

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM ENERGIA DA BIOMASSA**

FRANCIRLEY PAZ DA SILVA

**CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS
PROVENIENTE DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**MACEIÓ
2015**

FRANCIRLEY PAZ DA SILVA

**CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS
PROVENIENTE DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof. Dra. Roberta Lopes Vilhena
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lira

**MACEIÓ
2015**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

S586c Silva, Francirley Paz da.
Classificação taxonômica das características do biogás proveniente das estações de tratamento de esgoto para geração de energia elétrica / Francirley Paz da Silva.– 2015.
69 f. : il.

Orientadora: Roberta Lopes Vilhena.

Coorientador: Guilherme Bastos Lira.

Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2015.

Bibliografia: f. 65-69.

1. Estação de tratamento de esgoto (ETE). 2. Geração de energia elétrica. 3. Reator UASB. 4. Biogás. 5. Algoritmos. I. Título.

CDU: 620.95

FRANCIRLEY PAZ DA SILVA

**CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS
PROVENIENTE DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof. Dra. Roberta Lopes Vilhena
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra


Prof.ª Drª Roberta Lopes Vilhena - Orientadora



Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra – Co-orientador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM

Membro Titular


Prof. Dr. ELTON LIMA SANTOS
Membro Titular


Prof. Dr. SANDRO CORREIA DE HOLANDA
Membro

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu futuro, meu guia, socorro presente nas horas difíceis, a minha esposa Vera e ao meu filho Filipe, minhas motivações na realização desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar. Meu refúgio e minha fortaleza, meu alto retiro e meu libertador, escudo meu, em quem me refúgio (Salmos 144:2). Não me desamparou em nenhum momento.

A minha orientadora, Prof.^a. Roberta Lopes Vilhena, que confiou em mim, que com sua competência e disponibilidade me ajudou a superar grandes obstáculos na realização desse trabalho.

Ao Prof. Guilherme Bastos Lyra, por se mostrar disponível e acessível nas horas em que precisei de seu apoio e por aceitar prontamente o convite para ser meu co-orientador.

Aos professores Iedo Teodoro e Ricardo Araujo, meus sinceros agradecimentos pela grande contribuição nas atividades acadêmicas.

Aos membros da banca examinadora o meu muito obrigado pelas colocações e sugestões apresentadas, foram imprescindíveis para a finalização deste trabalho.

A todos os professores e os funcionários da Secretaria de Pós-graduação do CECA, sempre acessíveis e resolutivos nos momentos de que precisei durante o curso de mestrado.

Agradeço a minha mãe que me ensinou os primeiros passos, deu seu exemplo e soube cultivar os valores morais essenciais para o sucesso em todos os meus projetos.

Agradeço a minha esposa, Vera Paz, pelo tempo que lhe roubei, em tantos momentos em que estive dedicando a este trabalho. Sem os incentivos dela, jamais concluiria este mestrado.

Agradeço aos meus líderes Pr Jadsom e Pra Roseane, um ombro amigo na minha vida que me estimulou a nunca desistir dos meus sonhos.

A minha amiga Ana Paula, que pela sua pela presteza e disponibilidade em contribuir significativamente com esse trabalho.

Agradeço ao Jorge Raimundo, pela grande ajuda que me dispensou nessa dissertação.

A todos que, de alguma forma, foram essenciais para a realização deste trabalho, sou imensamente grato.

Os homens podem preparar seus cavalos para o dia da batalha, más somente
Yahweh, o Senhor é quem dá a vitória.

(Provérbios 21.31)

RESUMO

A elevação da participação dos combustíveis fósseis na matriz energética nacional, tem demandando uma busca cada vez maior por fontes renováveis. O biogás, gerado nas estações de tratamento de esgoto apresenta-se com uma importante contribuição na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. Nesse trabalho foi desenvolvido um aplicativo computacional baseado em algoritmos taxonômicos, cuja proposta é mostrar os resultados de seleção das ETEs, que apresente os melhores indicativos para a produção de energia elétrica a partir do biogás gerado nessas estações. A apresentação desses resultados é mostrada em uma estrutura taxonômica, em forma de árvore, que pode variar conforme o algoritmo selecionado no aplicativo. O experimento desenvolvido também mostrou o algoritmo mais adequado nas diversas simulações de caso proposta. A maturação desse trabalho se propõe então em auxiliar na tomada de decisões para futuros gestores de empreendimentos de geração de energia elétrica a biogás, que de uma forma gráfica, possa ter os dados classificados com critérios previamente escolhidos sobre perspectivas definidas na priorização de critérios técnicos e econômicos.

Palavras-chaves: ETE. Geração de Energia Elétrica. Reatores Uasb. Biogás. Algoritmos.

ABSTRACT

The rise in the share of fossil fuels in the national energy matrix, is demanding an increasing search for renewable sources. The biogas generated in the wastewater treatment plants is presented with an important contribution in electricity production from renewable sources. A computer-based application taxonomic algorithms, whose purpose is to show the results of selection of STPs, to submit indicative best for the production of electricity from biogas generated in these plants that work was carried out. The presentation of these results is shown in a taxonomic structure, tree-like, which can vary depending on the selected algorithm in the application. The designed experiment also showed the most appropriate algorithm proposed in the different case simulations. The maturation of this work proposes then to assist in decision-making for future managers of enterprises of electricity generation biogas, which in a graphic way, may have the sorted data with criteria previously chosen on perspectives defined in the prioritization of technical criteria and economic.

