapas, sendo que as transformações da matéria ocorrem basicamente devido à realização dos processos de síntese e decomposição de materiais orgânicos, por micro-organismos, especialmente bacterianos. Estas etapas, bem como a decomposição da matéria, estão esquematizadas na Figura 5.

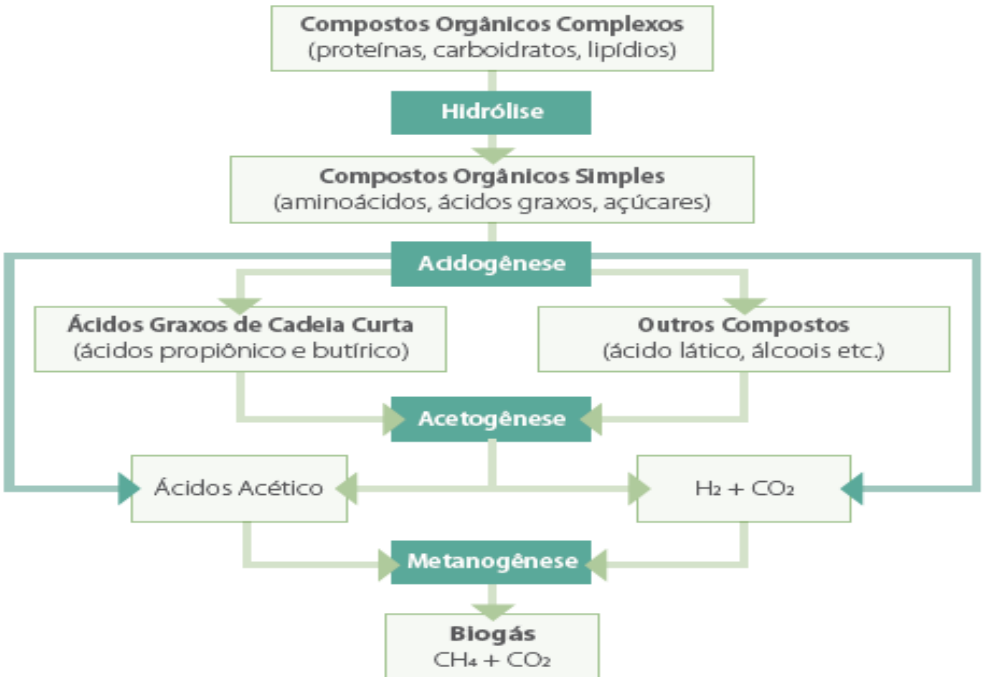

Figura 5 Etapas da degradação anaeróbia da matéria orgânica
Fonte: SENAI (2016).

1) Hidrólise: Nesta etapa ocorre a conversão de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas, lipídeos) em compostos mais simples (principalmente, hidrogênio e dióxido de carbono), através da hidrólise e fermentação. Este processo de conversão se inicia com a transformação da matéria orgânica particulada mais complexa em materiais dissolvidos, por meio da ação de exoenzimas específicas excretadas pelas bactérias fermentativas

hidrolíticas. Os materiais dissolvidos podem ser mais facilmente assimilados pelos micro-organismos. Em relação às bactérias com capacidade hidrolítica no processo de digestão anaeróbia, existem diferentes gêneros que podem estar predominantes no meio. De acordo com Banckzec (2013), as principais enzimas que realizam a etapa de hidrólise são de origem animal (lipase pancreática e pepsina); origem vegetal (bromelina e papaína) e origem microbiana (lactase e lipase).

2) Acidogênese[6]: Esta etapa é uma continuação sequencial da etapa de hidrólise. O fim de uma e o início de outra é bastante tênue, sendo que nesta fase o pH do meio tende a se acidificar e há quebra das moléculas em partículas ainda menores, ocorrendo formação de ácidos graxos voláteis (ex. acético, propiônico, butírico, valérico) e produção de amônia, dióxido de carbono e H_2S como subprodutos. Segundo Cavaleiro (1999), os micro-organismos fermentativos são os primeiros a atuar nesta etapa de degradação do substrato.

3) Acetogênese: Nesta etapa há uma forte ação de bactérias sintróficas[7], ou bactérias acetogênicas, as quais realizam a conversão de compostos orgânicos intermediários (propionato, butirato) em compostos mais simples (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono). Estes servirão como substrato apropriado para os micro-organismos metanogênicos (BANCKEC, 2013).

4) Metanogênese: Esta etapa final do processo global de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é realizada pelos micro-organismos metanogênicos. Estes micro-organismos, classificados dentro do domínio Archea, promovem a conversão do acetato e hidrogênio produzidos nas etapas anteriores, em metano e dióxido de carbono. As arqueas metanogênicas são micro-organismos anaeróbios estritos, os quais utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo o ácido acético, hidrogênio / dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Segundo Chernicharo (2007), estes micro-organismos desempenham um papel fundamental em ambientes anaeróbios, uma vez que são responsáveis pela manutenção da pressão parcial de hidrogênio, no meio, em níveis suficientemente reduzidos. A conversão de acetato é responsável pela produção de cerca de 70% do metano no processo de degradação anaeróbia (CAVALEIRO, 1999).

---

[6] Alguns autores também denominam esta etapa de Fermentação.
[7] Organismos que obrigatoriamente produzem hidrogênio.

Esta etapa é a mais demorada e delicada de todo o processo, pois com o decorrer das reações químicas ocorre a formação de microbolhas de CH_4 e CO_2 em torno da população de bactérias metanogênicas. Essas bolhas podem, por vezes, isolar os micro-organismos de um contato direto com a matéria-prima, o que pode ocasionar uma redução da conversão de metano. Por este motivo, usualmente, uma agitação no biodigestor é realizada nesta etapa para minimizar o efeito das microbolhas (BANCZEC, 2013).

Pinto (2006) afirma que, além destas quatro etapas, o processo de digestão anaeróbia pode ter uma fase adicional conhecida como sulfetogênese. Nesta etapa, sulfatos, sulfitos e outros compostos sulfurados são utilizados como aceptores de elétrons e reduzidos a sulfeto. Os micro-organismos participantes da sulfetogênese são denominados bactérias redutoras de sulfato (bactérias sulforedutoras), sendo bactérias anaeróbias estritas.

5.2 CODIGESTÃO E PROCESSOS COMBINADOS

Alguns autores têm estudado a possibilidade de aperfeiçoamento da digestão anaeróbia. Isto seria através da utilização de um processo conhecido como codigestão anaeróbia, ou seja, misturando-se resíduos de natureza orgânica (SILVA, 2009a). Ainda segundo Silva (2009), a codigestão anaeróbia apresenta como benefícios: i) diluição de combinações tóxicas dos resíduos; ii) fomenta o equilíbrio de nutrientes; iii) contribui para o consórcio de micro-organismos; iv) reduz o custo de produção e acresce a carga de matéria orgânica biodegradável trazendo como benefício associado a v) produção de biogás (SOSNOWSKI *et al.* 2003, SILVA, 2009a).

O processo de biodigestão anaeróbia, muito embora seja uma técnica de fácil domínio, tem sido aperfeiçoado constantemente. Na Universidade Autônoma de Barcelona (UAB), por exemplo, uma pesquisa desenvolvida pelo grupo de nanopartículas inorgânicas e o grupo de Compostagem de Resíduos Sólidos utiliza nanopartículas para aumentar a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia. Neste caso, são utilizadas nanopartículas de óxido de ferro como um aditivo que favorece a decomposição da matéria orgânica, e, consequentemente, aumenta substancialmente a produção de biogás (UAB, 2014).

As matérias-primas podem ser combinadas de diferentes maneiras em um processo denominado codigestão, uma opção factível para superar algumas barreiras do processo de

biodigestão. Por exemplo, duas ou mais matérias-primas podem ter efeitos sinérgicos no aumento da produção de biogás. Desse modo, muitos trabalhos voltados para aprodução de biogás acabam por fazer uso de uma mistura de matérias-primas orgânicas.

No Quadro 6 são apresentadas algumas combinações de matérias-primas possíveis, com seu respectivo rendimento em biogás, comparativamente ao seu uso individual. Nota-se, por exemplo, que o estrume de vaca sozinho tem um rendimento 9,6% menor do que quando adicionado ao esterco de porco e dejetos de pássaros. A codigestão anaeróbia, segundo Silva (2009a), é a decomposição de dois ou mais tipos de substratos orgânicos tratados simultaneamente. É muito comum, na prática, a utilização de matérias orgânicas combinadas no intuito de se aumentar a eficiência. A produção de biogás a partir de dejetos animais, por exemplo, depende da adição de co-substratos para tornar as operações rentáveis (VEGA *et al.*, 2014).

Quadro 6 Misturas de matérias-primas: Processo de codigestão

Matéria-prima	Relação da mistura %	% do biogás*	%
Estrume de vaca	100	380	-
Dejetos de porco	100	569	-
Esterco de galinha	100	617	-
Lodo de esgoto	100	265	-
Gramíneas	100	277	-
Estrume de vaca + Dejetos de porco	50 - 50	510	+ 7,5
Estrume de vaca + Dejetos de pássaros	50 - 50	528	+ 6
Estrume de vaca + Lodo de esgoto	50 - 50	407	+ 26
Estrume de vaca + Gramíneas	50 - 50	363	+ 5
Estrume de Porco + Dejetos de pássaros	50 - 50	634	+ 7
Estrume de vaca + porco + Dejetos de pássaros	25 – 50 - 25	585	+ 9,6
Dejetos de pássaros + Lodo de esgoto	50 - 50	495	+ 12,3
Dejetos de pássaros + Gramíneas	50 - 50	513	+ 13,5
Lodo de esgoto + Gramíneas	50 - 50	387	+ 42

Fonte: Traduzido e adaptado de Dobre; Matei; Nicolae (2014).
* L / kg Sol. Org.

Verifica-se na literatura um aumento crescente de trabalhos envolvendo a codigestão, associado principalmente ao fato de que a digestão anaeróbia de substratos simultaneamente permite perpassar obstáculos como ajustes na relação C:N, correções de pH, regulação de

nutrientes. Por exemplo, estercos têm cargas orgânicas baixas e altas concentrações de nitrogênio. Estas características podem inibir as bactérias metanogênicas. Já os resíduos sólidos urbanos podem conter materiais tóxicos, bem como uma alta concentração de metais pesados inibindo o crescimento microbiano. Os resíduos agroindústriais são sazonais, o que dificulta um processo contínuo de geração de biogás (MATA-ALVAREZ *et al.*, 2014). Dessa forma, demonstra-se o interesse crescente por estudos de codigestão. Mata-Alvarez *et al*. (2014) apontaram também que 50% do conjunto total de artigos recuperados sobre codigestão foi publicados entre 2012 e 2013, e 75% destes foram publicados no período de 2009-2013.

Corroborando o exposto, Forest (2012) demonstra em seu estudo que a Europa, liderada pela Alemanha, tem aumentando – nos últimos 10 anos - as plantas de digestão anaeróbia que utilizam de forma combinada codigestão de resíduos agrícolas, especialmente milho, e dejetos de animais como insumo. No Quadro 7 são sumarizadas as vantagens e desvantagens da realização de codigestão.

Quadro 7 Vantagens e desvantagens da codigestão

Vantagens	Desvantagens
Melhor equilíbrio de nutrientes e maior capacidade tampão do pH do meio, tornando, em geral, o processo mais estável	Mão de obra especializada para a concepção e construção das instalações, dependendo da escala também podem demandar especialistas para operação e manutenção da planta
Diminuição de custos com equipamentos e manuseio de matéria-prima	Alta sensibilidade de bactérias metanogênicas a um grande número de compostos químicos
Em geral, maior rendimento em gás metano e impacto positivo na qualidade do biogás produzido	Aumento do digestor DQO efluentes
São estabelecidas sinergias positivas durante o processo	A principal desvantagem da codigestão é que ainda é muito pouco estudada

Fonte: Adaptado de Kangle *et al.* (2012).

5.3 FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Muitos são os elementos que influenciam a produção de biogás. Os principais fatores encontrados na literatura como limitantes para o processo de biodigestão, ou mesmo limitantes no rendimento de metano, são a seguir apresentados. Pinto (2006) enfatizou que a etapa mais crítica da biodigestão anaeróbia é a metanogênese, sendo esta limitante do processo. Dessa

forma é necessário que as condições do sistema acatem as exigências nutricionais das bactérias metanogênicas, no intuito de maximizar a produção do metano.

5.3.1 Composição química dos resíduos

Quanto à sua composição, os resíduos podem ser classificados de diferentes formas. Uma das formas mais simples é quanto à composição química, orgânicos e inorgânicos. No caso dos processos de DA, somente os resíduos com natureza majoritariamente orgânica são interessantes. As substâncias orgânicas são mais facilmente biodegradáveis. Carboidratos, proteínas e lipídeos proporcionam uma maior produção de metano, ao passo que as substâncias com estruturas mais rígidas, como celulose e lignina, necessitam de um pré-tratamento para tornar o açúcar contido nas moléculas biodisponível.

5.3.2 Temperatura

Provavelmente a temperatura é um dos fatores mais importantes no processo, uma vez que a biodigestão anaeróbia depende de organismos vivos, e as condições de temperatura à qual são submetidos tem grande influência na sua sobrevivência e atividade.

Dependendo da temperatura, a reação favorece certos grupos de micro-organismos em detrimento de outros, por exemplo, as bactérias mesófilas requerem uma temperatura ideal de crescimento na faixa de 30-35°C, enquanto as bactérias termófilas requerem uma temperatura próxima aos 55°C. O crescimento microbiano, quando favorece um determinado grupo de bactérias, tende a biodegradar o material orgânico de forma heterogênea, o que invariavelmente afeta a qualidade a quantidade do biogás produzido.

Digestores operados na faixa termofílica, apesar de apresentarem maior produção de biogás, não são usualmente utilizados. Este fato está associado principalmente à sensibilidade dos micro-organismos termófilos. Este grupo bacteriano é menos resistente às alterações do meio – variações de pH, de nutrientes, de umidade - e também são nutricionalmente mais exigentes, muitas vezes necessitando de complementação para seu crescimento (FORESTI, 1987; NOGUEIRA, 1992; CHERNICHARO, 1997; PINTO, 2000 *apud* PINTO, 2006). Além disso, a fermentação em temperatura elevadas é adequada a processos que requerem a eliminação de patógenos e higienização do substrato. A faixa de temperatura ideal de tais

culturas termófilas é de 50 a 60°C. A temperatura mais elevada proporciona maior taxa de decomposição e torna o substrato menos viscoso. Em contrapartida, a manutenção dessa faixa de temperatura significa um gasto maior de energia no processo de digestão (PROBIOGAS, 2010).

Dessa forma, usualmente os biodigestores operam em faixas de temperatura mesófilas. Em função da maioria dos micro-organismos metanogênicos possuírem um pico de crescimento na temperatura 37 a 42°C (mesófila), as usinas de biogás operando nessa faixa são o tipo mais comum, pois tal faixa de temperatura permite rendimentos relativamente elevados de gás e proporciona uma boa estabilidade do processo (PROBIOGAS, 2010).

5.3.3 Teor de água - Umidade

De acordo com Baczec (2013), o teor de umidade deve estar em torno de 90 a 95%, em relação ao peso da matéria. Esterco bovino, por exemplo, possui em média 84% de umidade, precisando assim ter 100% de seu peso diluído em água. Estercos suínos que são muito mais secos (com 19% de umidade) precisam de uma diluição em torno de 130% de seu peso em água. Por outro lado, esterco de ovinos e caprinos, um dos mais secos, exige até 320% de água para sua diluição.

Uma característica importante nos processos de biodigestão anaeróbia que deve ser levada em conta é o teor de matéria seca presente na matéria-prima. Os processos de digestão anaeróbia usualmente são classificados em: processos de digestão secos (2-15% de material seco) e processos de digestão úmida (substratos contendo 5-25% de material seco) (DOBRE; MATEI; NICOLAE, 2014).

Por fim, é importante salientar que os micro-organismos metanogênicos têm a capacidade de se adaptar a diferentes níveis de temperatura quando a sua variação é lenta. Logo, a estabilidade do processo está intrinsicamente relacionada à constância da temperatura, não ao valor absoluto em si (PROBIOGAS, 2010).

5.3.4 Tempo de residência da matéria-prima

O tempo de residência no digestor varia com a quantidade e tipo de material, além da alimentação do biodigestor e da configuração do sistema de digestão. Para digestores de um ou

dois estágios, onde a digestão se processa em temperaturas mesófilas o tempo de permanência varia entre 15 e 40 dias. Já para uma digestão termofílica de fase única, os tempos de residência são normalmente mais rápidos, cerca de 14 dias (LA RUBIA *et al*., 2006).

5.3.5 Relação Carbono: Nitrogênio

Este é um parâmetro importante relacionado com as condições em que se desenvolve o processo biológico da fermentação.

Uma relação C:N alta tem efeito negativo na atividade metabólica. Com concentrações excessivas de carbono, este não é completamente degradado e o rendimento de metano não atinge seu auge. Por outro lado, a excessiva concentração de nitrogênio pode causar a abundante geração de amônia (NH_3). Esta é capaz de inibir o crescimento das bactérias mesmo em baixas concentrações, podendo até ocasionar o colapso de toda a população de micro-organismos. Sendo assim, o equilíbrio deve ser sempre mantido e usualmente a relação carbono / nitrogênio ideal para uma digestão ótima está na faixa de 10 a 30:1 (PROBIOGAS, 2010).

Na literatura são encontradas diversas faixas ideias para relação C:N, contudo orienta-se não ultrapassar a relação C:N de 35:1 para que o processo ocorra de forma mais rápida; valores muito menores podem significar uma insuficiência de carbono para a conversão do nitrogênio disponível e, neste caso, pode ocorrer um acúmulo de nitrogênio na forma de amônia, que, em elevadas concentrações, inibe o crescimento das bactérias (principalmente as metanogênicas) (SILVA, 1977; NOGUEIRA, 1992; *apud* PINTO 2006).

Entretanto, esta proporção ideal é dificilmente encontrada, por exemplo, a maioria dos estercos de animais possui baixa relação C:N e devem ser corrigidos com outros resíduos orgânicos, geralmente resíduos vegetais, a fim de se alcançar a faixa ideal (BACZEC, 2013). No Quadro 8 é apresentada a relação usualmente encontrada de acordo com o resíduo orgânico utilizado.

Quadro 8 Relação C: N nas principais matérias-primas usadas para biodigestão anaeróbia

Material Orgânico	% C	%N	C:N
Esterco Bovino	1,7	30,6	18
Esterco Equino	2,3	57,6	25
Esterco de Ovinos	3,8	83,6	22

Material Orgânico	% C	%N	C:N
Esterco de Suínos	3,8	76	20
Esterco de Aves	6,3	50	7,3
Fezes Humanas	6	48	8
Feno	4	48	12
Serragem	0,11	47,5	431

Fonte: Baczec (2013).

5.3.6 pH

Variações bruscas ou alterações no potencial hidrogeniônico do meio podem afetar e perturbar fortemente os micro-organismos presentes no processo, especialmente as bactérias metanogênicas que, como já mencionado, são muito sensíveis. Com mudanças no equilíbrio ácido-básico, estes organismos podem perder suas características originais, o que fatalmente inibe a reação de uma maneira global. De acordo com Tietz *et al.* (2013), o pH está relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultante do equilíbrio entre populações de micro-organismos e a alcalinidade total do sistema. Assim, um desequilíbrio no sistema resulta no acúmulo de ácidos orgânicos no meio e, logo, queda do pH (PEREIRA *et al.*, 2009; FARIA, 2012; TIETZ *et al*., 2013). O ajuste do pH às vezes é necessário, sendo que, em condições de acidez elevada, recomenda-se a adição de agentes neutralizantes de pH para aumentar a produção de metano, uma vez que as bactérias metanogênicas podem ser inibidas em pH menores que 6,0.

5.3.7 Nutrientes

A quantidade e a composição de substrato disponíveis para biodegradação é sem dúvida um fator preponderante no sucesso do processo de biometanização. O teor de matéria orgânica biodegradável, ou seja, sua composição centesimal, afeta diretamente a quantidade e a qualidade do biogás produzido. Para o crescimento microbiano são requeridos dois tipos básicos de nutrientes, os macronutrientes, carbono, nitrogênio, fósforo, hidrogênio e enxofre. O segundo grupo básico de compostos essenciais, os micronutrientes, variam de acordo com o grupo de micro-organismos envolvidos no processo, sendo que os anaeróbios necessitam da suplementação de elementos traços como ferro, níquel, magnésio, cálcio, sódio, bário,

tungstênio, molibdato, selênio e cobalto (PINTO, 2006).

A presença de micronutrientes é essencial para o desenvolvimento dos micro-organismos que são os agentes biológicos condutores do processo. Os aminoácidos têm em sua composição o enxofre, e os compostos de fósforo são fundamentais para a formação da adenosina trifosfato (ATP) e da nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADP), responsáveis pelo transporte de energia.

O selênio, tungstênio e níquel, por exemplo, atuam como cofatores para várias enzimas produzidas pelas bactérias metanogênicas e acetogênicas (MALINA Jr. & POHLAND, 1992). O autor ainda menciona o enxofre como elemento essencial para o crescimento bacteriano, sua principal função na célula bacteriana está associada à síntese de proteínas. De acordo com o Probiogas (2010), a demanda de micronutrientes é geralmente atendida na maioria das usinas de biogás agrícolas, principalmente pelo uso de dejetos animais. Porém, não raro ocorre uma carência de microelementos, principalmente na digestão simples de cultivos energéticos.

5.3.8 Materiais Tóxicos

As bactérias metanogênicas são o principal grupo de interesse no processo de digestão anaeróbia, organismos sensíveis às variações ambientais. Rizzoni *et al* (2012) apontam que as bactérias responsáveis pelo processo de biodigestão frequentemente são alvos de intoxicações. Usualmente compostos como cloreto de sódio (NaCl), cobre (Cu), cromo (Cr), amônia (NH_3) são danosos para essas bactérias. Além disso, compostos usados como desinfetantes, bactericidas, resíduos de antibióticos, cloro ativo (Cl), ocasionam a morte de micro-organismos (RUIZ, 1992; RIZZONI, 2012). Um cuidado particular quanto à presença de metais pesados e substâncias organocloradas, que usualmente estão presentes nos afluentes a serem tratados, deve ser tomado. Estas substâncias, mesmo em concentrações muito baixas, podem ter grande toxicidade. Sais de metais pesados como, por exemplo, o cobre e o zinco, podem ser problemáticos, contudo, quando em condições alcalinas, e especialmente se o íon sulfeto estiver presente, estes metais precipitarão, pouco afetando o sistema (PINTO, 2006).

Tietz *et al.* (2012) investigaram qual o teor máximo de certos componentes para que o metabolismo das bactérias produtoras de metano fosse mantido inalterado. As conclusões dos

experimentos foram: cloreto de sódio (4.000 ppm), detergente (20 a 40 ppm), potássio (2.500 a 4.500 ppm), cálcio (2.500 a 4.500 ppm) e magnésio (1.000 a 1.500 ppm).

Em acréscimo, Pinto (2006) enfatiza que, mesmo compostos e elementos considerados necessários para o crescimento microbiano, dependendo de suas concentrações, podem ser tóxicos. Neste sentido, o autor cita a amônia, uma fonte importante de nitrogênio proveniente da digestão de compostos proteicos ou ureia. Tanto o íon amônio (NH_4^+) quanto a amônia livre (NH_3) podem ser inibidores do processo em altas concentrações.

Na figura 6 são apresentadas as principais variáveis do processo, percebe-se que existem diferentes critérios que levam em conta a umidade do substrato, tipo de alimentação, temperatura do processo e o tempo de retenção hidráulica.

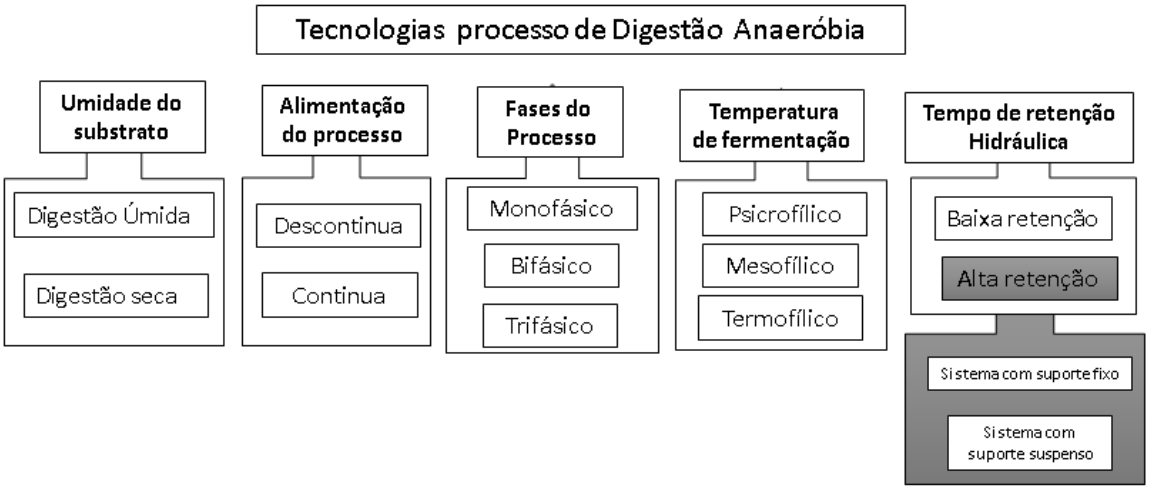

Figura 6 Possibilidades de escolha tecnológica para realização do processo
Fonte: Elaboração própria com base no Portal do Biogás (2015).

Vale ressaltar, neste caso, que a escolha da tecnologia depende também de questões logísticas da matéria-prima, dos recursos disponíveis para construção e manutenção da unidade de processamento além da escala, tamanho, que a unidade possui.

Usualmente em pequenas plantas familiares soluções tecnológicas simples são usadas visando manter a praticidade e o baixo custo de instalação. Estas produções em escala reduzida geralmente são adotadas em países tropicais, que possuem as condições climáticas ideais para o processo de biodigestão não necessitando, portanto, de sofisticados controles de temperatura, umidade e pressão, por exemplo. Já em países onde há a prática da agricultura intensiva, as unidades de biogás são usualmente maiores e mais avançadas, as plantas produtoras de biogás

são equipadas com tecnologias modernas para aumentar a capacidade do digestor e aplicar controles físicos e químicos ao processo.

Para elencar alguns dos equipamentos mais utilizados no processo de DA, neste estudo, por questões didáticas, optou-se pela classificação dos biodigestores de acordo com o modo de operação. Biodigestores contínuos são aqueles onde os dejetos são inseridos no sistema em intervalos de tempo determinados. Biodigestores descontínuos, ou em batelada, são aqueles em que os dejetos são inseridos de uma só vez e o sistema é mantido fechado durante o processo.

5.4 CLASSIFICAÇÃO DOS BIODIGESTORES QUANTO AO MODO DE OPERAÇÃO

5.4.1 Biodigestores Contínuos para produção de biogás

Os biodigestores de fluxo contínuo são aqueles onde a biomassa é colocada de uma única vez, sem que haja necessidade de abertura do equipamento. Este é fechado de forma hermética e a matéria orgânica nele inserida é degradada na ausência de oxigênio. O biodigestor somente será aberto quando a produção de biogás cair, indicando que a matéria orgânica foi degradada.

Os mais utilizados são os modelos indiano e chinês. O biodigestor de fluxo contínuo é apropriado para a maioria das biomassas, recebe cargas diárias de matéria orgânica e descarrega volume semelhante, já fermentado, através de um sistema de vasos comunicantes.

Os sistemas de biodigestores rurais contínuos mais difundidos são: modelos indiano, modelo chinês, *Continuous Flow Stirred-Tank Reactor* (CSTR), modelo canadense de escoamento tubular ou *plug flow*, reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB).

O modelo chinês de peça única é construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaço. Este modelo tem o custo mais barato em relação aos outros digestores, pois sua cúpula também é feita em alvenaria (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

O biodigestor indiano tem sua cúpula geralmente feita de ferro ou fibra. Nesse tipo de biodigestor, um dos mais usados devido à sua funcionalidade, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo, que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa ainda pouco espaço e a construção é subterrânea, dispensando o

uso de reforços, tais como cintas de concreto (CASTANHO e ARRUDA, 2008). Quando construído, apresenta o formato de um poço, que é o local onde ocorre a digestão da biomassa, coberto por uma tampa cônica. A tampa contém uma campânula flutuante e um gasômetro que controla a pressão do biogás e permite a regulação da emissão do mesmo (SILVA, 2009b). De acordo com Menezes (2008), no Brasil este é o modelo mais utilizado em função da facilidade de execução e operação e pela possibilidade de construção com diferentes tipos de materiais, como PVC, plástico e fibras. Tanto o biodigestor chinês quanto o indiano são projetados para atender às necessidades das pequenas propriedades rurais.

Outro tipo bastante conhecido de biodigestor é o de fluxo continuo, o *Continuously Stirred Tank Reactor* (CSTR), geralmente utilizado para o tratamento de lamas com aproximadamente 2-10% de sólidos totais. Uma das vantagens é a possibilidade de misturar o conteúdo do reator. O sistema CSTR usualmente é utilizado com insumos como estrume animal, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, fezes, urina e resíduos alimentares (MES; STAMS; ZEEMAN, 2003).

Os biodigestores denominados UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, são conhecidos como RAFA, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, apresentam um alto desempenho na produção de biogás e têm característica de fluxo ascendente dos efluentes (ALMEIDA, 2016). Uma limitação destes é o fato de não tolerarem altas concentrações de sólidos na alimentação do sistema, necessitando uma boa separação sólido-líquida prévia.

O reator anaeróbio de leito granular expandido (EGSB) é um reator UASB melhorado. Sua concepção é a mesma, com diferença apenas na aplicação das cargas hidráulicas ou velocidades ascensionais. Neste tipo de equipamento existe usualmente a recirculação do efluente. A aplicabilidade do reator EGSB em escala real tem sido no tratamento de efluentes industriais de cervejarias e de processamento de alimentos que, em muitos casos, se caracterizam pela geração de esgotos mais diluídos e, às vezes, em baixas temperaturas. Para essas condições se aplicam muito bem aqueles reatores, pelas suas características hidrodinâmicas, que resultam em alto grau de mistura e contato necessário entre os substratos e os micro-organismos (MES; STAMS; ZEEMAN, 2003).

5.4.2 Biodigestores Descontínuos ou Batelada para produção de biogás

Nos biodigestores descontínuos, uma carga de dejetos é inserida no biodigestor, que é totalmente fechado, sendo reaberto somente após a produção do biogás, havendo a retirada do biofertilizante e um novo ciclo é iniciado. Estes são mais indicados para materiais orgânicos de decomposição lenta, pois recebem a carga total e assim ficam até se completar todo o processo de biodigestão, quando, então, são descarregados e abastecidos novamente. Os biodigestores em batelada exigem um tempo de residência maior da matéria orgânica no equipamento. Este é mais indicado quando a oferta de biomassa ocorre pontualmente em períodos longos, como, por exemplo, em granjas avícolas de corte, onde a biomassa fica disponível após a venda de um lote de aves (DEGANUTTI *et al.*, 2002; COSTA 2014a).

Os biodigestores mais comuns são os biodigestores *Plug flow*, da Marinha ou modelo Canadense, dimensionados no plano horizontal. Isto é feito para que a área de contato com a superfície seja maior e, consequentemente, um maior espaço do aparelho esteja exposto ao sol, favorecendo o processo de biodigestão e impedindo entupimentos no aparelho. Sua cúpula é de plástico maleável, usualmente em PVC, que, pelas suas propriedades físicas de flexibilidade, pode inflar com a produção de gás. Porém, mesmo ganhando força no mercado, este tipo de digestor tem um problema no que concerne ao custo da cúpula, chegando às vezes seu preço a inviabilizar o projeto (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

Ainda são conhecidos os biodigestores de cúpula fixa, os quais possuem alimentação contínua e armazenam o efluente e o biogás dentro da cúpula. Quanto à construção, usualmente é escavada, fossa ou buraco e apresenta um bom isolamento. Os resíduos usualmente tratados são esterco animal e dejetos vegetais. A desvantagem principal é que não há um sistema de mistura do material (NEVES *et al.*, 2015).

No Quadro 9 é apresentada, de forma esquemática, a classificação das principais tecnologias de biodigestores utilizadas para a produção de biogás.

Quadro 9 Principais tipos de biodigestores de acordo com a umidade do substrato processado

Matéria-prima	**Líquida**			**Pastosa <10% de sólidos**	**Semi-sólida**
Biodigestor	**Lagoa coberta**	***Upflow Sludge Blanket***	***Fixed Film***	**Mistura completa**	***Plug Flow***
	Geralmente não é aquecido e a produção de biogás tem variações	Micro-organismos estão aglomerados em grânulos em suspensão, no biodigestor	As Arqueas metanogênicas crescem em um meio, ex: suporte plástico	A matéria-prima é constantemente misturada por agitadores e misturadores	A matéria-prima é recirculada no biodigestor
Nível Tecnológico	Baixo	Médio	Médio	Médio	Baixo

Fonte: International Energy Agency (2017).

Capítulo 6

ELOS DE PURIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DO BIOGÁS

Neste capítulo é feita uma revisão da literatura sobre o processo de separação do biogás até a extração do metano, gás com maior conteúdo energético presente na mistura. Para que o poder calorífico do biogás seja máximo, é essencial que o biogás seja purificado e o metano extraído. Os principais gases que devem ser removidos são gás carbônico, gases contendo enxofre e vapor d´água. Além disso, neste capítulo, uma revisão da literatura sobre as múltiplas possibilidades de se utilizar biogás é apresentada. Os dois elos são apresentados de forma conjunta, uma vez que a purificação ou *up grade* dado ao biogás determinará o seu uso final.

6.1 ELO PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Como mencionado no capítulo sobre biogás, este é majoritariamente composto por metano e dióxido de carbono nas proporções de 55–70% e de 30–45%, respectivamente (AWE *et al.*, 2017). Já Ryckebosch, Drouillon e Vervaeren (2011) determinam que outros componentes tais como água (5 a 10%), sulfeto de hidrogênio (0,005 a 2%), siloxanos (0 a 0,02%), hidrocarbonetos halogenados (VOC, <0,6%), amônia NH_3 (<1%), oxigênio (0 a 1%), monóxido de carbono (<0,6%) e nitrogênio (0 a 2%) também fazem parte da mistura biogás.

Os siloxanos são um subgrupo de compostos de sílica que contêm ligações Si–O com radicais orgânicos ligados à molécula de sílica, incluindo grupos metil e etil, por exemplo. Durante a DA, estes compostos não permanecem na mistura biogás, uma vez que volatilizam ao longo do processo. O principal problema da sua presença está relacionado à produção de uma sílica microcristalina, que causa abrasão e desgastes no equipamento.

Sendo assim, para que o biogás possa ser aproveitado em sua totalidade, são necessárias etapas de purificação. A principal razão para se purificar o biogás é aumentar seu poder calorífico e evitar corrosão ou desgaste mecânico do equipamento. A presença de gás carbônico no biogás está associada à redução de seu poder calorifico, já o sulfeto de hidrogênio na mistura gasosa causa corrosão e danos ao equipamento (AWE *et al.*, 2017). Cosan (2014) aponta que é necessário separar alguns outros componentes do metano, como por exemplo: CO_2, H_2S, NH_3, vapor d'água, partículas de poeira e N_2 (DEWIL; APPELS; BAEYENS, 2006).

Resumidamente, o procedimento de limpeza ou purificação consiste em isolar o metano dos outros constituintes. As etapas são dessulfurização (remoção de ácido sulfídrico), secagem (drenagem de água) e retirada de gás carbônico (SENAI, 2016).

Devido à natureza química destes gases e partículas são necessários processos específicos para separação e purificação do metano. Os contaminantes mais tóxicos são os siloxanos, H_2S, ácidos corrosivos e os compostos halogenados. O biogás pode ser comparado com o gás natural, especialmente em função da sua composição, sendo a principal diferença entre ambos a presença em maiores proporções, no biogás, de CO_2.

A purificação do biogás, geralmente, tem como objetivos: i) remover os elementos traços dos componentes prejudiciais para a rede de gás natural, ii) remover o dióxido de cabono e permitir que o poder calorífico e a densidade relativa do metano sejam ajustados a

fim de atender às especificações. De acordo com Muñoz *et al*. (2015), o nível de purificação da mistura gasosa depende da aplicação que será dada ao biogás, quanto mais nobre a utilização, mais puro terá que ser o biometano. Para que o biogás possa ser denominado biometano, este deve conter de 95 a 97% de CH_4 e 1 a 3% de CO_2.

As tecnologias de purificação do biogás estão em rápida evolução, sendo, a maior parte, técnicas físico-químicas. Segundo Bauer *et al.* (2013), o *water scrubbing*, PSA e lavagem com amina são as mais utilizadas comercialmente. Kampman *et al.* (2016) também apontam que o método criogênico é bastante utilizado e visa o resfriamento e compressão de forma que o CO_2 seja removido como um líquido.

Na purificação do biogás, pode-se partir do pressuposto de que quanto mais nobre a aplicação desta mistura gasosa, mais puro em termos de metano este deve estar. Para exemplificar a importância da etapa de purificação, no Quadro 10 é apresentado o limite máximo de H_2S para as diferentes aplicações do biogás.

Quadro 10 Tolerância de H_2S para as diferentes aplicações do biogás

Tecnologia	**Tolerância de H_2S (ppm)**
Aquecimento (caldeiras) e motores *stirling*	<1000
Fogões de cozinha	<10
Motores de combustão interna	<50 ppm
Turbinas	<10,000
Micro-turbinas	<70,000
Pilhas de combustível (*Fuel cells*)	
Membrana de troca protônica	<1
Pilha de combustível de ácido fosfórico (PAFC)	<20
Pilha de combustível de carbonato fundido	<10 in fuel (<0.1–0.5 anodo)
Célula de combustível de óxido sólido (SOFC)	<1
Upgrade para gás natural	<4

Fonte: AWE *et al.* (2017).

Muñoz *et al*. (2015) fazem uma extensa revisão e discutem as tecnologias mais modernas especialmente para remoção de CO_2, H_2S, H_2O e contaminantes traços como como siloxanos, O_2 e N_2. O diferencial deste estudo é que os autores enfatizam o potencial e

limitações de cada uma das tecnologias existentes. No Quadro 11 estão resumidos os principais processos de purificação do biogás.

Quadro 11 Principais tecnologias usadas para purificação do biogás

Método	Vantagens	Desvantagens	% (v/v) CH_4	Referências
Separação por membrana	Segurança e simplicidade de operação; não geração de produtos químicos perigosos	Resíduos de saída ainda contêm concentrações de CH_4	90-96	IEA (2000); HARASIMOWICZ *et al.* (2007); CHMIELEWSKI (2013)
Lavagem de gás *Water scrubbing*	Operam com baixas vazões de biogás; exigem menos infraestrutura; simples e mais econômicos	O efluente líquido necessita de pós-tratamento; descarte de emissões poluentes na atmosfera	95-100	BHATTACHARYA *et al.* (1988); KHAPRE (1989)
Purificação criogênica	Economicamente viável quando o processo envolve grandes quantidades de biogás	Exigência de vários equipamentos e dispositivos, como turbinas, compressores e colunas de destilação	97	De HULLU *et al.* (2008)
Purificação por adsorção *Pressure Swing Adsorption*	Simples e de fácil operação; boa capacidade de retenção de umidade	Necessidade de alta temperatura e pressão, o que torna o processo mais caro	97	KAPDI *et al*. (2005); HULLU *et al.* (2008)
Purificação biológica	Produção de biomassa no processo de fixação de CO_2 por meio da fotossíntese agregando valor ao processo	Métodos recentes que ainda necessitam de estudos	87-97	MANN *et al.* (2009); KAO *et al.* (2012)

Fonte: Elaboração própria com base em Miyawaki (2014).

6.1.1 Absorção

Esta técnica pode envolver dois processos, absorção física e absorção química. A absorção química difere da absorção física porque nesta ocorre uma reação química entre as substâncias absorvidas e o solvente. Quando a concentração de CO_2 a ser removida for mais baixa, o processo de absorção química é preferencial (SUN *et al.*, 2015).

A tecnologia de absorção usa as diferenças de forças de ligação entre as moléculas para separar o CO_2 e H_2S de CH_4. Esta separação pode ser feita uma vez que o CO_2 e o H_2S são mais polares que os outros gases e, portanto, mais solúveis em um fluido de absorção polar (PERSSON & WELLINGER, 2006). A absorção, ao invés de utilizar água como solvente faz uso de solventes orgânicos como metanol e éteres dimetílicos de polietileno glicol (SUN *et al.*, 2015).

6.1.2 Adsorção

A adsorção é utilizada para remover o CO_2 da mistura, que é adsorvido sobre um material, como carvão ativado, por exemplo. As moléculas adsorventes estão retidas em poros do material adsorvente e a separação acontece devido ao tamanho dos poros e tempo de retenção das diferentes moléculas. Os processos de adsorção mais comuns são *Pressure Swing Adsorption* (PSA) e *Temperture Swing Adsorption* (TSA) (PERSSON, 2003).

6.1.2.1 *Pressure Swing Adsorption* (PSA) ou *Vacuum Swing Adsorption* (VSA)

Este processo de purificação é utilizado para remover o CO_2 do biogás pela diferença de pressão. Segundo Mitariten (2005) *apud* Miyawaki (2014), este sistema de purificação possui quatro coletores de material absorvente que são utilizados para separar o gás de acordo com as características moleculares e afinidade das espécies de um material adsorvente. Usualmente são usados materiais adsorventes específicos como zeólitas, carvão ativado, peneiras moleculares entre outros. Awe *et al.* (2017) citam também na adsorção seletiva de

CO_2 o uso de adsorventes porosos com uma elevada especificidade como carvão ativado, gel de sílica, alumina ativada, zeólita e adsorventes poliméricos.

O biogás, mistura gasosa, entra pela parte inferior do reservatório que contém o material adsorvente fixador do gás carbônico. Quando o material adsorvente está completamente saturado com dióxido de carbono, o biogás passa para o reservatório seguinte, que foi previamente regenerado pela despressurização até a pressão atmosférica (MIYAWAKI, 2014).

De acordo com Mitariten (2005), chegado ao fim o processo, o biogás purificado alcança concentrações de 95% (v/v) de CH_4 e eficiência de recuperação de metano no biogás de 85% 90% (v/v), dependendo do material adsorvente.

6.1.3 Purificação por lavagem

Este tipo de purificação visa remover o CO_2 através de sua propriedade de ser mais solúvel em água do que os outros gases presentes na mistura gasosa. Também conhecida como *Water scrubbing*, consiste em um método de purificação por absorção físico-química. Sabe-se previamente que o CO_2 é mais solúvel em água do que no gás metano em temperaturas reduzidas (0- 10ºC). O CO_2 é dissolvido na água e a concentração em CH_4 da fase gasosa que sai da coluna aumenta. Neste processo o CO_2 dissolve-se na água e são descartados posteriormente. A água pode ser reciclada através de uma torre de regeneração (MIYAWAKI, 2014). A tecnologia de purificação por lavagem é a mais comum das tecnologias de purificação para remoção de dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio (MONTEIRO, 2011).

6.1.4 Separação por membrana

A utilização de membranas para filtração do biogás começou a ser utilizada analogamente à purificação feita no gás natural, que já era utilizada e conhecida para este processo. Essa técnica é bastante utilizada e conhecida em função da sua fácil operacionalização e simplicidade para manutenção. A separação ocorre por afinidade entre a

membrana e o gás que se deseja separar. No caso do biogás, a separação do metano e demais componentes do gás ocorre com base nas diferentes velocidades de difusão que as moléculas do biogás apresentam em função do seu tamanho. A molécula de metano é menor que as demais, e se difunde mais rapidamente pela membrana, quando comparada ao dióxido de carbono e os outros gases presentes na mistura (SPILLMAN, 1989 *apud* MIYAWAKI, 2014).