Keywords: Waste Water Treatment Plant. Electric Power Generation. UASB reactors. Biogas. Algorithms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Perfil da matriz elétrica brasileira em 2014	18
Figura 1.2 - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto – 2000/2008....	19
Figura 2.1 - Bacias de esgotamento sanitário da cidade de Maceió	26
Figura 2.2 - Espacialização das estações elevatórias de esgoto da cidade de Maceió	27
Figura 2.3 - Esquema de tratamento de esgoto	30
Figura 2.4 - Esquema de reator UASB e partes constituintes.	31
Figura 2.5 - Fases da digestão anaeróbia.	34
Figura 2.6 - Fórmula Estrutural da Siloxina	39
Figura 2.7 - Esquema de uma microturbina.	42
Figura 2.8 - Microturbina de 30KW Capstone.	42
Figura 2.9 - Motores movidos a biogás: (a) Cummins; (b) General Electric.	44
Figura 3.1 - Representação de uma Árvore Filogenética	48
.....	48
Figura 3.2 - Representação do Algoritmo da Exclusão e Inclusão	52
Figura 3.3 - Árvore filogenética construída pelo primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) execução do 1º passo do algoritmo das médias para as espécies da Tabela 3.5.	53
Figura 3.4 - Representação gráfica do Algoritmo de Wagner	55
Figura 4.1 - Arquitetura do software proposto	56
Figura 4.2 - Tela de entrada – seleção do algoritmo	58
Figura 4.3 - Qualificação básica de características	58
Figura 4.4 - Arquitetura do software proposto	60
Figura 4.5 - Entrada de dados configurável	63
Figura 4.6 - Saída taxonômica configurável na árvore	64
Figura 5.1 - Árvore taxonômica da tabela binária para o caso 1	67

Figura 5.2 - Árvore taxonômica de Médias para o caso 1	68
Figura 5.3 - Árvore taxonômica de Wagner para o caso 1	69
Figura 5.4 - Árvore Multivalorada caso 1.....	70
Figura 5.5 - Árvore Multivalorada caso 1.....	70
Figura 5.6 - Árvore Binária caso 2.....	71
Figura 5.7 - Árvore taxonômica e tabela de Média caso 1	72
Figura 5.8 - Árvore taxonômica de Wagner para o caso 2	72
Figura 5.9 - Árvore Multivalorada caso 2.....	73
Figura 5.10 - Interface para Multivalorada Binária - Caso 2	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Requisitos para a Digestão Anaeróbia	33
Tabela 2.2 - Composição do biogás.....	35
Tabela 2.3 - Características e composição típicas do biogás.	36
Tabela 2.4 - Comparação entre biogás purificado e outros combustíveis.....	36
Tabela 2.5 - Técnicas de Purificação do biogás.....	37
Tabela 2.6 - Necessidade de purificação do biogás.....	40
Tabela 3.1 - Matriz polarizada sem decomposição	49
Tabela 3.2 - Matriz polarizada decomposta	50
Tabela 3.3 - Matriz característica	50
Tabela 3.4 - Matriz distância obtida a partir dos dados da Tabela 3.3 considerando que as espécies A e B tem a super-espécieS1 como ancestral direto.....	53
Tabela 3.5 - Matriz distância obtida a partir dos dados da Tabela 3.4 considerando que as espécies S1 e C tem a super-espécieS2 como ancestral direto.....	53
Tabela 3.6 - Representação Matricial do Algoritmo de Wagner.....	54
Tabela 4.1 - Dados selecionados por Estação.....	59
Tabela 4.2 - Cores da saída taxonômica.....	60
Tabela 4.3 - Dados quantificados com parâmetros ótimos	65
Tabela 4.4 - Tabela Binária para do caso 1	65
Tabela 4.5 - Tabela de dados com parâmetros híbridos	66
Tabela 4.6 - Tabela Binária para do caso 2	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica
API Application Programming Interface
CLP Controlador Lógico Programável
AIE Agência Internacional de Energia
° C Grau Celsius
CO Monóxido de Carbono
CECA Centro de Ciências Agrárias
CO₂ Dióxido de Carbono
CENBIO Centro Nacional de Referência em Biomassa
CH₄ Metano
DCS Distributed Control System
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO Demanda Química de Oxigênio
ELETROBRÁS Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE Empresa de Pesquisa Energética
ETE Estação de Tratamento de Esgoto
GEE Gases de Efeito Estufa
H₂O Água
H₂S Ácido sulfídrico
HMI Human-Machine Interface
HTU Hypothetical Taxonomic Unit
I Corrente
IDE Integrated Development Environment
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
JDK Java Development Kit
kV Quilovolt
kVarh Quilovolt-ampère-reativo-hora
kW Quilowatt
kWh Quilowatt-hora
LAN Local Area Network
MTU Master Terminal Unit

P Potência Ativa
pH Potencial Hidrogeniônico
Q Potência Reativa
RTU Remote Terminal Unit
SCADA Supervisory Control and Data Acquisition
SANEPAR Companhia Paranaense de Saneamento
SV Sólidos Voláteis
ST Sólidos Totais
SO₂ Dióxido de enxofre
TDH Tempo de Detenção Hidráulica
TC Transformador de Corrente
TP Transformador de Potencial
UPGMA Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean
UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UFAL Universidade Federal de Alagoas
V Tensão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Necessidade de geração de energia limpa	18
1.2 Motivação	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo Geral	22
1.3.2 Objetivos Específicos	23
2 REVISÃO DA LITERATURA	24
2.1 Saneamento básico	24
2.2 O Saneamento básico na cidade de Maceió	24
2.3 Tratamento do esgotamento sanitário	28
2.4 Reatores UASB	31
2.5 Princípios da digestão Anaerobia	33
2.6 Biogás	35
2.7 Rotas tecnológicas para conversão do biogás	40
2.7.1 Microturbinas	41
2.7.2 Grupo Geradores – MCI	43
2.8 Legislação Vigente (REN 482/12)	45
3 TAXONOMIA	46
3.1 O que é taxonomia?	46
3.2 Representação matemática das árvores taxonômicas	47
3.3 Matriz característica	48
3.4 Algoritmos para construção de taxonomia	50
3.4.1 Algoritmo da Exclusão e Inclusão	51
3.4.2 O Algoritmo das Médias (UPGMA).....	52
3.4.3 Algoritmo de Wagner.....	54

4 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.1 Ferramentas utilizadas.....	56
4.2 Arquitetura do software	56
4.2.1 Entrada de dados	57
4.2.2 Seleção de dados de entrada.....	57
4.2.3 Saída.....	60
4.2.4 Seleção de Dados para análise.....	61
4.3 Simulação de casos com uso do aplicativo.....	62
4.4 Caso 1 – Geração de EE com parâmetros ótimos	64
4.5 Caso 2 – Geração de EE com parametrização híbrida.....	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
5.1 Caso 1 – Árvore Binária.....	67
5.2 Caso 1 –Árvore das médias.....	68
5.3 Caso 1 – Árvore de Wagner	68
5.4 Caso 1 – Árvore Multivalorada	70
5.5 Caso 2 – Árvore Binária.....	71
5.6 Caso 2 – Árvore das médias.....	71
5.7 Caso 2 – Árvore de Wagner	72
5.8 Caso 2 - Árvore Multivalorada	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6.1 Discussões sobre os resultados	75
6.2 Trabalhos futuros.....	75
REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