6.1.5 Purificação via processos criogênicos

Nesta tecnologia, ainda em fase de pesquisa, o dióxido de carbono pode ser separado do metano por arrefecimento da mistura do biogás através de pressão elevada, o biogás bruto é comprimido a cerca de 80bar e a purificação feita em múltiplos estágios (MIYAWAKI, 2014). Segundo Silva (2009b) o método de purificação criogênica do biogás envolve a separação dos constituintes do gás por condensação e destilação fracionária em baixas temperaturas. Como benefício deste processo pode-se citar a separação dos componentes na forma líquida, o que facilita o transporte. Todavia o alto custo de investimento e operação do sistema, bem como a baixa eficiência, são os principais desafios enfrentados para que esta tecnologia se torne comercialmente viável.

6.1.6 Purificação biológica

Estes processos biológicos visam as a fixação de gás carbônico por meio da fotossíntese. A fixação pode ser efetuada por plantas e micro-organismos fotossintéticos como as microalgas. As microalgas apresentam cerca de 50% de carbono na sua constituição celular, e grande parte deste carbono é proveniente do ar (MATA *et al.*, 2010). Para a produção de 100 toneladas de biomassa de microalgas, em torno de 183 toneladas de dióxido de carbono são fixadas da atmosfera (CHISTI, 2007). A conversão do carbono inorgânico em compostos orgânicos é realizada pelo processo de fotossíntese, dividida em duas fases. Uma fase luminosa (dependente da luz) e outra fase escura (independente da luz) (MIYAWAKI, 2014). Em comparação aos procedimentos de purificação de biogás implantados atualmente, a aplicação de microalgas surge como uma alternativa de menor custo (CONDE *et al.*, 1993).

De acordo com Miyawaki (2014), a patente CN102392052 (2012) descreve um fotobiorreator cilíndrico para purificação de biogás através da injeção de gás na cultura autotrófica de microalgas utilizando luz artificial. A vazão de fluxo de biogás foi de 100-500 mL. min^{-1}. Na presente invenção foram alcançadas concentrações de 80-85% (v/v) de metano no gás de saída.

Em suma, para remoção da água, usualmente são utilizados métodos de condensação, como um primeiro passo em um processo de limpeza do biogás. Esta etapa impede o contato da água com compressores, tubos, leitos de carvão ativado e outras partes do processo sensíveis à corrosão. A mais utilizada é a adsorção sobre alumina ou zeólitas. Para remoção de H_2S, comumente se utiliza $FeCl_2$ / $FeCl_3$ durante a digestão para reduzir a concentração de H_2S na mistura gasosa final. No caso da limpeza do biogás já pronto, o H_2S pode ser removido pelo processo de PSA ou VSA. Ainda dependendo da concentração, uma etapa de purificação adicional como a absorção em uma solução de NaOH, ou sal higroscópico ou ainda uma reação com Fe_2O_3 pode ser requerida (RYCKEBOSCH; DROUILLON; VERVAEREN, 2011).

Por fim, é importante se enfatizar que a remoção do N_2 e O_2 é difícil e dispendiosa, portanto o mais indicado é que se tomem medidas a fim de evitar sua formação na mistura ao invés de tentar removê-los (RYCKEBOSCH; DROUILLON; VERVAEREN, 2011).

Na intenção de se avaliar quais as técnicas de purificação mais utilizadas atualmente, na Figura 7 pode-se ver como as principais tecnologias de purificação evoluíram nos últimos anos (2001- 2012), técnicas aplicadas comercialmente no mundo para remoção de CO_2. É nítida a predominância de técnicas de purificação com água, purificadores com aminas, peneiras moleculares, lavadores orgânicos e unidades de membrana. Estas últimas são usadas na Europa, mas no Brasil ainda se mostram economicamente inviáveis, devido ao seu alto custo (SENAI, 2016).

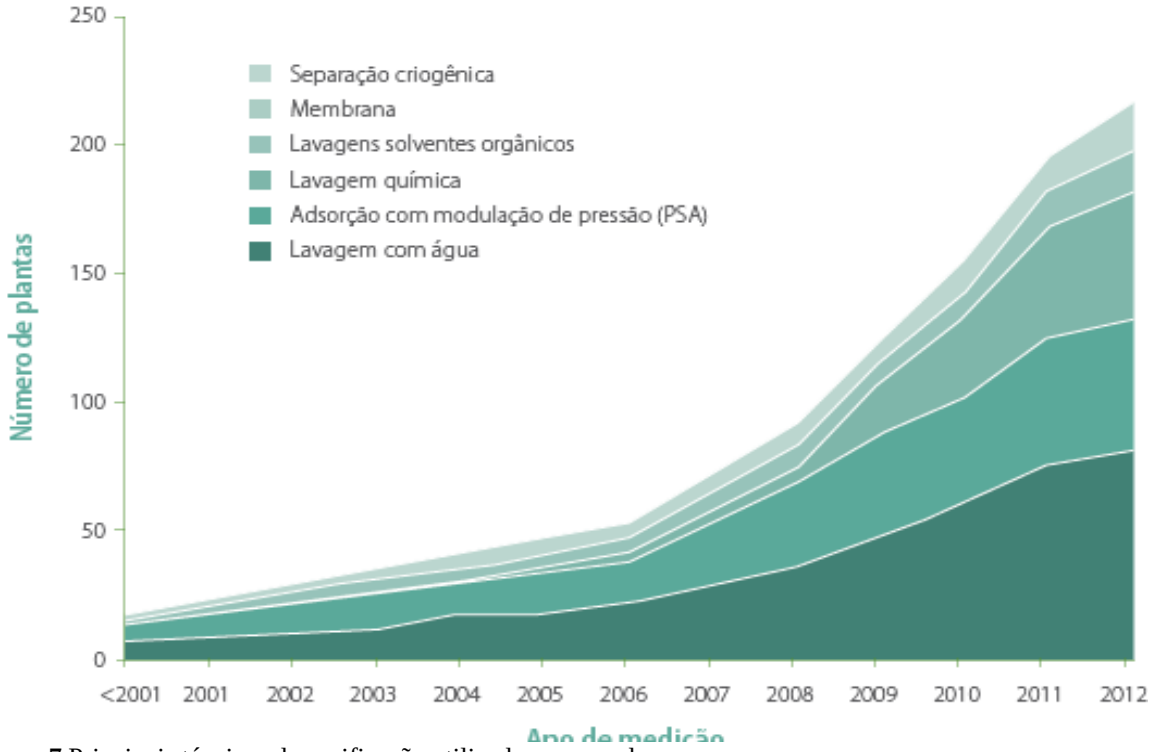

Figura 7 Principais técnicas de purificação utilizadas no mundo
Fonte: SENAI (2016).

6.2 ELO APLICAÇÃO DO BIOGÁS

O biogás é uma fonte energética alternativa e renovável, com as mesmas aplicações que o gás natural. Diferentes aplicações para o biogás são reportadas na literatura, contudo, a geração de eletricidade é o uso mais recorrente, especialmente em função do amplo conhecimento das tecnologias de turbinas e do fato de não ser necessário um processo de purificação complexo. Na Figura 8 são apresentadas de forma esquemática as principais alternativas para a conversão de biogás em energia. Para a produção de eletricidade e calor, o biogás é utilizado depois de tratamento simples que consiste apenas na remoção de poeira, umidade e sulfeto de hidrogênio. Assim, é utilizado em caldeiras para geração de calor, centrais de geração de energia elétrica, turbinas a gás e motores a gás para cogeração, produção combinada de calor e eletricidade (RABONI & URBINI, 2016).

Quando uma etapa extra de purificação é realizada e o teor de metano presente na mistura de biogás é superior a 95%, este pode ser utilizado na produção de biocombustíveis para veículos ou para ser injetado na rede de gás natural com fins doméstico e / ou industrial. Devido aos avanços tecnológicos, é possível que o biometano seja comprimido e o gás armazenado em cilindros, além disso, já é possível a conversão em hidrogênio e o uso de células combustíveis.

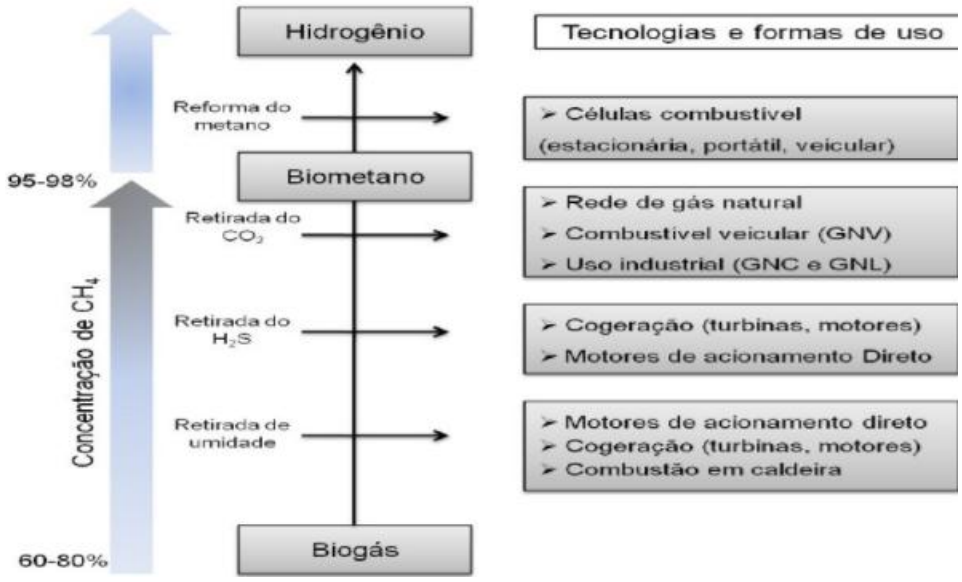

Figura 8 Aplicações do biogás de acordo com o teor de metano
Fonte: Adaptado de Raboni & Urbini (2016).

Muito embora a tecnologia para geração e comercialização de energia elétrica do biogás esteja disponível, no Brasil ainda são encontradas barreiras econômicas. Isso porque além de gerar um produto de baixo valor agregado para venda, o rendimento dos motores utilizados nesse processo somente se mostra interessante quando se utiliza, de forma concomitante, energia térmica, que pode representar mais de 50% da produção energética do biogás (SENAI, 2016).

Para gerar eletricidade, são conhecidas e consolidadas comercialmente duas tecnologias e grupos moto geradores. As turbinas a gás podem ser micro (até 100MW) ou de médio / grande porte (até 300MW). Já os geradores mais comuns são o de ciclo Otto. Esse tipo de equipamento é o mais utilizado no Brasil.

Para geração de energia térmica, queima do biogás, a transferência de calor tem maior eficiência que a geração de eletricidade. O calor obtido no processo de combustão pode ser recuperado mediante trocadores, o que aumenta tanto a eficiência termodinâmica quanto a global, atingindo um patamar de 80-85%, contra 30-45% de eficiência elétrica dos geradores de eletricidade (cerca de 33-60% de eficiência térmica) (SENAI, 2016).

A energia térmica abre novas oportunidades de negócios e demonstra capacidade de substituir, pelo menos em parte, o uso de combustíveis fósseis e recursos florestais (lenha). O principal uso da energia térmica é o aquecimento de edifícios (casas, escolas, áreas residenciais etc.), de criadouros de animais, de estufas de serviços de secagem e de piscinas, por exemplo.

Já a injeção na rede de gás natural requer, como mencionado, um alto nível de purificação do biometano e o atendimento às normas e regulamentações. Este uso já é possível devido à rede de distribuição de gás natural ser consolidada em algumas regiões do Brasil. Este é um processo já amplamente disseminado em outros países, como Suécia e Alemanha, portanto, comprovadamente confiável.

As vantagens da inserção do biometano na rede de gás natural incluem a possibilidade de transporte a longas distâncias a baixo custo, de uso direto por usuários em

quaisquer localizações, de abastecimento de termoelétricas, de emprego como bio-GNV para veículos em postos de serviço (SENAI, 2016).

Diferentes processos para o uso de biogás para fins de transporte são comparados utilizando métodos de avaliação do ciclo de vida (LCA) no ambiente operacional finlandês. A maneira mais econômica parece ser o uso do biogás em carros a gás devido ao alto preço do metano para o uso de combustível do veículo. No entanto, uma nova tarifa de alimentação para a eletricidade produzida com biogás terá efeitos econômicos altamente positivos na produção de eletricidade a partir do biogás. Do ponto de vista ambiental, as maiores reduções de CO_2 são obtidas quando o biogás é usado em carros a gás ou em plantas de CHP para produção de energia e calor. Durante a fase de transição, pode ser razoável usar o biogás em carros a gasolina e, o mais importante, em veículos pesados para reduzir rapidamente o GEE e os poluentes locais. Se a produção de biogás estiver localizada perto de uma grade de gás natural, o biogás pode ser entregue efetivamente através da grade de gás natural. O uso de biogás em carros a gás é uma maneira efetiva de reduzir significativamente o dióxido de carbono no setor de transporte.

Independente da utilização dada ao biogás, para que seu aproveitamento seja efetivo, este precisa se tornar competitivo com outras fontes tradicionais de energia, especialmente as fontes fósseis que ainda são as mais utilizadas na atualidade.

Capítulo 7

METODOLOGIA

Este capítulo descreve as etapas metodológicas utilizadas para a pesquisa descritiva, detalha os elos da cadeia produtiva do biogás e também realiza um estudo prospectivo, pois trata de uma investigação empírica de documentos de patentes e artigos científicos.

Neste estudo utilizou-se a literatura de referência em digestão anaeróbia e biogás, apresentada no referencial teórico, junto com a prospecção de documentos de patentes como uma ferramenta para delinear o desenvolvimento tecnológico de todos os elos da cadeia.

7.1 ETAPAS PARA A ELABORAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo foi organizado em quatro fases sequenciais, conforme demostrado na figura 9.

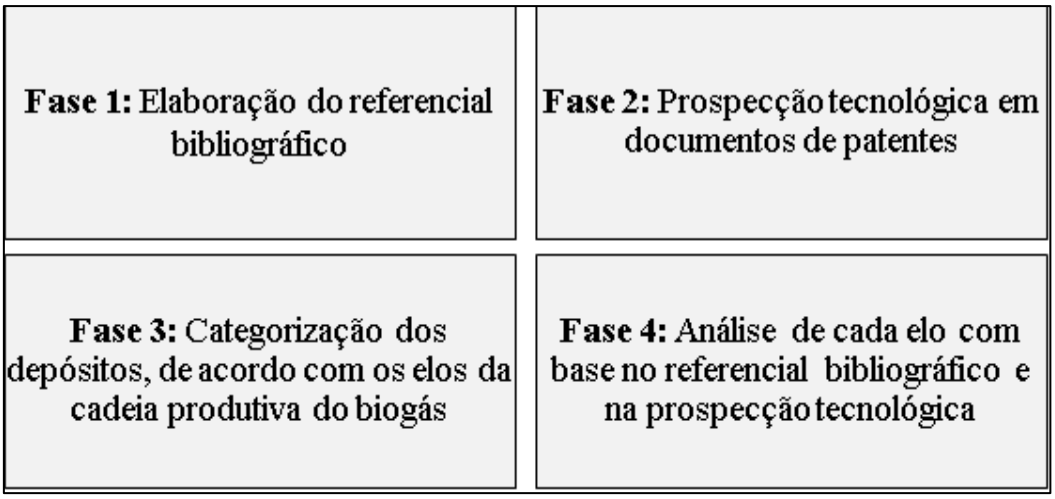

Figura 9 Etapas sequenciais realizadas durante o estudo
Fonte: Elaboração própria.

7.2 FASE 1: ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Para prospectar os documentos de patentes, um arcabouço teórico e a formação dos alicerces da pesquisa foram elaborados. As fontes de informações utilizadas para a realização dessa etapa preparatória foram as seguintes:

- Artigos científicos, periódicos, jornais e livros técnicos;
- Dissertações de mestrado e teses de doutorado;
- Sites de Centros de Pesquisas nacionais e internacionais;
- Documentos e manuais de empresas do setor de energias renováveis;
- Legislações brasileiras e internacionais;
- Documentações disponíveis na internet, como entrevistas de pesquisadores no

assunto;

• Notícias de jornais e revistas;

• Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO/IEE/USP);

• Centro Internacional do Biogás (CIBiogás);

• Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **(**Embrapa);

• *European Biogas Association*;

• *American Biogas Council*;

• Bancos de projetos *European Union through Horizon 2020*, dentre outras associações.

Com esta base teórica, foi possível obter respostas para alguns dos questionamentos iniciais sobre o delineamento da cadeia do biogás e o processo de DA, bem como o entendimento do *staus* da arte e o desenvolvimento tecnológico de cada etapa.

Nesta etapa foi realizado um extenso levantamento bibliográfico em diversas fontes de informações e, principalmente, na literatura patentária, que é uma rica fonte de conteúdos tecnológicos. Sabe-se que a prospecção tecnológica em documentos de patentes é uma das ferramentas de mapeamento mais utilizadas. Neste sentido, de forma preliminar, antes de se passar ao detalhamento das etapas metodológicas, faz-se uma introdução e uma explicação desta importante técnica, utilizada nesta tese.

7.2.1 Prospecção na literatura patentária: Definições

Prospecção tecnológica pode ser entendida como um mapeamento da evolução de uma tecnologia, e / ou identificação de novos mercados, e / ou, ainda, um rastreamento de capacitações tecnológicas de um determinado setor. Em concordância com esta definição, Quintella *et al.* (2011) afirmam que a prospecção tecnológica precisa se tornar uma ferramenta rotineira, influenciando os processos de tomada de decisão, uma vez que seu uso visa simplificar a difusão do conhecimento e facilitar o entendimento de questões relativas à propriedade intelectual. Os autores citam também que ao ampliar o potencial de inovação é possível melhorar o senso crítico e a visão de longo prazo para minimizar os gargalos tecnológicos presentes e futuros.

De acordo com Teixeira (2013), técnicas prospectivas têm por objetivo trazer uma previsão de possíveis impactos no futuro, quer sejam impactos sociais, econômicos, ambientais ou ainda institucionais. Seu foco é antecipar possíveis acontecimentos que possam vir a afetar a tecnologia estudada. Tendo como eixo norteador estes conceitos, verifica-se a necessidade de se considerar todas as partes de um processo para realização das análises de prospecção tecnológica. Todos os elos de uma cadeia, por exemplo, devem ser levados em consideração, uma vez que cada elo pode afetar o processo de gestão tecnológica de maneira muito particular.

De acordo com Mayerhoff (2008), os métodos de prospecção são organizados em três grandes categorias: Monitoramento: onde são criados padrões que permitem acompanhar de maneira meticulosa os acontecimentos que estão associados à mudança; Previsão: que permite antever os fenômenos que estão associados à mudança utilizando projeções suportadas por registros históricos e modelagens de tendência e, por último, a Visão de futuro: que é suportada por construções subjetivas de especialistas.

O foco das análises prospectivas não é desvendar os dias vindouros, mas, sim, traçar um caminho provável, onde visões e ideias possíveis e desejáveis são apontadas como perspectivas para algo melhor em um horizonte futuro. Isso é feito na intenção de que hoje sejam feitas escolhas que contribuirão, de forma efetiva, na construção do amanhã. Por outro lado, os autores ainda acrescentam que as metodologias de prospecção são ferramentas que buscam entender as forças que orientam o futuro, visando à construção do conhecimento (AMPARO; RIBEIRO; GUARIEIRO, 2012).

7.2.1.1 Documentos de patentes como fonte de informação

A análise da informação contida em documentos de patentes tem sido considerada - nos últimos anos - um importante método de acesso a vários aspectos de mudança tecnológica. Muitos estudos vêm utilizando estatísticas de patentes como uma ferramenta para a pesquisa das correlações existentes entre mudanças tecnológicas e crescimento econômico (ALVES, 2003). Quando usados corretamente, estes documentos permitem uma identificação do estado da técnica de uma determinada tecnologia; a identificação de tendências tecnológicas; o monitoramento dos investimentos realizados em pesquisa e desenvolvimento; a identificação

de recursos humanos com determinadas competências e outras informações de interesse estratégico (SOUZA; AGUIAR; MENDES, 2010).

Um pedido de patente é solicitado, pelo seu inventor, quando há o desenvolvimento de um produto novo, ou aprimoramento de alguma técnica que venha a melhorar uma tecnologia já existente. Assim, os documentos de patentes podem ser uma ferramenta muito eficiente na análise do estado em que se encontra o potencial de inovação tecnológica em dado país ou empresa.

É notória a relevância dos documentos de patentes para análise da propriedade intelectual. As principais vantagens em seu uso são: i) estes documentos são uma forma de conhecimento tangível e dispõem de proteção legal e, ii) estes documentos são uma fonte eficaz de informações tecnológicas, passíveis de serem analisadas, estudadas e monitoradas (SOUZA; AGUIAR; MENDES, 2010).

São inúmeros os autores que compartilham desta opinião e relatam a importância da análise de documentos de patentes como fonte informação para estudo de uma determinada tecnologia. Segundo Coburn (1999), documentos de patentes são uma importante fonte de dados primários, através da qual se pode traçar perfil de competidores e de mercado, por exemplo. Já para Porter *et al.* (1991) o estudo de pedidos de patentes providencia informações sobre mudanças tecnológicas. De acordo com estes autores, este tipo de pesquisa requer uma busca em base de patentes, para que o trabalho seja eficiente e reprodutível. Utilizar documentos de patentes é extremamente produtivo quando se espera identificar informações sobre tecnologias, competidores, pessoas ligadas à área, instituições de interesse, entre outros.

A avaliação de documentos de patentes pode ser feita por dois tipos de técnicas, qualitativas ou quantitativas. Estudos qualitativos, em geral, se atêm mais ao conteúdo dos pedidos de patentes, ao passo que análises quantitativas, via de regra, se valem de métodos estatísticos para averiguar o número de documentos e estabelecer correlações entre o volume de dados.

7.2.1.2 Estrutura de um documento de patente

Quanto a sua estrutura física, um documento de patente é constituído basicamente pelos seguintes elementos: folha de rosto, relatório descritivo, desenhos (opcional),

reivindicações e resumo. Esta estrutura foi definida pela Lei de Propriedade Industrial 9.279/96, em vigor no território nacional.

A *folha de rosto* contém as chamadas informações bibliográficas que seguem padronização internacional definida pelos códigos INID *(International Agreed Numbers for the Identification of Data*), que são códigos alfanuméricos de categorização e permitem a padronização dos documentos. Na figura 10 é apresentado um modelo, no qual se vê, por exemplo, que o código 54 se refere ao Título da Invenção, já o 57 ao Resumo da Invenção e assim sucessivamente.

US 20170226437A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
JURNG et al.

(10) **Pub. No.: US 2017/0226437 A1**
(43) **Pub. Date: Aug. 10, 2017**

(54) **REUSABLE POLYMERIC MATERIAL FOR REMOVING SILOXANE COMPOUNDS IN BIOGAS, METHOD THEREBY AND APPARATUS THEREFOR**

(71) Applicant: **KOREA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**, Seoul (KR)

(72) Inventors: **Jong Soo JURNG**, Seoul (KR); **Hyoun Duk JUNG**, Seoul (KR); **Min Su KIM**, Seoul (KR); **Eun Seuk PARK**, Seoul (KR); **Young Haeng LEE**, Seoul (KR)

(73) Assignee: **KOREA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**, Seoul (KR)

(21) Appl. No.: **15/292,214**

(22) Filed: **Oct. 13, 2016**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Feb. 4, 2016 (KR) 10-2016-0014402

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
C10L 3/10 (2006.01)
B01J 20/30 (2006.01)
B01D 53/04 (2006.01)
B01J 20/26 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
CPC ***C10L 3/101*** (2013.01); ***B01D 53/04*** (2013.01); ***B01D 53/0438*** (2013.01); ***B01J 20/262*** (2013.01); ***B01J 20/3085*** (2013.01); ***B01J 20/3231*** (2013.01); ***B01J 20/3295*** (2013.01); *B01D 2253/202* (2013.01); *B01D 2253/302* (2013.01); *B01D 2256/245* (2013.01); *B01D 2257/556* (2013.01); *B01D 2259/40088* (2013.01); *C10L 2290/542* (2013.01)

(57) **ABSTRACT**

Provided are a reusable polymeric material for removing siloxane compounds in biogas, a method for removing siloxane using the same, and an apparatus therefor, and more particularly, a polyacrylate-based polymer absorbent for removing siloxane compounds in biogas and a method for removing siloxane compounds in biogas. The method for removing siloxane compounds in biogas includes (a) providing the biogas, and b) absorbing the siloxane compounds in a polymer absorbent by passing the biogas through the

=2017226437A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20170810&DB=&locale=en EP#sorbent according to any one of claims 1 to 5.

Figura 10 Exemplo de um documento de patente
Fonte: *European Patent Office* - Espacenet (2017).

Já o *relatório descritivo* é a parte do pedido que descreve, de forma objetiva, de que maneira é possível a realização, ou seja, a replicação da invenção, por técnicos no assunto, além disso, esta parte do documento indica qual a maneira correta de execução.

As *reivindicações,* por sua vez, devem ser fundamentadas no relatório descritivo caracterizando as nuances específicas do pedido e definindo, de forma objetiva, o que está sendo protegido. A extensão da proteção conferida pela patente é determinada de acordo com

o conteúdo de cada reivindicação, interpretada com base no relatório descritivo e nos desenhos. Já o *resumo*, por fim, consiste em um sumário do que foi exposto no relatório descritivo, nas reivindicações e nos desenhos, sintetizando o que está contido no documento de patente (SOUZA; AGUIAR; MENDES, 2010).

Tendo em vista seu rico arcabouço de informações, assim como qualquer outro indicador tecnológico, a análise de documentos de patentes apresenta pontos positivos, sendo os principais apontados por Alves (2003):

• Auxilia o levantamento do estado da técnica;

• Auxilia o estudo das trajetórias tecnológicas;

• Encontra soluções para problemas técnicos;

• Disponibiliza informações sobre oportunidades de licenciamento, de associação e de conhecimento de consumidores finais para certas tecnologias;

• Identifica os concorrentes reais e potenciais e monitora suas atividades;

• Demonstra o poderio de outras empresas e suas estratégias de proteção dos direitos de patente;

• Assegura que os direitos patentários de terceiros não estejam sendo infringidos;

• Identifica a maturidade e a importância da tecnologia; e por fim,

• Auxilia a formulação de políticas.

Contudo, como qualquer técnica de prospecção tecnológica, a análise de documentos de patentes apresenta limitações. De acordo com Brasil (2017), uma das principais limitações da busca é a fase de sigilo (18 meses a contar a partir da data de depósito) dos documentos. Além disso, deve-se considerar que quando uma patente é depositada sua indexação não é imediata nas bases de dados, tendo desse modo, mais alguns meses, ou mesmo anos, até que o documento possa ser consultado publicamente.

7.2.1.3 Organização dos documentos de patentes

Devido a grande diversidade de matérias e sua importância, é necessária uma organização adequada e padronizada dos documentos de patentes, favorecendo a análise das informações. Desde o início do século XX são percebidos esforços no sentido de padronizar e organizar estas informações, todavia somente em 1954 o primeiro texto foi oficialmente

redigido, baseando-se na Convenção Europeia para a Classificação Internacional de Patentes (BRASIL, 2017).

Atualmente, as patentes são organizadas de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (CIP), que está dividida em seções que se baseiam na natureza do assunto dos documentos. São oito seções descritas: A - Necessidades Humanas; B - Operações de Processamento; Transporte; C - Química e Metalurgia; D - Têxteis e Papel; E - Construções Fixas; F - Engenharia Mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão; G – Física; H – Eletricidade.

Nota-se, entretanto, que está divisão ainda é muito genérica, sendo necessárias mais divisões para tornar os grupos mais específicos e seletivos. Portanto, cada uma destas oito seções está dividida em classes, que se dividem em subclasses, que, por sua vez, se dividem em grupos e, cada grupo em vários subgrupos. A fim de demonstrar adequadamente como esta categorização é feita, a seguir um exemplo é apresentado.

C02F 3/28. Seção C - Seção de Química Metalurgia **Classe C 02** – Tratamento de águas, resíduos, esgoto ou lodo. **Subclasse C02F -** Processos para a produção de substâncias químicas nocivas, inofensivas, ou menos prejudiciais, por alteração química das substâncias. **Grupo / Subgrupo C02F 3/28** Processo de digestão anaeróbia.

Algumas bases de dados, como a *Derwent Innovations Index*®, realizam a coleta de informações de patentes e compilam os depósitos dos diferentes escritórios ao redor do mundo em um único local. O diferencial é que, quando indexados, estes depósitos são reescritos e classificados por especialistas. Essa categorização é conhecida como Códigos de Classe Derwent, a qual atribui números divididos em seções de acordo com o conteúdo dos documentos. Essa categorização pode ser comparada a CIP, mas é especifica para os documentos indexados nesta base de dados e não tem caráter universal como a CIP. Ainda, pode-se dizer que estes códigos são utilizados para indicar os aspectos técnicos inovadores de uma invenção, bem como suas aplicações. Na figura 11 são apresentadas as categorias gerais do *Derwent Manual Code.*

About this user guide

This manual is divided into 2 parts. The first part is a list of manual codes in code order, with definitions, by section beginning with Section A and running through each of the Thomson Reuters CPI sections to M.

A	Polymers, Plastics	Plasdoc
B	Pharmaceuticals	Farmdoc
C	Agricultural Chemicals	Agdoc
D	Food, Disinfectants, Detergents	
E	General Chemicals	Chemdoc
F	Textiles, Paper	
G	Printing, Coating, Photographic	
H	Petroleum	
J	Chemical Engineering	
K	Nucleonics, Explosives, Protection	
L	Refractories, Glass, Ceramics	
M	Metallurgy	

Figura 11 Descrições gerais do *Derwent Manual Code*
Fonte: *Derwent Manual Code* (2017).

De forma mais específica e direcionada a este estudo, tomando por base a classe H tem-se a seguinte divisão:

H: Petroleum;

H06 Gaseous and Liquid Fuels e

H06-A04 Biofuel gases eg. methane production by digestion or fermentation of e.g. waste organic materials.

7.2.2 Artigos como fonte de informação

Diante do grande volume de dados, ao qual o meio científico é submetido constantemente, se torna, por vezes, difícil a compreensão dos tipos de informação contida em artigos e publicações acadêmicas, e, ainda mais complicado,encontrar formas de agrupar as publicações de temas correlatos. Assim, para transformar essas informações, muitas vezes excessivas ou repetitivas, em dados com valor agregado, surgem os estudos bibliométricos.

Segundo Araújo, (2006), a bibliometria, é a *técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico.* Desse modo, espera-se que com o uso desta técnica seja possível o agrupamento de informações com características semelhantes e a transformação de conhecimento puro em dados com significância estatística e maior valor agregado (KAJIKAWA & TAKEDA, 2008). Este método, ainda, pode envolver o mapeamento do número de publicações emergentes em uma

área, talvez focando nos resultados de diferentes países em diferentes campos e como eles se desenvolvem ao longo do tempo (GEORGHIOU, 2008).

7.3 FASE 2: CATEGORIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS, DE ACORDO COM OS ELOS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

Esta foi uma fase crítica para a elaboração desta pesquisa, porque envolveu a coleta das informações patentárias utilizadas como fonte de informação para a análise. Devido a sua importância, um detalhamento adicional da fase 2 é fornecido na figura 12.

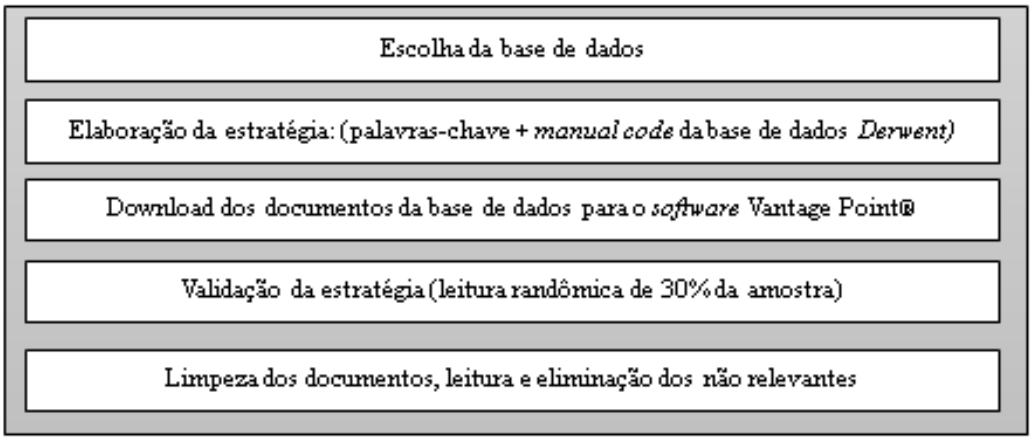

Figura 12 Diagrama do passo a passo da construção da estratégia de busca da Fase 2
Fonte: Elaboração própria.

7.3.1 Escolha da base de dados

Para busca de depósitos de patentes, foi utilizada a base *Derwent Innovation Index*. Esta base foi escolhida porque o resumo dos documentos é reescrito de forma concisa por especialistas no assunto e também é possível acessar o registro primário da patente completa, o que facilita a recuperação da informação de forma integral. A característica fundamental para escolha desta ferramenta de busca é que, durante esta releitura, os documentos de patentes são categorizados com um código, o *Derwent Manual Code* (MAN). Este manual faz uma categorização mais detalhada e, no caso do biogás e da biodigestão anaeróbia, uma categoria mais específica e completa é listada. Em acréscimo, a base faz o agrupamento dos

documentos por famílias[8], o que elimina a duplicidade de documentos. Além disso, o formato dos pedidos indexados na base permite exportar os documentos recuperados, no formato integral, para *softwares* especializados nestas análises. A busca de documentos se torna mais abrangente uma vez que documentos originalmente publicados e disponíveis somente em idiomas locais, por exemplo, chinês, japonês, russo, são traduzidos e disponibilizados em inglês para mais fácil interpretação e análise de seu conteúdo.

7.3.2 Elaboração da estratégia

Após a escolha da base de dados, passou-se à etapa da elaboração da estratégia de busca, embasada em palavras-chave especificas e no *Derwent Manual Code*. O período de busca foi do ano 2000 até setembro de 2016. Este período foi escolhido porque em análises prévias, na base de dados que contempla documentos indexados desde 1963, verificou-se que apenas a partir dos anos 2000 houve um número de depósitos significativos sobre o assunto.

Embora já mencionadas inúmeras vantagens desta base de dados, é sempre relevante lembrar a limitação intrínseca de qualquer repositório de documentos. O período de sigilo dos documentos de patente, de 18 meses contados da data de depósito, durante o qual não se tem acesso à informação tecnológica neles descrita. Sendo assim não importa qual seja a base ou quão recente seja a busca patentária, esta sempre terá o sigilo 18 meses, em efeitos práticos. Isso quer dizer que os documentos depositados mais recentemente não estão contemplados, em acréscimo deve se levar em conta o tempo de indexação da base.

Como código de busca no MAN foram usados: D05-C14 - *Methane* e H06-A04-*Biofuel gases e.g. methane production by digestion or fermentation of e.g. waste organic materials*. As palavras-chaves foram procuradas no título e no resumo das publicações e foram relativas a biogás, incluindo suas sinonímias. Os detalhes podem ser observados na figura 13.

---

[8] Um dos princípios da Convenção da União de Paris (CUP) é o da prioridade, que estabelece a permissão para que o requerente da patente, com base no primeiro pedido depositado em um dos países membros da Convenção, possa depositar, em um prazo de 12 meses, um pedido de patente em qualquer outro país membro, considerando-se este como se tivesse sido depositado na mesma data do primeiro. A data de depósito do pedido inicial (prioridade) servirá como limite para a busca por anterioridades da matéria descrita nos documentos depositados após o primeiro pedido, relacionados à mesma matéria e apresentados pelo mesmo depositante ou por seus sucessores legais. Um documento pode apresentar mais de uma prioridade, caso a matéria nele contida tenha sido descrita em mais de um documento anterior. O conjunto de documentos de vários países que apresentam prioridades em comum ou prioridades correlacionadas representa a família de patentes (GUERRANTE, 2011).

Resultados	Resultados	Salvar histórico/Criar alerta Abrir histórico salvo
# 4	16.249	#3 *Índices=CDerwent, EDerwent, MDerwent Tempo estipulado=2000-2016*
# 3	17.475	#2 OR #1 *Índices=CDerwent, EDerwent, MDerwent Tempo estipulado=Todos os anos*
# 2	15.047	ts= (biogas or bio-gas or "bio gas" or "renewable natural gas" or biomethane or "marsh gas" or marshgas or "green gas" or "digester gas" or digestergas or greengas) *Índices=CDerwent, EDerwent, MDerwent Tempo estipulado=Todos os anos*
# 1	4.914	man= (D05-C14 OR H06-A04) *Índices=CDerwent, EDerwent, MDerwent Tempo estipulado=Todos os anos*

Figura 13 *Print Screen* da tela da busca realizada no estudo
Fonte: *Web Site* da *Derwent Innovation Index*.

7.3.3 Escolha do *software* de tratamento dos dados

O *software* escolhido para auxiliar nas análises foi o *Vantage Point®*, Versão 5.0, de 2007, o qual é um *software* comercial que permite o tratamento bibliométrico, realização de *clusters* e correlações para facilitar a análise de tendências e tomada de decisão.

7.3.4 Validação da estratégia e Limpeza dos documentos

Diante das premissas já estabelecidas para esta pesquisa, são de interesse, deste estudo, os documentos que destacam a produção de biogás a partir de biodigestores. Portanto, os depósitos recuperados que continham termos relativos a aterros sanitários foram desconsiderados.

Na figura 13 observa-se que palavras relacionadas ao processo não foram contempladas na estratégia. É importante salientar o porquê, já que, à primeira vista, podem parecer relevantes.

Anaerobic Treatment: O termo traz documentos relacionados ao tratamento de água e esgotos, o que não é o foco deste estudo. Muito embora estes dejetos sejam insumos potenciais para a produção de biogás, a condição indispensável para a consideração do documento é a geração de biogás, não uma matéria-prima ou tratamento de um resíduo específico.

Anaerobic digestion: Mesmo se tratando de termo referente ao processo de geração de biogás, a busca de documentos de patentes contendo esta expressão trouxe muitos

documentos não relevantes associados. Após extensa análise, que consistiu na leitura de 10% dos documentos recuperados com a inclusão desta palavra, optou-se pela retirada do termo da busca original. Além da leitura dos títulos, verificou-se que a grande maioria era focada no processo *per se*, em questões operacionais, ou no tratamento de algum tipo de resíduo sem necessariamente gerar ou produzir biogás. Ademais, a exclusão do termo como palavra-chave foi corroborada pela lógica de que a maior parte do biogás atualmente é originária de um processo de digestão anaeróbia, mas nem todo processo de biodigestão anaeróbia gera exclusivamente biogás.

Fermentation: Associava documentos que produziam outros compostos que não biogás como compostos poliméricos, ácidos, etanol, hidrogênio e enzimas.

Após a recuperação e *download* dos 16.249 documentos da base e importação para o *software* de análise, foi feita a leitura dos títulos dos documentos. Essa leitura tem por objetivo a limpeza e ajustes finos como, por exemplo, a retirada de documentos contemplando gaseificação ou outros assuntos similares, mas não especificamente produção de biogás pelo processo de DA. Esta limpeza foi feita, com a ajuda do *Vantage Point*®. Foram removidos também documentos com prioridade anterior ao ano de 2000, já que este foi o ano escolhido para início da avaliação dos depósitos.

Deve-se mencionar que o MAN D05-C14, utilizado na busca, contempla também o composto eteno, além de metano, por isso esta leitura e dupla conferência se fez ainda mais necessária para assegurar que somente documentos que remetam à produção de biogás (composto majoritariamente por metano) em biodigestores fossem considerados.

Nesta leitura de títulos, verificou-se que havia pedidos que tratavam de “biogas residue”, ou seja, o foco do pedido era o resíduo gerado pelo processo de digestão anaeróbia para produção de fertilizante. Então, para a exclusão destes pedidos não relacionados ao uso ou produção do biogás, um filtro no *software* foi feito e buscou-se por este termo. Estes pedidos tiveram seus resumos lidos um a um para avaliação de sua relevância. Outras palavras que foram correlacionadas com documentos não pertinentes foram: “biogas slurry”, “herbicide”, “fertilizer”, “fungicide”, “plant grow” e “pesticide”. Estes documentos também foram lidos para avaliação da relevância.

Ainda na análise dos títulos verificou-se que alguns documentos estavam fora do escopo desta pesquisa, pois tratavam, por exemplo, da produção de outros produtos como

hidrogênio, etanol, biodiesel, ácidos orgânicos, hidroximetil furfural e produtos orgânicos correlatos. Estes documentos foram eliminados, juntamente a documentos indicando apenas que o produto era um biocombustível e outros focados na elaboração de fertilizantes específicos para o cultivo de determinadas espécies vegetais.

7.4 FASE 3: CATEGORIZAÇÃO GERAL DOS DEPÓSITOS E ORGANIZAÇÃO DOS DOCUMENTOS DE ACORDO COM OS ELOS

Tendo em vista que este estudo foi feito para um mapeamento do desenvolvimento tecnológico da cadeia produtiva do biogás, optou-se, na categorização das patentes, pela análise do seu resumo. Este campo é fornecido pela base de dados *Derwent Innovation Index* e contem, além de uma explicação sucinta sob o tema do depósito, as reivindicações dos pedidos, parte fundamental do documento. Este tópico define a matéria para a qual a proteção é solicitada, bem como as particularidades da invenção, descrevendo os detalhes técnicos. Os pedidos sem resumo foram desconsiderados, uma vez que somente pelo título é inviável definir o escopo de proteção e a qual elo da cadeia do biogás o pedido se refere. Os depósitos foram categorizados através de palavras-chave conforme Tabela 4.

Tabela 4 Palavras-chave para categorização dos depósitos de patentes por elo da cadeia produtiva do biogás

Elo	Busca de palavras-chave ou termos
Matéria-Prima	*biomass; raw material, organic waste*
Pré-tratamento	*pretreatment; pre-treatment; pre(treatment)*
Processo	*biogas generator, biogas production, producing methane,producing biogas, methane fermentation, production of biogas, processing waste, processing biomass, digestes, Bessel, tank*
Purificação	*upgrader, gas treating, puryfing, purified*
Aplicação	*CHP, fuel cells, grid, energy generation, biogas use*

Fonte: Elaboração própria.

Essa categorização foi genérica, ou seja, serviu como base para adequação dos documentos dentro dos elos. Quando formados os grandes grupos, uma leitura randômica dos documentos de cada elo foi feita, ou seja, essas palavras serviram como primeira base para separação dos elos. Uma validação de cada elo foi feita baseada em palavras-chave mais

apropriadas, de acordo com o que foi recuperado no primeiro filtro. Nessa segunda "categorização dos elos" uma avaliação das particularidades e dos detalhes de cada elo foi conduzida.

7.4.1 Separação dos documentos do Elo Matéria-prima

A organização deste elo foi simples, uma vez que, pela fase 1 desta metodologia, foram estabelecidos os grupos de matérias-primas mais usados. Foram separados sete grupos (Tabela 5). Resíduos agrícolas e celulósicos foram alocados em um mesmo grupo devido à semelhança estrutural destes resíduos e pelas técnicas de pré-tratamento serem basicamente as mesmas.

Tabela 5 Palavras-chave para organização do Elo Matéria-prima

Grupo	Busca de palavras-chave ou termos
Esgoto Lama e Águas Residuais	*wastewater, waste water, sewage, sludge, slurry, slurries*
Resíduo Animal	*anima, swine, hog, pig,excrement, livestock, manure, chicken, dung, poultry, cattle, urine, horse, sheep, cow, dairy farm, beef*
Resíduo Agrícola e Lignocelulósicos	*maize, stalks, straw, cotton, beet, corn, rice, cereal, silage, crop, sorghum, agriculture, agricultural, crop, sugarcane bagasse, wood, cellulose, cellulosic, branches, leaves, lignocellulosic, firewood, grass, yard, sugarcane bagasse, fiber*
Resíduo Sólido Urbano	*garbage, residue solid urban, OFMSW, household, municipal waste*
Resíduos Alimentares	*food waste, kitchen waste, vegetable waste, fruit waste, domestic waste*
Algas e Plantas Aquáticas	*algae, microalgae, aquatic plants*
Resíduos Industriais	*paper waste, palm oil, brewery, glycerin, textile industry, industrial waste, tannery, winery, cheese factory, agro-industrial residues*

Fonte: Elaboração própria.

7.4.2 Separação dos documentos do Elo Pré-tratamento

A separação dos documentos deste elo foi complexa, uma vez que não há uma Classificação Internacional de Patentes específica que abarque os pré-tratamentos possíveis para a biomassa ou resíduos orgânicos, para posterior DA. Durante a primeira etapa de

categorização dos elos (descrita na metodologia), quando foram analisados qualitativamente os documentos recuperados com a palavra pré-tratamento, foi possível uma constatação importante. Alguns documentos, especialmente os que tratam de águas residuais e esgoto, não visam o pré-tratamento da matéria-prima para posterior DA, como é o objetivo deste elo. Alguns documentos tratam do pré-tratamento de resíduos orgânicos intermediários do tratamento de esgoto e buscam como beneficio a redução da carga orgânica e, por consequência, há a geração de biogás.

Exemplificando esta afirmação pode-se citar o documento: KR2011135042-A, intitulado: *Pretreatment of high concentrated organic waste produced during upflow anaerobic sludge blanket, involves flowing crystallized methane biogas reactor into organic waste, treating digested liquid and injecting organic waste.* Já pelo título denota-se que pré-tratar a matéria-prima não é o objetivo do depósito, além disso, em sua reinvidicação: *Pretreatment of high concentrated organic waste produced during upflow anaerobic sludge blanket,* fica claro que o documento não é pertinente ao elo pré-tratamento, embora seja pertinente ao trabalho, uma vez que se trata da geração de biogás a partir da DA.

Por outro lado, o documento CN106542708, contendo a mesma palavra-chave *pretreatment* no título: *Pig raising manure pretreatment and anaerobic fermentation method and device*, tem total aderência a este elo, conforme este trecho do resumo: "…*The pig manure is subjected to wet crushing, the waste liquid with a certain concentration is prepared, the pH value of the waste liquid is adjusted to be alkaline, the pig manure is subjected to combined pretreatment with the microwave-alkaline combined effect, and then the pig manure after pretreatment is subjected to anaerobic digestion to produce the biogas…".*

Para se chegar a uma análise qualitativa do pré-tratamento, uma leitura do resumo de todos os documentos separados neste grupo foi feita. Após a leitura foi possível a separação das técnicas em quatro grupos: pré-tratamento físico, pré-tratamento químico, pré-tratamento biológico e pré-tratamento com processos combinados. Na Tabela 6 são apresentadas as principais técnicas encontradas dentro de cada um destes grupos. Aproximadamente 60% dos pedidos deste elo foram lidos para validação.

Tabela 6 Organização dos documentos do Elo Pré-tratamento

Principio	Grupo / Técnica	Palavras-chave relativas a técnicas de pré-tratamento
Físico	Mecânico	*scissors, chipping, comminution,crushed,crushing,cutting, grinding, hammer, knife, mill, milling shredder, smashing, soniction, dewatering, extrusion*
	Térmico	*hydrothermal, autoclave, thermal treatment, liquid hot water, sanitization, pasteurization*
	Radiação	*irradiation,ultrasound, micro-wave, radiation*
Químico	Alcalino/ Ácido	*ammonia pretreatment, alkali, NaOH, Acid pretreatment, chemical preatretament, fenton, diluted acid, sulfur containing*
	Oxidativo	*liquid ionic, hydrogen peroxide, ozone*
Biológico	Microbiológico	*Fungal, Fungus, Actinomycetes, Aspergillus, Strains, white-rot biotretament, Trichoderma, Agaricus bisporus, Phanerochaete, Trametes, Ceriporiopsis, Neocallimastix, Geobacillus*
	Enzimático	*pectinase, enzyme, enzymatic, hydrolase, cellobiose, amylase*
Processos combinados		*steam explosion*
		thermochemical

Fonte: Elaboração própria com base na revisão bibliográfica apresentada no item 4.1.

7.4.3 Separação dos documentos do Elo Processo

Durante a análise dos documentos separados por palavras-gerais, percebeu-se que mesmo o processo sendo fixo (Digestão Anaeróbia), ainda há particularidades a serem analisadas. Por exemplo, os parâmetros operacionais do processo. Além disso, os equipamentos, biodigestores, também podem ser analisados em detalhes para melhor entendimento dos detalhes do processo de DA. Na Tabela 7 são apresentados os grupos selecionados no elo Processo.

Tabela 7 Organização dos documentos relacionados ao Elo Processo

Grupo do Processo	Subgrupos	Termos para seleção dos documentos	
Equipamento	Equipamentos gerais (tanques, reatores, biodigestores, dispositivos de monitoramento).	CIP[1]: C12M-001*[1] + palavras-chaves relacionadas aos equipamentos propriamente ditos, por exemplo, UASB, MBR, CSTS etc...	
	Processo propriamente dito		
Características gerais do processo	Método de produção /Adição de micro-organismos ou soluções para melhorar o rendimento do processo	CIP: C02F-011/04 + *method for biogas production* / *Recuperados pela leitura dos documentos* + *enhancing biogas prodcution*	
	Organização dos parâmetros	**Subgrupo**	**Termos de seleção**
Parâmetros operacionais do processo	Alimentação do processo	Continuo	*Continuous process*
		Batelada	*Batch*
	Temperatura de fermentação	Mesofilico	*Mesophilic*
		Termofilico	*Thermophilic*

Fonte: Elaboração própria base na revisão bibliográfica apresentada no item 5.1.
[1]Classificação Internacional de Patentes onde * representa que todas as subclasses foram recuperadas, conforme ilustrado na figura 14.

✓ *Equipamento*

Este grupo foi selecionado por palavras-chave relacionadas aos reatores mais utilizados para produção de biogás. Ainda, foram selecionados os depósitos através CIP. O grande grupo C12M que trata de "Aparelhos para Enzimologia ou Microbiologia" foi a classe base. A classificação C12M- 001* foi considerada relevante uma vez que apresenta diferentes modelos de equipamentos para realização de processos biológicos. Por exemplo, a C12M-001/107 trata de equipamentos "com meios para recolher os gases de fermentação, p. ex. metano (produção de metano por tratamento anaeróbico de lodos)". As demais categorias incluídas nesta avaliação podem ser vistas na figura 14. Vale aqui mencionar que um mesmo documento de patente pode muitas vezes estar incluído em mais de uma subclasse da classificação e estas classificações estão disponíveis em ordem de relevância para o depósito ao qual se refere. Para tornar a classificação bem abrangente, mas sem documentos de outros elos, optou-se por selecionar no grupo "equipamento" somente os pedidos com alguma classificação C12M-001 como primeira CIP de escolha.

−	C12M	APARELHOS PARA ENZIMOLOGIA OU MICROBIOLOGIA (instalações para fermentação de adubos A01C 3/02; conservação de partes vivas de seres humanos ou animais A01 aparelhos de preparação de cerveja C12C; aparelhos de fermentação para vinho C12G; aparelhos para preparação de vinagre C12J 1/10) [3]
−	C12M 1/00	Aparelhos para enzimologia ou microbiologia [2006.01]
	C12M 1/02	▪ com meios de agitação; com meios de troca de calor [2006.01]
−	C12M 1/04	▪ com meios para introdução do gás [2006.01]
	C12M 1/06	▪ ▪ com agitador, p. ex. rotor [2006.01]
	C12M 1/08	▪ ▪ com tubo de aspiração [2006.01]
	C12M 1/09	▪ ▪ Aparelhos de flotação [2006.01]
	C12M 1/10	▪ montados rotativamente [2006.01]
−	C12M 1/107	▪ com meios para recolher os gases de fermentação, p. ex. metano (produção de metano por tratamento anaeróbico de lodos C02F 11/04) [2006.01]
	C12M 1/113	▪ ▪ com transporte do substrato durante a fermentação [2006.01]
	C12M 1/12	▪ com meios de esterilização, filtração, ou diálise [2006.01]
	C12M 1/14	▪ com meios que proporcionam camadas finas ou com bandejas de vários níveis [2006.01]
−	C12M 1/16	▪ contendo, ou adaptada para conter, meios sólidos [2006.01]
−	C12M 1/18	▪ ▪ Campos ou compartimentos múltiplos [2006.01]
	C12M 1/20	▪ ▪ ▪ Campos planos horizontais [2006.01]
	C12M 1/21	▪ Supressores de bolhas [2006.01]
	C12M 1/22	▪ Placas de Petri [2006.01]
	C12M 1/24	▪ tipo tubo ou frasco [2006.01]
−	C12M 1/26	▪ Inoculador ou amostrador [2006.01]
−	C12M 1/28	▪ ▪ sendo parte do recipiente [2006.01]
	C12M 1/30	▪ ▪ ▪ Sendo o amostrador uma haste com algodão [2006.01]
	C12M 1/32	▪ ▪ tipo contínuo ou de campo múltiplo [2006.01]
	C12M 1/33	▪ Desintegradores [2006.01]
	C12M 1/34	▪ Medição ou ensaio com meios de medir ou de detectar as condições do meio, p. ex. contadores de colônias [2006.01]
−	C12M 1/36	▪ incluindo controle responsivo à condição do meio ou ao tempo, p. ex. fermentadores automaticamente controlados [2006.01]
	C12M 1/38	▪ ▪ Controle responsivo à temperatura [2006.01]
	C12M 1/40	▪ Aparelhos especialmente destinados ao uso de enzimas livres, imobilizadas, ou ligadas a carreadores, p. ex. aparelhos contendo leito fluidizado de enzimas imobilizadas [2006.01]
	C12M 1/42	▪ Aparelhos para o tratamento de micro-organismos ou enzimas com energia elétrica ou ondulatória, p. ex. magnetismo, ondas sônicas [2006.01]

Figura 14 Subclasses da CIP C12M-001referentes a equipamentos
Fonte: World Intellectual Property Organization, 2017.

Ainda durante a leitura deste grupo de documentos para validação, foi percebido que os equipamentos, especialmente os relacionados à palavra *device*, eram relacionados a documentos que reivindicavam a proteção de instrumentos para medição do fluxo de gás, da produção de metano, da quantidade de compostos voláteis. Para ilustrar este grupo de monitoramento pode-se citar o documento CN202181305-U que tem como reivindicação *As marsh gas fermentation tank automatically control temperature device (claimed) used for methane fermentation.*

- ✓ *Processo propriamente dito: características gerais do processo*

No grupo, também foram utilizadas palavras-chave e a CIP. A classificação selecionada foi a C02F 11/04 “Tratamento anaeróbico; Produção de metano por tais processos”. Durante a leitura deste grupo de documentos para validação foi percebido que alguns poucos depósitos se referiam à adição de micro-organismos ou soluções para melhorar

o rendimento do processo. Estes foram elencados junto ao grande grupo Processo geral. Como exemplos tem-se o documento CN101899473-A intitulado *Additive composite, useful for improving methane yield, comprises urea, dipotassium hydrogen phosphate trihydrate, dipotassium phosphate, magnesium sulfate heptahydrate, vitamin B1, vitamin B2 and vitamin B3,* e o CN104974970 intitulado *Composite microbial inoculum used for degrading anaerobic biodegradable lipid producing methane includes Anaerovibrio lipolytica, Syntrophomonas erecta, Syntrophomonas bryantii, Syntrophomonas palmitatica, and Desulfovibrio vulgaris.*

- ✓ *Processo propriamente dito: parâmetros operacionais do processo*

Ainda observou-se que seria possível uma categorização dos depósitos de acordo com os parâmetros operacionais do processo de DA, levantados na etapa de elaboração do referencial teórico. Desta forma, as principais características relacionadas ao tipo de alimentação do reator e a temperatura do processo foram separados.

7.4.4 Separação dos documentos do Elo Purificação

Para separação dos documentos pertencentes a este elo foram utilizadas as palavras-chave, a CIP B01D: Separação e o MAN J01: *Separação.* Após a leitura do resumo, com os códigos de classe foi identificado que a melhor forma de separar os pedidos relacionados a técnicas de purificação seria de acordo com os contaminantes. Esta ideia foi reforçada pela revisão bibliográfica (apresentada na primeira etapa da metodologia), que é unânime quanto aos principais contaminantes do biogás. Sendo assim, os pedidos deste elo foram organizados em cinco grupos: Siloxanos, Água, Enxofre, Gás carbônico e Poeira. As palavras-chave foram incluídas neste grupo, além dos códigos de classe, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 Palavras-chave relacionadas ao Elo Purificação

Grupo	Palavras-chave
Enxofre	*H_2S; mercaptans; hydrogen sulfide; desulfurization, desulfurizing, desulphurization*
Amônia	*ammonia; NH_3*
Siloxanos	*siloxanes*
Água	*dry gas; moisture; water trap; dehumidification*
CO_2	*carbon dioxide; CO_2*

Grupo	Palavras-chave
Poeira	*particulate matter; dust*

Fonte: Elaboração própria base na revisão bibliográfica apresentada no item 6.1.

Ainda neste elo, observou-se que seria relevante acrescentar as principais técnicas relacionadas à purificação do biogás. Foram incluídas adsorção, absorção, filtração por membranas e as demais técnicas conhecidas apresentadas no referencial teórico.

7.4.5 Separação dos documentos do Elo Aplicação

Para separação dos depósitos deste elo foi utilizada a construção descrita na etapa 1 desta metodologia, onde a partir do referencial teórico foram estabelecidas as principais aplicações do biogás. Na Tabela 9 são apresentadas as quatro aplicações principais recuperadas.

Tabela 9 Palavras-chave relacionadas ao Elo Aplicação

Grupo	Palavras-chave
Eletricidade	*smart grid, power grid, grid system, electric grid; energy generation; electrical; fuel cells energy, electricity; gas turbine engine*
Eletricidade e Calor	*CHP, combined heat and power*
Calor	*thermal power generation, boiler*
Combustível	*vehicle fuel; renewable natural gas; liquid fuel, biofuel; biomethane*
Armazenamento	*storage of biogas*

Fonte: Elaboração própria com base na revisão bibliográfica apresentada no item 7.1.

7.5 FASE 4: ANÁLISE DE CADA ELO COM BASE NO REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO E NA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Nesta quarta e última fase os grupos criados durante a análise dos dados foram alocados dento dos elos da cadeia. Foram analisadas características chaves para identificação das tendências tecnológicas, como os países de prioridade e os principais depositantes. Devido à complexidade desta metodologia, e para o correto entendimento das etapas

sequenciais seguidas e da forma de organização dos elos da cadeia, uma representação em forma de diagrama pode ser vista na figura 15.

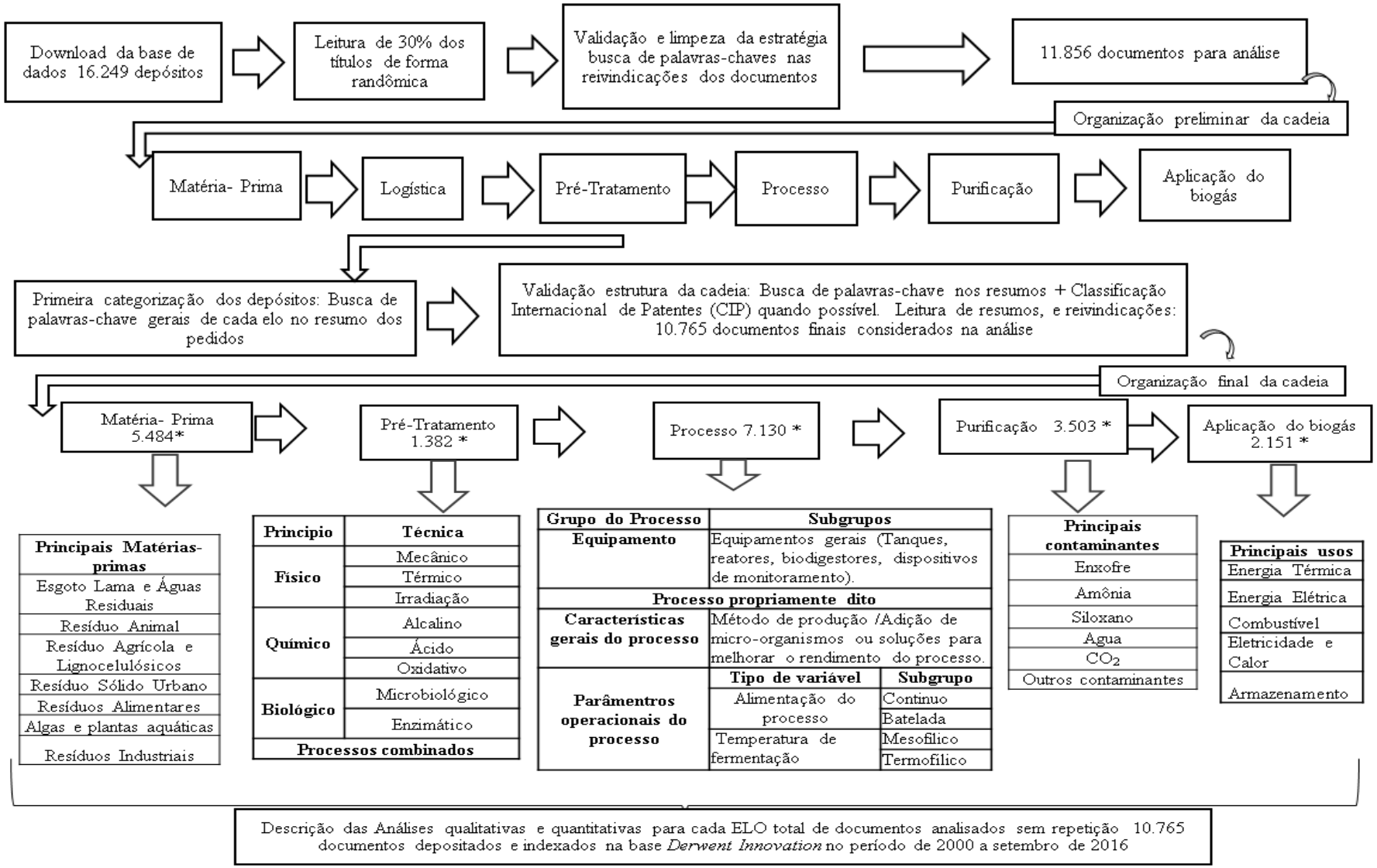

Figura 15 Diagrama detalhado das etapas metodológicas
Fonte: Elaboração própria *Número de patentes por elo.

Capítulo 8

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são justificados e respaldados com a literatura técnico-científica sobre o tema. Uma análise individualizada de cada elo é feita, na intenção de demonstrar como estão os desenvolvimentos tecnológicos na produção de biogás.

8.1 PANORAMA DAS PATENTES RELATIVAS À CADEIA DO BIOGÁS

Ao final das análises foram considerados válidos 10.765 documentos. As análises foram feitas de forma geral para o produto biogás, sem privilegiar nenhum dos elos da cadeia previamente estabelecida, pois a intenção é avaliar toda a cadeia produtiva e os desenvolvimentos tecnológicos elo a elo.

Essa análise de caráter mais geral se justifica pelo fato de, via de regra, um depósito de patente estar presente em mais de um elo, o que pode causar distorção nos resultados. Nesta avaliação geral os documentos não estão considerados pela quantidade de ocorrências, mas sim em números absolutos.

8.1.1 Breve descrição do conteúdo tecnológico dos depósitos

Referente à organização dos depósitos, verifica-se que a maioria encontra-se na seção C, que contempla documentos relacionados à química e metalurgia. A CIP mais expressiva é a classe C12M, que abarca documentos com assuntos correlatos a aparelhos e equipamentos para enzimologia ou microbiologia, seguida pela classe C02F, que aborda o tratamento de resíduos, águas, lamas e esgoto. Ainda, destacam-se os documentos das classes: C12P, referente à fermentação ou uso de enzimas em processos de síntese de um composto químico; classe C10L, que contem pedidos relativos a combustíveis como gás natural; e B01D, que aborda pedidos sobre separação de materiais sólidos ou líquidos. Na Figura 16 são apresentadas as seções e classes mais frequentes[9]. São mostradas apenas as categorias que obtiveram uma frequência de pelo menos 300 pedidos.

Diante desta análise algumas conclusões preliminares podem ser feitas. Observa-se que o conteúdo dos documentos não está focado em apenas um elo da cadeia produtiva do biogás. Por exemplo, as classes C12M, C12P e C12, estão relacionadas à parte biológica do processo, uma vez que tratam de micro-organismos, enzimas e equipamentos para fermentação. Estas classificações representam os elos processo e pré-tratamento. Por outro

[9] B09B- Destinação de resíduos sólidos; C10L- Combustíveis: Gás Natural, gás natural sintético; C05F – Fertilizantes orgânicos contendo culturas biológicas (adicionados bacterianos, micélios ou fertilizantes orgânicos); C12N Microrganismos ou enzimas; Suas composições, preservando, ou a manutenção microrganismos; mutação ou da engenharia genética; Meios de cultura.

lado, a CIP C02F, referente a água, lama e esgoto e a B09B representam o elo matéria-prima. Detalhes desta classificação podem ser observados na figura 16.

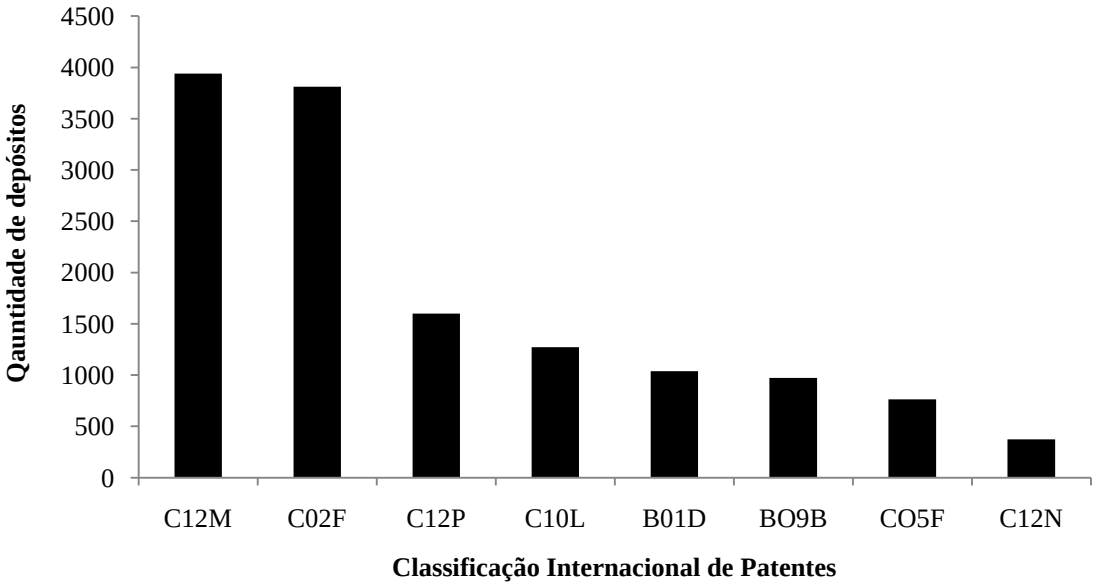

Figura 16 Categorização dos documentos de acordo com a frequência CIP no período analisado (2000-set.2016)
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.
*Um mesmo documento pode estar categorizado em mais de uma Classificação.
**C12M: aparelhos e equipamentos para enzimologia ou microbiologia; C02F: tratamento de resíduos, águas, lamas e esgoto; C12P fermentação ou uso de enzimas em processos de síntese de um composto químico; C10L: combustíveis como gás natural; e gás natural de sintético; B01D: separação de materiais sólidos ou líquidos; B09B: Destinação de resíduos sólidos; C10L: Combustíveis: Gás Natural, gás natural sintético; C05F: Fertilizantes orgânicos contendo culturas biológicas (adicionados bacterianos, micélios ou fertilizantes orgânicos); C12N: Microrganismos ou enzimas; Suas composições, preservando, ou a manutenção microrganismos; mutação ou da engenharia genética; Meios de cultura.

8.1.2 Evolução temporal e país de prioridade

Para o entendimento do estado da arte de uma tecnologia, além de se observar a evolução ao longo dos anos, é interessante avaliar os países com maior número de depósitos, ou seja, qual o possível “berço” da tecnologia. O perfil destes depósitos é apresentado na figura 17. Os cinco países com maior número de prioridades representam 85% de todos os depósitos sobre o tema durante o período avaliado (jan./2000- set./2016).

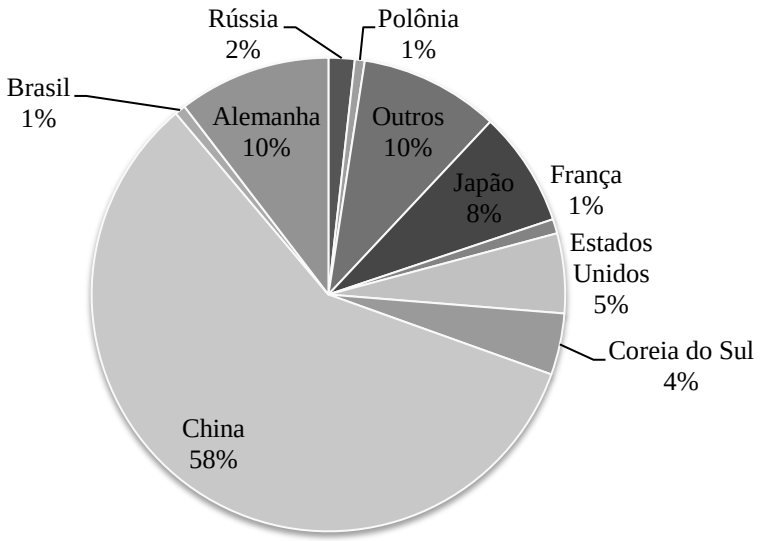

Figura 17 Países de prioridade dos depósitos
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.
*Somente os países com mais de 70 depósitos são apresentados

Pela análise, observa-se que a China possui 58% deste total (6.284 depósitos), o que demanda uma análise à parte desta nação. Embora seja líder isolada, a China, em termos absolutos de depósitos, do seu total, mais da metade (dos depósitos 52%) são pedidos de patente do tipo modelo de utilidade. De forma comparativa, a Alemanha detem 10% do total de todos os depósitos, sendo que somente 24% são relacionados a modelo de utilidade.

Estes números mostram uma clara diferenciação na atividade inventiva entre os países. Percebe-se que a China tende a depositar pedidos que visam melhorar ou aprimorar as atuais soluções já existentes no mercado. Por outro lado, os depósitos realizados pela Alemanha propõem uma solução com cunho mais disruptivo, desenvolvendo propostas diferentes do atual estado da técnica. Esta característica de depósitos, tipo modelo de utilidade e invenção, será útil mais adiante quando avaliados os depositantes, visto que muitos dos depósitos, especialmente os realizados pelos chineses, são de depositantes individuais (pessoa física).

Para se avaliar a distribuição temporal dos principais países de prioridade, a evolução temporal da China é apresentada na figura 18. Os demais países são apresentados na figura 19 (são apresentados países com 70 ou mais depósitos, o que representa pelo menos 1% do total de pedidos, exceto os de prioridade chinesa).

8.1.2.1 China

Na figura 18 verifica-se uma concentração maior dos pedidos a partir do ano de 2006, com o crescimento mantido desde então. Pode-se inferir que a China, além de principal país de prioridade nos últimos anos, também vem se destacando e mantendo um crescimento acentuado.

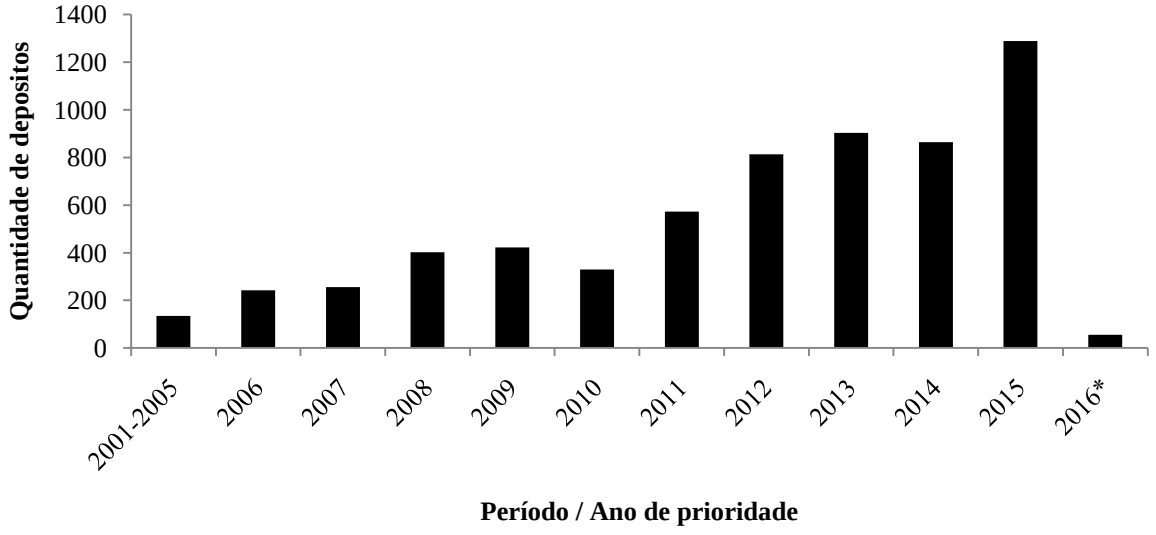

Figura 18 Evolução temporal dos depósitos de patentes relacionados a biogás, com prioridade na China.
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.
*A queda brusca no ano de 2016 se justifica pelo período de sigilo e o tempo de indexação da base que podem ser de mais de 18 meses, além do fato dos dados terem sido coletados até o mês de setembro de 2016.

Esta nação foi sem dúvida o país pioneiro no desenvolvimento de técnicas de aproveitamento do gás proveniente da digestão anaeróbia. Em 1880, foram reportados casos de populações ao sul do país que já utilizavam digestores simples para produzir biogás. Contudo os maiores estímulos para a prática começaram na década de 1950, quando o governo passou a promover e fomentar o uso de biodigestores na área rural para o fornecimento de energia na zona rural. Os esforços no país continuaram nos anos seguintes. No início da década de 70 os planos de desenvolvimento e ações do governo favoreciam a inclusão do biogás como energia renovável. Especialmente a partir do início deste século, o governo chinês investiu no biogás. No período de 2003 a 2012, foram investidos cerca de 31,5 milhões

de RMB (cerca de 3,8 bilhões de euros) para construir e desenvolver novas plantas de biogás (LI, 2013).

De acordo com Khan e Martin (2016), mais de 25% da população chinesa utiliza combustíveis sólidos para cozinhar, o que gera uma enorme demanda por digestores anaeróbios domésticos descentralizados e de pequena escala. Essa descentralização, segundo os autores, permite a utilização de resíduos agrícolas e vegetais além de esterco de animais e restos de cozinha. Até 2010, mais de 40 milhões de digestores domésticos de biogás e 27 mil plantas de nível médio de biogás estavam sendo utilizadas na zona rural na China, e o número de pessoas beneficiadas pelo uso de biogás atingiu 150 milhões. Ainda segundo os autores, o governo tem realizado uma série de políticas e programas para promover o desenvolvimento da energia de biogás em áreas rurais.

Em acréscimo, uma arrojada meta do governo chinês pretende estimular ainda mais a produção de biogás, para que em 2020 estejam disponíveis 44 Giga m^3 de biogás. Destes espera-se que 68% sejam produzidos por usuários domésticos e o restante gerado a partir de projetos com escala industrial (GU *et al.*, 2016). Em 2015 mais de 50 milhões de usuários domésticos utilizavam biogás como fonte de energia na China e 19 Giga m^3 de biogás foram produzidos (Gu *et al.*, 2016).

Quanto aos demais países (Fig. 17), estes representam 41% do total (4.481 depósitos), verificando-se uma liderança alemã. Na figura 19 são apresentados os principais países de prioridade, e em seguida detalhados (com exceção da China).

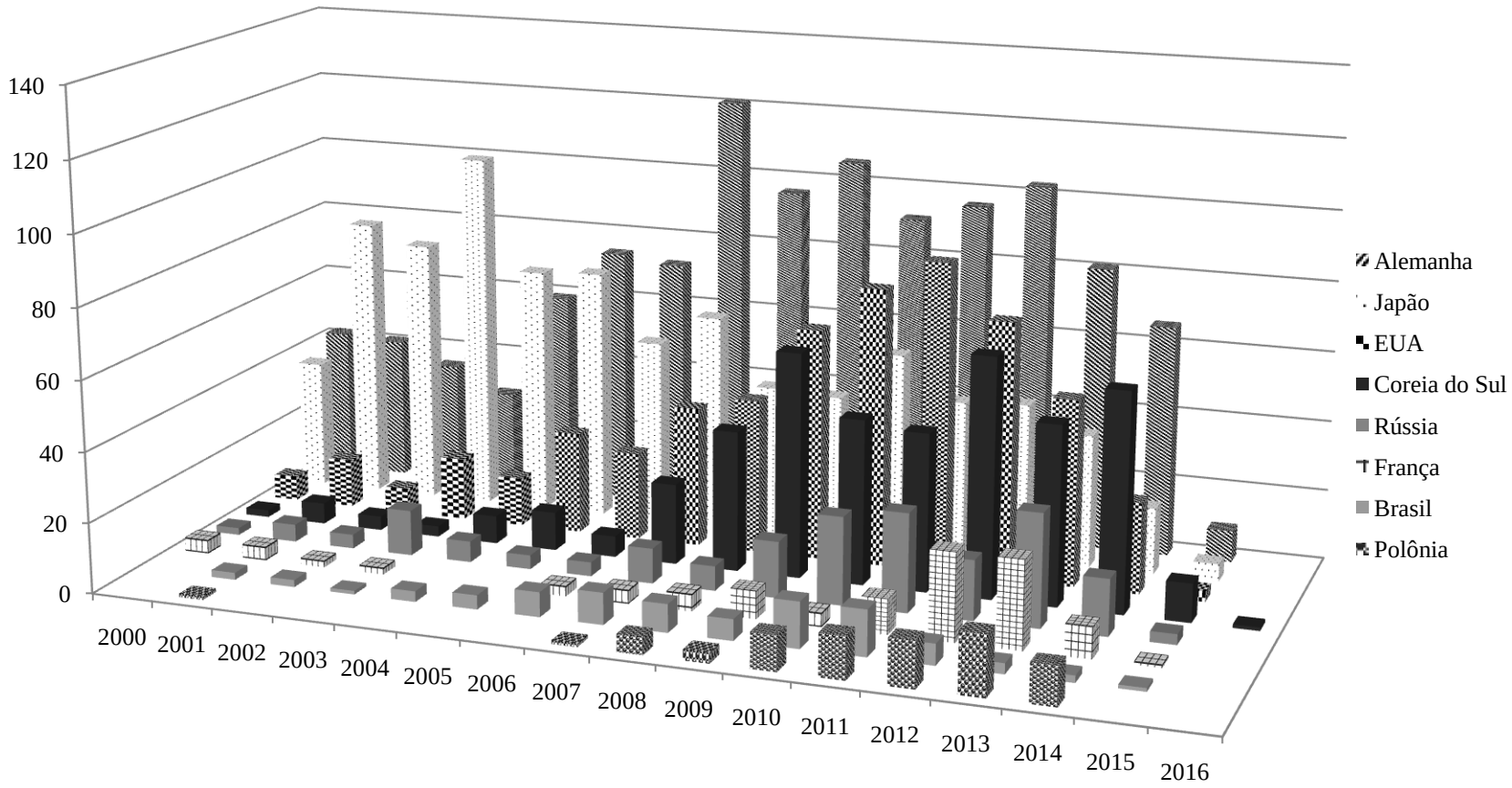

Figura 19 País de prioridade x Quantidade de depósitos x Ano de prioridade
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index.*
Principais países de prioridade (mais de 70 depósitos) dos depósitos relacionados à produção de biogás. A data de prioridade corresponde à data do primeiro depósito, em geral, no país de origem

8.1.2.2 Alemanha

A Alemanha se destaca em termos de número de depósitos. Em contraste com a China, manteve seus depósitos sempre em um patamar elevado e relativamente constante. Neste país, no final de 2015, foram instaladas 8.928 unidades produtivas de biogás (KAMPMAN *et al.*, 2016). Destas, 190 têm a capacidade de converter o biogás para o biometano. A capacidade total das usinas de biogás é de 4.177 MegaWatt de energia. Neste mesmo ano, 2015, foram desenvolvidas cerca de 200 novas instalações de biogás (KAMPMAN *et al.*, 2016). Acompanhando a expressividade alemã reportada nos depósitos de patentes, verifica-se que esta forte presença alemã na produção de biogás está sem dúvida associada às novas metas estipuladas pela União Europeia.

Neste bloco econômico a ideia é que o consumo de energia oriundo de fontes renováveis seja de pelo menos 20% até o ano de 2020. Dessa forma, o biogás surge como uma possibilidade de auxiliar o alcance destas metas. Além disso, a produção de biogás também pode ser útil no que concerne à utilização de resíduos urbanos biodegradáveis, uma vez que a diretiva da União Europeia prevê que a deposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários seja reduzida em até 50% até o ano de 2020 (HAVUKAINEN *et al*, 2014). Raboni e Urbini (2014) apontam, ainda, que a Alemanha é claramente o país europeu dominante, mesmo considerando que, ao contrário de outros países da Europa, deu preferência à construção de fábricas de pequena e média capacidade.

Reforçando esta ideia, Appel, Ostermeyer-wiethaup e Balmann (2016) demonstram em seu estudo que a produção de biogás na Alemanha pode ser considerada uma das mais influentes inovações na agricultura nas últimas décadas. A adoção tecnologia de DA para produção de biogás foi expressiva depois que a lei de energia renovável *Renewable Energy Sources Act* foi introduzida em 2004. O *feed-in*[10] (subsídio) é garantido na venda de eletricidade para quem produz biogás por um período de 20 anos, e o acesso prioritário a novos mercados incentivou agricultores alemães a investir na produção de biogás.

[10] Mecanismo utilizado por políticas públicas destinadas a acelerar o investimento em tecnologias de energias renováveis por meio da oferta de contratos de longo prazo aos produtores de energias renováveis, normalmente com base no custo de geração de cada tecnologia.

8.1.2.3 Japão

Na terceira posição, demonstrado na figura 19, está o Japão, que desde o início do período analisado (2000-2016) esteve presente com uma quantidade significativa de depósitos. Contudo, nos últimos anos uma leve queda foi observada. Todavia, deve em breve tornar a crescer, uma vez que após a catástrofe da usina nuclear em Fukushima no ano de 2011, estima-se que o interesse por outras fontes de energia, além da nuclear, seria considerado.

Esta especulação é baseada no fato de que em sua política energética já foram introduzidas novas tarifas *feed-in* para a energia renovável. Nesta política, o biogás, juntamente com outras fontes de energia renovável recebeu um grande incentivo.

8.1.2.4 Estados Unidos

Como quarto principal país de prioridade de depósitos de patentes têm-se os Estados Unidos, sendo notórios os esforços para produção de biogás e aproveitamento da matéria orgânica neste país.

Em diversos estados deste país há iniciativas para favorecer a produção de biogás. Em Ithaca, estado de Nova York, por exemplo, foi desenvolvida uma planta que mistura o esgoto com restos de alimentos e esterco. Nos últimos anos foram muitas as ações do governo americano para estimular o uso e produção de biogás. Os principais órgãos de governo que têm financiado programas para sua implantação são o *United States Department of Agriculture* (USDA), o *Department of Energy* (DOE) e o *Environmental Protection Agency* (EPA). Ao todo serão oferecidos US$ 10 milhões em financiamento para pesquisas em biogás e seus coprodutos. Além disso, são estimulados programas de reforço que suportam o uso de biogás como energia limpa, combustível de transporte, produtos químicos renováveis e outros produtos de base biológica (USDA, DOE, EPA, 2014). No estado da Califórnia houve um forte incentivo à produção de biogás com o *California's Low Carbon Fuel Standard* que visa a promoção de energias sustentáveis, como o biogás, especialmente para projetos de pequena escala.

8.1.2.5 Coréia do Sul

Na Coréia do Sul, que possuí 452 pedidos de patentes sobre o tema, o uso do biogás foi introduzido no início dos anos 70, especialmente para cocção em zonas rurais, e em seguida para o tratamento de resíduos animais como estrume de bovinos na década de 1990. Nos anos 2000, a tecnologia de DA passou a ser mais atrativa principalmente pela sua aplicação no tratamento de águas residuais (KIM *et al.*, 2012).

8.1.2.6 Considerações gerais sobre os países

De acordo com informações recuperadas na fase 1 da metodologia, e pelas notícias de mercado, observa-se que a indústria global de biogás demonstra intensa atividade, pelo menos nos próximos dez anos. Espera-se que a produção global anual de biogás exceda dois trilhões de pés cúbicos até 2024. Além disso, os investimentos em instalações de produção de biogás devem gerar até US$ 25,8 bilhões em receita acumulada de 2015 a 2024 (LEFEBVRE, 2016). Porém, a indústria global de biogás apresenta gargalos tecnológicos que precisam ser abordados para atender seu potencial.

O crescimento de energias limpas como o biogás vem se intensificando também pela demanda social para redução do impacto ambiental de ações antrópicas, particularmente dos combustíveis fósseis, além das novas orientações políticas e numerosas legislações sobre energia, ambiente e agricultura e tratamento de resíduos (TORQUATI *et al.*, 2014).

Dessa forma, uma correlação importante que deve ser feita entre os países e o desenvolvimento tecnológico é a capacidade produtiva instalada (Tabela 10). Sabe-se que ao longo dos últimos anos, o número de instalações de biogás cresce continuamente, especialmente após a implementação de subsídios ainda mais elevados pelo governo europeu para o desenvolvimento de novas instalações (DEUBLEIN; STEINHAISER, 2008).

Tabela 10 Comparação entre os principais países com plantas geradoras de biogás

País	Tipo de unidade produtiva para geração de biogás	Principal uso do biogás
China	A maior parte de suas unidades produtivas neste país é descentralizada, com pouca tecnologia associada e vinculadas a pequenos biodigestores rurais e familiares. Os resíduos orgânicos produzidos no campo são	O gás gerado é utilizado para cocção de alimentos e geração de energia localmente, ou como queima para geração de calor e energia para

País	Tipo de unidade produtiva para geração de biogás	Principal uso do biogás
	armazenados em biodigestores e usados localmente.	consumo local
Alemanha	Foco na geração de biogás em plantas industriais de pequeno e médio porte onde seus biodigestores são de escala industrial e com modernas técnicas de purificação.	Principal uso é a geração de eletricidade com injeção do excedente na rede de energia
Japão	Plantas industriais para o tratamento de águas residuais e esgoto	Principal uso é a geração de energia
Suécia*	Grandes unidades produtivas	Aplicação em combustível veicular

Fonte: Elaboração própria baseada nas diversas referências técnicas consultadas ao longo da tese e na análise dos depósitos de patentes.
* Suécia apresenta apenas 37 depósitos, porém este país esta investindo bastante em biodigestão anaeróbia. Além de ser um dos principais países europeus que dedica a geração de biogás ao desenvolvimento de biometano para biocombustíveis.

É importante mencionar que recentemente a cooperação com especialistas de países com tecnologia avançada para produção de biogás em larga escala, como Dinamarca, Alemanha e Suécia, tem apoiado o desenvolvimento e a construção de plantas de biogás de médio e grande porte na China. Nos últimos anos, o número de plantas descentralizadas e de pequena escala aumentou, mas também digestores de média e grande escala estão sendo implantados rapidamente no país (JIANG; SOMMER; CHRISTENSEN, 2011).