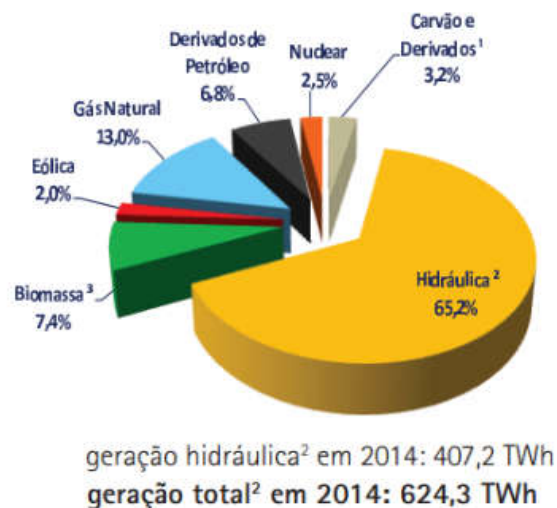
1.1 Necessidade de geração de energia limpa

Atualmente, a crise energética gerada pela dependência cada vez maior de eletricidade e o elevado custo para produção de eletricidade a partir dos combustíveis fósseis o biogás apresenta-se como alternativa por meio dos diversos processos biológicos produtores desse gás como os resíduos sólidos urbanos, dejetos de animais e outras biomassas.

De acordo com Figueiredo (2007), diminuir essa dependência de combustíveis fósseis e não renováveis ajuda alcançar soluções ambientalmente corretas, como a utilização da biomassa como fonte de energia, como também contribuirá com a matriz energética dos países.

Dados do Balanço Energético Nacional, 2014, mostram que o Brasil apresenta uma matriz predominantemente renovável, correspondendo a 74,6% da matriz energética brasileira em 2014 (Figura 1.1), isto significa que o Brasil tem um grande potencial na exploração de energia de fontes renováveis.

Figura 1.1 - Perfil da matriz elétrica brasileira em 2014



¹ Inclui gás de coqueira

² Inclui importação

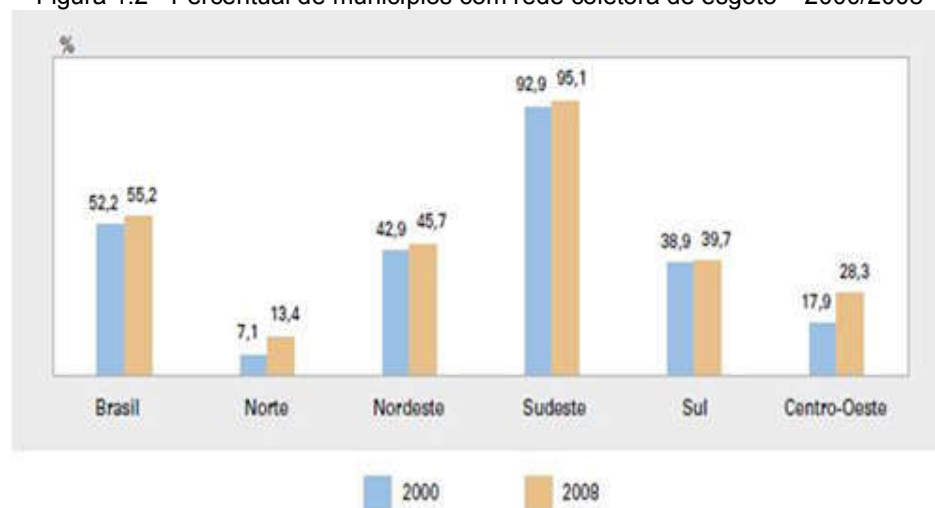
³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

Fonte: Bem (2015).

Para Justi (2013) o crescimento populacional e a crescente necessidade de preservação ambiental, as estações de tratamentos de esgotos apresentam-se com

um expressivo potencial para exploração do biogás para fins energéticos e a diversificação da matriz elétrica Brasileira. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008) no período de 2000 a 2008, houve um pequeno aumento no número de municípios com rede coletora de esgoto isto significa que apenas 28,5% dos municípios brasileiros fizeram tratamento de seu esgoto. Na figura 1.2 podemos observar quis regiões brasileiras em que as cidades possuem rede coletora de esgoto.

Figura 1.2 - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto – 2000/2008



Fonte: PNSB (2008).

Nesse cenário torna-se ainda mais importante do ponto de vista sustentável o desenvolvimento de novas fontes de energias que sejam capazes de contribuir positivamente para a redução dessa dependência da geração por combustíveis fósseis e reforçar junto ao potencial hidroelétrico a biomassa proveniente das estações de tratamento de esgoto, uma vez que os resíduos sempre serão gerados pela espécie humana e podendo transformá-los em biomassa utilizável aumentando a oferta de energia o que contribuirá para a redução da alta dos preços da energia elétrica.

Evidencia-se atualmente um panorama de escassez de água nos reservatórios das empresas de geração de energia elétrica, criando em nível emergencial, uma total dependência da geração termoelétrica a partir dos

combustíveis fósseis, o que pode justificar a alta dos preços da energia, causando implicações socioeconômicas adversas.

Nesse cenário torna-se ainda mais importante do ponto de vista sustentável o desenvolvimento de novas fontes de energias que sejam capazes de contribuir positivamente para a redução dessa dependência da geração por combustíveis fósseis, uma vez que os resíduos sempre serão gerados pela espécie humana e podendo transformá-los em biomassa utilizável aumentará a oferta de energia o que contribuirá para a redução da alta dos preços da energia elétrica.

O biogás gerado pelo tratamento anaeróbico de esgoto é um combustível que pode ser utilizado num motor de combustão interna para geração de energia elétrica em vários processos, rural ou industrial, contribuindo desta forma para redução dos custos de produção. Para Zanette (2009), dentre as tecnologias para o aproveitamento da energia gerada nas estações de esgoto, a digestão anaeróbica, através dos reatores *uasb*, vem sendo cada vez mais utilizada por permitir a extração do biogás.