A Europa é o continente com maior capacidade de crescimento. O número de plantas de biogás aumentou de 16.834 para 17.376 em 2015 (+ 3%). Alguns países alcançaram um aumento significativo, como o Reino Unido (77 plantas adicionais, 17% de crescimento), a Bélgica (20 plantas adicionais, 11% de crescimento) e a Holanda (16 plantas adicionais, 6% de crescimento). Em 2015, havia 92 novas unidades de produção de biogás já em projeto para execução, o que demonstra o contínuo e constante crescimento do setor de biometano. Esses números refletem um desenvolvimento claro na Europa, mostrando que a indústria de biogás é madura e está em expansão (EBA EUROPEAN BIOGAS ASSOSSIATION, 2016).

Através do levantamento bibliográfico conduzido na primeira etapa desta pesquisa observou-se uma iniciativa da União Europeia no que tange à diminuição do *gap* entre os projetos de pesquisa e a aplicação industrial das técnicas já disponíveis.

Dentro dos projetos financiados pela União Europeia no Horizonte 2020 está disponível o *Research Coordination for a Low-Cost Biomethane Production at Small and*

Medium Scale Applications. Este projeto, iniciado no ano de 2016, conta com a participação de três países membros e tem um orçamento total de € 499,922.00. Seu objetivo é identificar, agrupar e descrever o conjunto de tecnologias disponíveis que podem ser usadas para pequenas e médias plantas de biogás agrícolas, com foco na produção de biometano, conforme apresentado na figura 20.

Figura 20 Mapa de atores europeus desenvolvedores de novas tecnologias para produção de biogás
Fonte: https://biomethane-map.eu/Biomethane-Map.70.0.html

Mapa de Biometano - Legenda

- Companhias instituições trabalhando com tecnologias de Pré-tratamento
- Companhias instituições trabalhando com tecnologias de digestão (processo)
- Companhias instituições trabalhando com tecnologias de purificação *upgrade* do biogás
- Outas Companhias instituições trabalhando com tecnologias correlatas a cadeia do biogás

Este mapa permite identificar, no continente Europeu, como as tecnologias para utilização do biogás são distribuídas. Verifica-se que Espanha, França e Itália possuem uma predominância de ações voltadas para o elo de purificação do biogás, ou seja, o seu *upgrade* até a transformação em biometano. Também é relevante a quantidade de nações que se

dedicam ao estudo de técnicas de pré-tratmento para melhor entender formas de otimizar as matérias-primas e aproveitar os recursos em sua totalidade. Estas informações serão exploradas em maiores detalhes nos seus elos correspondentes.

Reforçando a hipótese de que o biogás está em ascensão, Stürmer (2017) demonstra que as plantas de biogás na Europa, nos últimos 10 anos, tiveram uma significativa expansão, especialmente no norte da Itália, Suíça, República Checa, Áustria e Alemanha. Este desenvolvimento foi encorajado principalmente por legislação e regulamentação nacionais favoráveis.

Por fim, é imperativo ressaltar que na análise dos elos da cadeia, não foi possível a identificação de documentos relativos à etapa logística, ou seja, transporte das matérias-primas. Isso se justifica por duas considerações principais. Primeiro, tem-se que avaliar que a logística é uma etapa opcional para as plantas de biogás, esta se fará necessária quando a instalação estiver situada fisicamente distante da fonte de matéria-prima, o que nem sempre ocorre. Além disso, a logística não é uma etapa que necessita de grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento, ou seja, não há investimentos significativos em P&D para melhoria desta etapa, tendo em vista que o usual é o seu transporte em veículos especializados para tal função.

8.1.3 Pontos principais gerais da cadeia

Verificou-se, pela análise da CIP, que a maioria dos depósitos se refere a aparelhos e equipamentos para enzimologia ou microbiologia. Também é forte a presença de documentos relacionados ao tratamento de resíduos, águas, lamas e esgoto. A leitura dos documentos mostra que há uma forte integração entre os elos da cadeia do biogás, especialmente entre matéria-prima, pré-tratamento e processo. Houve também uma associação entre os depósitos dos elos purificação e aplicação do biogás.

Quanto aos países de prioridade dos documentos analisados, destacam-se cinco países que juntos representam 85% de todos os depósitos sobre o tema durante o período avaliado (jan./2000- set./2016). São estes, China, Alemanha, Japão, Estados Unidos e Coréia do Sul. Observaram-se claras diferenças entre os países de prioridade, a China detém a maior quantidade de biodigestores instalados, contudo estes são de uso rural, de pequena escala e

descentralizados, utilizados para cocção de alimentos, aquecimento e geração local de energia. Já a Alemanha, em oposição, possui uma capacidade instalada de plantas de média e grande escala gerando, na maioria das vezes, biogás para a produção de eletricidade e calor para processos industriais e aquecimento residencial. Esta tendência, de plantas industriais, também se verifica nos Estados Unidos e no Japão, que junto com a Europa, dominam a atual produção de biogás.

Atualmente a principal aplicação do biogás é para o aquecimento industrial, residencial, e para edifícios. Nos processos industriais o calor para aquecimento, muitas vezes, está em conjunto com produção de eletricidade via combinação de calor e energia (*combined heat and power*).

O desenvolvimento da produção e do uso do biogás foi e continua sendo impulsionado por incentivos políticos, ao redor do mundo. Especialmente na Europa observou-se que as tarifas *feed-in*, isenções fiscais, certificados verdes, mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) são os incentivos mais utilizados. Verificou-se que as maiores oportunidades de inovação estão relacionadas ao elo de purificação do biogás, o que permite seu *upgrade* para biometano e consequente uso para aplicações mais nobres, para além da geração de calor e eletricidade.

A produção de biogás inclui parâmetros técnicos e econômicos tais como escolha do insumo, pré-tratamento e tecnologias de purificação, bem como as condições ideais do processo e do bioreator. Otimizar a combinação desses parâmetros é a chave para a eficiência energética redução de insumos e sucesso na utilização de processos de DA para geração de bioprodutos.

9.2 PATENTES RELATIVAS AO ELO MATÉRIA-PRIMA

9.2.1 Panorama macro do Elo Matéria-prima

No caso do elo matéria-prima uma particularidade foi observada, um mesmo pedido está associado à capacidade de processar mais de um insumo, ou seja, um mesmo biodigestor apresentar a possibilidade de processor diferentes resíduos. Isto ocorre, especialmente, por conta da matéria-prima não ser o foco das reivindicações dos pedidos.

Sem dúvida, a primeira preocupação na geração de biogás é com a disponibilidade de insumo em uma quantidade suficiente para manter o processo e a constância na geração de gás. No entanto, cada país tem disponível um tipo e quantidade de substratos distintos para o processo de DA. Sendo assim, as plantas de biogás diferem significativamente em seus projetos, tecnologias e capacidades de acordo com a matéria-prima utilizada. Logo, os diferentes tipos de potenciais matérias-primas devem ser levantados separadamente antes da execução de um projeto para garantir o sucesso do empreendimento (SIEGMUND, 2016).

A escolha da matéria-prima é influenciada pela competição pelo uso da terra, por interesses econômicos, pela possibilidade de controlar sua disponibilidade (estoque), pelas questões logísticas e também há questões tecnológicas relacionadas ao processamento dos vários tipos de matérias-prima (KARLSSON, 2014).

Além disso, a ideia de investigar o elo de matérias-primas está mais relacionada ao sentido de se dimensionar se o que já existe de tecnologia disponível hoje é apropriado ao tratamento dos inúmeros recursos orgânicos pela DA. Como mencionado, são crescentes os estudos sobre possibilidades de insumos orgânicos utilizadas no processo.

Essa diversidade de resíduos potenciais cria um ambiente propício para que os países possam trazer renovabilidade a sua matriz energética e também vislumbrem vantagens para investir na proteção intelectual de equipamentos ou novos métodos de produção. Corroborando a importância e a diversidade das matérias-primas, a *Global Intelligence Alliance* (2010) aponta que o potencial de produção do biogás pode ser assim divido: 75% contido em matérias-primas provenientes da pecuária e da agricultura, 17% correspondem a resíduos sólidos urbanos, 8% do potencial é representado pelos lodos, lamas e águas residuais.

O relatório menciona ainda que a fatia de 75% pode crescer para 85% se forem considerados resíduos orgânicos de processos industriais (5%) e resíduos como restos alimentares (5%). Portanto, é natural o interesse na busca e no aproveitamento de novas matérias-primas. De acordo com Weiland (2009), todos os tipos de biomassa podem ser utilizados como substratos para produção de biogás, desde que contenham carboidratos, proteínas, gorduras, celulose e hemiceluloses como componentes principais. Diante do exposto, e partindo desta afirmação, a questão que este capítulo se propõe a elucidar é quais as matérias orgânicas mais utilizadas para geração de biogás através do processo de DA.

Para lançar luz a este questionamento um panorama dos principais resíduos já consolidados tecnologicamente como insumos para produção de biogás foi feito na literatura. Em paralelo uma comparação dos principais insumos citados nas patentes foi conduzida. Na figura 21 são categorizados os sete principais grupos de matérias-primas recuperados nos depósitos de patentes.

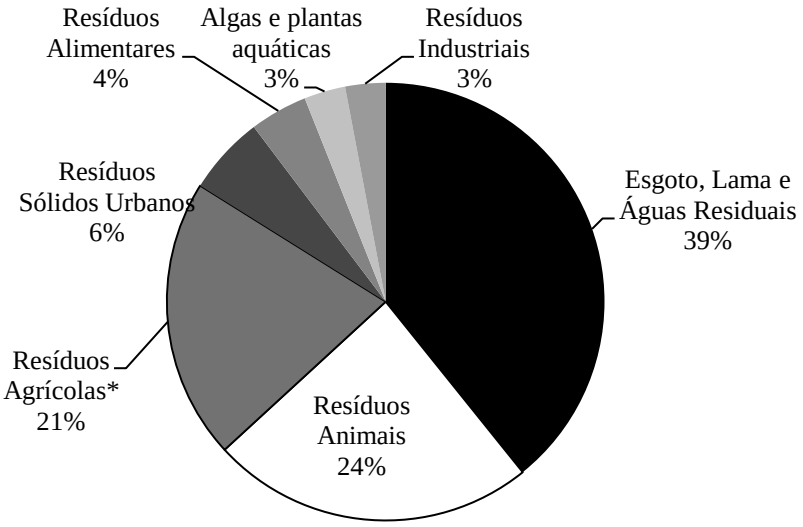

Figura 21 Principais matérias-primas citadas nos pedidos de patentes
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.
* Resíduos agrícolas estão somados com os resíduos lignocelulósicos.
** Um mesmo depósito pode ter a possibilidade de utilização de mais de um resíduo.
***Período de análise 2000 a set. 2016.

Dentre o grupo dos documentos relacionados ao uso de águas residuais, lama e esgoto são a maioria, 39% do total, resíduos animais, 24% do total de pedidos, seguido por resíduos agrícolas com 21% do total. Os demais tipos de insumos apresentam menos de 10% do total cada e são identificados na figura 21.

Para se avaliar em detalhes a evolução destes insumos, ou seja, se há alguma tendência a uma evolução do perfil, uma análise temporal foi conduzida, e está apresentada nas figuras 22 e 23, que foram divididas para facilitar a visualização, em função do número de depósitos nos diferentes insumos ser variável.

Observou-se na figura 21 que os quatro resíduos apresentados (Resíduos Alimentares; Algas e Plantas aquáticas; Resíduos Industriais e RSU) se tornaram muito atraentes nos últimos anos em função especialmente do seu alto teor de matéria orgânica e baixo custo. Estes podem ser restos de restaurantes, resíduos orgânicos municipais ou ainda resíduos do processamento de biomassa. Os resíduos industriais, muito embora sejam insumos potenciais, podem exigir requisitos diferentes de higienização, pré-tratamento e transporte causando custos adicionais, o que deve ser avaliado cuidadosamente em um projeto. Por isso, estes ainda não são maioria, mas já estão no foco de matérias-primas potenciais para geração de biogás.

De acordo com Siegmund (2016), os insumos com maior potencial para geração de biogás são as culturas energéticas e os resíduos agrícolas, uma vez que têm um alto poder calorifico. Utilizar biomassa na operação de plantas de biogás de média e grande escala permite um ganho global em todo o processo, uma vez que o biogás pode ser utilizado *in situ* para geração de energia elétrica ou energia térmica, reduzindo o consumo de energia de outras fontes externas. Na figura 23 são representados quantitativamente os depósitos que mencionam a possibilidade de utilização de Resíduos Agrícolas e Celulósicos, Resíduos animais e Água e Esgoto na geração de biogás.

Apesar de estas plantas serem maioria, a literatura sugere que as unidades de geração de biogás que operam exclusivamente com culturas alimentícias, como o milho ou grãos, entrarão em declínio no futuro, uma vez que já estão surgindo plantas de DA denominadas de segunda geração, caracterizadas por uma mudança nas matérias-primas, especialmente em favor de resíduos agrícolas, como estrume, palha e outros dejetos de colheita (STÜRMER, 2017). Esta tendência foi também identificada na análise dos depósitos de patentes quando se observa a evolução temporal apresentada nas figuras 22 e 23.

De acordo com a figura 22 é imperativo destacar que há um crescimento nos depósitos de patentes relacionados a algas. Este aumento é acompanhado também pelo crescimento nas pesquisas acadêmicas. Montingelli, Tedesco e Olabi (2015) reforçam que as

microalgas e macroalgas foram submetidas a uma intensa pesquisa acadêmica e industrial, para geração de biogás, especialmente em função da sua capacidade de superar as desvantagens relacionadas à primeira e segunda geração de recursos de biomassa. As principais vantagens das algas são: a não concorrência com culturas alimentares para terras aráveis, altas taxas de crescimento, frações baixas de lignina, o que reduz a necessidade de pré-tratamento intensivo de energia e compatibilidade com a implementação da abordagem de biorrefinarias. No entanto, algumas desvantagens, como a presença de alto teor de água, composição química sazonal e a ocorrência de fenômenos inibitórios durante a digestão anaeróbica tornam os biocombustíveis de algas ainda não economicamente viáveis.

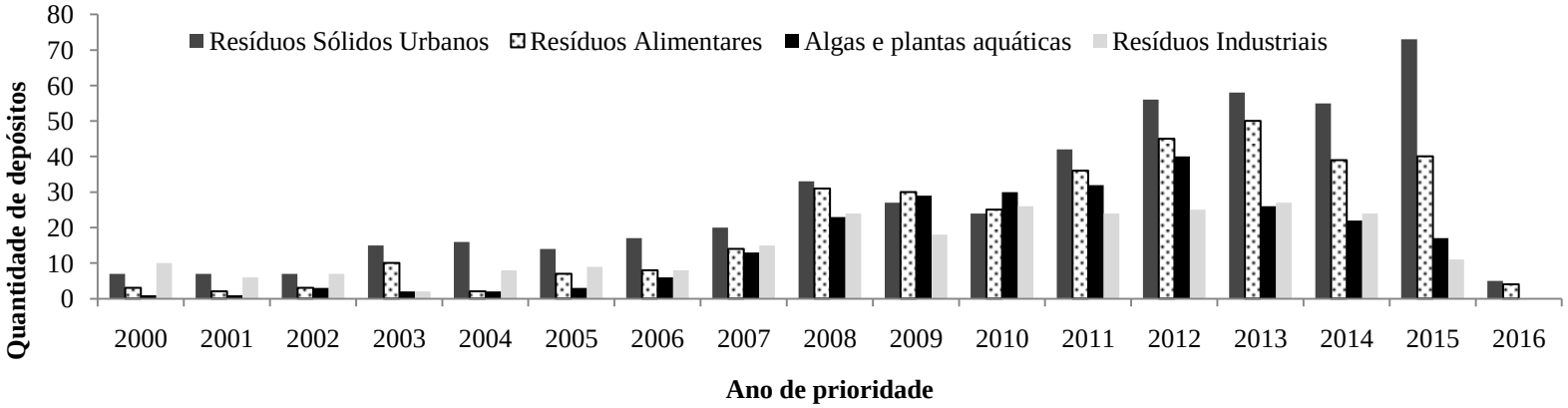

Figura 22 Evolução temporal dos depósitos dos principais tipos de matéria-prima
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index.*

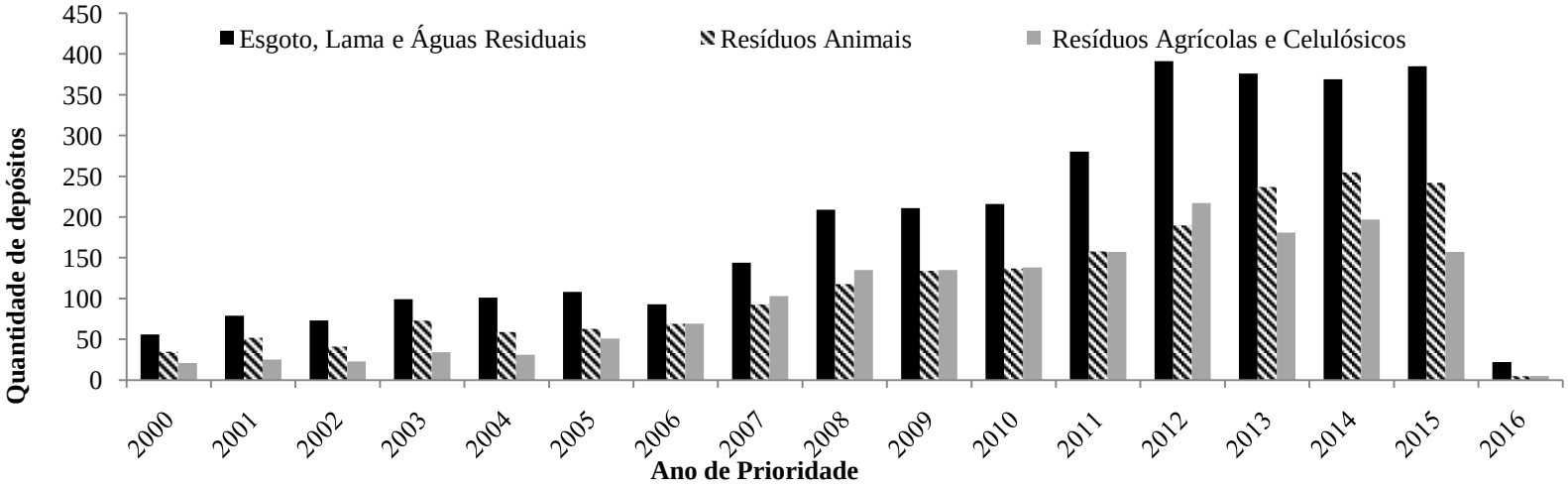

Figura 23 Evolução temporal dos depósitos dos principais tipos de matéria-prima
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index.*

Ao longo da análise do elo matéria-prima percebeu-se que há objetivos distintos para escolha de determinada matéria-prima pra produção de biogás. Para sumarizar os principais objetivos a Tabela 11 foi elaborada e apresenta os principais critérios de escolha de cada uma das matérias-primas.

Tabela 11 Matérias-primas e objetivos /critérios para escolha

Matéria-Prima	Principal objetivo no uso
Esgoto, Lama e Águas Residuais	Tratar efluentes pelo processo de DA significa reduzir a carga orgânica e permitir que estes recursos atendam aos padrões da legislação para descarte nos corpos hídricos
Resíduos Animais	Destinar adequadamente os resíduos animais gerados uma vez que seu lançamento *in natura* no solo não é permitido pela legislação
Resíduos Agrícolas*	Atender às metas de redução dos gases do efeito estufa, destinar adequadamente a biomassa e os resíduos celulósicos oriundos da cadeia logística, especialmente da produção de alimentos
Resíduos Sólidos Urbanos	Atender às metas de redução dos gases do efeito estufa
Resíduos Alimentares	Atender às metas de redução dos gases do efeito estufa
Algas e plantas aquáticas	Estimular a geração de novas fontes de energia, especialmente em nações onde os recursos de biomassa não são abundantes
Resíduos Industriais	Geração de energia *in situ* para redução de custos globais nos processos produtivos.

Fonte: Elaboração própria com base nas diversas referências consultadas ao longo da tese.

Mesmo com estas particularidades na escolha, percebeu-se também que há pontos comuns na escolha do insumo, ou seja, para determinar qual recurso orgânico será utilizado para geração de biogás, geralmente são levados em conta alguns fatores essenciais para o sucesso do empreendimento. Alguns destes critérios chave para escolha são apresentados na figura 24.

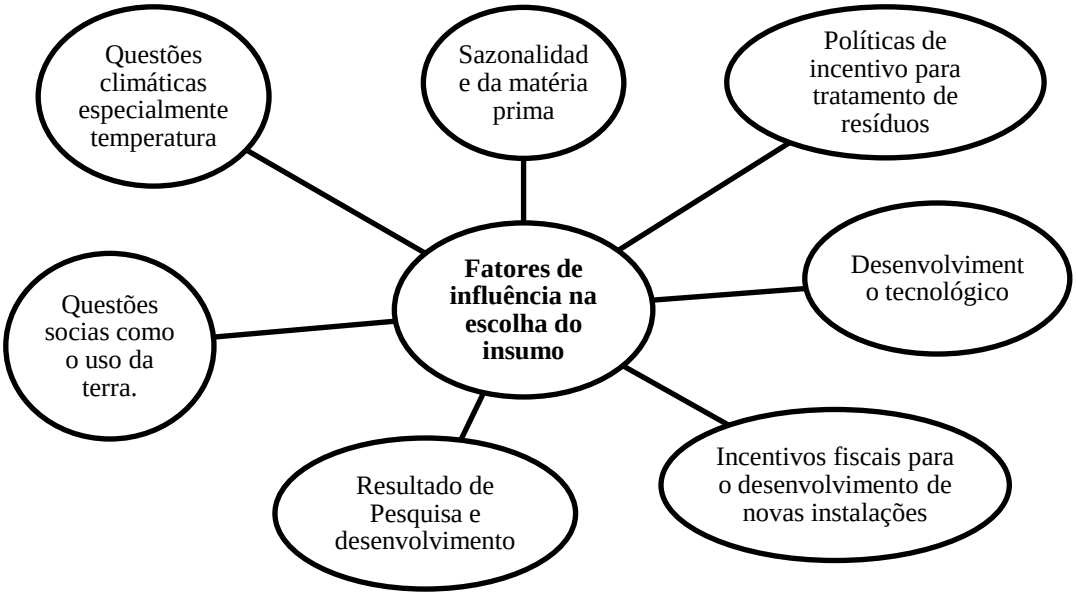

Figura 24 Fatores de escolha de uma matéria-prima para geração de biogás
Fonte: Elaboração própria com base nas diversas referências técnicas consultadas ao longo da tese.

A escolha de uma matéria-prima é peculiar a cada nação, a qual utiliza critérios próprios para eleger os insumos para geração de biogás. Sendo assim, para um correto entendimento de onde estes principais grupos de matéria-prima já são vistos como resíduos de potencial tecnológico para geração de biogás, os principais grupos de matérias-primas são apresentados em detalhes.

9.2.2 Águas residuais e Esgoto

Neste grupo foi reportada a maior concentração de documentos, 3.212 no total do período (2000 a set. 2016). A China foi o país que mais mencionou a possibilidade de utilização de lama, esgoto ou águas residuais em seus pedidos de patentes, representando 55% do total. Este país foi, sem dúvida, pioneiro no desenvolvimento de técnicas de aproveitamento do gás proveniente da digestão anaeróbia. Os maiores estímulos para a prática começaram na década de 1950, quando o governo passou a promover e fomentar o uso de biodigestores na área rural para o fornecimento de energia. Os esforços no país continuaram nos anos seguintes, desde o início da década de 70 do século passado, quando, em todos os planos de desenvolvimento e ação do governo (cinco anos), o biogás foi incluído. Contudo, especialmente a partir do início deste século, o governo chinês investiu fortemente para apoio

ao biogás. Nos últimos 10 anos (2003-2012) investiu cerca de 31,5 milhões de RMB (cerca de 3,8 mil milhões de euros) para construir e desenvolver novas plantas de biogás (LI, 2013).

A observação feita neste estudo também foi reportada por Huttunen, Manninen e Leskinen (2014), que demonstram que uso de resíduos industriais, efluentes ou ainda de RSU, está associado à necessidade da iniciativa privada se manter rentável. Geralmente as empresas que fazem a utilização de resíduos os tratam porque precisam atender às legislações ambientais de descarte.

Neste sentido, Energypedia (2015) demonstra que o rendimento de uma instalação de biogás está associado não somente ao tipo de matéria-prima, mas também especialmente ao *design* da planta, à temperatura de fermentação e ao tempo de retenção hidráulica. Os principais fatores foram sumarizados na figura 24.

Na figura 25 estão representados os principais países de depósito. Neste caso, observa-se que a China é líder disparada (55% do total) em depósitos relacionados ao tratamento de águas residuais e esgoto, seguida pelo Japão e da Alemanha.

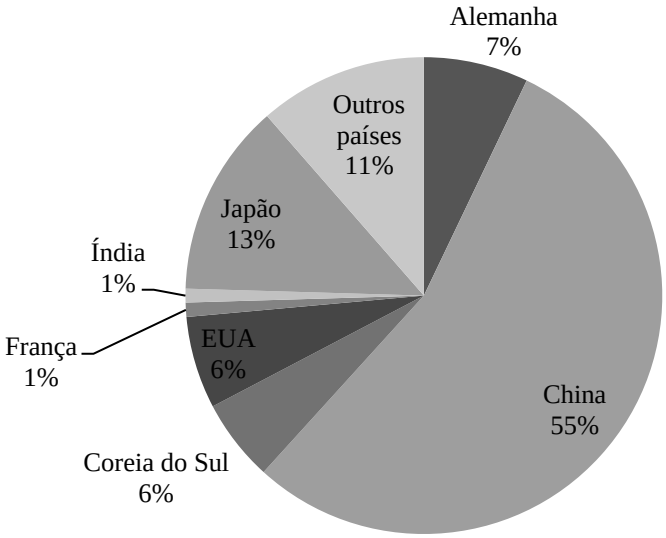

Figura 25 Países de prioridade que citam esgoto e águas residuais como insumo para produção de biogás
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.

9.2.3 Resíduos Animais

Este grupo possui 1.961 depósitos, sendo a China o país que mais mencionou a possibilidade de utilização de resíduos animais em seus pedidos de patentes, representando 49% do total. Na figura 26 os países que citam em seus depósitos a possibilidade de utilizar este recurso são apresentados. Percebeu-se ao longo do referencial teórico que os resíduos animais são, sem dúvida, uma importante matéria-prima para a geração de biogás. Segundo Bharathiraja *et al.* (2016) o uso de estrume animal como matéria-prima para DA é favorecido, uma vez que este tem 75-92% de umidade e 72-93% de sólidos voláteis (VS) do total de sólidos (TS). Portanto, possui uma boa capacidade de tamponamento, o que torna a reação mais estável.

Observou-se durante a análise deste grupo que 39% dos pedidos não citam o tipo de resíduo animal utilizado, porém a grande maioria, 45%, aponta que são os resíduos de quadrupedes (gado, cavalo, ovelha, bode e vaca) os mais utilizados. Por outro lado, aves (patos, gansos e galinhas) e suínos representam 8% deste total.

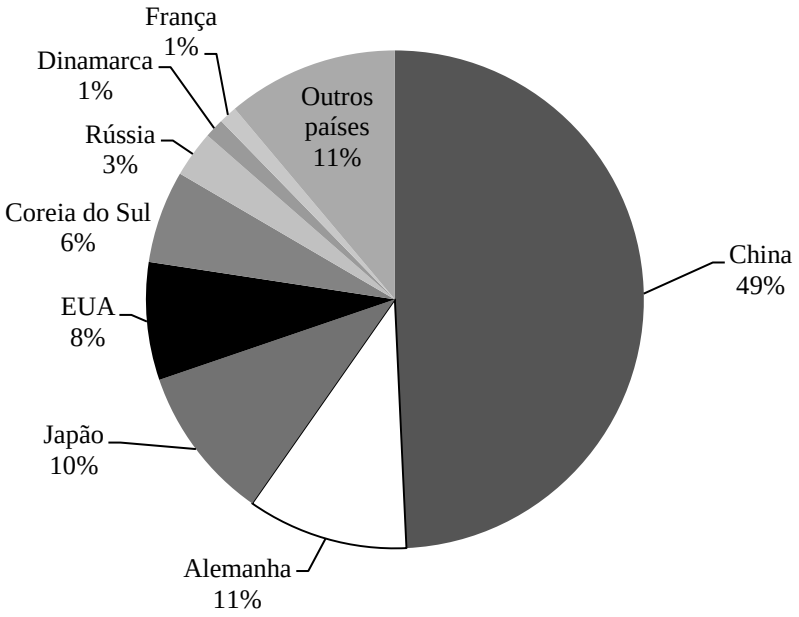

Figura 26 Países de prioridade que citam resíduos animais como insumo para produção de biogás
Fonte: Elaboração própria base nos dados da base *Derwent Innovation Index.*

Diferenciar que animal dá origem ao esterco bruto usado como matéria-prima é extremamente relevante devido às grandes variações composicionais destes dejetos, o que influencia diretamente o rendimento final do teor de metano. Na Europa, o potencial da geração de biometano a partir de estrume animal, e de culturas energéticas, é estimado em cerca de 1.7 EJ[11] a 2.8 EJ, até 2020, o que significa um terço da produção europeia de gás natural (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017)

Corroborando os achados desta pesquisa, a *World Biogas Assosiation* (2017) estimou o número de projetos instalados para geração de biogás no mundo de acordo com o tipo de substrato. Foram avaliadas as instalações construídas entre maio de 2016 e abril de 2017. Um resumo destes projetos é apresentado na Tabela 12. O relatório afirma que foram 148 projetos, no valor de US $ 3,515 milhões investidos. A capacidade total de matéria-prima para esses projetos é de 18,8 milhões de toneladas, equivalente a 127,015 toneladas em média e 397 toneladas por dia por projeto. A geração de energia total é de 399 MW, equivalente a 3 MW por projeto.

Tabela 12 Principais projetos para geração de biogás instalados no mundo de acordo com a matéria-prima utilizada

Matéria- Prima	Projetos	Investimento (milhões U$)	Capacidade (toneladas)	Média de capacidade	Capacidade por dia	Energia (MW)
Animal	37	621	9,292,791	251,157	785	70
Resíduo Alimentares	19	329	786,221	41,38	129	42
Resíduo Industrial	1	40	71,581	71,581	224	6
Resíduo Sólido Urbano	3	108	203,306	67,769	212	5
Resíduo orgânico não especificado	31	877	1,941,517	62,63	196	78
Resíduos vegetais	22	267	958,271	43,558	136	64
Lama Esgoto e águas residuais	32	938	5,300,436	165,639	518	117
Madeira	3	335	244,108	81,369	254	16
Total	148	3,515	18,798,231	127,015	397	399

Fonte: *World Biogas Association* (2017).

[11] O exajoule (EJ) é igual a 1 quintilhão (10^{18}) de joules

Estes resultados reiteram os achados deste estudo, uma vez que demonstram que águas residuais, lama, lodo e esgoto são as matérias-primas mais utilizadas para geração de biogás.

Na intenção de diminuir as incertezas no que concerne à escolha da matéria-prima, Ammenberg e Feiz (2017) desenvolveram um método que abrange os aspectos que devem ser levados em conta para decisão da escolha da matéria-prima: eficiência de custos; viabilidade tecnológica; potencial para fornecer energia renovável; reciclagem de nutrientes; desempenho global do insumo; acessibilidade e competição com outras energias e questões políticas. Esta metodologia é útil para o desenvolvimento de projetos. Os autores ainda abordam um estudo de casos utilizando este critério para seleção do insumo. A conclusão dos autores é que a coexistência de diferentes tipos de resíduos no mesmo local geográfico permite o gerenciamento integrado e oferece consideráveis benefícios ambientais. Essas questões cruciais foram sumarizadas na figura 24.

9.2.4 Resíduos agrícolas e celulósicos

Este grupo contempla resíduos agrícolas, contudo sabe-se que há resíduos que são estritamente celulósicos como madeira, fibras de celulose, ramos, galhos e folhas, lenha, grama, bagaço de cana, fibra, culturas energéticas e gramíneas como *switchgrass* e *miscanthus.* Neste estudo optou-se por considerar estes dois grupos juntos como resíduos agrícolas e celulósicos, uma vez que sua natureza é muito semelhante.

Neste grupo de matérias-primas, a China também é o país de prioridade líder em termos de depósitos, com 52% do total encontrado no grupo. Na figura 27 estão representados os demais depósitos, com exceção da China, divididos por país, com uma liderança japonesa.

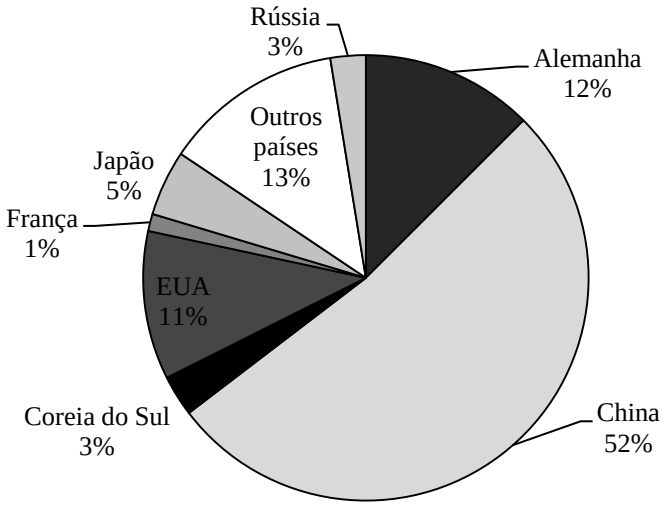

Figura 27 Países de prioridade que citam resíduos agrícolas e celulósicos como insumo para produção de biogás
Fonte: Elaboraçãoprópria base nos dados da base *Derwent Innovation Index.*

De acordo com Horváth *et al*. (2016), os resíduos lignocelulósicos estão prontamente disponíveis, no entanto, é necessário um maior desenvolvimento de novas tecnologias de pré-tratamento para alcançar processos economicamente viáveis.

9.2.5 Codigestão de matérias-primas

Historicamente, a digestão anaeróbia tem sido associada principalmente ao tratamento de estrume animal e esgoto. Porém, no início da década de 1990 surgiram as plantas de codigestão, que tratavam principalmente resíduos agrícolas e resíduos domésticos (BGS Equipamentos, 2013) a fim de se minimizar os efeitos negativos do uso de matérias-primas isoladas.

Hoje em dia, a maioria das plantas de biogás possui a capacidade de processar diferentes resíduos de forma combinada (agrícola + animal), uma vez que o co-processamento de diferentes substratos aumenta o conteúdo de material orgânico melhorando o rendimento de metano no biogás (WEILAND, 2009). Este fato foi reforçado pela observação de que, durante a análise dos depósitos, observou-se uma forte correlação entre os insumos, ou seja, um mesmo pedido estava citado em mais de um dos sete grupos de matérias-primas escolhidas.

A escolha da matéria-prima é uma etapa fundamental, uma vez que os produtos intermediários de decomposição de substratos têm a capacidade de inibir a degradação e a formação do metano. A degradação de gorduras irá aumentar a concentração de ácidos graxos, o que limita e torna mais lenta a degradação global do substrato orgânico (WEILAND, 2009).

Nos últimos anos um interesse crescente na codigestão está associado principalmente ao fato de que a digestão anaeróbia de substratos simultaneamente permite perpassar obstáculos como ajustes na relação C:N, correções de pH, regulação de nutrientes. Por exemplo, estercos têm cargas orgânicas baixas e altas concentrações de nitrogênio, características que podem inibir as bactérias metanogênicas. Já os resíduos sólidos urbanos podem conter materiais tóxicos, bem como uma alta concentração de metais pesados, inibindo o crescimento microbiano. Os resíduos agroindustriais são sazonais, o que dificulta um processo contínuo de geração de biogás, dessa forma, estudos que viabilizam a codigestão têm ganhado importância (ASTALS, NOLLA-ARDÈVOL E MATA-ALVAREZ, 2013). Ainda, a codigestão é bastante útil em áreas onde há a coexistência de diferentes tipos de resíduos, o que permite o gerenciamento integrado, oferecendo benefícios ambientais consideráveis, como economia de energia, reciclagem de nutrientes, melhor aproveitamento das terras agrícolas e redução de emissões de CO_2 (KACPRZAK *et al.*, 2010).

9.2.6 Considerações finais sobre o Elo Matéria-prima

Durante a análise deste elo, percebeu-se que, assim como os demais biocombustíveis, o biogás está organizado em níveis tecnológicos distintos. Na figura 28 são apresentadas as três gerações de matérias-primas já consolidadas para a geração de biocombustíveis tradicionais como o etanol, por exemplo. Neste estudo verificou-se que esta evolução nas matérias-primas também se aplica ao biogás.

Allen *et al*. (2016), Murphy *et al.*, (2015), Chandra, Takeuchi e Hasegawa (2012) também fazem a alocação das matérias-primas da mesma forma.

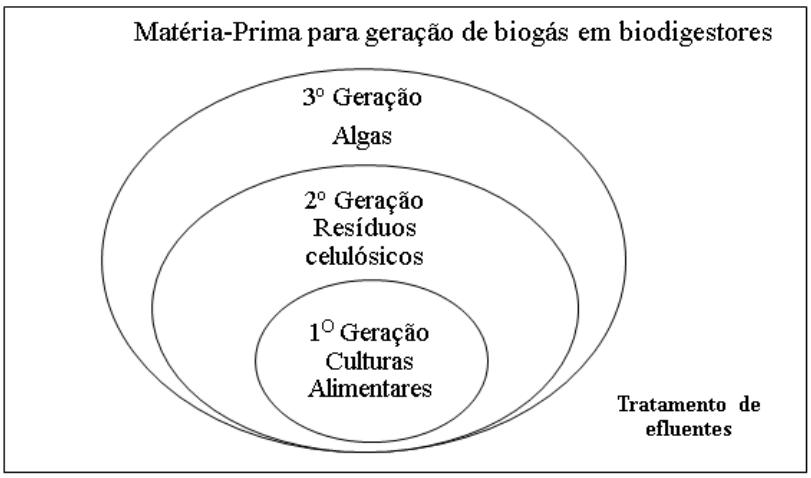

Figura 28 Organização das matérias-primas quanto ao nível de desenvolvimento tecnológico
Fonte: Elaboração própria com base nas diversas referências técnicas consultadas.

Os Estados Unidos, a China e a Índia também estão investindo em alternativas tecnologicamente viáveis para a produção de biogás a partir de recursos celulósicos, e em poucos anos serão ativos produtores juntamente com a Europa, atual líder (ACHINAS; ACHINAS; EUVERINK, 2017).

Acrescenta-se, que a matéria-prima mais utilizada, água, lama e esgoto, é avaliada em separado. Isto porque a geração de biogás através deste tipo de material é conduzida mais pela necessidade do tratamento do efluente (redução da carga orgânica) do que pela intenção da geração de biogás, como é o caso das demais matérias-primas tratadas em biodigestores.

9.3.7 Pontos principais do Elo Matéria-prima

Neste estudo observou-se que as matérias-primas mais citadas nos depósitos de patentes foram lama, esgoto, águas residuais, seguido de resíduos animais, resíduos agrícolas e celulósicos, resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos industriais e algas. Estes três últimos se tornaram muito atraente nos últimos anos em função, especialmente, do seu alto teor de matéria orgânica e baixo custo de obtenção.

Essa diversidade de resíduos potenciais cria um ambiente propício para que os países possam trazer renovabilidade a sua matriz energética e também vislumbrem vantagens para investirem na proteção intelectual de equipamentos ou novos métodos de produção de biogás.

Na Europa, por exemplo, a maioria dos biodigestores utiliza culturas alimentícias como milho ou grãos para produção de biogás. Nos últimos anos observou-se que unidades industriais estão se adequando à segunda geração de biocombustíveis, caracterizadas por uma mudança nas matérias-primas, especialmente em favor de resíduos agrícolas, como estrume, palha e outros resíduos de colheita. Há também uma forte tendência à codigestão de matérias-primas o que facilita o processo e promove maior estabilidade na geração do biogás.

A maioria dos biodigestores instalados possui a capacidade de processar diferentes resíduos de forma combinada: agrícola + animal, por exemplo.

Quanto aos países líderes em depósitos, a China tem biodigestores alimentados principalmente por esterco bovino e resíduos agrícolas, já na Alemanha os resíduos lignocelulósicos (culturas energéticas) têm espaço. Independente da nação, a primeira preocupação na geração de biogás é com a disponibilidade de insumo em uma quantidade suficiente para manter o processo e a constância na geração gás.

De forma resumida os principais fatores na escolha de uma matéria-prima para geração de biogás são: sazonalidade, políticas de incentivo para tratamento de resíduos, desenvolvimento tecnológico, incentivos fiscais para o desenvolvimento de novas instalações, P&D, questões sociais como o uso da terra e questões climáticas, especialmente o controle das emissões dos gases causadores do efeito estufa.

Verificou-se que a questão logística é estreitamente relacionada à escolha da matéria-prima, uma vez que a disponibilidade de substrato é fundamental para manutenção do processo que deve ser contínuo e estável.

9.3 PATENTES RELATIVAS AO ELO PRÉ-TRATMENTO

9.3.1 Panorama macro do Elo Pré-tratamento

Para discussão deste elo da cadeia é importante recordar que o objetivo de qualquer método de pré-tratamento é disponibilizar os nutrientes para as espécies microbianas que aceleram a utilização da biomassa durante o processo de digestão anaeróbia (PATIL *et al.*, 2016). O pré-tratamento é uma etapa opcional para realização do processo de DA, contudo, nos últimos anos vem ganhando importância uma vez que permite garantir melhores rendimentos de metano ao final da reação, bem como a estabilização da matéria orgânica.

Independente do tipo de técnica escolhida para pré-tratamento, uma das principais limitações da DA é a taxa de hidrólise para substratos orgânicos complexos devido à formação de subprodutos tóxicos como compostos heterocíclicos ou ácidos graxos voláteis. Estes produtos são formados durante a etapa de hidrólise. Prtanto, se esta etapa não for ajustada para minimizar a formação destes produtos, os passos seguintes do processo ficam comprometidos, especialmente a metanogênese, uma vez que haverá uma limitação da produção de biogás em função dos substratos presentes.

Desse modo, nos últimos anos, muitas pesquisas foram realizadas buscando alternativas de pré-tratamento para incrementar a etapa de hidrólise e obter subprodutos adequados (ARIUNBAATAR *et al.*, 2014). Salihu e Alam (2016) reforçam a importância do pré-tratamento para o aumento do rendimento global do processo, baseado no fato de que a otimização do passo de hidrólise resulta na decomposição de matéria orgânica complexa em grandes unidades monoméricas e oligoméricas que podem ser facilmente utilizadas sob condições anaeróbicas para geração de biogás. Atualmente uma grande variedade de métodos de pré-tratamento já são conhecidos e utilizados. Sua escolha está relacionada ao tipo de insumo usado, ou seja, a complexidade de sua composição. Observa-se na literatura que os estudos relacionados ao pré-tratamento estão aumentando nas últimas décadas (HORVÁTH *et al*., 2016).

Para avaliar se o desenvolvimento tecnológico, medido pela quantidade de depósito de patentes, também está crescendo, uma avaliação temporal foi traçada. Esta análise baseia-se

na data de prioridade do depósito. Na figura 29 observa-se como, ao longo dos anos, o número de depósitos aumentou e pode ainda aumentar, isso porque, o período de sigilo (18 meses) de um depósito e o tempo de indexação na base de dados pode retardar a recuperação de informações nos anos finais do gráfico. Esse aumento nos depósitos de patentes é justificado pelo aumento nas pesquisas e desenvolvimento de novas técnicas para o processo de DA. Estudos de cunho técnico apontam que as técnicas mecânicas já são implementadas em plantas de biogás comerciais de maneira rotineira (MONTGOMERY E BOCHMANN, 2014).