Dessa forma tornou-se objeto de estudo um sistema analisador de ETEs, organizado através de um algoritmo que propõe classificar quais estações dispõem de características que as tornam elegíveis para futuras prospecções de aproveitamento do biogás para gerar energia elétrica.

1.2 Motivação

A grande quantidade de dejetos que passam pelas estações de tratamento de esgotos em sua grande maioria não utiliza o biogás que é produzido, gerando um grande desperdício dessa importante biomassa, que por sua vez é muito abundante não somente no Brasil, mas em todo mundo. E parte desta matéria-prima para estas pesquisas cruciais estão justamente nas companhias de saneamento básico. A Sanepar (Companhia de Abastecimento do Paraná) é uma referência por atuar na produção de energia limpa através de sua estação de tratamento de esgoto Ouro Verde. Neste contexto, é possível elencar o constante aprimoramento da legislação vigente, influenciando a dinâmica regulatória de certa forma as legislações relativas aos autoprodutores de energia.

Alguns fatores são considerados de grande importância para a sociedade, quanto ao aproveitamento energético do biogás nas estações de tratamento de esgotos, pois permitem grandes benefícios e de acordo com Justi (2013, p. 20), esses benefícios podem ser classificados e detalhados abaixo:

- i. **Benefícios ambientais:** Contribui para a promoção da utilização de fontes renováveis de energia, isso influencia diretamente na redução dos impactos ambientais devido aos impactos gerados por combustíveis fósseis;
- ii. **Benefícios sociais:** Um maior acesso da população ao saneamento básico, implicando em saúde pública e melhora a qualidade de vida das pessoas;
- iii. **Benefícios econômicos:** Como por meio da REN 482/12 não é possível a venda de EE por parte dos produtores de energia, as empresas de saneamento obteriam seus benefícios econômicos / financeiros através do abatimento do proporcional gerado versus os gastos associados do custo da energia consumida em kWh/mês nos locais de geração. Com isso, o “deixar de gastar” com EE se torna receita do empreendimento, a qual pode ser redirecionada para um melhor uso da empresa em outros setores de interesse. É importante ressaltar que diante da REN 482/12, realizar tratamento de esgotos se torna um negócio atrativo, beneficiando diretamente a qualidade dos recursos hídricos. Sendo assim, observa-se que há uma relação estreita entre o bloco econômico e o bloco ambiental;

Embora poucas pesquisas tenham sido desenvolvidas no Brasil até o momento há boas perspectivas para o futuro. De acordo com Macedo (2010, p.6), no Brasil, “ainda são poucos os exemplos de estações de tratamento de efluentes que utilizam o biogás como [...]” fonte renovável de energia. Neste sentido, ressalta-se que o uso de biogás proveniente de ETE urbanas, além de reduzir as emissões do gás metano e gerar uma forma de energia renovável, propicia a criação de políticas que aproveitem o biogás e assim, contribuem para melhorar o saneamento básico no Brasil.

Nessa pesquisa será abordada a importância de se quantificar em termos práticos o potencial que uma estação de tratamento de esgotos e contribuir de forma que seja possível fomentar a diversificação da matriz energética brasileira através de energias renováveis com uma concepção metodológica baseada em técnicas de simulação computacional capazes de criar cenários muito próximos da realidade, uma vez que esses simuladores já possuem características de um verdadeiro laboratório virtual. A utilização de ferramental computacional apropriado pode ser um importante redutor de custos e de tempo, com isso será possível qualificar a viabilidade de um determinado projeto de geração de energia dentro dos padrões de micro e mini geração já com as possíveis inferências relacionadas em todas as

etapas do projeto que visa gerar energia elétrica de qualidade a partir do biogás proveniente do esgoto das estações de tratamento.

A CASAL, Companhia de Saneamento de Alagoas, como gestora das Estações de Tratamento de Esgoto de Alagoas, dispõe de uma considerável disposição da matéria-prima, com um total de 26 ETEs, que poderá ser utilizada para o aproveitamento do biogás e conseqüentemente a geração de energia elétrica. Para tanto, serão necessários alguns critérios para identificar quais estações apresentam as melhores condições técnicas e econômicas para que esse empreendimento seja viável, visto que toda a produção de energia elétrica gerada, que não for consumida na própria estação poderá ser injetada na rede de distribuição da concessionária, trazendo para a distribuidora de energia melhorias na rede, como alívio do carregamento nas linhas de distribuição, melhoria dos níveis de tensão.

A utilização de ferramentas de simulação de projetos aliadas ao estudo do potencial de geração de biogás, permite a interação com dados reais com o ambiente virtual, o que passa a ser um importante laboratório de testes com uma visão muito próxima do mundo real, permitindo quantificar a viabilidade e os impactos com a geração de eletricidade proveniente dessa biomassa.

Com isso, o presente trabalho propõe um modelo de análise da viabilidade técnica e econômica utilizando de uma árvore taxonômica com o esquema de classificação de suas características verificadas em cada ponto de produção de biogás, o que simplifica a complexa tarefa de avaliação de projetos de geração de energia, utilizando-se de algoritmos de análise de otimização e sensibilidade, analisando assim os melhores empreendimentos que possam gerar energia elétrica através dessa metodologia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Efetuar a taxonomia, através de um algoritmo computacional o potencial de geração do biogás gerado nos reatores anaeróbicos de uma estação de tratamento de esgoto, utilizando-se de ferramenta computacional para o auxílio na tomada de decisão, visando a prospecção de unidade de geração de eletricidade mostrados

através de uma árvore taxonômica correspondente a cada estação de tratamento em estudo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar após simulação com aplicativo computacional os pontos de produção ótima estimada do biogás, de forma a servir de subsídio na tomada de decisão visando a escolha dos pontos estratégicos para empreendimentos geradores de energia elétrica a partir do biogás.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Saneamento básico

A Lei Nacional de Saneamento Básico, Lei 11.445 (BRASIL,2007) define premissas que visem a implantação e ampliação dos serviços e ações de saneamento básico nas áreas ocupadas pela população. Essas áreas, na maioria das vezes, carentes dos serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e drenagem urbana, além das precárias condições da habitação, apresentam-se como locais propícios ao desenvolvimento de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado.

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) define saneamento ambiental como:

O conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (BRASIL, 2004a, p. 14).

Neste sentido, como a poluição dos recursos hídricos causados pelo esgoto bruto (sem tratamento) é um dos maiores causadores de poluição da água e dos problemas de saúde relacionados à falta de saneamento nesse país, o tratamento de efluentes vem evoluindo e ganhando contribuições tecnológicas importantes, uma vez que as restrições legais para o seu lançamento são cada vez mais exigentes, e segue rigorosos parâmetros ambientais (CETESB, 2010).

Como uma alternativa sustentável e ecologicamente correta, nesse contexto já existem diversas tecnologias disponíveis para o aproveitamento do biogás gerado nas estações de tratamento de efluentes, que além do beneficiamento energético dessa matéria prima abundante, também coopera para uma disposição adequada dos resíduos, estabelecendo melhores níveis de qualidade para o meio ambiente e para a sociedade em geral.

2.2 O Saneamento básico na cidade de Maceió

Foi criado em 1945 o Serviço de Águas e Esgotos de Maceió (SAEM) com a implantação do Sistema Catolé – Cardoso. Constituiu-se como uma autarquia estadual embora atendesse somente a capital. Em 1962 foi criada a Companhia de

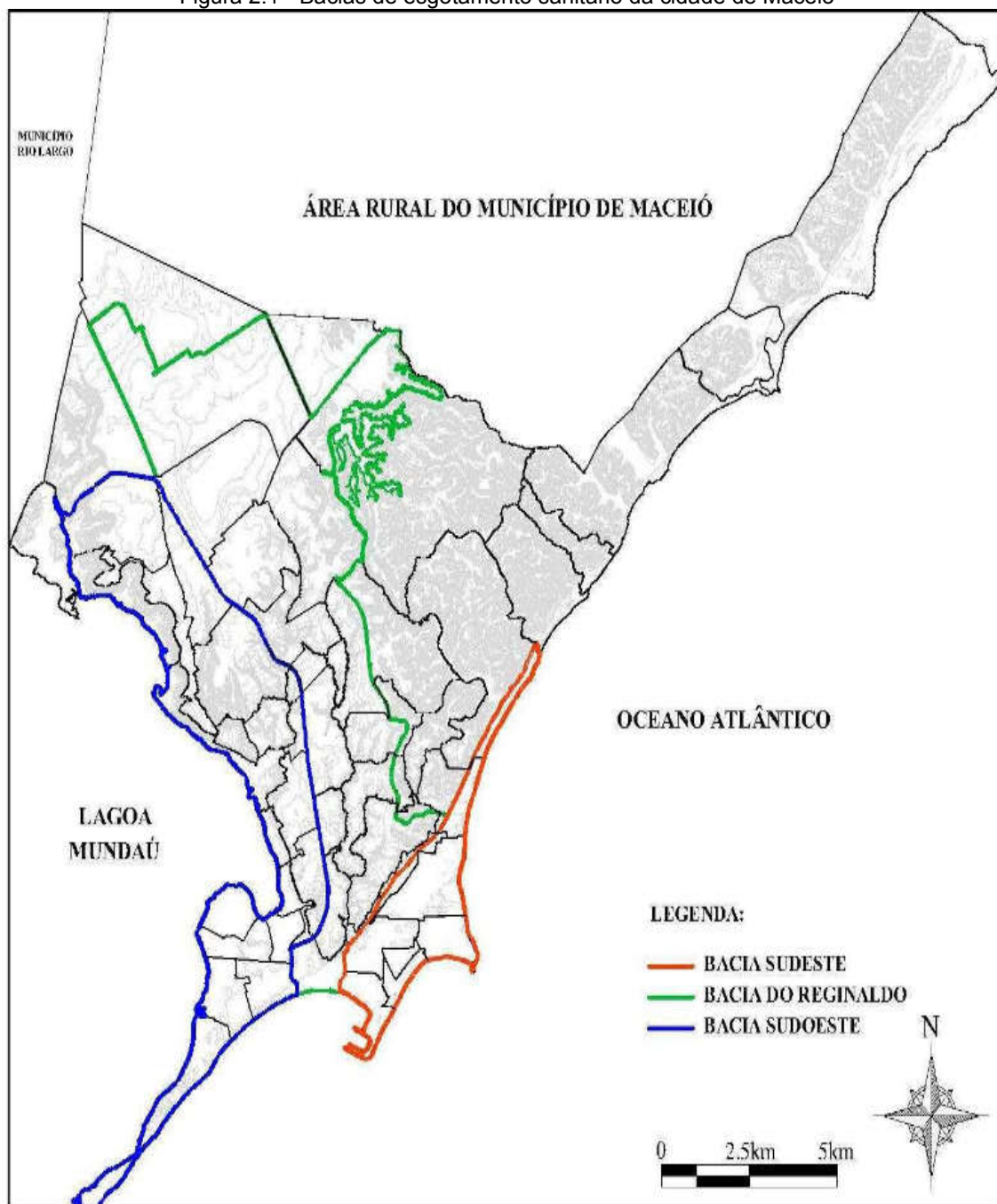
Abastecimento de Água e Saneamento do Estado de Alagoas (CASAL), que incorporou o SAEM em janeiro de 1971, e tinha o objetivo de atender a todo o Estado (MACEIÓ; IBAM, 2005).

Atualmente, os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são prestados pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), a antiga Companhia de Abastecimento de Água e Saneamento do Estado de Alagoas, que atende a 75% e 15%, respectivamente, da população urbana do Estado. Em 30 de julho de 2009 foi sancionada a Lei nº7.081, que institui a política estadual de saneamento básico, disciplina o consórcio público e o convênio de cooperação entre entes federados.

O serviço de esgotamento sanitário na cidade de Maceió tem uma rede coletora que atende apenas 27%, dentre ligações particulares e públicas, com 28.952 ligações ativas e um volume de esgoto coletado e tratado de 10.886m³/ano Casal (2010).