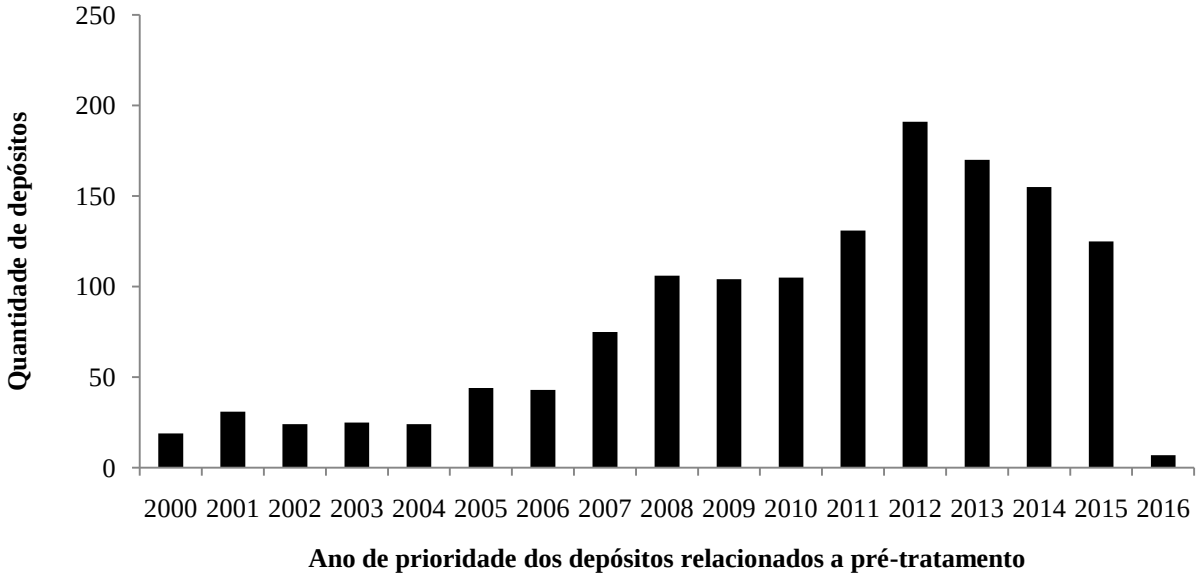

Figura 29 Ano de prioridade dos depósitos relacionados a pré-tratamento para produção de biogás
Fonte: Elaboração própria com base nos dados coletados na base Der*went Innovation Index.*

Rodriguez *et al.* (2017) demonstram alguns exemplos de plantas de biogás que utilizam diferentes pré-tratamentos para melhorar a eficiência do processo utilizando gramíneas e outros substratos em codigestão como matéria-prima. Visando fornecer detalhes de caráter técnico, uma avaliação de acordo com a natureza do processo de pré-tratamento foi realizada, e está apresentada na figura 30.

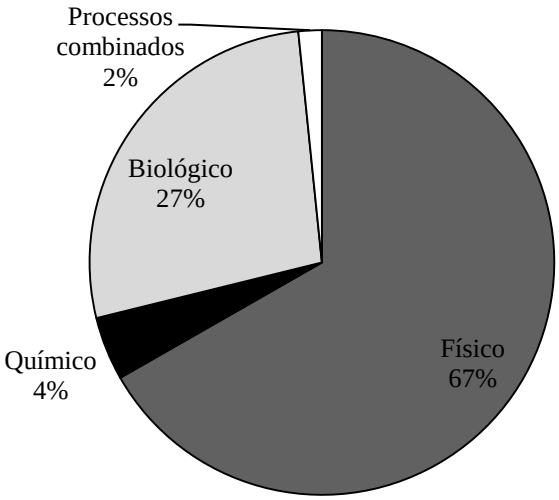

Figura 30 Documentos de patentes relacionados ao Elo Pré-tratamento
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da *Derwent Innovation Index*.

As técnicas de pré-tratamento podem ser de natureza Física, Biológica, Química ou de Processos combinados (pressão e temperatura simultaneamente, por exemplo). O tipo de técnica mais descrita em documentos de patentes foi o pré-tratamento físico (67%), seguido do biológico (27%), do químico (4%) e de outros pré-tratamentos que combinam processos (2%). Na Tabela 13 são apresentados exemplos de depósitos com cada uma das técnicas, para ilustrar suas diferenças.

De forma similar a esta tese, Mata-Alvarez *et al.* (2014) apresentaram um levantamento bibliométrico de publicações científicas sobre pré-tratamento de diversas matérias-primas pra produção de biogás, demonstrando que a grande maioria das pesquisas associadas ao pré-tratamento de resíduos orgânicos para a produção de biogás foram dedicadas a métodos mecânicos, térmicos e químicos, representando 33, 24 e 21%, respectivamente.

Já no campo prático, Schumacher[12] *et al.* (2015) realizaram uma pesquisa na Alemanha para correlacionar as tecnologias de pré-tratamento já aplicadas em plantas comerciais e perceberam que 70% das tecnologias usadas são mecânicas, 6% são outras técnicas físicas e apenas 1% das plantas comerciais efetivamente usam processos químicos.

[12]Os pesquisadores levaram como base as 7.500 plantas de biogás instaladas na Alemanha, como amostra para o estudo. Deste universo 980 gestores de plantas produtivas retornaram o questionário sobre que tipo de pré-tratamento é utilizado na sua unidade produtiva.

Ainda é imperativo ressaltar que o custo do pré-tratamento foi identificado como um dos principais fatores que decidem a viabilidade econômica dos biocombustíveis, incluindo o biogás. As técnicas físicas, especialmente as mecânicas, quando comparadas aos demais pré-tratamentos, são as mais bem conhecidas, descritas e economicamente viáveis (RODRIGUEZ *et al*., 2015).

Para exemplificar, na Tabela 13 estão alguns exemplos de documentos em cada grande grupo de pré-tratamento identificado na análise dos depósitos de patentes.

Tabela 13 Exemplos de documentos em cada grande grupo de pré-tratamento identificado

ND*	Resumo da técnica	Pré-tratamento	Depositante
DE202010016775	*The formulation is useful for: fungal exolytic degradation of ligno-cellulosic materials to increase the bacterial bioconvertibility; and the pretreatment of poorly fermentable biogenic lignocellulose substrates in biogas production and the compost production increases the biogas yield to 10-30%.*	Biológico: Enzimático	*ITA Inst Innovative Technologien*
KR1209570-B1	*Method for manufacturing biogas, involves hydrolyzing organic waste by irradiating ultrasound, and subjecting hydrolyzed organic waste to anaerobic fermentation process.*	Físico: Radiação	*Korea Inst Sci&Technology*
CN106434765-A	*The invention discloses a straw biogas pretreatment method by yellow corn silage. The method includes the steps: crushing harvested straws, filling the crushed straws into a vessel for yellow corn silage of the straws layer by layer, simultaneously adding moisture layer by layer according to a certain proportion in the filling process, and compacting layer by layer; covering and tightening the vessel filled the straws by the aid of plastic cloth, enabling the vessel to be sealed, and performing yellow corn silage under the condition*	Físico: Mecânico	*Energy And Env Res Inst Of Heilongjiang Province*
US2014251902-A1	*Thermal biological breakdown and dewatering of biomass involves leading biological residue material from digesting tank to dewateringdevice and dewatering the material to 15-25% dry matter; leading dewatered material to device and carrying out thermal hydrolysis at 145-170 degrees C for 10-40 minutes; subjecting the hydrolyzed biomass*	Físico: Térmico	*Cambi Technology As*
KR2012058279-A	*An anaerobic digestion method involves pre-treating livestock excretion by contacting excretion with blade that rotates at speed of 4000-20000 rpm. The pre-treated excretion is passed through orifice under pressure of 20-800 psi, and resulting excretion is subjected to ozone treatment.*	Químico Oxidativo	*S-Water Co Ltd*
CN1814762	*Method for processing straws under normal temperature by NaOH and increasing yields of marsh gas by the straw anaerobic digestion including: 1, chemical pre-*	Químico	*Univ Beijing Chem*

ND*	Resumo da técnica	Pré-tratamento	Depositante
	process: fully mixing the NaOH solution in a certain concentration to a humid state		
WO2013162355-A1;	*Treating fibrous biomass of e.g. woody, by pre-treating wet biomass, extracting biomass, dewatering and heating biomass, dryingand compacting biomass, and subjecting aqueous effluent to anaerobic treatment. The biomass is heated to 100-160 degrees C, at a pressure of 1.1-15 bar, preferably 1.5-10 bar.*	Outras técnicas: Termoquímicos	*Stichting Energieonderzoek Cent Ne*
WO2011092136A1	*A biogas production process with enzymatic pre-treatment, said process comprising the steps of providing a slurry comprising a lignocellulose-containing material, water and one or more enzyme;*	Biológico: Enzimático	*Novozymes A/S*

Fonte: Elaboração própria com base nos dados recuperados na *Derwent Inovation Index*
**ND:* Número do documento.

9.3.2 Pré-tratamento Físico

Este foi o grupo com a maior quantidade de documentos (67% do total). Os pré-tratamentos físicos incluem processos mecânicos (moagem, corte, cisalhamento, esmigalhamento, etc), processos com uso de radiação (micro-ondas, ultra-som) e processos que usam calor. O objetivo do uso de técnicas físicas como as mecânicas, em geral, é a redução do tamanho das partículas (de cm para poucos mm), diminuindo o grau de cristalinidade da celulose e aumentando a área de contato disponível para degradação, por exemplo (Palmowski e Taherzadeh e Karimi, 2008). Partindo desta premissa neste estudo os métodos de pré-tratamento físico foram divididos em três grandes grupos: Mecânicos, Térmicos e Radiação. Esses são apresentados na figura 31.

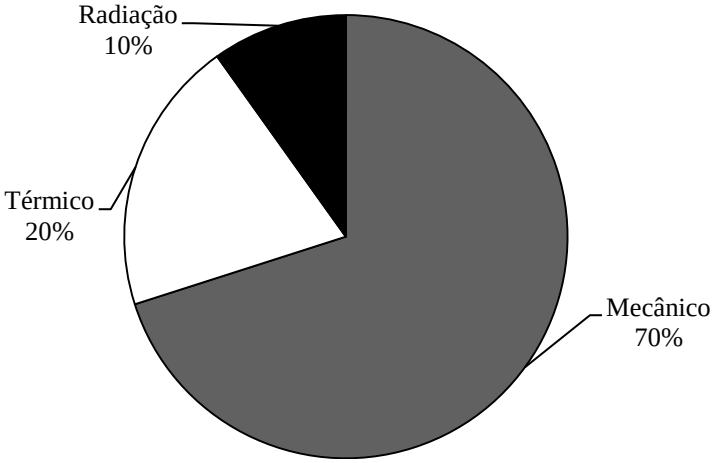

Figura 31 Grupos de Pré-tratamento Físico
Fonte: Elaboração própria com base nos dados recuperados na *Derwent Inovation Index*.

Na intenção de detalhar quem são os principais detentores das tecnologias de pré-tratamento físico, visando à produção de biogás uma análise dos principais depositantes foi conduzida. Analisando os depositantes observou-se que 50% destes são empresas, 37% são depositantes individuais e 13% são da academia (universidades ou centros de pesquisa). Os principais depositantes em pré-tratamentos físicos são listados na Tabela 14.

Tabela 14 Principais depositantes de pré-tratamento físico

QD*	Depositante	Tipo
9	Univ Tongji	Universidade
8	Jiaxing Vocational Technology College	Empresa
7	Ishikawajima Harima Heavy Ind	Empresa
6	Shell Int Res Mij Bv	Empresa
6	Univ Nanjing	Universidade
5	Chugoku Denryoku Kk	Empresa
5	Novozymes North America Inc	Empresa
5	Biogas Inst Min Agric P R China	Empresa
5	Shandong Acad Agric Sci Agric Resources	Universidade

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.
**QD: Quantidade de documentos*

Para tornar ilustrativo, alguns exemplos dos depósitos feitos por estes depositantes são apresentados. A Universidade Tongji, na China desenvolve os pré-tratamentos físicos do tipo radiação, conforme obsrervado no pedido CN101565262-A, intitulado: *Improvement of sludge disruption effect and strengthening subsequent anaerobic digestion in treatment of residual sludge, by sending residual sludge in ultrasonic reactor for ultrasonic wave irradiation and adding sodium hydroxide*. Este descreve em seu resumo que o lama / esgoto pré-tratado é enviado a um reator ultrassônico para radiação e hidróxido de sódio (NaOH) é adicionado. O efeito das ondas ultrassônicas na lama / esgoto danifica a parede celular e permite que o material orgânico seja mais facilmente degradado e dissolvido.

Por outro lado, o depósito WO2014179306-A2 feito pela Shell, intitulado *Digesting cellulosic biomass solid involves introducing and heating the biomass solid in a hydrothermal digestion unit of specific dimension, containing fluid phase digestion medium and slurry catalyst that activates molecular,* trata do pré-tratamento de resíduos celulósicos pelo calor.

9.3.2.1 Pré-tratamento Físico: Mecânico

Como descrito, o pré-tratamento mecânico geralmente consiste em deixar o substrato menor através de processos como moagem, trituração, esmagamento ou trituração. Um estudo mostrando a importância destas técnicas conclui que, quando aplicado um processo de moagem na palha de trigo, o rendimento da hidrólise aumentou de 6% para 34%, justificado

pelo fato de que a redução do tamanho de partícula favoreceu o contato entre as enzimas e o substrato deixando as frações de polímeros inicialmente inacessíveis livres (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Um exemplo de caso prático bem sucedido de pré-tratamento mecânico é a planta Oberlauterbach-Hallertau na região da Baviera, na Alemanha. Esta planta foi projetada para o processamento de materiais ricos em fibras (lignocelulósicos). O sistema de DA é composto por três digestores horizontais e quatro digestores redondos. A matéria-prima é composta por 65% de silagem de lúpulo e 35% de silagem de milho. A matéria-prima é pré-tratada por extrusão e ímãs para remoção dos contaminantes metálicos que aumentam o rendimento do gás e reduzem a contaminação no digestor. A temperatura do processo mesófilico é aproximadamente 40°C e o tempo de retenção de 110 dias.

9.3.2.2 Pré-tratamento Físico: Térmico

O pré-tratamento térmico é considerado uma alternativa para melhorar as propriedades dos sólidos orgânicos como o esgoto, por exemplo. Além disso, pode melhorar a hidrólise e a degradação do material. O princípio de funcionamento desta técnica se baseia no fato de que o calor interrompe as ligações químicas da parede celular e das membranas, liberando os componentes da célula no meio (KEPP *et al.*, 1999). O pré-tratamento térmico foi estudado usando uma ampla faixa de temperaturas de 60 a 270ºC. Na prática, a temperatura ideal está na faixa de 160-180ºC e tempos de tratamento de 30 a 60 min (WEEMAES *et al.*, 1998).

Algumas empresas que desenvolveram tecnologias importantes de pré-tratamento são comercialmente reconhecidas e merecem ser aqui mencionadas. Estas informações foram recuperadas durante as análises de mercado (vide capítulo de metodologia).

A empresa alemã, *BTA International* é especialista em pré-tratamento hidromecânico de diferentes tipos de resíduos. Este processo promove a remoção de impurezas antes da digestão, isto é a chave para a digestão bem sucedida de resíduos orgânicos. A técnica BTA caracteriza-se por sua flexibilidade de substrato e sua alta eficiência e da suspensão da matéria orgânica.

9.3.2.3 Pré-tratamento Físico: Radiação

Os documentos que usam técnicas de radiação para pré-tratar as matérias-primas antes do processo de digestão anaeróbia representam pouco mais de 11% do total de técnicas mecânicas. O tipo de radiação mais citada nos depósitos foram as micro-ondas seguidas de ultrassom. Usualmente radiação é utilizada para tratar efluentes líquidos como lodo ou para tratar o efluente líquido industrial. De acordo com Montgomery e Bochmann (2014), o ultrassom só causa desintegração microbiológica e não possui efeito no material lignocelulósico, seu efeito é pela destruição de células que liberam enzimas hidrolíticas que aumentam a taxa de hidrólise da biomassa.

Como exemplo de pesquisa acadêmica, Oz e Uzun (2015) investigaram a aplicabilidade da tecnologia de ultrassom de baixa frequência para as águas residuais de moinhos de azeitona como um passo de pré-tratamento antes da DA, com o objetivo de melhorar a produção de biogás e o rendimento de metano. Na primeira parte do estudo, as amostras do resíduo industrial foram submetidas a ultrassom a uma frequência de 20kHz com potências aplicadas variando entre 50 e 100W sob condições controladas por temperatura para diferentes períodos de tempo, a fim de determinar as condições de sonicação mais eficazes. Os resultados revelaram que amostras pré-tratadas com ultrassom aumentaram significativamente a produção de biogás e metano no reator que produziu aproximadamente 20% mais biogás e metano.

Não foram encontradas, até a elaboração deste estudo, plantas industriais que utilizem em grande escala radiação como forma de pré-tratar matéria-prima para geração do biogás. Contudo, de acordo Zieliński *et al.* (2016), a *University of Warmia and Mazury in Olsztyn Centre for Research and Renewable Energy* da Polonia possui um protótipo em funcionamento em escala técnica para testes um equipamento com denominado *Ultrasound desintegrator*, de acordo os desenvolvedores este equipamento não está protegido por meio de patentes, mas é uma técnica muito útil que promove a desintegração de biomassa, pré-tratamento antes da fermentação com metano, especialmente para resíduos celulósicos.

9.3.3 Pré-tratamento Biológico

Como principal vantagem do pré-tratamento biológico frente aos processos térmicos e químicos é que este pode ocorrer em baixas temperaturas sem a necessidade de adição de produtos químicos que podem gerar subprodutos tóxicos para as sensíveis arqueas metanogênicas. Este grupo de técnicas biológicas pode ocorrer de duas formas principais, pela adição de enzimas ao substrato ou pela adição de micro-organismos ao processo. A finalidade desta adição é sempre a mesma, disponibilizar as frações mais recalcitrantes da matéria-prima para a fase de hidrólise. Quanto aos depositantes, 47% são empresas, 39% são individuais e 14% são universidades, conforme descrito na Tabela 15.

Tabela 15 Principais depositantes de pré-tratamentos biológicos

Documentos	Depositante	Tipo
14	DSM Ip Assets Bv	Empresa
10	Novozymes North America Inc	Empresa
6	Du Pont de Nemours & co e i	Empresa
5	Univ Sichuan	Universidade
4	Univ California	Universidade
4	Univ Jiangnan	Universidade

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

A maioria dos depósitos tem a CIP C12P, que se refere a *Processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros ópticos de uma mistura racêmica*. As principais empresas deste elo são Novozyme e DSM, duas tradicionais empresas de biotecnologia.

A DSM é uma empresa holandesa que trabalha ativamente no setor de biotecnologia, sendo o segmento de *Bio-based Products & Services* (*biomass-conversion technology*) um dos mais promissores na companhia. Como exemplo de depósito neste grupo, pode-se citar o pedido WO2014001349-A1, *Production of biogas from organic material, involves treating organic material with enzyme composition comprising phytase, and digesting enzyme treated organic material to form biogas*, que trata de um processo para a produção de biogás a partir de material orgânico, envolve o tratamento de material orgânico com uma composição enzimática que contem hemicelulase e / ou celulase.

A segunda principal empresa, a Novozyme, é uma multinacional dinamarquesa da área de biotecnologia que possui domínio sobre o mercado mundial de enzimas. Como exemplo dos depósitos deste grupo, pode-se citar o pedido WO2013000945-A, *Producing biogas, comprises adding an enzyme (e.g. amylolytic enzyme invertase, isomerase, laccase, ligase, lipase and lyase) to a slurry comprising a bagasse-derived material and water, before adding the slurry to a biogas digester tank.* Este pedido trata da adição de uma enzima (por exemplo, enzima amilolítica invertase, isomerase, lacase, ligase, lipase e liase) aos resíduos celulósicos do bagaço da cana-de-açúcar, antes de adicionar a suspensão ao biodigestor, ou seja, o objetivo é um pré-tratamento enzimático anterior à adição do substrato. Este processo aumenta a produção de metano em comparação com o bagaço não tratado e proporciona uma maior taxa de conversão no biogás, além de favorecer a conversão mais eficiente do material derivado do bagaço em maior concentração de matéria seca.

A terceira empresa em termos de número de depósitos é a americana Du Pont. Esta empresa faz parte de um consórcio de outras empresas participantes de um projeto, da União Europeia, que trata de investigações para otimizar o pré-tratamento enzimático, chamado "DEMETER" (Demonstração da produção de enzimas de forma mais eficiente para aumentar o rendimento de biogás). O objetivo da pesquisa é aumentar o rendimento do processo de produção industrial da enzima (fermentação) em 20%, melhorar o processo de recuperação do produto em 40% e reduzir os custos de produção totais em pelo menos 15%. De acordo com o projeto, já está em teste um novo produto enzimático. A enzima desenvolvida é originária da fermentação de *Myceliophthora thermophila*. Embora a eficácia da nova enzima já tenha sido demonstrada, o presente processo de fermentação ainda não fornece um rendimento suficiente na produção industrial, a fim de ser rentável para aplicações em grande escala.

As demais instituições participantes deste projeto estão engajadas em todos os elos da cadeia de valor de biogás sendo: DuPont (enzimas), Miavit (distribuidor de equipamentos de biogás), BioBase Europe (fornece plantas piloto), OWS (*expertise* em digestores anaeróbicos), DBFZ (centro de pesquisa de biogás), Ciaotech (avaliação econômica e ambiental), e Biomoer (fazenda de produção de biogás).

Quando se trata de plantas comerciais que utilizam pré-tratamento da matéria–prima para melhorar o processo, pode-se citar a Klostermansfeld. Esta planta é alimentada com silagem de milho e capim. Como pré-tratamento enzimático, utiliza enzimas hidrolíticas

comerciais como a MethaPluss L100[13] em planta industriais. Esta unidade produtiva é um exemplo de como o tratamento enzimático pode melhorar o rendimento na produção de energia (acréscimo de 12%) e fornecer uma maior estabilidade do processo aumentando a conversão do substrato. A planta opera a temperatura mesófila com tempo de retenção de 106 dias. O digestor possui um volume de 1.600m^3, armazenamento de gás de 3.600m^3 e capacidade de 834 kW (RODRIGUEZ *et al.*, 2017)

Da análise dos depositantes verificou-se que as empresas pretendem desenvolver enzimas com uma gama mais ampla de aplicações e melhor desempenho durante a hidrólise enzimática. Assim, iniciativas de pesquisa recentes com foco no desenvolvimento de micro-organismos e / ou biocatalisadores com uma ampla gama de aplicações, melhores características e baixo custo de produção têm sido de grande valia para se romper os desafios tecnológicos do uso de resíduos lignocelulósicos em processos de DA para produção de biogás.

9.3.4 Pré-tratamento Químico

O pré-tratamento químico utiliza uma variedade de produtos químicos diferentes, principalmente ácidos e bases com diferentes forças químicas em diferentes condições (temperatura e pressão). Nesta técnica não foram encontradas plantas industriais que utilizem este processo em larga escala, muito embora o pré-tratamento químico já seja amplamente conhecido e consolidado industrialmente para a produção de outros biocombustíveis, como o etanol. As técnicas químicas de pré-tratamento foram citadas como método de escolha em apenas 4% do total de pedidos analisados. Quanto aos depositantes, observou-se que 46% são empresas, 32% são pessoas físicas e 23% universidades. Nenhum depositante foi identificado como relevante, o que mais se destacou foi a empresa *Mitsubishi Jukogyo* com três depósitos.

É importante ressaltar que aqui também estão abarcadas as técnicas oxidativas, contudo, assim como as técnicas usando solventes ácidos e alcalinos, não foram recuperados achados que justifiquem uma análise detalhada.

---

[13] Essa enzima comercial foi desenvolvida a partir do fungo *Trichoderma reesii*. MethaPlus® é uma marca própria da DSM, desenvolvida originalmente pela Biopract, combrada recentemente pela DSM.

9.3.5 Outras técnicas de pré-tratamentos

Neste grupo estão as técnicas termoquímicas, eletroquímicas e explosão a vapor, uma vez que combinam dois tipos de técnicas (química + térmica, por exemplo). Foram recuperados 26 depósitos relacionados à explosão a vapor e 15 relacionados a técnicas termoquímicas.

9.3.6 Considerações finais sobre o Elo Pré-tratamento

Sabe-se que a produção de biocombustíveis, assim como as *comodities*, torna-se viável quando há ganhos em escala. Portanto, custos nesta etapa devem ser minimizados, uma vez que a etapa de purificação é notoriamente a mais dispendiosa.

De uma forma geral, não foram observados grandes avanços no que tange ao elo de pré-tratamento para geração de biogás. Muito embora seja uma etapa fundamental para a melhoria do processo e o rendimento global da produção de metano, foram identificadas apenas técnicas já tradicionalmente conhecidas. Isso permite inferir que o desenvolvimento de novos métodos para pré-tratar matérias-primas para geração de biogás vem de conhecimentos tradicionais associados à produção de outros biocombustíveis derivados da biomassa, como é o caso do etanol, por exemplo. Essa asserção é possível pela observação de que os documentos de patentes deste elo apontavam a possibilidade de geração de mais produtos com valor energético, além do biogás. Corroborando o achado deste estudo, Budzianowski (2016) aponta que o pré-tratamento de todas as matérias-primas com uma única tecnologia não é possível. Sendo assim o método de pré-tratamento precisa ser realista e, portanto, adequado ao insumo escolhido, levando em consideração principalmente o equilíbrio energético do processo e os custos de pré-tratar este insumo. Apenas técnicas de pré-tratamento que garantam um aumento considerável na produção de biogás e um rendimento alto em metano têm chances efetivas de se tornarem comercialmente viáveis.

9.3.7 Pontos principais do Elo Pré-tratamento

Atualmente uma grande variedade de métodos de pré-tratamento já são conhecidos e utilizados. Sua escolha está relacionada ao tipo de insumo usado, ou seja, à complexidade de sua composição. Quanto mais recalcitrante, maior a necessidade de pré-tratamento.

A maioria das plantas utiliza processos físicos mecânicos como diminuição ou moagem. Os documentos que usam técnicas de radiação para pré-tratar as matérias-primas antes do processo de digestão anaeróbia representam pouco mais de 11% do total de técnicas mecânicas, porém neste caso não foram encontradas plantas comerciais em grande escala. O tipo de radiação mais citada nos depósitos foram as micro-ondas seguidas de ultra-som.

Quanto ao processo biológico, o segundo mais importante, as empresas que se destacaram quanto ao número de pedidos de depósitos foram a *DSM Ip Assets Bv, Novozymes North America Inc e a Du Pont*. Todas estas possuem enzimas comerciais disponíveis para otimização do processo de DA, especialmente para resíduos lignocelulósicos. No pré-tratamento químico não foram identificadas plantas em grande escala que utilizem ácidos ou bases para melhorar a biodegradação da matéria-prima.

Tem-se que se ressaltar que a aplicação de métodos de pré-tratamento aumenta a degradação de substratos e, portanto, a eficiência do processo. Pré-tratamento químico, térmico, processos mecânicos ou enzimáticos podem ser aplicados para acelerar processo de degradação das matérias-primas, embora isso não resulte necessariamente em um maior rendimento de biogás, o qual está relacionado a outros parâmentros de processo que são co-dependentes.

9.4 PATENTES RELATIVAS AO ELO PROCESSO

9.4.1 Panorama macro do Elo Processo

Como descrito na metodologia, o elo Processo foi o que apresentou mais particularidades e também a maior quantidade de documentos, em torno de 61% do total de depósitos recuperados, para a cadeia toda do biogás. Muito embora o elo Processo pareça ter poucos detalhes a serem investigados, uma vez que este estudo fixou a produção de biogás aos processos de biodigestão anaeróbia, o grande quantitativo se justifica pela natureza dos pedidos serem relacionados a produtos (equipamentos) e métodos de produção.

Na intenção de se demonstrar esta correlação, na figura 32 pode ser vista a forte interseção destes elos, com uma proporção de 19% dos pedidos encontrados entre equipamento e processo. Esta informação também aponta que a maioria dos pedidos do elo processo refere-se a novos equipamentos ou melhoria em aparatos já consolidados.

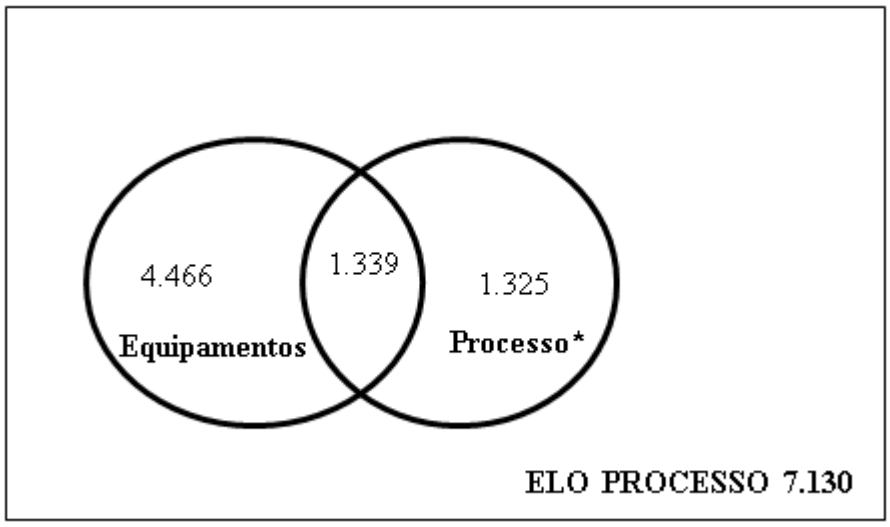

Figura 32 Correlação dos depósitos presentes no Elo Processo
*O elo processo é dividido em dois subgrupos (Parâmetros Operacionais e Características do Processo).
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da base *Derwent Innovation Index*.

Um exemplo de documento categorizado nesta interseção é a patente americana US20050155928A1 intitulada *Method and equipment for processing organic material* com

prioridade americana, depositada em 2002 e concedida em 2007.

Continuando a análise geral deste elo, a evolução temporal destes pedidos foi traçada. Observa-se na figura 33 que os depósitos tem se mantido constantes ao longo do tempo, o que sugere que esta tecnologia, embora consolidada e madura, ainda apresenta espaço para crescimento, melhorias e aprimoramentos.

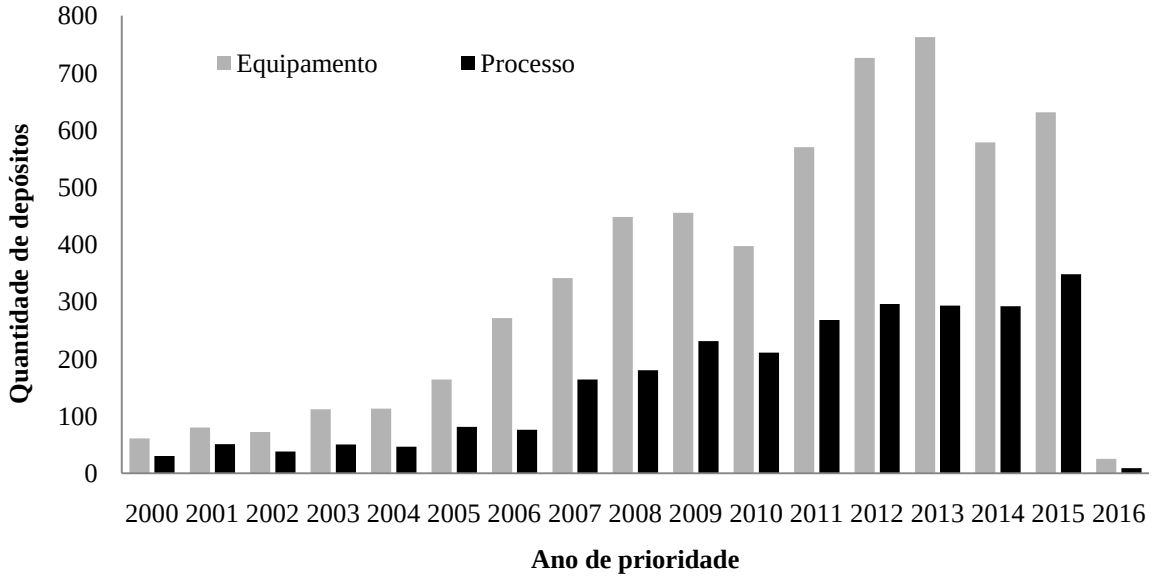

Figura 33 Evolução temporal dos depósitos relacionados ao Elo Processo: Equipamentos e Processo Geral
Fonte: Elaboração própria com base nos dados recuperados na *Derwent Inovation Index*.

Na análise dos principais países de prioridade dos depósitos, observa-se novamente uma liderança chinesa. Seguida pela Alemanha, Japão e Estados Unidos. Na figura 34 são apresentados os países com o maior número de pedidos de patentes relacionados ao elo processo (equipamento + processo propriamente dito).

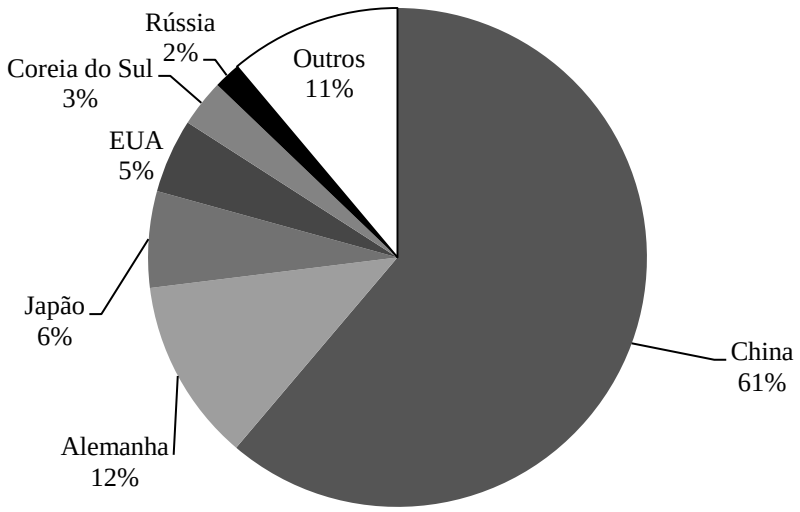

Figura 34 Pais de Prioridade dos depósitos relacionados ao Elo Processo
Fonte: Elaboração própia com base nos dados recuperados na *Derwent Inovation Index.*

Para o correto entendimento do *status* da arte da tecnologia de DA apresentada através da análise dos documentos de patentes, uma organização didática foi estabelecida, (descrita na metodologia) e apresentada abaixo.

1) EQUIPAMENTO: Equipamentos gerais (tanques, reatores, biodigestores, dispositivos de monitoramento).

2) PROCESSO:

2a) Características gerais do processo de Digestão Anaeróbia: Método de produção / Adição de micro-organismos ou soluções para melhorar o rendimento do processo.

2b) Parâmetros operacionais do processo de Digestão Anaeróbia: Alimentação e Temperatura do processo.

A seguir, na figura 35 é apresentado um quantitativo destes três principais grupos.

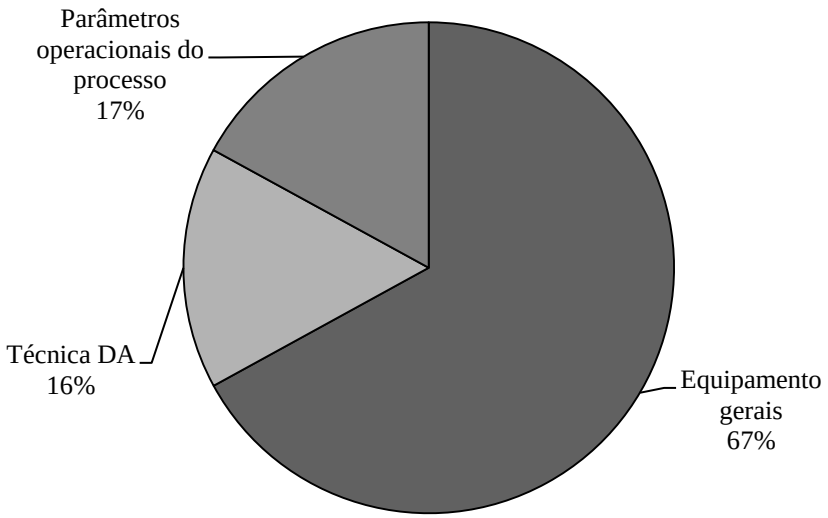

Figura 35 Principais grupos de documentos relacionados ao Elo Processo
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da *Derwent Innovations Index*.

Percebe-se que as reinvindicações para proteção de equipamentos são a maioria, 67% do total de pedidos compreendidos no elo processo.

9.4.2 Equipamento

9.4.2.1 Considerações gerais sobre os equipamentos

Ao longo do tempo, os equipamentos para DA anaeróbia foram aprimorados e melhorados. Nas últimas décadas, o principal objeto de reivindicação nos depósitos são os dispositivos para produção de biogás, com a intenção de aumentar a eficiência do processo.

De acordo com Horváth *et al*. (2016), a etapa de metanogênese é o passo limitante da eficiência e do rendimento da reação, um desafio superado com o desenvolvimento de equipamentos que fazem a retenção da biomassa metanogênica. Isso foi possível com o desenvolvimento de um novo *design* de reator, ou seja, o manto de lodo anaeróbico de fluxo ascendente (UASB). Pode-se dizer que a aplicação de reatores com membrana (MBRs) foi importante para aumentar o desenvolvimento das arqueas metanogênicas. Além de separar as células, a membrana também pode ser utilizada na separação de compostos inibitórios, que

afetam negativamente o processo biológico.

Para analisar de forma global estes pedidos, uma avaliação do tipo nuvem de palavra foi feita, e é apresentada na figura 36. As principais palavras citadas nas reinvindicações criam uma forte interseção entre os elos processo geral e equipamento *(processing, producing, production).*

Nos equipamentos, os principais foram dispositivos, tanques de armazenagem, dispositivos de monitoramento e biorreatores gerais (*apparatus, device, tank, plant).*

Verificou-se também que pelas reivindicações novamente houve um reforço nas principais matéras-primas já encontradas *(waste water, sewage, slude, animal, manure¸ agricultural*).

É importante analisar a grande ocorrência da palavra *plant*, o que significa dizer que no grupo de pedidos relacionados a equipamentos para DA também estão incluídos pedidos de proteção a unidades produtivas inteiras, soluções *turn key*, o que quantitativamente representa quase 9% do total dos depósitos.

Figura 36 Principais reivindicações relacionados aos equipamentos para produção de biogás
Fonte: http://tagcrowd.com com base nos dados da *Derwent Innovations Index*.

De forma geral também foram observados nos documentos, reivindicação para os equipamentos que fazem o transporte da matéria-prima para o biodigestor, como é o caso de tubulações, bombas, pistões de alimentação, etc. Como exemplo desta observação pode-se citar o depósito RU2007114703 intitulado *Biogas unit for Processing of animal dung*, pedido

relativo a um biorreator com tanques conectados em série e equipados com linhas de duto para alimentação de substrato de estrume e saída de massa agitada, aquecedores, misturadores e dispositivo para acumulação e descarga de biogás.

Ainda, o pedido chinês CN200996369-Y, *Pump used for deslagging and liquid-extracting, used in marsh gas tank for village has valve slice and pull rod which are set on plugboard type brake valve, and discharge gate set on top of drum body* reforça esta observação, uma vez que trata de uma bomba para extrair e transportar o estrume para o biodigestor.

9.4.2.2 Depositantes

Quando uma tecnologia é analisada através de depósitos de patente é de suma relevância se avaliar os depositantes. Na figura 37 é possível se avaliar que a maioria dos depositantes são empresas (49%), seguida de pessoas físicas, ou seja, depositantes individuais (39%). A Academia representa apenas 12% do total dos pedidos relacionados a equipamentos.

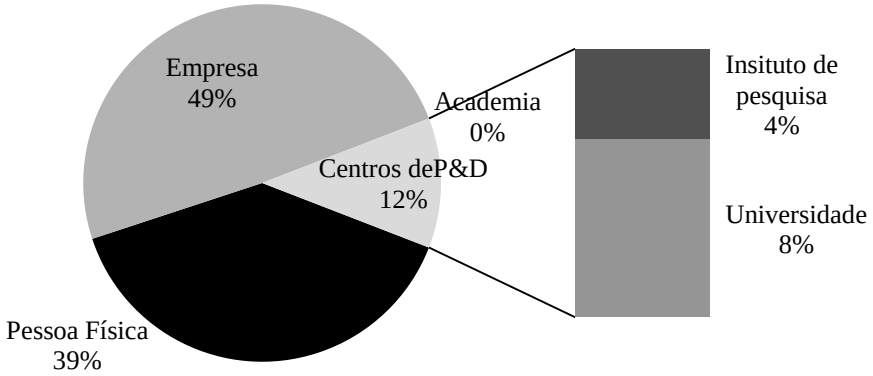

Figura 37 Tipo de depositante relacionado ao grupo de equipamentos para DA
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*

Na Tabela 16 são apresentados os principais depositantes (20 ou mais depósitos).

A Ebara é uma empresa japonesa que se destaca pela forte presença em plantas comerciais de tratamento de resíduos e consequente geração de biogás, como é o caso da planta-semi piloto construída em parceria com a *Nishihara Environment Technology, Co., Ltd.*, a *Kajima Corp. e Japan Bioindustry Association*. Esta unidade visa a fermentação de

resíduos de cozinha, resíduos de papel e resíduos de alimentos para produção de biogás e recuperação de hidrogênio (JAPÃO, 2017).

É interessante reforçar que, dentro do grupo de equipamentos, também foram observados pedidos sobre dispositivos de monitoramento, a *Fuji Electric* é um exemplo de depositante que atua nesta área. A empresa desenvolveu um dispositivo que analisa os gases presentes no biogás, mensurando simultaneamente as concentrações de CH_4, CO_2, H_2S e O_2. Ainda como exemplo de depósito de patente desta companhia que segue esta mesma linha de equipamentos para monitoramento e controle da produção, pode-se citar o pedido JP2005081264-A, intitulado *Operating method for methane fermentation processing apparatus, comprises decompose-treating organic waste by an anaerobic organism to form biogas, de-sulfurizing biogas, and processing-load control*.

Tabela 16 Principais depositantes de equipamentos

*QD	Depositantes	País de origem	Tipo
46	Jiaxing Vocational Tech College	China	Universidade
32	Ebara Corp	Japão	Empresa
31	Biogas Inst Min Agric P R China	China	Insituto de pesquisa
31	Sumitomo Heavy Ind Environment Co Ltd	Japão	Empresa
30	Nanan Green Biogas Technology Dev & Res	China	Empresa
29	Fuji Electric Co Ltd	Japão	Empresa
29	UTS Umwelt-Tech-Sued Gmbh	Alemanha	Empresa
25	Veolia Water Solutions & Technologies	França	Empresa
24	Univ Zhejiang Agric & Forestry	China	Universidade
22	Univ Kunming Sci & Technology	China	Universidade
21	Mt-Energie Gmbh&Co Kg	Alemanha	Empresa
20	Deyang Jialong Machinery Mfg Co Ltd	China	Empresa
20	Schmack Biogas Ag	Alemanha	Empresa

Fonte Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*
*QD: Quantidade de depósitos

Nesta avaliação dos principais depositantes há uma diversidade de atores. Algumas empresas tradicionais do ramo de bioenergia e universidades, especialmente chinesas, estão entre os maiores depositantes de equipamentos para a geração de biogás. Para exemplificar uma empresa de uma nação (França) com ainda pouca tradição no setor de biogás, utiliza-se a

Veolia, uma importante companhia francesa do setor de energia renovável. Atua com plantas de bioenergia e se propõe a criar soluções para o tratamento de água, para a indústria de alimentos e bebidas, que possuem alta carga orgânica e podem ser matérias-primas para geração de biogás. Os principais equipamentos por ela desenvolvidos para o tratamento anaeróbio são: Biothane® UASB; Biobed® EGSB; Biobulk CSTR; Biomet ™ e Memthane® e Bio-reator de membrana anaeróbia (AnMBR) (VEOLIA, 2017).

9.4.3 Processo de Digestão Anaeróbia

Nesta divisão o subelo do Elo Processo contém 2.664 depósitos no total. Como explicitado na metodologia e no inicio do capítulo de processo, para o melhor entendimento dois grupos foram criados.

1) Parâmetros operacionais do processo foram separados, com 1.476 pedidos, que contemplam a temperatura e alimentação do processo.

2) Características do processo, pedidos de patentes que se relacionam às características gerais do processo, como método de produção de biogás, técnica de digestão anaeróbia e outros que tratam claramente do processo de DA, mas não mencionam variáveis quantificáveis de processo. Neste grupo estão alocados 1.382 pedidos.

9.4.3.1 Depositantes do Elo Processo propriamente dito

Assim como os demais elos da cadeia, no processo a maior parte dos depositantes são empresas e depositantes individuais, sendo os chineses a maioria. Na figura 38 a representação esquemática dos tipos de depositantes é demonstrada.

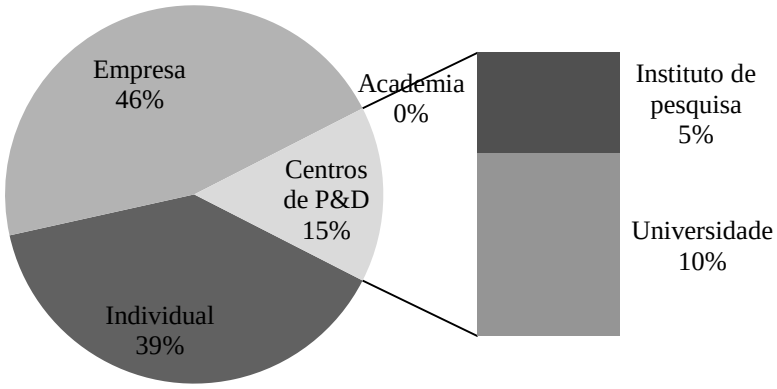

Figura 38 Depositantes do Elo Processo
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index.*

Para um melhor entendimento de quem são principais atores em termos de depósitos de patentes, na Tabela 17 os depositantes com 10 ou mais depósitos relacionados ao processo propriamente dito são listados. Reforçando o já apresentando no inicio do capítulo do elo processo, observa-se que há uma forte interseção entre os subgrupos equipamento e processo propriamente dito, portanto, alguns dos principais depositantes se repetem, como é o caso da Veolia, Schmack Biogas e da Univ Kunming Sci & Technology (vide Tabela 16 acima).

Tabela 17 Principais depositantes do Elo Processo geral

QD*	**Nome do Depositante**	**País de origem**	**Tipo**
20	Univ Tongji	China	Universidade
16	Biogas Inst Min Agric P R China	China	Instituto de pesquisa
15	Kaixian Yanxin Animal Husbandry Farms	China	Empresa
15	Schmack Biogas Ag	Alemanha	Empresa
12	Veolia Water Solutions & Technologies	França	Empresa
11	Chengdu Biology Res Inst Chinese Acad O	China	Instituto de pesquisa
10	Agric Electrif Res Inst	Índia	Instituto de pesquisa
10	Henan Sundar Energy Source Environment	China	Empresa
10	Qingdao Tianren Environment Co Ltd	China	Empresa
10	Univ Hanbat Nat Ind Acad Coop Found	China	Universidade
10	Univ Kunming Sci & Technology	China	Universidade
10	Univ Qinghua	China	Universidade

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index.*
* QD: Quantidade de Depósitos

9.4.3.2 Processos gerais

Nesta divisão estão inseridos documentos que se referem ao processo de DA de uma forma geral, sem especificar detalhes da técnica utilizada. Também estão neste gupo os pedidos que tratam da adição de micro-organismos ou soluções para melhorar o rendimento da produção de biogás ou proporcionar um biogás com uma maior taxa de metano na mistura.

Neste grupo estão alocados 48% dos depósitos relacionados ao processo DA. Na Tabela 18 são apresentados dois exemplos de depósitos pertencentes a este grupo.

Tabela 18 Exemplos de documentos relacionados ao processo de DA

Numero do documento	Título	Depositante	Ano de Prioridade
CN104974970-A	*Composite microbial inoculum used for degrading anaerobic biodegradable lipid producing methane includes Anaerovibrio lipolytica, Syntrophomonas erecta, Syntrophomonas bryantii, Syntrophomonas palmitatica, and Desulfovibrio vulgaris.*	Biogas Inst Min Agric China	2015
WO2010114481 A1	*Methods for improving biogas production in the presence of hard substrates*	Agency For Science, Technology And Research	2009
WO2014177156 A1	*Method for ph-controlled fermentation and biogas production*	Xergi Nix Technology A/S	2013
CN101899473-A	*Additive composite, useful for improving methane yield, comprises urea, dipotassium hydrogen phosphate trihydrate, dipotassium phosphate, magnesium sulfate heptahydrate, vitamin B1, vitamin B2 and vitamin B3.*	Univ Chongqing	2010

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index.*

Os principais depositantes deste grupo são muito semelhantes, especialmente em função da forte correlação que há dentro dos subgrupos de um mesmo elo. Portanto, para evitar informações repetitivas estes não foram detalhados.

9.4.3.3 Parâmetros operacionais do Processo

Esta divisão do elo processo teve por objetivo avaliar os principais parâmetros operacionais do processo de produção do biogás: Alimentação do processo (Contínuo ou em Batelada) e Temperatura de fermentação (Mesófila ou Termófila). Estas questões operacionais variam muito ao longo do processo e estão diretamente relacionadas aos equipamentos escolhidos. Sabe-se que outros parâmetros são importantes para o processo como a umidade do substrato, por exemplo, que pode ser dividida em úmida e seca, contudo os demais parâmetros foram difíceis de serem analisados em função da sua especificidade. Durante as análises qualitativas observaram-se alguns pedidos tratando da questão da umidade, porém como estes não se destacaram e não foi possível a separação em um grupo para validação, este parâmetro não foi detalhado. Para ilustrar este parâmetro o depósito CN106220262A intitulado *Method for digestion treatment of livestock manure and straw* é usado como exemplo. Em seu resumo é mencionado: "*The invention relates to a method for digestion treatment of livestock manure and straw. The main steps are as follows: mixing a separation liquid after separation of cow dung and inoculum, <u>conducting wet anaerobic digestion</u> to produce a first biogas and a digestive liquid; mixing the straw and livestock manure other than cow dung manure and turning to obtain a first mixed material, mixing the first mixed material with the digestive…"*

9.4.3.3.1 Alimentação do processo

Neste parâmetro procurou-se separar os documentos que reivindicam alimentação contínua ou em batelada. Na análise se observou que 75% dos depósitos se referem ao processo contínuo. Como, por exemplo, a patente EP2821372-A1, com prioridade brasileira no ano de 2012, intitulada *Anaerobic process for producing biogas with a high methane content by means of the biodigestion of organic waste*. Na descrição da invenção é mencionado *"...Referring to Organic Wastes (1) are loaded in the Accumulation Mixer/Homogenizer (2), in order to homogenize the load and create an accumulation storage equal to 3 or 4 days of daily load, able to guarantee the <u>continuous feeding</u> of anaerobic biodigester..."*

De acordo com Boullagui (2005), que realizou um estudo sobre a melhor forma de alimentação de biodigestores para resíduos alimentares, os sistemas contínuos de duas fases aparecem como tecnologias altamente eficientes para a digestão anaeróbica. Na figura 39 uma interseção entre os tipos de alimentação do processo é feita.

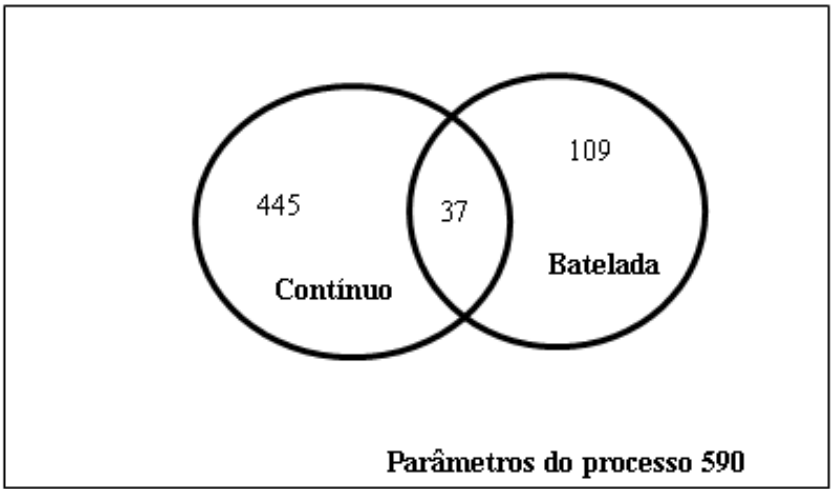

Figura 39 Diagrama de interseção entre os tipos de alimentação do processo
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

Já os pedidos com alimentação em batelada representam 24% dos depósitos alocados neste grupo. Como exemplo, pode-se citar o pedido GB2524179-A intitulado *System for batch production of bio-methane using wet fraction organic municipal solid waste contains segregator subs-system which contains fractionalizer and air density separator, and modular digestion sub-system which receives feed*.

Quanto aos pedidos da interseção, um exemplo é o depósito chinês CN105130149, "*The invention aims to the problem of difficult treatment on orange peel residues and municipal sludge and low recycling utilization rate and discloses a method of producing biogas by recycling orange peel and dehydrated sludge through fermentation. In the method, the orange peel residue and the dehydrated sludge are employed as raw materials to perform anaerobic fermentation, wherein the fermentation pH is regulated through a quick lime supernatant. The method allows continuous fermentation and batch fermentation...*"

9.4.3.3.2 Temperatura de fermentação

Existem muitas configurações de digestores anaeróbicos, com o uso de diferentes temperaturas, as mais comuns são mesofílicas em torno de 35ºC ou termofílicas (50 - 55 ºC). Processos termófilos possuem maior velocidade de degradação, maior rendimento em metano, entretanto demandam altas quantidades de energia e possuem baixa estabilidade bioquímica. O inverso é verdadeiro para os processos mesófilicos (DEUBLEIN AND STEINHAUSER, 2010; THAUER, 1998).

Neste caso observou-se que é difícil determinar qual o parâmetro preferido de temperatura nos depósitos de patentes. Além de serem poucos pedidos separados neste grupo (203 depósitos), verificou-se que há uma forte interseção entre os depósitos (39% do total) como é o caso do pedido WO2010114481A1, intitulado *Methods for improving biogas production in the presence of hard substrates*. Na descrição do método é dito que *"..the reaction conditions can be psychrophilic, mesophilic or thermophilic. Preferably, the reaction conditions are mesophilic, between an anaerobic temperature of about 15°C to about 55°C, preferably about 30°C to about 40°C.*"

A figura 40 pode ser vista esta interseção, o grande volume de depósitos que citam ambas as temperaturas se deve ao fato de que o depositante tenta ser, na descrição do seu pedido, o mais abrangente possível para "amarrar" bem sua invenção. Na figura ainda se observa que a temperatura mesófilica é a preferida com 40% e apenas 21% dos pedidos citam o uso de temperatura acima de 50ºC para produzir metano.

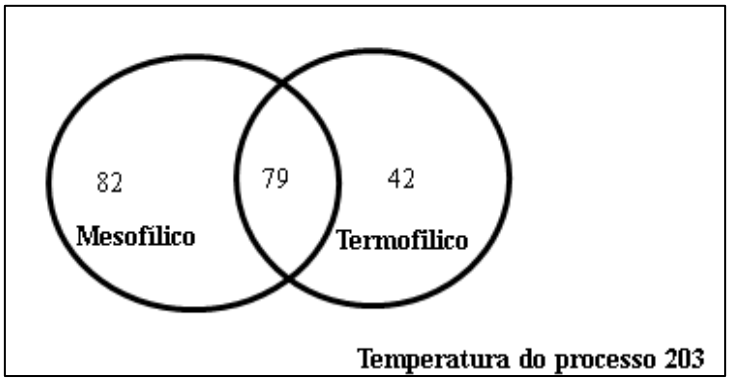

Figura 40 Diagrama de interseção do Processo quanto ao parâmetro temperatura
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

9.4.4 Pontos principais do Elo Processo

Os depósitos de patentes deste elo foram divididos em dois grandes grupos: Equipamentos (tanques, reatores, biodigestores, dispositivos de monitoramento) e Processo propriamente dito, que se subdividiu em: Características gerais do processo de DA (Método de produção / Adição de micro-organismos ou soluções para melhorar o rendimento do processo) e Parâmentros operacionais do processo de DA **(**Alimentação e Temperatura do processo).

Foram observados nos depósitos de patentes que há proteção para os equipamentos que fazem o transporte da matéria-prima para o biodigestor, como é o caso de tubulações, bombas, pistões de alimentação, dispositivos, válvulas entre outros.

Os pedidos protegem métodos de adição de micro-organismos, soluções ou aditivos para melhorar o rendimento de metano do biogás. Quanto aos equipamentos, observou-se que a maioria é multi-propósito, para processar mais de um tipo de matéria-prima, corroborando os achados do elo matéria-prima, que a codigestão de substratos é uma tendência.

9.5 PATENTES RELATIVAS AO ELO PURIFICAÇÃO

9.5.1 Panorama macro do Elo Purificação

No penúltimo elo da cadeia se encontra uma etapa crucial para que o uso do biogás como fonte energética se torne viável economicamente: a separação do metano do restante dos componentes presentes na mistura gasosa. Após purificado, o biogás recebe o nome de biometano.

No total desta análise foram recuperados 3.503 documentos. Como descrito no referencial desta tese, o biogás produzido pela digestão anaeróbia consiste principalmente em CH_4 e CO_2, além de traços de vapor de água, sulfeto de hidrogênio, siloxanos, hidrocarbonetos, amônia, oxigênio, monóxido de carbono e nitrogênio. Para transformar biogás em biometano são realizadas duas etapas importantes: um processo de limpeza para remover os componentes traços e um processo de *upgrade* para ajustar o valor calorífico.

De acordo com Irena (2017), a tecnologia para produção, bem como para purificação do biogás é estabelecida, conhecida e madura. Diferentes técnicas de purificação podem ser utilizadas, geralmente, estas tecnologias possuem padrões consolidados e são comercializadas em módulos pré-fabricados, ou seja, soluções *turn key*.

Por outro lado, observou-se que a novidade em geral é referente a conhecimentos de áreas tangentes como petróleo e gás, por exemplo, uma vez que o gás natural e o biogás possuem alta semelhança[14] e os contaminantes do gás natural bruto são similares. Além disso, como apontado no tópico 9.1.1 (Breve descrição do conteúdo dos documentos), foi apresentando um resultado que corrobora a ideia da literatura acadêmica de poucas mudanças disruptivas na purificação do biogás.

Uma análise dos principais países de prioridade foi feita e é apresentada na figura 41. Assim como nos demais elos, a presença da China se destacou frente aos demais países depositantes com 44% do total de depósitos. Com o segundo lugar em termos absolutos de depósitos estão empatados Alemanha e Japão com 11% cada.

[14] O componente principal do gás natural é o metano (CH_4). No restante de sua composição há pequenas parcelas de etano, propano e outros hidrocarbonetos de maior peso molecular.

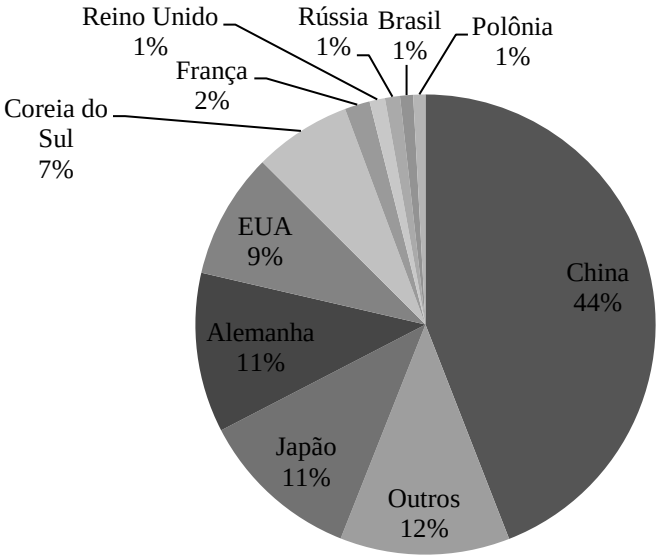

Figura 41 Principais países de prioridade dos depósitos referentes ao Elo Purificação
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

Os depósitos com prioridade chinesa relacionados ao elo purificação tiveram uma alta nos últimos anos. A análise reiterou que geralmente os métodos de condensação são usados como uma primeira etapa no processo de limpeza do biogás. O método de desulfurização foi o mais citado, juntamente com as técnicas tradicionais de absorção, adsorção, *scubing* e filtros biológicos.

Na literatura acadêmica a técnica de purificação criogênica já é bem consolidada, Tuinier e Annaland (2012), Kadam e Panwar (2017) descrevem os benefícios desta técnica, contudo nos depósitos de patentes foram poucos os depósitos que fizeram referência. Para exemplificar o conteúdo dos depósitos do elo purificação a Tabela 19 apresenta alguns documentos.

Tabela 19 Exemplos de depósitos recuperados no Elo Purificação

ND*	Titulo	Reivindicações	Vantagem	Depositante
US2005003515-	*System, useful for removing hydrogen sulfide from methane generated by animal waste e.g. cow manure, comprises biofilter reactor cartridge containing microorganism that biodegrades hydrogen sulfide from stream of methane gas*	*For removing H2S from methane generated by animal waste comprising cow manure (claimed).INDEPENDENT CLAIM is included for a vertical reactor cartridge, as used in the above system. The carrier material comprises at least one artificial material selected from granular inert plastics, granular materials, crystalline material or biodegradable media, such as compost, tree bark or vegetation. The carrier or media comprise pearlite*	*The novel system reduces and/or eliminates H2S from methane, and provides cleaner methane for use as a fuel*	DALY L J (Depositante Individual)
KR2009006357	*Purification process of biogas containing volatility siloxane compound, involves refining biogas containing volatility siloxane compound using adsorber having preset specific surface area with preset volume of air bubbles*	*Purification process of biogas containing volatility siloxane compound*	*The biogas containing volatility siloxane compound is purified efficiently and economically using simple adsorption process*	AE RES INST IND SCI&TECHNOLOGY
JP2004135579	*Apparatus for removing hydrogen sulfide contained in biogas generated during anaerobic fermentation of organic based, has desulfurizing tower supplied with digestive*	*For removing hydrogen sulfide contained in biogas generated during anaerobic fermentation of organic based*	*The apparatus is simple and compact and enables desulfurization of biogas efficiently and economically. The apparatus enables generation of biogas with high methane gas concentration, which may be used as energy source for processing organic waste*	MITSUBISHI JUKOGYO KK

ND*	Titulo	Reivindicações	Vantagem	Depositante
	fluid for desulfurizing biogas.			
JP2004135579	*Apparatus for removing hydrogen sulfide contained in biogas generated during anaerobic fermentation of organic based, has desulfurizing tower supplied with digestive fluid for desulfurizing biogas*	*For removing hydrogen sulfide contained in biogas generated during anaerobic fermentation of organic based*	*The apparatus is simple and compact and enables desulfurization of biogas efficiently and economically. The apparatus enables generation of biogas with high methane gas concentration which may be used as energy source for processing organic waste*	MITSUBISHI JUKOGYO
EP1900419- A2	*Gas separating membrane, e.g. used to separate carbon dioxide from nitrogen and methane, contains blend of polyvinyl alcohol and polyvinyl amine*	*The membrane is used in the separation of gas such as carbon dioxide from gas mixture containing carbon dioxide with nitrogen, methane, or other volatile organic gas (claimed). It can be used for separating carbon dioxide in flue gas, in biogas upgrading, and in sweetening of natural gas*	*The membrane has excellent target gas selectivity and high permeability, excellent separation properties, excellent mechanical properties, and is very stable. The membrane does not suffer from compaction or pore blockages which occur when membrane formed from pure PVAm is used. The membrane eliminates or reduces the problems of the prior art, e.g. decrease in flux at higher pressures when high MWCO porous supports are used. The membrane is mechanically stronger and is more stable for higher pressure range, i.e. greater than or equal to 15 bar without filling-in problem, and less sensitive to changes in humidity*	NTNU TECHNOLOGY TRANSFER AS

ND*	Titulo	Reivindicações	Vantagem	Depositante
DE102009014221	*Method for biological desulfurization of biogas from biogas plant, involves loading washing liquid with oxygen and specifying detention period of liquid in bioscrubber such that biological oxidation takes place in bioscrubber*	*Method for biological desulfurization of gas i.e. biogas (claimed), from a biogas plant.*	*The method enables biological desulfurization of the biogas into the hydrogen sulfide-residual concentration in the clean gas below 100 parts per million with less investment and operational costs*	FRAUNHOFER GES FOERDERUNG ANGEWANDTEN EV
BR9100381-U2	*Equipment for desulfurization of biogas produced by anaerobic reactor, comprises roll-on/roll-off type closed container which is made of carbon steel plate or stainless steel plate and structured profile with ribs bent carbon steel*	*Equipment for desulfurization of biogas produced by anaerobic reactor.*	*The equipment comprises a roll-on/roll-off type closed container which is made of carbon steel plate or stainless steel plate and structured profile with ribs bent carbon steel, and thus provides simple design, efficiently removes hydrogen sulfide and other mercaptans, and corrosive components of biogas, and facilitates functional characteristics as product durability*	CURIONI A (Individual)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.
*ND: Número do depósito

O Elo Purificação compreende ainda pedidos que reivindicam processos, métodos ou equipamentos que visam purificar o biogás. Entretanto, há de se ressaltar que existem diferentes níveis de purificação escolhidos de acordo com aplicação que será dada ao biogás. Aplicações nobres como uso veicular ou injeção direta na rede de gás natural exigem um valor calorifico maior (remoção do CO_2), por exemplo. Por isso uma forte interseção entre o Elo Purificação e o Elo Aplicação foi observada.

Ainda, a composição do insumo utilizado como matéria-prima afeta diretamente a composição do biogás. Por exemplo, quando utilizados esgoto e lodo em processos de DA, a mistura gasosa ao final terá um conteúdo de siloxanos maior do que com outros insumos. Isto evidencia a inter-relação entre os elos da cadeia e também como a escolha da forma de realizar o processo de DA (vide capítulo 9.4.3 Processo de digestão anaeróbia) pode impactar no custo para purificação e, consequentemente, na qualidade e uso que este gás terá ao final.

9.5.2 Depositantes do Elo Purificação

Visando o detalhamento dos tipos de depositantes, observou-se que o elo Purificação, assim como os demais, possui empresas como os principais depositantes. O segundo maior grupo de depositantes são pessoas físicas, ou seja, depositantes individuais. A participação da Academia é expressiva, com 14% do total, divididos em institutos de pesquisa (5%) e universidades (9%) conforme apresentado na figura 42.

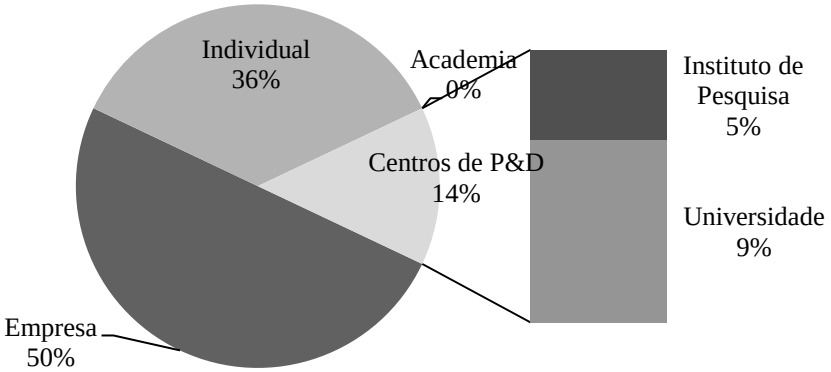

Figura 42 Depositantes do Elo Purificação
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

Na Tabela 20 são apresentados os principais depositantes, aqueles que possuem pelo menos 15 depósitos.

Tabela 20 Principais depositantes do Elo Purificação

QD*	Depositante	Sede	Tipo
33	Mitsui Eng & Shipbuilding Co Ltd	Japão	Empresa
31	Osaka Gas Co Ltd	Japão	Empresa
23	Veolia Bioenergy Euro Kft	França	Empresa
22	Biogas Inst Min Agric P R China	China	Instituto de pesquisa
22	Dge Guenther Eng Gmbh	Alemanha	Empresa
22	Toshiba Ge Automation Systems Kk	Japão	Empresa
22	Univ Zhejiang	China	Universidade
21	Posco (Res Inst Ind Sci&Technology)	Japão	Empresa
21	Tokyo Gas Co Ltd	Japão	Empresa
18	Mitsubishi Jukogyo Kk	Japão	Empresa
16	Shinko Pantec Co Ltd	Japão	Empresa
15	IFP Energies Nouvelles	França	Empresa
15	Kaifeng Huanghe Air Separation Plant Gro	China	Empresa
15	Shell Int Res Mij Bv	Holanda	Empresa

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*
*QD: Quantidade de depósitos.

É relevante mencionar a forte presença dos principais depositantes sediados no Japão, o que demostra que o país tem forte relevância nas tecnologias de purificação.

Os dois primeiros depositantes são empresas japonesas mundialmente conhecidas pela forte representatividade na geração de energias limpas, especialmente biogás. A *Mitsui Eng & Shipbuilding Co Ltd*, por exemplo, em 2015, na cidade japonesa de Betsukai, lançou uma das maiores usinas de geração de energia de biogás do país, em conjunto com a prefeitura local. Este projeto se tornou referência local, uma vez que o município fermenta 280 toneladas de resíduos de gado por dia coletados de cerca de 100 fazendas. A receita anual da produção de eletricidade atingiu 400 milhões de ienes (THE JAPAN TIMES NEWS, 2017).

Como exemplo dos pedidos feitos por esta companhia relacionados ao elo Purificação, pode-se citar o JP2008012488-A, depositado com o titulo *Anaerobic fermentation method used in biological desulfurization method, involves adding radical trapping agent which eliminates oxidative stress of methane-formation microbe or hydrogen production microbe into anaerobic fermenter",* tratando de um processo biológico para dessulfurização.

Já a Osaka Gás, por outro lado, tem pedidos de patentes relacionados à purificação, mas voltados para o lado químico como, por exemplo, o depósito WO2014136645-A1 intitulado *Method for concentrating methane gas involves providing adsorption columns filled with adsorbent, and sequentially performing adsorption process,pressure-equalizing process, pressure-reducing process and pressure-rising process*", que trata de um método para a concentração de gás metano envolvendo a realização de um ciclo de adsorção com pressão, o método é útil para a concentração de gás metano.

De forma análoga ao observado no elo Pré-tratamento, as técnicas de purificação do biogás são decorrentes do aprendizado e adaptação de técnicas bem estruturadas de outras tecnologias. Por exemplo, no caso da dessulfurização sabe-se que este tipo de processo já é utilizado por empresas do segmento de óleo e gás e por semelhança (biogas e gás natural) o processo foi ajustado para purificar o biogás. Corroborando esta inferência Abatzoglou e Boivin (2009) relatam que, em 1991, uma patente foi apresentada pela *Dow Chemical* visando à proteção do processo Sulferox® comercializado pela *Shell e Dow*. Obviamente, o interesse das companhias era remover compostos de enxofre do gás natural, porém a tecnologia foi adaptada para o biogás.

Chama a atenção neste elo uma diferença para com os demais elos analisados. Durante a revisão da literatura, especialmente nas notícias mercadológicas, foi encontrada uma grande variedade de empresas atuantes nesta etapa, contudo estas empresas nem sempre figuram entre os principais depositantes. Por exemplo, a empresa holandesa *Paques* é uma das líderes mundiais no campo do tratamento de águas residuais por tratamento anaeróbio. Uma de suas principais tecnologias é a THIOPAQ®, um método de purificação altamente eficiente e econômico de fluxos de biogás. Neste estudo, foram encontrados nove pedidos de patentes para esta empresa. Uma justificativa para empresas importantes do setor não figurarem entre os principais depositantes de patentes pode ser o fato de sua atuação ter cunho na purificação ou tratamento de resíduos / gás de aterros sanitários e este não foi o foco desta pesquisa.

Outra empresa que não figurou entre os principais depositantes, mas também possui nove depósitos, é a *Schmack Biogas*[15]. Esta empresa é tradicionalmente conhecida no setor e possui a tecnologia AGCarboTech®, que realiza os processos de desumidificação, dessulfurização, carbonização e remoção de siloxanos. A empresa possui depósitos em outros elos como processo, por exemplo, o que sugere interesse de proteção amplo e envolve equipamentos de biodigestão.

9.5.3 Organização dos depósitos de acordo com o contaminante a ser removido

Como apresentado no referencial teórico, são inúmeros os processos utilizados para purificar o biogás, ou seja, separação do metano que é o gás de interesse.

Nesta análise, por questões didáticas, optou-se pela apresentação dos resultados de acordo com os contaminantes presentes na mistura gasosa, assim, serão descritos os principais achados de acordo com o gás a ser removido. Vale recordar que os principais contaminantes são: siloxanos; compostos contendo enxofre; compostos halogenados; amônia e água, conforme figura 43.

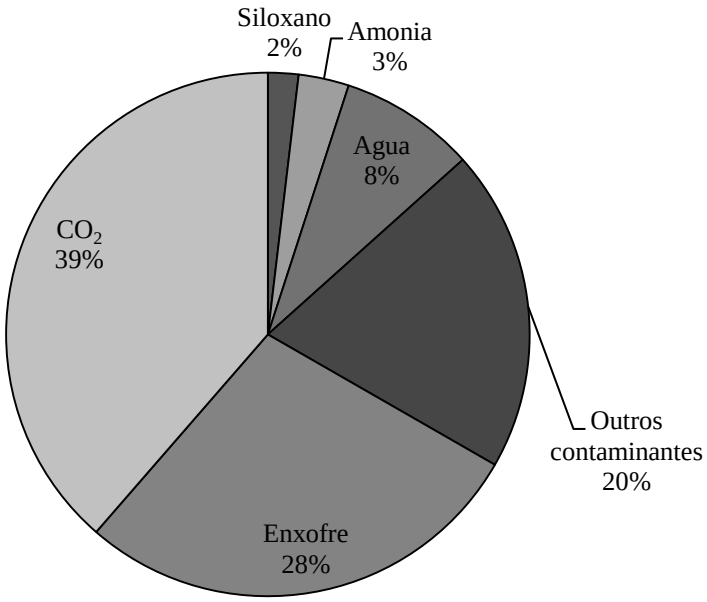

Figura 43 Principais contaminantes do biogás
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

A remoção do gás carbônico tem a ver com o aumento do poder calorífico do gás, já a remoção do enxofre está relacionada ao tratamento do biogás para evitar a corrosão dos equipamentos, por exemplo. A presença de 28% de depósitos relacionados à purificação para remoção de enxofre pode estar relacionada ao fato de que evitar a corrosão e o desgaste mecânico do próprio equipamento pode ser vantajoso devido aos custos com manutenção do mesmo. Outros compostos são representados por poeira, hidrocarbonetos compostos nitrogenados como as amidas, por exemplo.

A água deve ser removida porque, em reação com o CO_2 e H_2S, forma ácidos corrosivos que podem danificar o equipamento se não forem removidos. Os métodos para remover água do biogás são geralmente baseados na separação de água condensada ou secagem química (ALLEGUE; HINGE, 2012). Corroborando esta afirmativa, as técnicas mais encontradas na análise das patentes foram: condensação da água, adsorção de água em um agente de secagem como zeólitos, sílica gel, óxido de alumínio ou óxido de magnésio.

Siloxanos representam 2% do total de depósitos e podem ser exemplificados pelo depósito WO2006104801A3 feito pela empresa canadense *Xebec Inc*. Este pedido intitulado *Siloxane removal process* tem reivindicações como: "*A purification process for removing siloxanes from a biogas, the process comprising obtaining from a landfill or sewage treatment*

plant a biogas comprising siloxanes; passing the biogas through a bed comprising activated alumina; adsorbing onto the activated alumina at least a portion of the siloxanes in the biogas; and regenerating the activated alumina by removing from the activated alumina at least a portion of the siloxanes adsorbed on the activated alumina".

O gás carbônico é removido para aumentar o poder calorifico do biogás *(upgrade)*, já o enxofre é separado para evitar danos ao equipamento *(cleaning).*

9.5.3.1 Gás carbônico (CO_2)

Dentre os pedidos de patente do processo de purificação, 39% são relacionados a remoção do gás carbônico. As soluções mais comuns para separação do CO_2 de metano encontradas foram: adsorção: *Pressure Swing Adsorption* (PSA); absorção: lavagem de água, absorção física e absorção química e a separação de membrana: alta pressão e baixa pressão.

9.5.3.2 Enxofre

Do total de documentos que mencionam a purificação do biogás, 28% têm foco na remoção de enxofre. Alguns pedidos são genéricos como, por exemplo, CN102994183-A, intitulado *Purification device used for desulfurizing marsh gas comprises desulfurization device shell, gas-water separator having raw marsh gas inlet and water drain valve, and desulfurizer having air-permeable plate and marsh gas outlet*. Pela reivindicação deste pedido percebe-se que é um dispostivo para remoção: *Purification device used for desulfurizing marsh gas (claimed).* De maneira geral, as principais técnicas foram remoção biológica, adsorção, absorção e filtração por membranas.

9.5.4 Pontos principais do Elo Purificação

No elo Purificação, ao se analisar os pedidos de patentes, a novidade em geral é referente a conhecimentos de áreas tangentes, como petróleo e gás. Isso se justifica uma vez que o gás natural e o biogás possuem alta semelhança e os contaminantes do gás natural bruto são em geral similares.

Observa-se que os depósitos com prioridade chinesa tiveram uma alta nos últimos anos. A análise dos depósitos reiterou que geralmente os métodos de condensação são usados como

uma primeira etapa no processo de limpeza do biogás. O método de dessulfurização foi o mais citado nos depósitos, juntamente com as técnicas tradicionais de absorção, adsorção, *scrubing* e filtros biológicos.

O elo Purificação compreende ainda pedidos que reivindicam processos, métodos ou equipamentos que visam purificar o biogás. Entretanto, existem diferentes níveis de purificação, escolhidos de acordo com aplicação que será dada ao biogás. Aplicações nobres como uso veicular ou injeção direta na rede de gás natural exigem um valor calorifico maior (remoção do CO_2), por exemplo. Por isso uma forte interseção entre o elo Purificação e o elo Aplicação foi observada.

A composição do insumo utilizado como matéria-prima afeta diretamente a composição do biogás. Por exemplo, quando utilizados esgoto e lodo em processos de DA, a mistura gasosa ao final terá um conteúdo de siloxanos maior do que com outros insumos. Isto evidencia a inter-relação entre todos os elos da cadeia.

Da mesma forma que os demais elos até aqui apresentados, a maior parte dos depositantes são empresas. Muito embora em números absolutos a China seja o país líder, é relevante mencionar a forte presença dos principais depositantes sediados no Japão, o que demostra que o país tem atuação forte neste elo.

De forma análoga ao observado no elo Pré-tratamento, as técnicas de purificação do biogás são decorrentes do aprendizado e adaptação de técnicas consolidadas de outras tecnologias. Por exemplo, no caso da dessulfurização, sabe-se que este tipo de processo já é bem utilizado por empresas do segmento de óleo e gás e por semelhança (biogás e gás natural) o processo foi ajustado para purificar o biogás.

Os processos de purificação mais encontrados na análise das patentes foram: condensação da água, adsorção de água com agente de secagem como zeólitos, sílica gel, óxido de alumínio ou magnésio.

9.6 PATENTES RELATIVAS AO ELO APLICAÇÃO DO BIOGÁS: USOS

9.6.1 Panorama macro do Elo Aplicação

O último elo da cadeia produtiva do biogás analisado trata de sua aplicação. Para este elo, assim como o elo Matérias-primas percebeu-se que os depósitos de patente não vislumbram este aspecto na proteção. Outra semelhança com o elo Matéria-prima é a questão das fortes diferenças entre os países usuários da tecnologia. Assim como a escolha da matéria-prima está associada a particularidades de um país (disponibilidade de substrato, questões climáticas e politicas públicas de incentivo), o seu uso também.

Esta afirmação pode ser apontada pelo fato de alguns países priorizarem a queima direta para geração de calor e eletricidade de forma local, ou a injeção do biogás na rede de energia elétrica, ou ainda outras nações priorizam aplicações nobres como as células combustíveis. Sendo assim, neste elo não serão apresentados detalhes do uso, porque não são objeto de proteção patentária.

De acordo com Huttunen, Manninen e Leskinen (2014), o biogás é um gás multi-propósito[16], que serve para geração de eletricidade (local ou injetado na rede de gás), geração de calor para indústria e combustível. Recentemente novas aplicações foram desenvolvidas e este gás se tornou insumo para geração de produtos químicos, reagente em processos (AWE *et al.*, 2017).

Estima-se que o poder calorífico médio do biogás é de cerca de 21-23,5 MJ/m³, sendo que 1 m³ de biogás corresponde a 0,5-0,6 L de diesel (combustível) ou cerca de 6 kWh de energia (Cegas, 2008),o que reforça seu potencial como biocombustível.

São inúmeros os casos de sucesso onde o biogás já é utilizado como recurso energético. Isso foi verificado tanto pelo expressivo número de documentos recuperados na cadeia produtiva do biogás quanto pela literatura de referência analisada. Muito embora iniciativas inovadoras para o uso do biogás sejam encontradas, o panorama atual ainda é do seu uso basicamente para geração de eletricidade. Contudo verifica-se uma dificuldade na

[16]Sem dúvida o biogás é o produto mais rentável oriundo do processo de biodigestão anaeróbia, contudo o digestato produzido e utilizado como fertilizante também tem valor, especialmente para empresas do setor agrícola.

conexão dessa eletricidade com o sistema de transmissão de energia local, especialmente em países em desenvolvimento, portanto, essa energia produzida usualmente é para consumo próprio. Conclui-se que um dos principais desafios é a integração do biometano na rede de energia elétrica. Outras aplicações como combustível para motores de combustão, microturbinas a gás, e aplicações em células de combustível também foram observados.

A aplicação do biogás é determinada pela sua composição final e sua utilização está vinculada às regulamentações locais de cada país, bem como os subsídios oferecidos para sua utilização, que tornam mais ou menos atrativas a injeção na rede de energia ou a produção de biocombustível veicular.

Um dos principais desafios para o aproveitamento do biogás é o desperdício de calor. Em muitas unidades há cogeração de energia e calor, que, como não é utilizado localmente para aquecimento, é desperdiçado. Essa ineficiência no uso de energia é um gargalo na produção atual de biogás, causando perdas econômicas, mas também oportunidades no que tange ao aproveitamento integral do potencial energético contido no biogás.

Através de um processo de *upgrade*, as impurezas, como sulfureto de hidrogênio, água, nitrogênio amônia, siloxanos, partículas e oxigênio e CO_2, são removidas enquanto o teor de metano é aumentado da faixa de 45 a 70%, de CH_4 para mais de 95%, o requisito essencial para sua introdução na rede de energia (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

No que se refere à avaliação dos depósitos de patentes, 2.093 pedidos foram recuperados neste elo Aplicação. Os documentos foram organizados de acordo com os países de prioridade e são apresentados na figura 44.

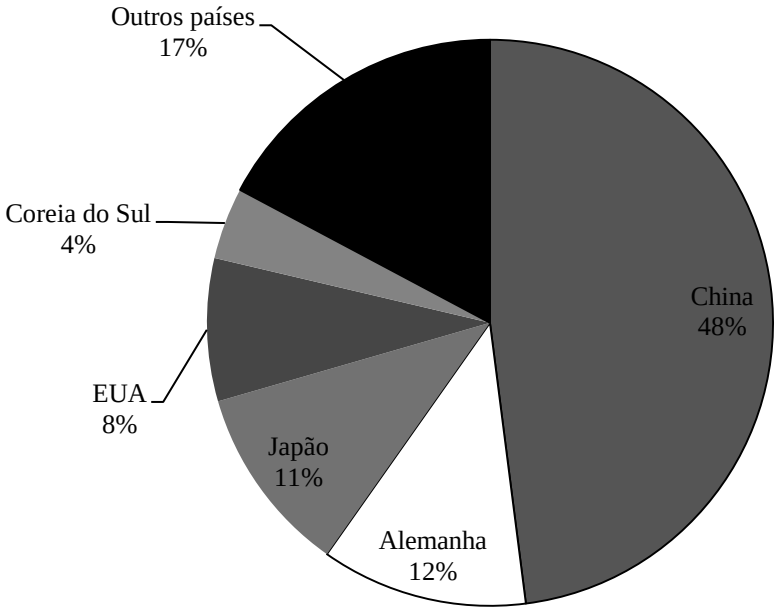

Figura 44 Países de prioridade dos depósitos do Elo Aplicação
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

Percebe-se que neste elo, assim como nos demais, a China domina os depósitos, seguida da Alemanha, Japão e Estados Unidos. O Brasil (indicado no grupo outros países) apresenta 18 pedidos.

9.6.2 Depositantes do Elo Aplicação

Na intenção de mapear o tipo de depositante, na figura 45 são apresentados os principais. Verifica-se que mais da metade dos depositantes são empresas.

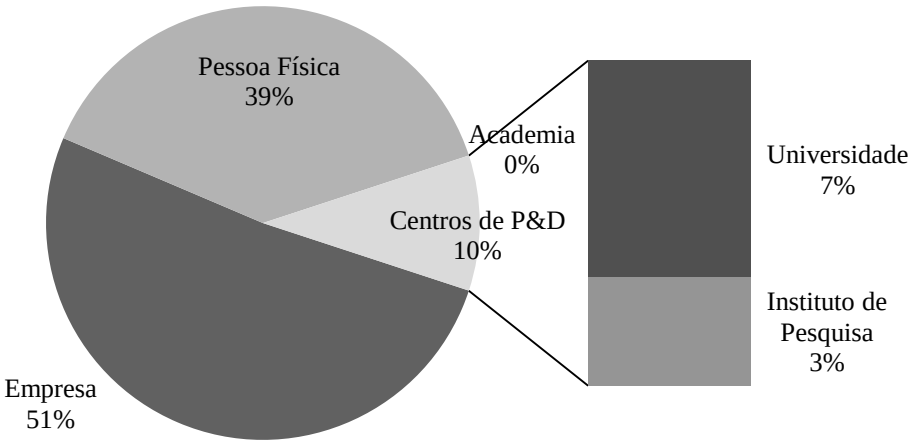

Figura 45 Tipo de depositantes do Elo Aplicação
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

Na Tabela 21 são mostrados os principais depositantes (nove ou mais depósitos). A Fuji, principal depositante, é uma empresa japonesa, que se dedica em grande parte à produção de células combustíveis, como descrito no depósito JP2005135728-A, intitulado *Biogas fuel cell power generating device for electric power generation, returns portion(s) of reformed-gas condensed water produced from biogas to methane fermentation tank*.

Tabela 21 Principais depositantes do Elo Aplicação

QD*	Depositante	Local da sede	Tipo de depositante
23	Fuji Electric Co Ltd	Japão	Empresa
15	Tokyo Gas Co Ltd	Japão	Empresa
14	Jiaxing Vocational Tech College	China	Empresa
14	Osaka Gas Co Ltd	Japão	Empresa
12	Mitsui Eng & Shipbuilding Co Ltd	Japão	Empresa
10	Nanan Green Biogas Technology Dev & Res	China	Empresa
10	Univ North China Electric Power	China	Universidade
9	Biogas Inst Min Agric P R China	China	Instituto de pesquisa
9	Henan Sundar Energy Source Environment P	China	Empresa

Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.
*QD: Quantidade de depósitos

Foram observadas ainda aplicações como a descrita no pedido JP2005019255-A, *Electric power generation system supplies source gas containing methane to bioreactor for manufacturing methanol from methane by microorganism reaction*, uma unidade de

abastecimento que fornece gás rico em metano (biogás) para um biorreator, que, através de uma reação biológica, produz metanol.