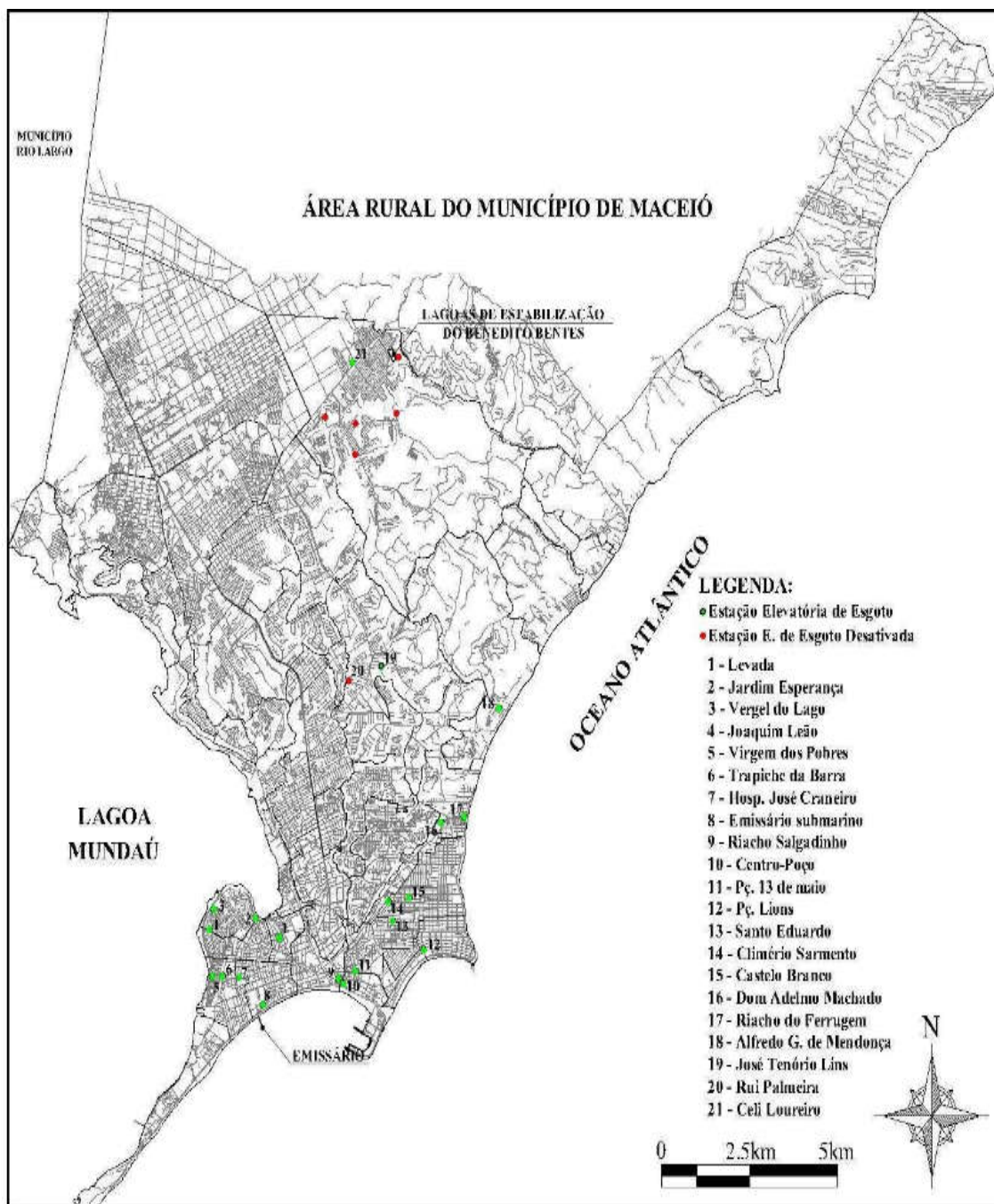
Na atualidade, o sistema de coleta e tratamento do esgoto sanitário na cidade de Maceió mantém as características do sistema proposto em 1971, utilizam-se as três bacias de drenagem natural: bacia Sudeste, bacia do Reginaldo, bacia Sudoeste (figura 2.1). O sistema de disposição oceânica de esgoto sanitário é a principal solução tomada pela cidade para a planície litorânea e lagunar e parte dos bairros do Farol e Serraria. Um outro sistema foi implantado na década de 1980 na região de tabuleiros da cidade, as lagoas de estabilização do Benedito Bentes, e ainda são utilizados sistemas isolados, cada um deles discutidos a seguir. Na Figura 2.1, é possível identificar a distribuição georreferenciada da rede de esgoto da cidade de Maceió, onde a malha de distribuição do esgotamento sanitário é formada pela Bacia Sudeste, Bacia do Reginaldo e Bacia Sudoeste.

Figura 2.1 - Bacias de esgotamento sanitário da cidade de Maceió



Fonte: Companhia de Saneamento de Alagoas, 2010

Figura 2.2 - Espacialização das estações elevatórias de esgoto da cidade de Maceió



Fonte: Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), 2010.

A figura 2.2 apresenta as áreas atendidas com rede coletora de esgoto (RCE) na cidade de Maceió, com a ampliação do sistema a rede coletora de Maceió deverá atender a cerca de 40% da população, dentre ligações de particulares e pública.

2.3 Tratamento do esgotamento sanitário

Os resíduos de esgotamento sanitários são compostos tanto de frações gasosas (biogás) quanto sólidas (lodo de esgoto). Primeiramente, este tratamento é composto por diversos processos que, em cada etapa, diminuem o poder de poluição do esgoto antes do retorno à natureza.

Na pesquisa realizada por Leite (2013), os processos de tratamento biológico de efluentes são elaborados de forma a acelerar os mecanismos de degradação biológica que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Entretanto, a decomposição dos poluentes orgânicos biodegradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores e mais definidas do que nos sistemas naturais, fazendo-se uso de reações bioquímicas realizadas por microrganismos. Para que os resíduos derivados do tratamento de esgoto sejam empregados como insumos energéticos, primeiramente deve-se observar que a quantidade de resíduos gerada seja suficiente, onde todo o processo de captação e disposição final do resíduo disponha de mecanismos adequados para tal finalidade. Sendo assim importante a compreensão das etapas iniciais e finais em estação de tratamento de esgoto.

A figura 2.3 abaixo apresenta as etapas de tratamento do esgoto dentro de uma estação de tratamento, desde a chegada do esgoto bruto até o retorno do esgoto já tratado para os rios e utilização do lodo para agricultura ou aterro sanitário.