9.6.3 Organização dos depósitos

Para detalhar os avanços nos depósitos de patentes, foi conduzida uma análise embasada na primeira etapa de prospecção (vide Metodologia).

Os depósitos foram divididos de acordo com as cinco principais aplicações: Energia Elétrica, Energia Térmica, Energia Térmica e Elétrica, Armazenamento e Combustível, como apresentado na figura 46.

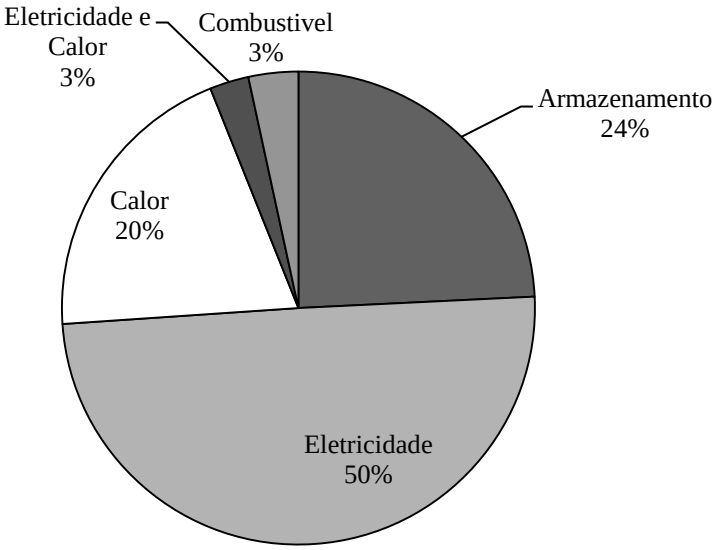

Figura 46 Principais aplicações do biogás
Fonte: Elaboração própria com base nos dados retirados da *Derwent Innovations Index*.

9.6.3.1 Eletricidade

Este grupo representa 50% dos depósitos relacionados à utilização do biogás. Existe grande potencial para uso de biogás na geração de energia. Durante as análises, tanto da prospecção em patentes quanto de noticias mercadológicas e revisão bibliográfica, foi reportado que esta é a principal aplicação do biogás. A justificativa para este ser o principal uso é porque exige um baixo grau de purificação do biogás. Dentro deste grupo 8% referem-se ao uso de células combustíveis, uma aplicação mais recente e portadora de futuro (XUAN *et*

al, 2009). De acordo com a *European Commission* (2014), a disseminação do uso de biogás em sistemas à base de células a combustível depende fundamentalmente da economicidade da produção de biogás com características (pureza) adequadas e da redução de custo da etapa de purificação.

9.6.3.2 Armazenamento

Neste grupo foram alocados 593 depósitos, referentes a formas de armazenamento do biogás, especialmente para transporte. Quando transportados por caminhões, o biogás geralmente é armazenado em alta pressão, em cilindros de 200/250 bar. Outra possibilidade é liquefazer o biogás para aumentar a densidade de energia (esta operação tem mais custo e maior gasto de energia), sendo usada apenas para longa distância em caminhões ou no transporte marítimo (IRENA, 2017).

Como exemplo de documentos deste grupo pode-se citar o depósito japonês JP2004353834-A intitulado *Box-shaped holder, for gas, e.g. in biogas facility, has gas storage bag made flexible material inserted and supported inside box made of reinforced plastic or metal*, que descreve seu uso para "*storing low pressure fuel gas, waste gas in biogas treatment facility, livestock forming-fishery plant etc.*"

A Alemanha utiliza biometano comprimido em vez de gás natural comprimido, dando assim outra aplicação ao biogás purificado (RENZI, 2017).

9.6.3.3 Combustível

Neste grupo foram encontrados 327 depósitos, ou 14% do total do elo. Seu uso como combustível se baseia no fato do biogás ter propriedades químicas semelhantes ao gás natural.

De acordo com Irena (2017), quando o biogás é tratado ou purificado, é convertido em biometano, que pode substituir o gás natural de origem fóssil, podendo ser usado como combustível em veículos. O uso de Gás Natural Veicular (GNV) está aumentando consideravelmente nos últimos anos, especialmente em função de suas vantagens em comparação com diesel e gasolina que são recursos não renováveis. Argentina, Brasil, China, Colômbia, Alemanha, Índia, Irã, Itália, Paquistão, Suécia e Suíça têm uma rede de GNV relativamente bem desenvolvida com uma infraestrutura estabelecida onde o biometano

poderia ser mais facilmente implementado como uma alternativa renovável ao gás natural fóssil. Esta afirmação é bastante útil quando se considera que o Brasil, por uma via semelhante, com outro biocombustível (etanol), alcançou sucesso e se tornou líder na produção e utilização.

No Brasil, a Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (Sabesp) é a primeira empresa do país a produzir biometano a partir do lodo que resulta do tratamento de esgoto, na unidade de Franca, no interior paulista e utilizá-lo para abastecimento de veículos. Este projeto foi desenvolvido em parceria com o *Instituto Fraunhofer*, da Alemanha, que forneceu o equipamento para remover as impurezas do biogás e permitir um teor de 96% de metano atendendo às especificações da ANP para uso veicular. A estimativa é produzir todos os dias biometano suficiente para substituir 1,7 mil litros de gasolina e abastecer cerca de 50 automóveis adaptados com kits GN (PORTAL TRATAMENTO DE AGUA, 2017).

Já é conhecido em alguns países o uso do biogás como combustível para veículos com isenções fiscais, subsídios ou incentivos ao investimento para a injeção de biogás na rede de gás natural, uma realidade para a China, França, Reino Unido e Escandinávia (IRENA, 2017). Na prática os maiores produtores de biogás utilizado como combustível de veículo em 2016 foram Alemanha, Suécia, Suíça, o Reino Unido e os EUA. Internacionalmente cerca de 500 plantas produzem biogás e realizam sua purificação o gás com qualidade semelhante ao gás natural (IRENA, 2017).

Há outras aplicações para o biogás, como, por exemplo, o uso de biodigestores rurais de pequena escala para produzir gás para cocção de alimentos e aquecimento de água e espaço. Por exemplo, cerca de 4,9 milhões das plantas de biogás em escala familiar e em aldeia estão agora presentes na Índia, alimentadas principalmente por esterco bovino e resíduos agrícolas.

9.6.4 Pontos principais do Elo Aplicação

O gás bruto pode ser usado diretamente para cozimento, iluminação, aquecimento (por exemplo, uso residencial de biogás de biodigestores domésticos de pequena escala, especialmente em países em desenvolvimento e emergentes), essa foi a principal aplicação encontrada nos depósitos e estudos de mercados chineses. O uso para eletricidade e a

cogeração de calor é possível após um simples processo de dessulfurização e este também é utilizado com frequência em fazendas e locais que buscam a eficiência energética.

Quando ocorre um processo de purificação das impurezas e o biogás é convertido a biometano (teor de metano acima de 96%), este pode ser injetado na rede de gás natural, usado como combustível ou armazenado.

A maioria dos depósitos do elo Aplicação se refere à geração de eletricidade, assim como a maioria dos depositantes são empresas. Os países de destaque são China, Alemanha, Japão e Estados Unidos. Suécia é líder na produção de combustível veicular.

Capítulo 10

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O biogás passou a ser visto no mundo como uma oportunidade, especialmente com o desenvolvimento dos tratados internacionais como o Protocolo de Kyoto, que estabeleceu metas para redução dos gases do efeito estufa. Em acréscimo, há uma consciência dos órgãos governamentais quanto à possível escassez dos recursos energéticos tradicionais, o que favoreceu uma mudança de paradigma e o aumento nos estudos relacionados a energias alternativas. Esta consciência se traduziu em metas mais rígidas para as emissões de gases do efeito estufa.

Corroborando estes fatos históricos, os resultados encontrados neste trabalho mostram que, a partir dos anos 2000, os depósitos de patente referentes a todos os elos da cadeia produtiva do biogás começaram a aumentar consideravelmente, tendo uma forte tendência a manterem a expectativa de alta nos próximos anos. A partir dos resultados das análises bibliométricas percebe-se a importância de se estudar o biogás e sua cadeia produtiva. Isso associado, não somente ao grande volume de informações, mas também à necessidade de se mapear esta tecnologia que pode trazer muitos benefícios a países com extensas áreas rurais e carentes de infraestrutura energética, como o é o caso do Brasil.

Verifica-se que a cadeia de biogás não pode ser vista com os elos isolados, pois a indústria do biogás é dinâmica, multidisciplinar e associada a diversos fatores. Além disso, a produção do biogás não está ligada somente à geração de energia, mas intrinsecamente relacionada a fatores como o tratamento de efluentes, a redução dos gases do efeito estufa e a diminuição do uso de recursos não renováveis.

A geração de biogás é um tema bastante amplo, muitas áreas tangentes fazem interface com a tecnologia de DA, ou seja, os atores envolvidos na cadeia são de segmentos como químico, ambiental e agrícola, por exemplo. Este vasto leque de opções, que a tecnologia de biodigestão anaeróbia proporciona, pode disseminar conhecimento em outras áreas além da geração de energia e favorecer o desenvolvimento de novas aplicações.

A tecnologia de produção de biogás por digestão anaeróbia de matéria-prima orgânica em digestores anaeróbios é comercialmente bem estabelecida e consolidada no mundo. A matéria-prima para a produção bioquímica de biogás inclui resíduos orgânicos (resíduos municipais, industriais e agrícolas), lodo de esgoto, águas residuais, resíduos humanos e animais, estrume e culturas (culturas energéticas, resíduos vegetais, silagens e matérias lignocelulósicas em geral). Algas e resíduos industriais estão despontando como uma opção para a produção de biogás. Quando se relaciona a geração de biogás a diferentes países, nota-se que, de um país para outro, as fontes (matéria-prima para produção) variam consideravelmente.

Na Europa, a Alemanha é o principal produtor de biogás em biodigestores. Estrume e culturas energéticas são as principais matérias-primas utilizadas neste país, contudo a codigestão de múltiplos tipos de matéria-prima oferece um maior potencial de rendimento, especialmente quando associado ao estrume, lodo, resíduos industriais e alimentares e esta produção combinada está crescendo de forma rápida. No Brasil, as principais plantas de biodigestão anaeróbia já em funcionamento são de resíduos agropecuários. As matérias-primas mais utilizadas são lamas, águas residuais e esgoto, uma vez que o tratamento biológico por DA auxilia na redução da carga orgânica, um grande dilema para a gestão deste tipo de resíduos.

Nos países em desenvolvimento, como é o caso da China e do Brasil, os biodigestores de pequena escala ou familiares contribuem com o fornecimento de energia para geração local descentralizada em atividades como cocção de alimentos, aquecimento e iluminação.

No elo Pré-tratamento observou-se que os tratamentos mecânicos são os mais utilizados, uma vez que possuem baixo custo e alta eficiência de conversão. Os pré-tratamentos biológicos são o segundo tipo de técnica preferida nos depósitos de patentes, especialmente os que usam enzimas para facilitar a degradação de resíduos lignocelulósicos. Os depositantes mais importantes deste grupo são grandes empresas de biotecnologia como a DSM, Novozymes e universidades, especialmente chinesas.

No elo Processo a forte correlação entre os elos da cadeia produtiva do biogás foi evidenciada de maneira mais intensa. Há uma estreita ligação entre o processo propriamente dito e os biodigestores (equipamentos) utilizados para a fermentação dos resíduos. Foram

encontrados pedidos que tratam de plantas inteiras para produção de biogás onde são vendidas soluções *turn keys.*

No que se refere à purificação, observou-se que há dois objetivos principais para realização desta etapa, remoção do gás carbônico para se aumentar o poder calorifico do gás (*upgrade*) e remover os contaminantes como H_2S que causa corrosão nos equipamentos. Além disso, a purificação é uma etapa crucial no que tange a custos. Percebeu-se que para aplicações como combustível e injeção na rede de gás natural o teor de metano precisa ser superior a 96%, o que exige etapas de purificação eficientes. Os processos mais consolidados e utilizados são a separação criogênica, separação por membranas e processos de absorção e adsorção. O Japão se destacou em termos de depositantes neste elo.

O rápido desenvolvimento, especialmente na última década, foi resultado de políticas de incentivo relacionadas com as energias renováveis e as mudanças climáticas (mais particularmente as tarifas de *feed-in* para eletricidade na Europa), mas também a questão do gerenciamento e descarte adequado dos resíduos. Muito embora o setor esteja crescendo rapidamente, não recebeu a mesma atenção como, por exemplo, biocombustíveis líquidos para o transporte, por isso nesta tese também se conclui que, para o pleno desenvolvimento do setor em um futuro próximo, as políticas de incentivo ainda serão fundamentais.

Além disso, o desenvolvimento de um gás integrado com uma infraestrutura, incluindo uma rede de distribuição (incluindo um fácil acesso), unidades de purificação são fundamentais. As maiores oportunidades de melhoria ainda estão nos elos Processo e Purificação do biogás. O biogás é muito versátil, serve para produção de eletricidade e calor, ou injeção na rede, ainda pode ser usado como combustível de transporte depois de purificado.

Esta prospecção tecnológica mostra uma forte tendência ao crescimento nos estudos e pesquisas, em acréscimo espera-se uma maior participação dos governos com subsídios e financiamentos para novos projetos. Este estudo mostra ainda que o cenário atual é bastante dinâmico e que há uma tendência para que, no curto e médio prazo, mudanças positivas ocorram. O seu uso promove um impacto social positivo, uma vez que pode alcançar comunidades isoladas que não dispõem de energia e utilizam madeira e outros resíduos para cocção de alimentos e geração de energia. Esse uso do biogás produzido em pequenos biodigestores anaeróbios foi observado de forma mais acentuada na China. Os benefícios econômicos do seu uso podem ser observados especialmente nas unidades agropecuárias,

fazendas, que fazem como energia térmica, por exemplo, no aquecimento de instalações para animais muito ou no aquecimento de estufas para a produção vegetais.

Também benefícios econômicos são vistos em plantas industriais que economizam consideravelmente tratando seus resíduos localmente ao invés de realizar transporte para tratamento. Como benefícios ambientais estão a redução nas emissões dos gases de efeito estufa, a redução no uso e na dependência de combustíveis fosseis, a contribuição que seu uso pode ter para atendimento das metas estabelecidas em acordos ambientais internacionais, além do tratamento adequado de resíduos com alta carga orgânica e geração de um biofertilizante natural para uso agrícola.

Por fim, no elo aplicação, verificou-se que este não é o foco dos depósitos de patentes, contudo algumas asserções sobre os pedidos que mencionavam aplicações mais conhecidas em seus resumos puderam ser selecionadas e reiterou-se que o uso principal é a geração de energia para uso local, seguida da geração de calor e do armazenamento. A geração de energia elétrica através de células combustíveis também foi uma aplicação considerada relevante e representou 8% do total de depósitos neste grupo.

Este estudo se mostrou de bastante valia, uma vez que consolida em um único lugar informações sobre a cadeia produtiva do biogás como um todo e contempla não só a prospecção tecnológica em documentos de patentes, mas também faz uma importante revisão bibliográfica e um estudo mercadológico analisando os principais atores de cada elo da cadeia.

Uma sugestão para trabalhos futuros é a avaliação dos elos de forma individualizada, uma vez que há uma grande densidade de questões que ainda podem ser exploradas. Ao longo desta pesquisa, o elo matéria-prima foi o mais detalhado, o que resultou em duas publicações acadêmicas, conforme apresentado nos Apêndices. Ainda, outra sugestão de pesquisa é um estudo de caso para o Brasil, analisando as potencialidades de produção e os benefícios que sua geração poderia trazer. Finalmente este tipo de mapeamento pode ser replicado para outros biocombustíveis ou energias renováveis.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, Nicolas; BOIVIN, Steve. A review of biogas purification processes. **Biofuels, Bioproducts And Biorefining,** [s.l.], v. 3, n. 1, p.42-71, jan. 2009. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1002/bbb.117

ACHINAS, Spyridon; ACHINAS, Vasileios; EUVERINK, Gerrit Jan Willem. A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. **Engineering,** [s.l.], v. 3, n. 3, p.299-307, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2017.03.002.

AGBOR, Valery B. *et al*. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. **Biotechnology Advances,** [s.l.], v. 29, n. 6, p.675-685, nov. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.005. Agência Nacional de Energia Elétrica ainda destaca que em 2012, a Resolução 482/12

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 132/2013/–SBQ-RJ: Grupo de Trabalho sobre a regulamentação do biometano. Rio de Janeiro, 2013. 30 p. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/?dw=72846>.Acesso em: 28 mar. 2016.

AGENCY SCI TECHNOLOGY&RES**. Anaerobic method used for improving conversion of biomass into methane, involves contacting biomass containing hard substrate with exogenous microbe, and fermenting obtained reaction mixture.** CN nºWO2010114481-A1 02 Apr 2009. Derwent Inovation Index.

ALLEGUE, Laura Bailón; HINGE, Jørgen. **Biogas and bio-syngas upgrading.** Dinamarca: Danish Technological Institute, 2012. 97 p.

ALLEN, Eoin *et al*. A detailed assessment of resource of biomethane from first, second and third generation substrates. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 87, p.656-665, mar. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.060.

ALLENDES, Juan Luis Carrasco. **Evaluación Técnica Y Económica De Una Planta De Biogás Para Autoabastecimiento Energético: Una Estrategia Para Diferentes Contextos.** Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. Chile. 2015. Disponível em < http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-de-una-planta-de-biogas.pdf?sequence=1>. Acesso 09 fevereiro de 2016.

ALMEIDA, Claudinei. **Potencial de produção de biogás a partir de biomassa de suinocultura com culturas energéticas.** 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

ALVES, João Marcos de Souza. **Análise de Patentes na indústria Avícola Internacional.** 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisa em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto

Alegre, 2003. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4851/000505489.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2014.

AMARAL, Cecília Maria Costa do *et al*. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 34, n. 6, p.1897-1902, nov. 2004.

AMMENBERG, Jonas; FEIZ, Roozbeh. Assessment of feedstocks for biogas production, part II—Results for strategic decision making. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 122, p.388-404, jul. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.020.

AMON, T. *et al*. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: **Effects of diary system and glycerine supplementation**. International Congress Series, v. 1293, p. 217-220, jul. 2006.

AMORIM; A. C., JÚNIOR; J. L.; RESENDE, K. T. Biodigestão Anaeróbia De Dejetos De Caprinos Obtidos nas Diferentes Estações do Ano. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, jan./abr. 2004

AMPARO, Katiane dos Santos; RIBEIRO, Maria do Carmo Oliveira; GUARIEIRO, Lilian Lefol Nani. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação,** São Paulo, v. 4, n. 17, p.195-209, out/dez 2012. Disponível em < http://www.e-sciencecentral.org/upload/ajas/pdf/ajas-28-2-280.pdf. >. Acesso fev 2015.

ANAEROBIC DIHESTIONS & BIOGAS ASSOCIATION. **Voluntary Guidelines on Best Practice for Crop Feedstocks in Anaerobic Digestion.** London: Cotswold Seeds, 2015. 37 p. Disponível em: <http://www.biogas.org.uk/images/upload/news_85_VoluntaryCodeofPracticeCrops.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

APPEL, Franziska; OSTERMEYER-WIETHAUP, Arlette; BALMANN, Alfons. Effects of the German Renewable Energy Act on structural change in agriculture – The case of biogas. **Utilities Policy,** [s.l.], v. 41, p.172-182, ago. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2016.02.013.

ARAÚJO, Carlos Alberto. Bibliometria: evolução história e questões atuais. Em Questão, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun. 2006.

ARIUNBAATAR, Javkhlan *et al*. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. **Applied Energy,** [s.l.], v. 123, p.143-156, jun. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.035

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012**. São Paulo: ABRELPE, 2012. 207 p Disponível em < http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf> Acesso em 15 de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos.** São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2013. 172 p. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J.. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. **Journal Of Biotechnology,** [s.l.], v. 166, n. 3, p.97-104, jul. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2013.05.004.

AWE, Olumide Wesley *et al*. A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. Waste And Biomass Valorization, [s.l.], v. 8, n. 2, p.267-283, 9 jan. 2017. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9826-4.

BANCZEK, Everson do Prado. **Matérias-primas fontes e composição: Biogás.** Curitiba: UNICENTRO, 2013. 83 slides, color, 25x20cm.

BAUER, Fredric *et al*. Biogas upgrading - technology overview, comparison and perspectives for the future. **Biofuels, Bioprod. Bioref,** [s.l.], v. 7, n. 5, p.499-511, 11 jul. 2013. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1002/bbb.1423.

BEIGEL, Peter; LEBERSORGER, Sandra; SALHOFE, Stefan. Modelling municipal solid waste generation: A review. Waste Management. Áustria, p. 2000-2014. mar. 2007.

BENSAH, Edem Cudjoe; MENSAH, Moses. Chemical Pretreatment Methods for the Production of Cellulosic Ethanol: Technologies and Innovations. **International Journal Of Chemical Engineering,** [s.l.], v. 2013, p.1-21, 2013. Hindawi Publishing Corporation. http://dx.doi.org/10.1155/2013/719607

BGS EQUIPAMENTOS (Curitiba). **Histórico do Biogás.** 2013. Disponível em: <http://bgsequipamentos.com.br/blog/hello-world/>. Acesso em: 02 set. 2017.

BHARATHIRAJA, B. *et al*. Biohydrogen and Biogas – An overview on feedstocks and enhancement process. Fuel, [s.l.], v. 185, p.810-828, dez. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.030.

BI Y, GAO C, WANG Y, LI B. Estimation of straw resources in China. Trans Chin Soc Agric Eng. 2009. 25:211–7.

BIOGAS INST MIN AGRIC P R CHINA. **Composite microbial inoculum used for degrading anaerobic biodegradable lipid producing methane includes Anaerovibrio lipolytica, Syntrophomonas erecta, Syntrophomonas bryantii, Syntrophomonas palmitatica, and Desulfovibrio vulgari**s. CN n^{o}CN104974970-A. 06 Ago 2015.

BIOGAS RESEARCH CENTER (Suécia). **MPROVEMENT OF THE BIOGAS PRODUCTION PROCESS.** Linköping: Linköping University, 2014. 87 p. (2).

BLEY JR., C. **Biogás: A energia invisível**. São Paulo: Planeta Sustentável, 2015.

BOCHMANN, G;, MONTGOMERY, L. F. R. **Storage and pre-treatment of substrates for biogas production.** In: Wellinger A, Murphy JD, Baxter D, editors. The biogas handbook: Science, production and applications. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2014.

BRASIL CLEAN ENERGY (Santa Catarina). **Primeira Usina de Biogás de Santa Catarina.** 2014. Disponível em: <http://www.brasilcleanenergy.com.br/12-news/gas/89-primeira-usina-biogas>. Acesso em: 16 fev. 2015.

BRASIL. Biogás entra pela primeira vez em leilão de reserva da Aneel. 2014. Disponível em < http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/10/biogas-entra-pela-primeira-vez-em-leilao-de-reserva-da-aneel>. Acesso novembro de 2014.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal.** 38. ed. Brasília. 2010. 65 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2015.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. . **Guia básico de Patentes.** 2017. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente>. Acesso em: 09 jul. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso setembro de 2014.

BRITO, Fernanda Luísa Sampaio de. **Biodigestão anaeróbia em duplo estágio do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de biogás.** 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte Minas Gerais, 2011.

BRITT Schumacher *et al.*, IBBA-workshop. 2015. Suécia. Disponível em http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/publications/Workshops/IBBA-Workshop-2015/IBBA2015_Schumacher_DBFZ_web.pdf. > Acesso 05 de junlho de 2017.

BUDZIANOWSKI, Wojciech M. A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 54, p.1148-1171, fev. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.054.

CAMBI TECHNOLOGY AS. **Thermal biological breakdown and dewatering of biomass involves leading biological residue material from digesting tank to dewatering device, dewatering, conducting thermal hydrolysis and quick pressure reduction, dewatering, and cooling** . US nºUS2014251902-A1; 06 Mar 2013. Derwent Inovation Index.

CARRÈRE, H. *et al*. Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review. **Journal of Hazardous Materials,** [s.l.], v. 183, n. 1-3, p.1-15, nov. 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.129. (CIBiogas, 2015).

CARRERE, H., ANTONOPOULOU, G., AFFES, R., PASSOS, F., BATTIMELLI, A., LYBERATOS, G., & FERRER, I. Review of feedstock pre-treatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. **Bioresource technology**, v.199, p.386-397, 2016

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins de. **Biodigestores**. VI Semana de Tecnologia em Alimentos 13 a 16 de maio de 2008 Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná - Brasil ISSN: 1981-366X / v. 02 n. 21, 2008 VI. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf. Acesso em 13 fev. 2015.

CASTRO, Antônio Maria Gomes de; LIMA, Suzana Maria Valle; CRISTO, Carlos Manuel Pedroso Neves. Cadeia Produtiva: Marco Conceitual para Apoiar a Prospecção Tecnológica. **Gestão da Inovação Tecnológica,** Salvador, p.1-14, nov. 2002.

CAVALEIRO, Ana Júlia Viana. **Efeito de Sobrecargas de Ácido Oleico na atividade de Consórcios Microbianos Anaeróbios Desenvolvidos em Processos de Leito Fixo.** 1999. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia do Ambiente, Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Portugal, 1999. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5404/1/AnaJuliaTeseMestr.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

CEGAS. **Equivalência Energética.** 2008. Disponível em: <http://www.cegas.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=15>. Acesso em: 08 ago. 2017.

CHADE, Jamil. China foi o pais que mais registrou patentes em 2012. **Folha de São Paulo.** São Paulo, p. 9. 10 mar. 2013. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,china-foi-pais-que-mais-registrou-patentes-em-2012-imp-,1106546>. Acesso em: 14 mar. 2015.

CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T.. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s.l.], v. 16, n. 3, p.1462-1476, abr. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.035.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas Residuárias: Reatores Anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 379p. 2007.

CHISTI, Yusuf. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances,** [s.l.], v. 25, n. 3, p.294-306, maio 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001.

CHRISTY, P. Merlin; GOPINATH, L.r.; DIVYA, D.. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 34, p.167-173, jun. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.010.

CIBIOGAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Desafios e Oportunidades para o Biogás no Brasil.** 2015. Disponível em: <http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/portugiesische_seite/departamentos/Meio_Ambiente/Ecogerma_2015/Rodrigo_Regis_-_Desafios_e_Oportunidades_para_o_Biogas_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

COATES, V.; FAROQUE, M.; KLAVANS, R. On the future of technology forecasting. Technological Forecasting and Social Change, **New York**, v.67, p.1-17, 2001.

COBURN, M. M. Competitive Technical Intelligence. A guide to design, analysis and action. Washington, DC, American Chemical Society, 1999.

COELHO, S.T.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. F. **Estado da arte do biogás: Relatório de acompanhamento**. Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência – Acet,** Joaçaba, v. 2, n. 2, p.119-128, Não é um mês valido! 2011. Semestral.

CONDE, J.L., MORO, L.E.; TRAVIESO, L.; SANCHEZ, E.P., LEIVA, A., DUPEIRON, R.; ESCOBEDO, R. Biogas purification process ussing intensive Microalgae Cultures. **Biotechnology letters**.1993. 15(3), 371-320.

COSAN (São Paulo). **Biogás Oportunidades para a matriz energética de SP e do Brasil.** São Paulo, 2014. 23 slides, color, 25cm x 20cm. Disponível em: <http://www.comgas.com.br/pt/empresa/Inovacao/Inovacao2014/Comgás - Carlos Zanardo/Eficiência Energética e Sustentabilidade - Biogás.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

COSTA, Adriana Guimarães *et al*. Geração de metano a partir de resíduos lignocelulósicos oriundos da produção do biocombustível: revisão. Revista Dae, [s.l.], v. 62, n. 194, p.36-51, 2014. Editora Cubo Multimidia. http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.003

COSTA, Guilherme. **Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de Esterco Ovino em Condições Termofílicas.** 2014. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

COVINGTON, A.D. *et al*. Biodegradation of solid leather wastes. MaterieConcianti, 79, 187-195, 2003.

CU, T.T.T *et al*. **Biogas Production from Vietnamese Animal Manure, Plant Residues and Organic Waste: Influence of Biomass Composition on Methane Yield.** Asian Australias. J. Anim. Sci. 28:280-289, jan 2015.

CURIONI A. **Equipment for desulfurization of biogas produced by anaerobic reactor, comprises roll-on/roll-off type closed container which is made of carbon steel plate or stainless steel plate and structured profile with ribs bent carbon steel.** BR nºBR9100381-U2 .28 Jan 2011. Derwent Inovation Index.

DALY L J. **System, useful for removing hydrogen sulfide from methane generated by animal waste e.g. cow manure, comprises biofilter reactor cartridge containing microorganism that biodegrades hydrogen sulfide from stream of methane gas.** US nºUS2005003515-A1 01 Jul 2003.Derwent Inovation Index.

DERWENT INOVATION (Londres). **Manual Code.** 2017. Disponível em: <http://scientific.thomson.com/cgi-bin/mc/displaycode.cgi?code=X16-E01J>. Acesso em: 02 set. 2017.

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Alemanha: Wiley-vch Verlag Gmbh & Co. Kgaa, Weinheim, 2008. ISBN 978-3-527-31841-4.

DEWIL, Raf; APPELS, Lise; BAEYENS, Jan. Energy use of biogas hampered by the presence of siloxanes. **Energy Conversion And Management,** [s.l.], v. 47, n. 13-14, p.1711-1722, ago. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2005.10.016.

DHAYALAN, K. *et al*. “Biodegradability of leathers through anaerobic pathway”. Waste Management, v. 27, pp. 760-767, 2007.Energypedia, (2015)

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos. Concórdia**: EMBRAPA - CNPSA /EMATER/RS, 2002. 30 p. EMBRAPA. Embrapa suínos e aves. 1996. Disponível em. Acesso em: 05 fev. 2015.

DOBRE, Paul; MATEI, Florentina; NICOLAE, FarcaȘ. Main factors affecting biogas production - an overview. **Romanian Biotechnological Letters,** Romenia, v. 19, n. 3, p.9283-9296, mar. 2014. Disponível em: <http://www.rombio.eu/vol19nr3/lucr 1_Dobre Paul_Main factors affecting biogas production_revistaRBL_2014 _1_.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2015.

DORAN, J.W.; LINN, D.M. Bacteriological quality of runoff water from pastereland. Applied of Microbiology, v.37, n.5, p.985-991, 1979.

DSM IP ASSETS BV. **Production of biogas from organic material, involves treating organic material with enzyme composition comprising phytase, and digesting enzyme treated organic material to form biogas.** EP nºWO2014001349-A1**.** 26 Jun 2012. Derwent Inovation Index.

EBA EUROPEAN BIOGAS ASSOSSIATION. EBA launches 6th edition of the Statistical Report of the European Biogas Association. 2016. Disponível em: <http://european-biogas.eu/2016/12/21/eba-launches-6th-edition-of-the-statistical-report-of-the-european-biogas-association/>. Acesso em: 15 jun. 2017.

Empresa de Pesquisa Energética –. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030:** Nota Técnica: Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2017. 15 p. (1). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Petroleo/Documents/RenovaBio/NT02_RenovaBio_Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 20 set. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional.** Brasília, 2015. 291 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2015+-+Documento+Completo+em+Português+-+Inglês+(PDF)/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.0>. Acesso em: 02 ago. 2017.

ESPACENET. **Espacenet Search.** 2017. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/>. Acesso em: 28 set. 2017.

ESTADOS UNIDOS. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. (Org.). **Overview of Biogas Technology.** Estados Unidos: Workpackage On Manure Energy, 2011. Disponível em: <http://www.balticmanure.eu/download/Reports/baltic_manure_biogas_final_total.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2015.

EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION. **BIOGAS CAN DO IT Facts, arguments and potentials.** Alemanha: Fachverband Biogas E. V. Main Office, 2011. 40 p. Disponível em: <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/broschre_2011_en_versandversion.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. **Final Report–Preparatory Study on Food Waste across EU27**. Bio Intelligence Service, Paris 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **Biomass Technology Roadmap: European** Technology. Bélgica: European Technology Plataform, 2014. 44 p. Disponível em: <http://www.rhc-platform.org/fileadmin/Publications/Biomass_Technology_Roadmap.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **Horizon 2020:** The EU Framework Programme for Research and Innovation. 2017. Disponível em: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>. Acesso em: 03 set. 2017.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. **Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 122-126, 2002.

FERNANDEZ-CEGRÍ V., RUBIA de la M.A., RAPOSO F., BORJA, R. Effect of hydrothermal pretreatment of sunflower oil cake in biomethane potential focusing on fibre composition. **Bioresour Technol** 2012;123:424-9

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás:** estudo de caso. 2007. 90 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/figueiredo.pdf>. Acesso em: 29 out. 2014

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Food Losses and Food Waste– Extent, Causes and Prevention**. Food and Agriculture Organization, Rome, 2011.

FRAUNHOFER GES FOERDERUNG ANGEWANDTEN. **Method for biological desulfurization of biogas from biogas plant, involves loading washing liquid with oxygen and specifying detention period of liquid in bioscrubber such that biological oxidation takes place in bioscrubber.** DE nºDE102009014221-A1. 25 Mar 2009. Derwent Inovation Index.

FUJI ELECTRIC CO LTD. **Biogas fuel cell power generating device for electric power generation, returns portion(s) of reformed-gas condensed water produced from biogas to methane fermentation tank**. JP nºJP2005135728-A. 30 Out 2003. Derwent Inovation Index.

FUJI ELECTRIC CO LTD. **Operating method for methane fermentation processing apparatus, comprises decompose-treating organic waste by an anaerobic organism to form biogas, de-sulfurizing biogas, and processing-load control**. JP nºJP2005081264-A. 09 Set. 2003. Derwent Inovation Index.

GARROTE, G.; DOMINGUEZ, H.; PARAJO, J. C. **Hydrothermal processing of lignocellulosic materials.** Holz Roh Werkst, 57 (1999), pp. 191-202.

GEBAUER, Ruth. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. **Bioresource Technology,** Noruega, p.155-167, nov. 2004.

GEORGHIOU, L. (Ed.). **The handbook of technology foresight: concepts and practice**. Cheltenham Glos: Edward Elgar Publishing, 2008.

GERBER, P.J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A. & TEMPIO, G. 2013. **Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

GLOBAL INTELLIGENCE ALLIANCE. 2010. **How to Profit from Biogas Market Developments GIA Industries** White Paper. United States. 42 slides, color, 25x20cm

G-META CONSULTORIA PARTICIPACOES. **Producing methane and biogas involves processing organic residue in a mixer or homogenizer in presence of methanogenic bacteria, where acceleration device is also utilized that contains a watertight tank and a recirculation unit.** BR nºEP2821372-A1. 02 Mar 2012. Derwent Inovation Index.

GODET, M. **A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica**. Lisboa: Ed. CEPES – Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégica, 2000.

GRANATO, Eder Fonzar; SILVA, Celso Luiz. Geração de energia elétrica a partir do resísuo vinhaça. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 4., 2002, Campinas. Disponivel:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200006&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 13 Feb. 2015.

GU, Lei *et al*. Where is the future of China's biogas? Review, forecast, and policy implications. **Petroleum Science,** [s.l.], v. 13, n. 3, p.604-624, 5 jul. 2016. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s12182-016-0105-6.

GUERRANTE, Rafaela di Sabato. **ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA EM SEMENTES.** 2011. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,, 2011. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/tecnologia-em-sementes.pdf>. Acesso em: 12 maio 2015.

GUIYANG XIAOHE COMMUNITY; CHUNHAI PLASTIC CEMENT CO LTD. **Pump used for deslagging and liquid-extracting, used in marsh gas tank for village has valve slice and pull rod which are set on plugboard type brake valve, and discharge gate set on top of drum body**. CN nºCN200996369-Y. 20 Dez 2006. Derwent Inovation Index.

GUIZHOU TAIRAN NATURAL ENVIRONMENT SCI. **Purification device used for desulfurizing marsh gas comprises desulfurization device shell, gas-water separator having raw marsh gas inlet and water drain valve, and desulfurizer having air-permeable plate and marsh gas outlet.** CN nºCN102994183-A. 11 Out 2012. Derwent Inovation Index.

HAN S. G. **Pretreatment of high concentrated organic waste produced during upflow anaerobic sludge blanket, involves flowing crystallized methane biogas reactor into organic waste, treating digested liquid and injecting organic waste.** KR nºKR2011135042-A, 16 nov. 2011. Derwent Inovation Index

HAVUKAINEN, J. *et al*. Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production. **Renewable Energy.** Finlândia, p. 232-240. jun. 2014.

HE P. J., 2010. Anaerobic digestion: An intriguing long history in China. **Waste Management**, 30, 549– 550.

HEILONGJIANG ENERGY & ENVIRONMENT RES **Pre-treating silage with straw marsh gas comprises harvesting the straw, crushing, filling in layers in the container for the storage of straw, adding water, pressing, covering with a plastic cloth, tightening and storing.** CN nºCN106434765-A 30 Nov 2016. Derwent Inovation Index.

HOLM-NIELSEN, J.b.; SEADI, T. Al; OLESKOWICZ-POPIEL, P.. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology,** [s.l.], v. 100, n. 22, p.5478-5484, nov. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046.

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz (Org.). **What a Waste**: A Global Review of Solid Waste Management. 15. ed. Washington, Dc: The World Bank, 2012. 116 p. (15). Disponível em: <http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2012/07/25/000333037_20

120725004131/Rendered/PDF/681350WP0REVIS0at0a0Waste20120Final.pdf>.Acesso em: 11 abr. 2014.

HORVÁTH, Ilona Sárvári *et al*. Recent updates on biogas production - a review. Biofuel **Research Journa**l, [s.l.], v. 3, n. 2, p.394-402, 1 jun. 2016. Greenwave Publishing of Canada. http://dx.doi.org/10.18331/brj2016.3.2.4.

HUTTUNEN, Suvi; MANNINEN, Kaisa; LESKINEN, Pekka. Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. **Journal Of Cleaner Production,** [s.l.], v. 80, p.5-16, out. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.081. Disponível em: <http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0959652614005605?httpAccept=text/xml>. Acesso em: 10 nov. 2015.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. Energy Technology System Analysis Programme**:** Energy Technology Network **.**2017. Elaborado por Giancarlo Tosato. Disponível em: <https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/P11_BiogasProd_ML_Dec2013_GSOK.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

IRENA (2017), **Biogas for road vehicles: Technology brief**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

ISHII TEKKOSHO KK. **Box-shaped holder, for gas, e.g. in biogas facility, has gas storage bag made flexible material inserted and supported inside box made of reinforced plastic or metal.** JP nºJP2004353834-A. 30 Maio 2003. Derwent Inovation Index.

ITA INST INNOVATIVE TECHNOLOGIEN GMBH **Bioproduct formulation made of white-rot fungi mycelia, immobilized on pressed renewable raw materials for fungal exolytic degradation of biogenic heterogeneous ligno-cellulosic materials to increase bacterial bioconvertibility.** DE nºDE202010016775-U1. 18 Dez 2010. Derwent Inovation Index.

IYAGBA, Elijah T.; MANGIBO, Ibifuro A.; MOHAMMAD, Yahaya Sayyadi. The study of cow dung as co-substrate with rice husk in biogas production. **Scientific Research And Essay,** Nigéria, v. 4, n. 9, p.861-866, set. 2009. ISSN 1992-2248. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/SRE>. Acesso em: 01 jul. 2016.

JAPÃO. ENERGY TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE. . **Bio-Gas Plant to Recover Hydrogen & Methane quickly from Kitchen-Waste.** 2017. Disponível em: <http://knowhowledge.com/website/staticpages/Featureidea/Featureideaavail/Biogasplantetrijp/100414biogasplantetrijp1ap.asp>. Acesso em: 02 set. 2017.

JIANG, Xinyuan; SOMMER, Sven G.; CHRISTENSEN, Knud V.. A review of the biogas industry in China. **Energy Policy,** [s.l.], v. 39, n. 10, p.6073-6081, out. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.007.

JÖNSSON, O., POLMAN, E., JENSEN, J. K., EKLUND, R., Schyl, H. & Ivarsson, S. 2003. **Sustainable gas enters the European gas distribution system**. Danish gas technology center.

JÚNIOR, Moisés Francisco Farah. A terceira revolução industrial e o novo paradigma produtivo: algumas considerações sobre o desenvolvimento industrial brasileiro nos anos 90. Revista da FAE, v. 3, n. 2, 2017.

KABIR, Maryam M. *et al*. Biogas production from lignocelluloses by N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO) pretreatment: Effects of recovery and reuse of NMMO. **Bioresource Technology,**Suécia, v. 1, n. 161, p.446-450, 2014.

KACPRZAK, Anna; KRZYSTEK, Liliana; LEDAKOWICZ, Stanisław. Co-digestion of agricultural and industrial wastes. **Chemical Papers,** [s.l.], v. 64, n. 2, p.2002-2018, 1 jan. 2010. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.2478/s11696-009-0108-5.
KADAM, Rahul; PANWAR, N.l.. Recent advancement in biogas enrichment and its applications. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 73, p.892-903, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.167.

KAFLE, Gopi Krishna; CHEN, Lide. Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. **Waste Management,** [s.l.], v. 48, p.492-502, fev. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.021.

KAJIKAWA Y, TAKEDA Y. **Structure of research on biomass and bio-fuels.** Technol Forecast Soc Change, Estados Unidos, v.1, n.75, p 1320-1349,2008.

KAMESWARI, K. Sri Bala; KALYANARAMAN, Chitra; THANASEKARAN, K.. Effect of ozonation and ultrasonication pretreatment processes on co-digestion of tannery solid wastes. Clean Technologies And Environmental Policy, [s.l.], v. 13, n. 3, p.517-525, 18 nov. 2010. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s10098-010-0334-0.

KAMPMAN, Bettina *et al*. **Optimal use of biogas from waste streams:** An assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020. Europe: European Comisison, 2016. 158 p.

KANGLE, K. M. *et al*. Recent Trends in Anaerobic Codigestion: A Review. **Universal Journal Of Environmental Research And Technology,** Kolhapur, v. 4, n. 2, p.210-219, jun. 2010. Disponível em: <www.environmentaljournal.org>. Acesso em: 18 abr. 2016.

KARLSSON, M., 2014. Final Report for BRC EP3 (New Industries) (No. 2014:3). **Biogas Research Center** (BRC), Alemanha.

KEPP U., MACHENBACH I., WEISZ N., SOLHEIM O. E., **Enhanced stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis— three years of experience with full scale plant**. In: Proceedings of Specialised Conference on Disposal and Utilisation of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities, October 13–15, Athens, Greece, 1999, pp. 161–168.

KIM, Dong-hoon *et al*. Sewage sludge addition to food waste synergistically enhances hydrogen fermentation performance. **Bioresource Technology,** [s.l.], v. 102, n. 18, p.8501-8506, set. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.089.

KIM, Yong-sung *et al*. Status of biogas technologies and policies in South Korea. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 16, n. 5, p.3430-3438, jun. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.075.

KIPPER, Eduardo. **Tratamento Enzimático e Produção de biogás por Resíduos Sólidos de Cortume.** 2013. 251 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

KLASSEN, Viktor *et al*. Efficiency and biotechnological aspects of biogas production from microalgal substrates. **Journal Of Biotechnology,** [s.l.], v. 234, p.7-26, set. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.015.

KONG, Fanran; ENGLER, Cady R.; SOLTES, Ed J.. Effects of cell-wall acetate, xylan backbone, and lignin on enzymatic hydrolysis of aspen wood. **Applied Biochemistry And Biotechnology,** [s.l.], v. 34-35, n. 1, p.23-35, mar. 1992. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/bf02920531.

KOREA INST SCI&TECHNOLOGY. **Method for manufacturing biogas, involves hydrolyzing organic waste by irradiating ultrasound, and subjecting hydrolyzed organic waste to anaerobic fermentation process.** KR nºKR1209570-B1.05 Dez. 2009. Derwent Inovation Index.

KREUGER, E; SIPOS, B; ZACCHI, G; SVENSSON, S. E; BJÖRNSSON, L. **Bioconversion of industrial hemp to ethanol and methane: the benefits of steam pretreatment and co-production**. Bioresour Technol 2011;102:3457-65

LAMBRECHT, Stijn. **The Clean Energy Sector in Japan An Analysis on Investment and Industrial Cooperation Opportunities for EU SMEs.** Japan: Minerva Research Fellow, 2014. 71 p. Disponível em: <http://www.eu-japan.eu/sites/default/files/publications/docs/clean-energy-paper27feb-b-finale.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2016.

LAMO, Paulo de. **Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais** - METHAX/BIOPAQ - CODISTIL - Piracicaba, 1991.

LARUBIA, M.a. de *et al*. Effect of solids retention time (SRT) on pilot scale anaerobic thermophilic sludge digestion. **Process Biochemistry,** [s.l.], v. 41, n. 1, p.79-86, jan. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2005.03.073.

LEFEBVRE, Simon. Annual global biogas production to exceed 2 trillion cubic feet by 2024. 2016. Disponível em: <https://www.biogasworld.com/news/annual-global-biogas-production-to-exceed-2-trillion-cubic-feet-by-2024/>. Acesso em: 14 jun. 2017.

LEIP, Adrian *et al*. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. **Environ. Res. Lett.,** Londres, v. 10, n. 11, p.115004-115017, 1 nov. 2015. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/11/115004/pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.

LI, Song *et al*. Biogas production potential and characteristics of manure of sheep, duck and rabbit under anaerobic digestion. **Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering,** China, v. 26, n. 10, p.277-282, out. 2010.

LI, Xiujin. **Biogas Production in China: current status and future development.** Estados Unidos: Department of Environmental Engineering, 2013. 41 slides, color, 25x20. Disponível em: <http://www.epa.gov/agstar/documents/conf13/Biogas Production in China - Current Status and Future Development, Dr Xiujin Li.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2015.

LIMA, Ana Beatriz Barbosa Vinci. **Pós-Tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema seqüencial constituído de ozonização em processo biológico aeróbio.** 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2006.

LUCAS JUNIOR, J. *et al*. **Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. Anais. Ilhéus:SBEA/CEPLAC, 1993. p. 915-930.

LUOSTARINEN, S.; SILLANPÄÄ, S. Luste M. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. **Bioresource Technology,** Finlândia, v. 1, n. 100, p.79-85, Não é um mês valido! 2009. Mensal.

MACHADO, S. T.; *et al.* Geração de Biogás com Dejetos Provenientes da Piscicultura. **Integrating Cleaner Production Into Sustainability Strategies.** São Paulo – Brazil – MaI 22 nd to 24th – 2013.

MALAGGI, M.; SOUZA, S. N. M. Estimativa do Potencial de Produção de Biogás e Energia na Indústria de Abate de Frangos no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 151-162, 2014.

MALINA JUNIOR, Joseph F.; POHLAND, Frederick G.. **Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes.** England: Lancaster : Technomic Pub. Co, 1992. 214 p. (Water quality management library ; v. 7.).

MATA-ALVAREZ, J; MACÉ, S; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology,** [s.l.], v. 74, n. 1, p.3-16, ago. 2000. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00023-7.

MATA-ALVAREZ, Joan *et al*. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** Spain, v. 1, n. 36, p.412-427, 28 may 2014.

MAYERHOFF, Zea Duque Vieira Luna. Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica. **Cadernos de Prospecção**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1 p.7 – 9. 2008.

MENEZES, Humberto Soares. **Geração de Biogás a Partir de Esterco Caprino.** 2008. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Pós–graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras Minas Gerais - Brasil, 2008.

MENIND, A., NORMAK, A., 2010. Study on grinding biomass as pre treatment for biogasification. Presented at the International Scientific Conference, Biosystems Engineering 2010, 13.-24. May 2010, Tartu, Estonia., Estonian Research Institute of Agriculture, pp. 155–164.

MES, T.Z.D. de; STAMS, A.J.M. ; ZEEMAN, G. (2003): Chapter 4. Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In: REITH, J.H. (Editor); WIJFFELS, R.H. (Editor); BARTEN, H. (Editor) (2003) Wageningen UR, Library

MITSUBISHI JUKO. **Apparatus for removing hydrogen sulfide contained in biogas generated during anaerobic fermentation of organic based, has desulfurizing tower supplied with digestive fluid for desulfurizing biogas**. JP nºJP2004135579-A 9 17 Out 2002. Derwent Inovation Index.

MITSUI ENG & SHIPBUILDING CO LTD. **Anaerobic fermentation method used in biological desulfurization method, involves adding radical trapping agent which eliminates oxidative stress of methane-formation microbe or hydrogen production microbe into anaerobic fermenter**. JP nºJP2008012488-A. 07 Jul 2006. Derwent Inovation Index.

MIYAWAKI, Bruno. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais.** 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MOHSENZADEH, Abas *et al*. Alkali pretreatment of softwood spruce and hardwood birch by NaOH/thiourea, NaOH/urea, NaOH/urea/thiourea, and NaOH/PEG to improve ethanol and biogas production. **Journal Of Chemical Technology & Biotechnology,** [s.l.], v. 87, n. 8, p.1209-1214, 6 jan. 2012. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1002/jctb.3695.

MONTEIRO, Sílvio Daniel da Silva Carvalho. **Produção de Biometano: Análise de Mercado e Estudo da Separação por PSA.** 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial, Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69219/1/000150475.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

MONTINGELLI, M.e.; TEDESCO, S.; OLABI, A.g.. Biogas production from algal biomass: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 43, p.961-972, mar. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.052.

MOTTE, Jean-charles *et al*. Total solids content: a key parameter of metabolic pathways in dry anaerobic digestion. Biotechnology For Biofuels, [s.l.], v. 6, n. 1, p.164-173, 2013. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1186/1754-6834-6-164.

MOURA, Johnson Pontes de; TORRES, Aline; PEDROSA, JoÃo Felipe. FUNDAMENTOS DE IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS.**Educação Ambiental em Ação,** Pernambuco, v. 40, n. 0, p.1-15, 05 jun. 2012. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248&class=02>. Acesso em: 29 out. 2014.

MSHANDETE, A., BJÖRNSSON, L., KIVAISI, A.K., RUBINDAMAYUGI, M.S.T., MATTIASSON, B., 2006. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. Renewable Energy 31, 2385– 2392.

MULLER, J.A. **Prospects and problems of sludge pre-treatment processes**. Water Science and Technology. v. 44, n. 10, p. 121-128, 2001.

MUÑOZ, Raúl *et al*. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. **Reviews In Environmental Science And Bio/technology,** [s.l.], v. 14, n. 4, p.727-759, 26 set. 2015. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s11157-015-9379-1.

MURPHY, Jerry *et al*. A perspective on algal biogas. Estados Unidos: British Library, 2015. 40 p. Disponível em: <http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/Technical Brochures/AD_of_Algae_ebook_end.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.

NANJING AGRIC MECHANIZATION INST MIN AGR. **Digesting livestock manure and straw used for producing organic fertilizer, by mixing straw and livestock manure, performing aerobic digestion, and feeding obtained solid residue and biogas into fertilizer production line**. CN nºCN106220262-A. 16 Out 2014. Derwent Inovation Index.

NARTKER, Steven *et al*. Increasing biogas production from sewage sludge anaerobic co-digestion process by adding crude glycerol from biodiesel industry. **Waste Management,** Estados Unidos, v. 1, n. 34, p.2567-2571, jan. 2014.

NEUMANN, P. *et al*. Developments in pre-treatment methods to improve anaerobic digestion of sewage sludge. **Reviews In Environmental Science And Bio/technology,** [s.l.], v. 15, n. 2, p.173-211, 3 maio 2016. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s11157-016-9396-8.

NEVES, Cristine Serafine *et al*. Partida de reator anaeróbio compartimentado em série com um reator anaeróbio de manta de lodo, utilizando parâmetros de sedimentabilidade para formação da biomassa. **Engenharia Sanitaria e Ambiental,** [s.l.], v. 20, n. 4, p.623-634, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040119235.

NOVOZYMES AS. **Producing biogas, comprises adding an enzyme (e.g. amylolytic enzyme invertase, isomerase, laccase, ligase, lipase and lyase) to a slurry comprising a bagasse-derived material and water, before adding the slurry to a biogas digester tank**. EP nºWO2013000945-A1. 28 Jun 2011. Derwent Inovation Index.

NTNU TECHNOLOGY TRANSFER. **Gas separating membrane, e.g. used to separate carbon dioxide from nitrogen and methane, contains blend of polyvinyl alcohol and polyvinyl amine**. EP nºEP1900419-A2. 11 Set 2006. Derwent Inovation Index.

N-W AGRIC MECH ELECTRIF SCI RES INST. **Animal dung processing biogas unit, comprises duct-lines for dung substrate feeding and outlet of agitated mass, heaters, mixers and device for accumulation and discharge of biogas, where bioreactor consists of main tank of reactor.** RU nºRU2365080-C2. 18 Abril 2007. Derwent Inovation Index.

OELOFSE, Suzan Hh; NAHMAN, Anton. Estimating the magnitude of food waste generated in South Africa. **Waste Management & Research,** [s.l.], v. 31, n. 1, p.80-86, 9 ago. 2012. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/0734242x12457117.

OLIVEIRA, A. S., RIBEIRO, L. S. **Ciclo do MDL e Implicações no Aproveitamento Energético do Biogás a partir de Resíduos Sólidos. Biogás – Pesquisas e Projetos no Brasil.** CETESB, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 184p. SMA, 2006.

OSAKA GAS CO LTD. **Method for concentrating methane gas involves providing adsorption columns filled with adsorbent, and sequentially performing adsorption process, pressure-equalizing process, pressure-reducing process and pressure-rising process.** JP nºWO2014136645-A1. 04 Mar 2013. Derwent Inovation Index.

OZ, Nilgun Ayman; UZUN, Alev Cagla. Ultrasound pretreatment for enhanced biogas production from olive mill wastewater. **Ultrasonics Sonochemistry,** [s.l.], v. 22, p.565-572, jan. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.04.018.

PALMOWSKI, L. M.;MULLER, J. A.. Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion. **Water Science and Technology**, 41. 2008.

PASSOS, Fabiana *et al*. Pretreatment of microalgae to improve biogas production: A review. **Bioresource Technology,** [s.l.], v. 172, p.403-412, nov. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.114.

PATIL, Pankaj N. *et al*. Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation. **Ultrasonics Sonochemistry,** [s.l.], v. 30, p.79-86, maio 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.009.

PERSSON, M. 2003: Evaluation of Upgrading Techniques for Biogas. Available www.sgc.se/dokument/Evaluation.pdf . Accessed 03.03.2012.

PETERSSON, A.; WELLINGER, A. **Biogas Upgrading Technologies – Developments and Innovations** 2009. IEA Bioenergy Task 37. Available

http://www.ieabiogas.net/_download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf . Accessed 05.03.2017

PHAM, Thi Phuong Thuy *et al*. Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions. **Waste Management,** [s.l.], v. 38, p.399-408, abr. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.004.

PIKE RESEARCH. **Renewable biogas.** Methane Recovery and Utilization in Landfills and Anaerobic Digesters: Municipal Solid Waste, Agricultural, Industrial, and Wastewater Market Report on Analysis and Forecasts. Boulder, 2012. 87 p.

PINTO, Rafael de Oliveira. **Avaliação da Digestão Anaeróbia da Bioestabilização de Resíduos Sólidos Orgânicos, Lodos de Tanques Sépticos, Dejetos Suínos e Lixiviado.** 2006. 233 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89180/235699.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jan. 2015.

PORTAL DO BIOGAS. **Tecnologias utilizadas em biodigestores.** 2015. Elaborado por Gleysson B. Machado. Disponível em: <http://www.portaldobiogas.com/tecnologias-utilizadas-em-biodigestores/>. Acesso em: 27 abr. 2016.

PORTAL DO TRATAMENTO DE ÁGUA. **Brasil já testa carros abastecidos com biometano Publicado em 13/02/2017 às 15:04:12 Categoria(s): Energia, Tecnologia,.** 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/brasil-ja-testa-carros-abastecidos-com-biometano/?rdst_srcid=598763>. Acesso em: 21 ago. 2017.VEOLIA. **Europe's leading producer of canned goods reduces its energy bill thanks to biogas.** 2017. Disponível em: <https://www.veolia.com/en/our-customers/achievements/industries/food-beverage/hungary-bonduelle>. Acesso em: 21 ago. 2017.https://biomethane-map.eu/Biomethane-Map.70.0.html

PORTER, A. L.; ROPER, A. T.; MASON, T. W.; ROSSINI, F. A.; BANKS, J. Forecasting and management of technology. **Estados Unidos**: Wiley Series in Engineering and Technology Management, 1991.

PORTER, Michael E. **Estratégia competitiva**. 26. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

PRESCO. **Method and equipment for processing organic material.** US nºUS20050155928-A1. 20 Maio 2003. Derwent Inovation Index.

PRIADI, Cindy *et al*. Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Paper Sludge. **Apcbee Procedia,** [s.l.], v. 9, p.65-69, 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apcbee.2014.01.012.

PRIEBE G., MARCÍLIO N., KIPPER E., GUSMÃO A., GUTTERRES M., B**iogas production from leather industry wastes,** In: Congress of the international union of leather technologists and chemists societies, Istanbul, 32, 2013.

PROBIOGAS (Alemanha). **Guia Prático do Biogás.** 5. ed. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2010.

QUINTELLA, Cristina M. *et al*. Prospecção Tecnológica como uma Ferramenta Aplicada em Ciência e Tecnologia para se Chegar à Inovação. **Revista Virtual de Química,** Bahia, v. 3, n. 5, p.407-415, nov. 2011. Disponível em: <www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewFile/193/203>. Acesso em: 13 fev. 2015.

RABONI, Massimo; URBINI, Giordano. Production and use of biogas in Europe: a survey of current status and perspectives. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté , v. 9, n. 2, p. 191-202, June 2014 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2014000200002&lng=en&nrm=iso>. access on 25 Feb. 2017. http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1324.

RAMOS-SUÁREZ, Juan Luis *et al*. Alkaline and oxidative pretreatments for the anaerobic digestion of cow manure and maize straw: Factors influencing the process and preliminary economic viability of an industrial application. **Bioresource Technology,** [s.l.], v. 241, p.10-20, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.054.

REN21. **Renewables 2017 Global Status Report.** Paris: Ren Secretary, 2017. 302 p. ISBN 978-3-9818107-6-9. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

REPORTER, Linker (Org.). **Biogas Upgrading: Technologies and Global Markets.** Estados Unidos: Bcc Research, 2015. 331 p

RES INST IND SCI&TECHNOLOGY. **Purification process of biogas containing volatility siloxane compound, involves refining biogas containing volatility siloxane compound using adsorber having preset specific surface area with preset volume of air bubbles**. KR nºKR2009006357-A 11 Jul 2007. Derwent Inovation Index.

RIZZONI, Leandro Becalete *et al*. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária,** São Paulo, v. 1, n. 18, p.1-20, jan. 2012. Semestral. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/W34ebZOEZuzvEvG_2013-6-28-18-12-37.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2015.

RODRIGUES, Fernando de Resende. **ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ATERROS SANITÁRIOS.** 2014. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

RODRIGUEZ, Cristina et al. Pretreatment techniques used in biogas production from grass. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 68, p.1193-1204, fev. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.022.

RODRIGUEZ, Cristina *et al*. Pretreatment techniques used in biogas production from grass. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 68, p.1193-1204, fev. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.022.

ROHSTOFFE, Fachagentur Nachwachsende. **Guia Prático do Biogás:** Geração e Utilização. 5. ed. traduzida e revisada. Alemanha: Gülzow, 2010. 233 p.

RUSSO, MÁRIO AUGUSTO TAVARES. **Tratamento de resíduos sólidos.**2003. 196f. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil Universidade de Coimbra. 2003.

RYCKEBOSCH, Eline; DROUILLON, Margriet; VERVAEREN, Han. Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass & Bioenergy,** Alemanha, v. 5, n. 35, p.1633-165, 5 maio 2011.

SADIA (São Paulo). **Programa Suinocultura Sustentável Sadia - 3S.** 2014. Disponível em: <http://www.sadia.com.br/sobre-a-sadia/cadeia-produtiva_programa-suinocultura-sustentavel-sadia-3s.jsp>. Acesso em: 16 fev. 2015.

SALIHU, Aliyu; ALAM, Md. Zahangir. Pretreatment Methods of Organic Wastes for Biogas Production. **Journal Of Applied Sciences,** [s.l.], v. 16, n. 3, p.124-137, 1 mar. 2016. Science Alert. http://dx.doi.org/10.3923/jas.2016.124.137.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do Potencial de Geração elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia.** Itajubá, Minas Gerais, v. 1, n. 2, p.57-67, mar. 2006. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/06-B&E-v2-n1-2005-p557-67.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2015.

SAYED, Sameh; VAN CAMPEN, Lies; LETTINGA, Gatze. Anaerobic treatment of slaughterhouse waste using a granular sludge UASB reactor. **Biological Wastes,** [s.l.], v. 21, n. 1, p.11-28, jan. 1987. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0269-7483(87)90143-1.

SENAI (Paraná). Departamento Regional do Paraná. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná:** 1. Curitiba: Cdu, 2016. 144 p.

SHANMUGAM, P.; HORAN, N.j.. Optimising the biogas production from leather fleshing waste by co-digestion with MSW.**Bioresource Technology,** [s.l.], v. 100, n. 18, p.4117-4120, set. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.052.

SHELL INT RES MIJ BV**. Digesting cellulosic biomass solid involves introducing and heating the biomass solid in a hydrothermal digestion unit of specific dimension, containing fluid phase digestion medium and slurry catalyst that activates molecular hydrogen**. US nºWO2014179306-A2.01 Maio 2013. Derwent Inovation Index.

SHUZOTANAKA *et al*. Effects of thermochemical pretreatment on the anaerobic digestion of waste activated sludge. **Water Science And Technology,** [s.l.], v. 35, n. 8, p.209-215, 1997. IWA Publishing. http://dx.doi.org/10.1016/s0273-1223(97)00169-8.

SIEGMUND, Thomas. D2.5: Market handbook biogas. Alemanha: Inteligence Energy Europe, 2016. 21 p. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/crossborderbioenergy_sector_handbook_biogas_en.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2017.

SILVA, Cláudio Alexandre Batista Veloso e. **Limpeza e Purificação de Biogás.** 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Portugal, 2009.

SILVA, Wellington Regis. **Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Vegetais.** 2009. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba/campus I, João Pessoa, 2009.

SONG, Z., YANG, G., GUO, Y., ZHANG, T., 2012. Comparison oft wo chemical pretreatments of rice straw for biogas production by anaerobic digestion. BioResources 7, 3223–3236.

SOUZA, Cristina Gomes de; AGUIAR, Ricardo Alexandre Amar de; MENDES, Heitor Soares. Como usar documentos de patentes como fonte de informação tecnológica. In: COBENGE: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 38., 2010, Fortaleza. **Anais.** Fortaleza: 2010. p. 12 - 22. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2010/artigos/450.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2015.

STICHTING ENERGIEONDERZOEK CENT. **Treating fibrous biomass of e.g. woody plants used as e.g. fuel, by pre-treating wet biomass, extracting biomass, dewatering and heating biomass, drying and compacting biomass, and subjecting aqueous effluent to anaerobic treatment**. NL nºWO2013162355-A1 23 Abr 2012 Derwent Inovation Index.

Stürmer (2017), Stürmer B. Feedstock change at biogas plants Impact on production costs. Biomass and Bioenergy 2017;
Stürmer B. Feedstock change at biogas plants Impact on production costs. Biomass and Bioenergy 2017;

SUN, Qie *et al*. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 51, p.521-532, nov. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029.

S-WATER CO LTD. **Anaerobic digestion method for pre-treating livestock excretion, involves pre-treating livestock excretion by contacting excretion with blade, and passing pre-treated excretion through orifice**. KR nºKR2012058279-A 29 Nov 2010. Derwent Inovation Index.

SWITZENBAUM, MICHAEL S. **Obstacles in the implementation of anaerobic treatment technology**. Bioresource Technology 53 (1995) 255-262.

TAHERZADEH, Mohammad J.; KARIMI, Keikhosro. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. **International Journal Of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 9, n. 9, p.1621-1651, 1 set. 2008. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ijms9091621.

TEIXEIRA, E. C.; CUNICO, E. **Seleção de Indicadores para Avaliação de Desempenho Ambiental de uma e co-inovação: O Caso do Aproveitamento de Biogás em Lagoas de Tratamento de Resíduos da Produção de Fécula de Mandioca.** Anais do II SINGEP e I S2IS. São Paulo. 07 e 08/11/2013. Pág 1-15. Disponível em < https://repositorio.uninove.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/488/592-1151-1-RV.pdf?sequence=1>. Acesso em 16 fev. 2015.

TEIXEIRA, Luciene Pires. Prospecção Tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. **Embrapa Cerrados,** Brasília, v. 1, n. 1, p.1-33, junho 2013. ISSN 1517-5111.

THANMAGANI, A. *et al*. Anaerobic co-digestion of hazardous tannery solid wasteand primary sludge: biodegradation kinetics and metabolite analysis. Clean Techn Environ Policy, [S.l.], v.12, p. 517-524, 2010.

THE JAPAN TIMES NEWS. **Japan's farmers turn to biogas tech to turn waste into watts, profits.** Disponível em: <https://www.japantimes.co.jp/news/2017/04/17/business/japans-farmers-turning-biogas-tech-turn-waste-watts-profits/#.WasursiGPIV>. Acesso em: 02 set. 2017.

TIETZ, C.M., *et al*. Produção de energia pela biodigestão anaeróbia de efluentes: o caso da bovinocultura. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.3, p. 15-29, 2013.

TORQUATI, Biancamaria *et al*. Environmental Sustainability and Economic Benefits of Dairy Farm Biogas Energy Production: A Case Study in Umbria. **Sustainability,** [s.l.], v. 6, n. 10, p.6696-6713, 29 set. 2014. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su6106696.

TUINIER, Martin J.; ANNALAND, Martin van Sint. Biogas Purification Using Cryogenic Packed-Bed Technology. **Industrial & Engineering Chemistry Research,** [s.l.], v. 51, n. 15, p.5552-5558, 18 abr. 2012. American Chemical Society (ACS). http://dx.doi.org/10.1021/ie202606g.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), o Department of energy (DOE) e o Environmental Protection Agency (EPA). **Biogas Opportunities Roadmap:** Voluntary Actions to Reduce Methane Emissions and Increase Energy Independence. Estados Unidos: Usda, 2014. 27 p. Disponível em: <http://www.usda.gov/oce/reports/energy/Biogas_Opportunities_Roadmap_8-1-14.pdf>. Acesso em: 05 set. 2016.

UNIV BEIJING CHEM. **Method for improving rice straw anaerobic digestion methane yield by sodium hydroxide solid-state normal-temperature treatment.** CN nºCN1814762-A. 30 Nov 2005. Derwent Inovation Index.

UNIV CHONGQING. **Additive composite, useful for improving methane yield, comprises urea, dipotassium hydrogen phosphate trihydrate, dipotassium phosphate, magnesium sulfate heptahydrate, vitamin B1, vitamin B2 and vitamin B3**. CN nºCN101899473-A. 08 Jul 2010. Derwent Inovation Index.

UNIV TONGJI. **Improvement of sludge disruption effect and strengthening subsequent anaerobic digestion in treatment of residual sludge, by sending residual sludge in ultrasonic reactor for ultrasonic wave irradiation and adding sodium hydroxide**. CN nºCN101565262. 04 Jun 2009. Derwent Inovation Index.

UNIV ZHEJIANG GONGSHANG. **Pretreatment and anaerobic fermentation of pig manure by wet crushing fresh pig manure waste liquid, adjusting pH to alkaline, introducing into microwave device, performing combined microwave-alkali pretreatment and anaerobically fermenting.** CN nºCN106542708-A 14 Out. 2016. Derwent Inovation Index

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA (Espanha). **Nanoparticle technology triples the production of biogas.** 2014. Disponível em: <http://www.sciencedaily.com/releases/2014/10/141022103350.htm>. Acesso em: 22 fev. 2015.

UTS BIOGASTECHNIK (Aemanha). **Reliable biogas technology.** 2015. Disponível em: <http://www.german-biogas-industry.com/companies/system-provider/uts-biogastechnik-gmbh/>. Acesso em: 22 fev. 2015.

VALLADÃO, Alessandra B. G.. **Curso de Capacitação em Propriedade Intelectual para Gestores de Tecnologia:** Araraquara: Instituto Nacional de Propriedade Industrial, 2009. 149 slides, color, 25cm x 20cm. Disponível em: <http://unesp.br/nit/mostra_arq_multi.php?arquivo=5493>. Acesso em: 21 jan. 2015.

VEGA, Giovanna Catalina Croxatto *et al*. Choosing co-substrates to supplement biogas production from animal slurry – A life cycle assessment of the environmental consequences. **Bioresource Technology,** Dinamarca, v. 171, n. 3, p.410-420, ago. 2014.

VILLELA, Flávia; CAVALCANTE, Talita. **Projeto no Rio de Janeiro transforma restos de comida em adubo e energia.** 2012. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-05-27/projeto-no-rio-de-janeiro-transforma-restos-de-comida-em-adubo-e-energia>. Acesso em: 28 jan. 2015.

Weemaes, M. P. J. and Verstraete, W. H., “Evaluation of current wet sludge disintegration techniques,” J. Chem. Technol. Biot., 73(2), 83-92 (1998)

WEILAND, Peter. Biogas production: current state and perspectives. **Applied Microbiology And Biotechnology,** [s.l.], v. 85, n. 4, p.849-860, 24 set. 2009. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7.

WORLD BIOGAS ASSOCIATION (Holanda). **AD/Biogas New Investment Update.** 2017. Disponível em: <http://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2017/05/AD-Biogas-New-Investment-Update-April-2017.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

XEBEC INC. **Siloxane removal process.** CA nºWO2006104801A3. 22 Mar 2006. Derwent Inovation Index.

XERGI NIX TECHNOLOGY AS. **Generating biogas from anaerobic fermentation of processed organic material, by subjecting organic material to mineralization, subjecting first pre-incubated organic material to lime pressure cooker, and diverting to buffer. Tank.** DK nºWO2014177156-A. 02 Maio 2013. Derwent Inovation Index.

XUAN, Jin *et al*. A review of biomass-derived fuel processors for fuel cell systems. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 13, n. 6-7, p.1301-1313, ago. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.027.

YANG, Lili *et al*. Enhancing biogas generation performance from food wastes by high-solids thermophilic anaerobic digestion: Effect of pH adjustment. International Biodeterioration & Biodegradation, [s.l.], v. 105, p.153-159, nov. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ibiod.2015.09.005.

ZAFAR, Salman. **Biogas from Agricultural Wastes**. 2014. Disponível em: <http://www.bioenergyconsult.com/anaerobic-digestion-crop-residues/>. Acesso em: 15 maio 2015.

ZANATO, Joseli Alves Ferreira. **Produção e Qualidade do Biogás Gerado com os Dejetos de Diferentes Espécies Animais.** 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2014.

ZANETTE, André Luiz. Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Planejamento Energético,, Universidade Federal do Rio de Janeiro Coppe, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2015.

ZANIBONI FILHO, E. 2005. **Tratamento de efluentes da piscicultura**. Anais do Zootec Disponível em http://www.lapad.ufsc.br/PDF/pdf0014.pdf . Acesso fev. 2015

ZHANG S. **Marsh gas fermentation tank automatically control temperature device comprises marsh gas generator and temperature controller having switch connected with power supply wire connected to water pump by inductive switch control and power cord.** CN nºCN202181305-U 06 Aug 2011. Derwent Inovation Index.

ZHANG, Jishi *et al*. Anaerobic digestion of food waste stabilized by lime mud from papermaking process. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 170, p.270-277, out. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.08.003

Zhao X, Zhang L, Liu D (2012) Biomass recalcitrance. Part I: The chemical compositions and physical structures affecting the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. **Biofuel, Bioprodu Bior** 6:465-482

ZHENG, Yi *et al*. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. **Progress In Energy And Combustion Science,** Estados Unidos, v. 1, n. 42, p.35-53, 2014. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0360128514000021/1-s2.0-S0360128514000021-main.pdf?_tid=706379fe-a7b2-11e4-93de-

00000aacb35d&acdnat=1422534736_5304639b8bdbd9d5ffefd61356a26d7f>. Acesso em: 29 jan. 2015.

ZIELIńSKI, Marcin *et al*. **Research Coordination for a Low-Cost Biomethane Production at Small and Medium Scale Applications:** TDs for small and medium scale biomethane production and supply I. Polônia: Record Biomass, 2016. 20 p.

APÊNDICE A

ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

TECHNOLOGY FORESIGHT OF THE BIOGAS PRODUCTION CHAIN

Rafaela Lora Grando[1]
Adelaide Maria de Antunes[2]
Fabiana Valéria da Fonseca[3]

Resumo

As emissões antrópicas de metano são um problema recorrente na atualidade. Sabe-se que é possível sua minimização através do aproveitamento de resíduos, efluente e da biomassa. Uma tecnologia disponível para este uso consicente de resíduos é a tecnologia de digestão anaeróbia que produz biogás e energia. Neste estudo, utilizou-se uma análise bibliométrica de artigos científicos para elaboração de uma revisão sobre o assunto visando suscitar uma discussão e fornecer um panorama sobre a cadeia produtiva do biogás. Através da análise da cadeia produtiva do biogás, verificou-se que o elo de insumos é o mais pesquisado, seguindo do processo de biodigestão. O elo que apresenta os maiores desafios em termos tecnológicos foi o de purificação. Quanto aos países mais engajados no aproveitamento do biogás são a China, a Alemanha e os Estados Unidos. Ressaltasse que a tecnologia de digestão anaeróbia tem aumentado de forma contínua em todo o mundo, verificado pelo acréscimo na quantidade de publicações científicas. Ademais em função de ações estratégicas governamentais, pactos ambientais realizados a nível global e pelo vislumbre das indústrias em utilizar o processo de biodigestão anaeróbia como um tratamento eficiente de resíduos e efluentes esta tecnologia tem se destacado.

Palavras-chave: Biogas. Digestão Aneróbia. Prospecção tecnológica. Revisão da literatura.

Abstract

Methane anthropogenic emissions are a recurring problem nowaday. It is known that it is possible to minimize them through the use of waste, wastewater and biomass. Due the use of waste is anaerobic digestion technology it is possible to produce biogas and energy. In this study, we used a bibliometric analysis of scientific articles for a original review of the biogas chain. Analyzing the scientific literature of biogas and anaerobic digestion, it was found that the input link is the most studied, following the digestion process. The link that presents the greatest challenges in terms of technology was the purification. The most engagede country in biogas utilization are China, Germany and the United States. It is emphasized anaerobic digestion technology is raising continuously throughout the world, verified by the increased of scientific publications. Furthermore due to government strategic, environmental impacts at

[1] Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em processos químicos e bioquímicos, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil; . Endereço eletrônico rafaelalg@hotmail.com Telefone de contato: (021) 997885967
[2]Professora Emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro; Especialista Sênior, Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), Rio de Janeiro, Brasil;
[3]Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

APÊNDICE B

Rev Environ Sci Biotechnol
DOI 10.1007/s11157-017-9428-x

REVIEW PAPER

A state of the art literature review on anaerobic digestion of food waste: influential operating parameters on methane yield

Dimitrios Komilis · Raquel Barrena · Rafaela Lora Grando · Vasilia Vogiatzi · Antoni Sánchez · Xavier Font

© Springer Science+Business Media Dordrecht 2017

Abstract A thorough literature review was conducted to investigate the behaviour of food waste in anaerobic digestion experiments. The main goal of this literature review was to study the effect of several operating parameters on methane yields and to develop a simplified regression equation to predict methane generation. Using a data prospection methodology, all the papers published within 2013–2015 that contained selected keywords were included in this study (a total of 613 papers). After screening, 167 papers were finally retrieved using the search engines and our methodology. From these papers, data from 231 experiments were recorded and evaluated. The parameters recorded in each paper were: operation mode (batch or continuous), temperature (mesophilic or thermophilic), moisture content (wet or dry), presence or absence of pretreatment, reactor scale (laboratory, bench, pilot, demonstration/full scale), presence or absence of co-substrates (co- or mono-digestion), organic loading rate, hydraulic retention time (HRT) and methane yield. The novelty of the work is that it employed various statistical tools to examine the effect of the above-mentioned factors on food waste methane generation. Most of the experiments were performed at mesophilic temperatures, at a wet system without substrate pretreatment. An equal number of papers described mono-digestion and co-digestion studies, and an equal number of papers described batch and continuous reactor experiments. The mean HRT for the continuous processes was 36.7 days. Statistical analysis indicated that the parameters that significantly affected methane yields were the "operation mode" and "pretreatment". A best reduced regression model was fitted to the methane yield data to describe the above effects. As a general conclusion, with this methodology, that involved the analysis of a large number of studies (with different conditions and set-ups, heterogeneous waste, etc.), correlations between some typical operating parameters of anaerobic digestion and methane yields were not obvious.

Keywords Biogas · Anaerobic digestion · Food waste · Statistical analysis · Regression modelling

Electronic supplementary material The online version of this article (doi:10.1007/s11157-017-9428-x) contains supplementary material, which is available to authorized users.

D. Komilis · R. Barrena · A. Sánchez · X. Font (✉)
Composting Research Group, Department of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain
e-mail: xavier.font@uab.cat

D. Komilis · V. Vogiatzi
Department of Environmental Engineering, Democritus University of Thrace, Vas. Sofias 12, 671 32 Xanthi, Greece

R. L. Grando
School of Chemistry, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

Published online: 13 April 2017

APÊNDICE C

Renewable and Sustainable Energy Reviews 80 (2017) 44–53

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development

Rafaela Lora Grando[a], Adelaide Maria de Souza Antune[a,b], Fabiana Valéria da Fonseca[a], Antoni Sánchez[c], Raquel Barrena[c], Xavier Font[c,*]

[a] Universidade Federal do Rio de Janeiro, School of Chemistry, Rio de Janeiro, Brazil
[b] Instituto Nacional de Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, Brazil
[c] Composting Research Group, Department of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193Bellaterra, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:
Biogas
Technology prospection
Anaerobic digestion
Organic waste
Renewable energy

ABSTRACT

Anaerobic digestion (AD) technology is used commercially around the world, especially in Europe, which has set some challenging targets to diversify its energy mix with more renewable energy. This study intends to demonstrate, through technology prospecting, the relation between academic research (published articles) and technology development (patent applications) evolved from 1990 to 2015. Published articles were classified under the topics and wastes they cover, which include manure, agricultural and food waste, wastewater, sewage sludge and the organic fraction of municipal solid waste, with the last of these often being associated with co-digestion processes. Meanwhile, the patents in the area are mostly for equipment of the AD process and new methods or means of purifying the biogas obtained. It was found that the patents filed in Europe tend to protect their innovations only occasionally in countries outside the EU. Germany is the clear leader in all the areas of research and the commercial applications of the technologies, followed by Italy, Spain and Sweden. This study also demonstrates the immense potential of biogas throughout Europe, not just for energy generation, but also as a fuel and a by-product of the treatment of different kinds of waste.

1. Introduction

In 1630, Jan Baptist van Helmont (1580–1644), pointed that organic material in decomposition produced flammable gases. Some years later (1776), Alessandro Volta (1745–1827) discovered methane by collecting gas emerging from Lake Maggiore (Italy) and in 1804, John Dalton (1766–1844) established the chemical constitution of methane [1]. The concept of anaerobic digestion has been introduced around 1870 with the development of the septic tank system by Jean-Louis Mouras. It was Louis Pasteur (1822–1895) who reported that biogas could be used for heating and lighting. Indeed, in 1895 Donald Cameron design led to light up the streets of Exeter (England). Biogas development presented an inflection point in the energy shortages of the Second World War and during petroleum crisis in 1970. From then to now, anaerobic digestion has been studied, microbiologically identified and converted into a technology that, nowadays, is being used either for the treatment of wastewaters and solid wastes. In this sense, anaerobic digestion (AD) has become an interesting alternative for energy production, not only for the environmental advantages, of using waste as a raw material to produce biogas and a high-quality fertilizer (digested material) as its main products, but also for their relative low cost when compared to other techniques [2]. In fact, any kind of biomass has potential to be a substrate for biogas production as long as they contain carbohydrates, proteins, fats, cellulose and hemicelluloses as main components [3].

Briefly, anaerobic digestion is a biological process running under anaerobic conditions (strict absence of oxygen) in which a consortium of microorganisms breaks down complex biodegradable organic matter to methane 50–80%) and carbon dioxide 30–50%): biogas. Consequently, biogas can be used as a valuable energy source 5.5–7 kWh/m^3 of biogas).

According to De Baere and Matthiessen [4], AD is not a new technology. It was already known in the 17th century, but it was only in the 1980s that it started to be used more widely for treating industrial and municipal wastewater, sewage sludge or municipal solid waste. As it is now a mature technology, it could be key to reducing organic waste, recovering the energy contained in biomass, and generating biofuels and energy [5].

* Corresponding author.
E-mail address: xavier.font@uab.cat (X. Font).

http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.039
Received 12 May 2016; Received in revised form 16 February 2017; Accepted 17 May 2017
1364-0321/ © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

APÊNDICE D

Scientific Research Publishing

Journal of Environmental Protection, 2017, 8, 120-130
http://www.scirp.org/journal/jep
ISSN Online: 2152-2219
ISSN Print: 2152-2197

Mapping of the Use of Waste as Raw Materials for Biogas Production

Rafaela Lora Grando[1*], Fabiana Valeria da Fonseca[2], Adelaide Maria de Souza Antunes[2,3]

[1]Graduate Program in Chemical and Biochemical Processes, School of Chemistry, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
[2]Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
[3]Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), Rio de Janeiro, Brazil
Email: *rafaela.lora.grando@gmail.com

How to cite this paper: Grando, R.L., Fonseca, F.V. and Antunes, A.M.S. (2017) Mapping of the Use of Waste as Raw Materials for Biogas Production. *Journal of Environmental Protection*, **8**, 120-130.
https://doi.org/10.4236/jep.2017.82010

Received: July 22, 2016
Accepted: February 7, 2017
Published: February 10, 2017

Copyright © 2017 by authors and Scientific Research Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

Abstract

Anthropic methane emissions can largely be prevented or minimized using technologies that are already available. One such technology is anaerobic digestion (AD), which is used commercially around the world, especially in Europe and the United States, where some challenging targets have been set to diversify the energy mix with more renewable energy. This foresight study was designed to identify which technological solutions out of the many options available for biogas production are attracting most interest, for which purpose patent documents and scientific publications were analyzed. The aim is to identify which raw materials are most attractive for AD and biogas production. It was found that the raw materials that have attracted most research and patenting activity are sludge, sewage, and wastewater, livestock waste, and agriculture waste, which together account for 62% of all the patents filed and 74% of all the scientific publications. The countries most engaged in producing biogas from AD plants are China, Germany, and the United States. We also identified a rising trend in the use of biogas around the world, and a steady increase in the number of patents filed on the subject, especially in Japan and South Korea. This growth is driven, amongst other things, by strategic governmental actions, global environmental pacts, and the realization on the part of industry that anaerobic digestion can be used as an efficient method for treating waste and effluents.

Keywords

Anaerobic Digestion, Biogas Production, Investigative Overview, Raw Material

1. Introduction

The development of sustainable technologies that combine the use of waste ma-

APÊNDICE E

TECHNOLOGY FORESIGHT OF THE BIOGAS PRODUCTION CHAIN: STATE-OF-THE-ART ANALYSIS

R.L. GRANDO*, A.M.R.S. ANTUNES** AND F.V. da FONSECA°

** School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil*
*** National Institute of Intellectual Property (INPI), Rio de Janeiro, Brazil*
° School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

SUMMARY: Since the 1980s, and more intensively since the signing of the Kyoto Protocol in the late 1990s, many initiatives to harness the potential of biomass to produce energy, reduce waste production, and minimize greenhouse gas emissions have been proposed. The main greenhouse gases are carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4), the latter of whose global warming potential is at least 20 times greater than that of CO_2. Anthropic methane emissions can largely be prevented or minimized using technologies that are already available. This technology foresight study was conducted to investigate prospects in the use of waste matter and biomass to generate biogas and consequently energy. We conducted a literature review of scientific articles to map out the discussions underway and trace the main links in the biogas production chain. The aim of this study is to give an overview of the state of the art and identify the main research and new technological solutions in anaerobic digestion (AD) developed in the last decade. We found that the inputs (feedstock) link is what attracts most research, followed by AD processes. The weakest link in the chain is biogas purification, presenting the greatest technological challenges yet to be overcome. The countries most engaged in producing biogas from AD plants or capturing landfill gas are China, Germany, and the United States. We also identified a rising trend in the use of biogas around the world, and a steady increase in the number of scientific publications on the subject. This growth in research and studies has particularly been driven by strategic governmental actions, global environmental pacts, and the realization on the part of industry that anaerobic digestion can be used as an efficient method for treating waste and effluents.

1. INTRODUCTION

The world is going through an unprecedented period of change and ecological awareness. Universities and public and private entities, under pressure from society and the latest concepts on sustainability, are engaged in a constant quest for new measures to reduce environmental impacts and minimize the harmful effects of the actions of man.

One landmark in this paradigm shift was the signing of the Kyoto Protocol in 1979, in which, through the Clean Development Mechanism (CDM), many measures designed to reduce the emissions of harmful gases into the environment were developed. The CDM has fostered several initiatives, including the harnessing of waste gases given off by landfills. These gases are released

Proceedings Sardinia 2015, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium
S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 – 9 October 2015
© 2015 by CISA Publisher, Italy

APÊNDICE F

XCBPE
CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da informação na integração dos recursos
26 a 28 de setembro de 2016
Gramado – RS

Monitoramento tecnológico do processo de Biodigestão Anaeróbia e produção de Biogás: Documentos de patentes como fonte de informação

RESUMO

A tecnologia de digestão anaeróbia (DA) para produção de biogás e tratamento de resíduos já é bastante difundida, contudo nas últimas décadas seu uso tem aumentado consideravelmente. Através da DA, resíduos de natureza orgânica são convertidos em um mistura gasosa composta majoritariamente por gás metano que pode ser utilizado como fonte de energia. Diante dos benefícios ambientais, sociais e econômicos oferecidos pela DA e o biogás um estudo de natureza prospectiva se faz necessário como uma ferramenta importante para monitoramento do estado da arte desta tecnologia. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar o processo de DA e a produção de biogás através de uma análise dos documentos de patentes, que são uma importante fonte de conhecimento. Para tanto foi utilizada a base norte-americana, de livre acesso, The Lens®. A busca foi feita utilizando-se palavras-chaves no período de 1937 a março de 2016. Deste estudo, inferiu-se que os Estados Unidos são o mercado protegido alvo dos depósitos de patentes, além do que, os principais documentos citados como embasamento para novos depósitos também são norte-americanos. China, o Japão a Alemanha e a Coreia também são mercados onde o biogás e a DA têm se desenvolvido de maneira mais intensa. No Brasil, foram recuperados apenas 43 pedidos indexados nesta base o que mostra que o país ainda não está explorando sua plena capacidade. Quanto aos pedidos de

APÊNDICE G

ID.13461

AUTOR(ES): RAFAELA LORA GRANDO, ADELAIDE MARIA DE SOUZA ANTUNES, FABIANA VALÉRIA DA FONSECA

TÍTULO: PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS: ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Resumo: Sob a perspectiva de aproveitamento de resíduos para geração de biogás, utilizou-se uma análise bibliométrica de documentos de patentes e artigos científicos para fornecer um panorama do estado da arte, as novas soluções tecnológicas parao processo de biodigestão anaeróbia. Na análise da cadeia o elo insumos para o processo, e o elo de purificação do biogás são os mais estudados. Quanto aos países mais importantes Alemanha, a China, os Estados Unidos.