Ainda de acordo com a Figura 2.3, a remoção dos sólidos no esgoto bruto, pode ser grosseira ou fina, sendo todas as etapas descrita a seguir:

- gradeamento grosseiro: é uma unidade formada por uma de uma série de barras paralelas, igualmente espaçadas, e que servem para reter os sólidos de diâmetros consideráveis. O gradeamento fino pode ser feito por peneiras ou por barras de espaçamento inferior, sendo o dimensionamento da grade depende das características da unidade ou equipamento que a segue e também com o tamanho mínimo do sólido que pode ser removido dos efluentes. Na prática entre barras aplica-se o distanciamento de 2 a 10 cm. Esses sólidos retidos no gradeamento podem de funcionamento manual ou mecanizada.

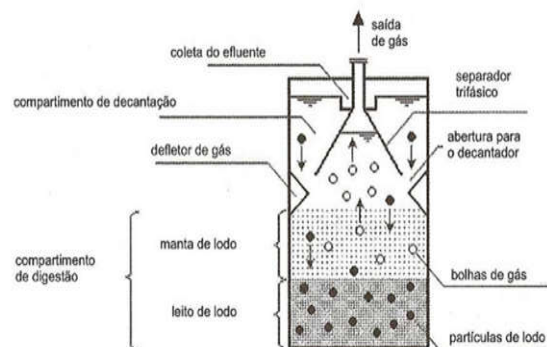
- desarenador é o equipamento, cuja operação pode ser hidráulica ou mecânica e serve para fazer a retirada da areia por sedimentação. Este mecanismo opera da seguinte forma: os grãos de areia, devido suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão seguindo para a etapa seguinte. A finalidade da remoção da areia é para evitar abrasão nos equipamentos e tubulações, reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, facilitar o transporte do líquido e principalmente a transferência do lodo, suas diversas fases.
- Decantador primário: separa o sólido (lodo) do líquido (efluente bruto) por meio da sedimentação das partículas sólidas.
- Tanques de aeração: tem por finalidade a remoção da matéria orgânica por meio de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos aeróbios, (bactérias, protozoários e fungos), de tal forma que o material orgânico, através dos microrganismos, é convertido em gás carbônico, água mineral celular.
- Decantadores secundários: nessa etapa ocorre a clarificação do efluente e o retorno do lodo, o efluente líquido oriundo do decantador secundário diretamente para o corpo receptor ou reaproveitado para funções menos nobres, tais como lavagens de rua e rega de jardins.
- Adensadores de gravidade: tem por finalidade reduzir o volume do lodo proveniente do decantador, tornando-se mais denso, com maior concentração de sólidos. Essa redução de volume é necessária para melhorar a eficiência do processo de desidratação do lodo em filtros prensa, centrífugas ou leitos de secagem.
- Digestores: essa fase tem as finalidades de destruir ou reduzir os microrganismos patogênicos, estabilizar total ou parcialmente substâncias instáveis, reduzir o volume do lodo através da liquefação, gaseificação e adensamento e aproveitar o lodo depois dessas fases como fonte de húmus, isto é fertilizante orgânico. Nessa fase com a ausência do oxigênio, as bactérias degradam os carboidratos, proteínas e lipídios transformando-os em ácidos voláteis, e as bactérias metanogênicas convertem grande parte desses ácidos em gases, o biogás, cuja concentração principal é o metano.

2.4 Reatores UASB

De acordo com Pecora, (2006) o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), foi desenvolvido na década de 70 pelo Dr. Gatzke Lettinga e colaboradores na universidade Wageningen na Holanda. Seu projeto inicial foi desenvolvido para o tratamento de efluentes industriais, no Brasil o estado do Paraná tem sido pioneiro na utilização desse reator desde a década de 80. As principais empresas de pioneiras em fazer uso dessa tecnologia são a SANEPAR no Paraná e em São Paulo (CETESB). Portanto, segundo Lettinga (2005), os reatores UASB é a principal ferramenta tecnológica para o tratamento anaeróbio, e é opção mais evidente atualmente para o tratamento principal das águas residuárias. Estes reatores participariam de um sistema de produção de recursos aproveitáveis para a sociedade, na medida em que os reatores anaeróbios removem grande quantidade da matéria orgânica afluyente e geram subprodutos úteis.

O elemento diferencial e mais característico do reator UASB é o separador de fases (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994), que subdivide em três zonas ou compartimentos o reator: a zona de digestão, a zona de sedimentação ou decantação e a zona de convergência e desprendimento do biogás. O fluxo ascensional ao atingir o separador trifásico deve ser composto idealmente por uma mistura de efluente líquido tratado, poucas partículas de lodo carregadas e bolhas de biogás geradas. Assim sendo, a razão de ser do dispositivo separador trifásico é o direcionamento independente das bolhas do biogás contidas na massa líquida, de tal forma que o fluxo líquido adentre em uma zona propícia à decantação, criada no extremo superior do reator (CHERNICHARO, 2007).

Figura 2.4 - Esquema de reator UASB e partes constituintes.



Fonte: Chernicharo (2007).

Os reatores UASB congregam duas características fundamentais ao tratamento biológico, quais sejam, elevados tempos de retenção da biomassa e baixos tempos de detenção hidráulica (CHERNICHARO, 2007). Tais propriedades são conseguidas graças ao fluxo hidráulico ascendente e a elementos internos que fazem uma separação eficiente das três fases existentes no interior do reator (sólida, líquida e gasosa). De acordo com a figura 2.4 o elemento chave neste processo é o separador trifásico, o qual se localiza na parte mais superior do reator e o divide em duas zonas de separação, uma sólido/líquido (zona de decantação) e outra líquido/gás (interior do separador). O efluente final sai a partir de uma dada altura na zona de decantação e o gás gerado sai através da interface líquida/gasosa no interior do separador. De acordo com o Probiogás (2014), pode-se enumerar algumas vantagens desse tipo de reator:

- Devido ao alto teor de biomassa, normalmente pode-se alcançar um volume de carga de DQO de 8 até 15 kg/ (m³.dia), ou seja, um sistema compacto e com bom custo-benefício.
- Sistema robusto e durável, considerando-se que não há peças móveis (por exemplo agitadores).
- Uma vez que é o tipo de reator mais comumente utilizado, tem-se experiência suficiente.
- Como a circulação ocorre principalmente pela ascensão de gás, é necessária uma baixa demanda de energia (bomba de alimentação).
- A facilidade em se determinar a biomassa permite um melhor monitoramento da operação do sistema.

Portanto, os subprodutos do tratamento de esgotos em reatores UASB são: i) o lodo biológico, contendo agregados de microrganismos, nutrientes e patógenos; ii) a camada de materiais flutuantes na superfície líquida, denominada espuma; iii) o biogás contendo constituintes como metano, sulfeto de hidrogênio e gás carbônico; iv) o efluente contendo compostos dissolvidos (por exemplo, metano e sulfeto) e particulados.

2.5 Princípios da digestão Anaerobia

Dentre os processos microbiológicos que ocorrem para obtenção de energia, destaca-se a digestão anaeróbia, a qual corresponde a um processo fermentativo onde diversas espécies de bactérias transformam a matéria orgânica em uma mistura gasosa, o biogás. (LOBATO, 2011).

O interesse no uso do tratamento anaeróbico pode ser explicado considerando as vantagens e desvantagens desse processo. Dentre as vantagens, destacam-se o balanço energético favorável, a menor produção de biomassa, menor necessidade de nutrientes, maior carga volumétrica e a possibilidade de tratamento da maioria dos compostos orgânicos. (ZANETTE, 2009, p. 10).

Para que haja uma produção de biogás, vários fatores devem ser observados tais como: nutrientes, temperatura e o pH.

Na tabela 2.1 podemos ver os requisitos ambientais adequados para a digestão anaeróbia. Na hidrólise as bactérias têm seu ponto ótimo na faixa de 25 a 35°C.

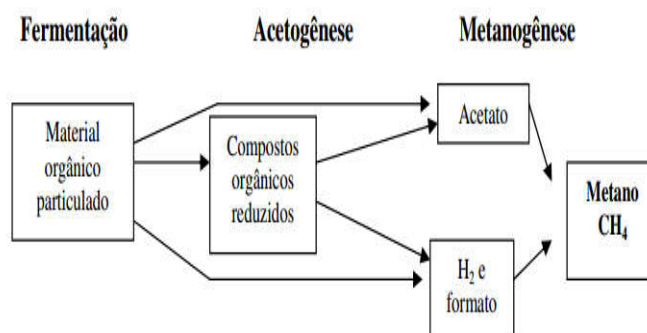
Tabela 2.1- Requisitos para a Digestão Anaeróbia.

Parâmetro	Hidrólise/Acidogênese	Formação do Metano
Temperatura (°C)	25 - 35	32 - 42 (Mesofílico) 50 - 58 (Termofílico)
pH	5,2 - 6,3	6,7 - 7,5

Fonte: Gallina (2011)

O processo global de conversão anaeróbia pode ser distinguido em quatro etapas de conversão da matéria orgânica: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. (CHERNICHARO,2007).

Figura 2.5 - Fases da digestão anaeróbia.



Fonte: Costa (2006)

Hidrólise: “[...] o material particulado é convertido em compostos solúveis que podem então ser hidrolisados em monômeros simples que são utilizados pelas bactérias que realizam a fermentação [...]” (ZANETTE, 2009, p. 9). Para Faria (2012, p. 12), “essa fase é lenta e pode ser afetada por diversos fatores como: pH, temperatura, tempo de retenção hidráulica, tamanho e distribuição das partículas.”

Acidogênese: Os compostos solúveis provenientes da hidrólise são convertidos em compostos mais simples, dessa forma são metabolizados por processos fermentativos em substâncias orgânicas simples como os ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio (CHERNICHARO, 2007).

Acetogênese: As bactérias acetogênicas oxidam os produtos gerados na fase acidogênica produzindo um substrato para as bactérias metanogênicas. Nessa fase essas bactérias produzem hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. (FARIA, 2012)

Metanogênese: Nessa etapa se produz o metano e dióxido de carbono. As bactérias utilizam apenas um limitado número de substratos. Para (ZANETTE, 2009, p. 10)

Dois grupos de organismos metanogênicos estão envolvidos na produção de metano, chamado de metanógenos acetoclásticos, que convertem o acetato em metano e dióxido de carbono. O segundo grupo, denominado metanógenos utilizadores de hidrogênio, que utilizam hidrogênio para produzir metano.

2.6 Biogás

Conforme (ZAGO, 2003), em seu breve histórico do biogás, informa que, sendo o biogás inicialmente conhecido como o gás dos pântanos por volta do ano 1600, as primeiras pesquisas iniciaram-se apenas com o físico italiano Alessandro Volta em 1776, que conseguiu identificar a composição do metano (CH₄). No ano de 1859, em Bombaim, realizou-se a primeira experiência de utilização do biogás. Já em 1895, teve lugar a primeira experiência europeia, com a utilização do biogás para a iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra. De acordo com Costa (2006 p.37), atualmente, o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto, da biomassa, mas como importante objeto de pesquisas visando a produção de energia renovável e a redução do consumo de energias não renováveis.

O biogás é um produto gerado a partir da decomposição anaeróbia (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. É composto por diversos gases, que varia em percentuais de acordo com as características do substrato a ser biodigerido.

Em Salomon (2007, p. 38), a composição média do biogás pode ser mostrada na tabela abaixo:

Tabela 2.2 - Composição do biogás.

Gases	Intervalo (%)
Metano (CH ₄)	40 - 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 - 40
Hidrogênio (H ₂)	1 - 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 - 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 - 1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 - 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 - 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 - 0,1

Fonte: Salomon (2007)

Para Lemos (2013, p. 1), a composição do biogás é devido aos fatores como: “Composição dos resíduos, sendo maior a produção de biogás quanto maior for a quantidade de material orgânico no resíduo; Teor de água no esgoto; Temperatura em que ocorre o processo; Impermeabilidade do biodigestor ao ar.” De acordo com Zanetti (2009), o biogás gerado pelo processo de digestão anaeróbia difere na sua

concentração de compostos e apresenta uma qualidade superior em relação ao seu poder calorífico conforme tabela 3 abaixo:

Tabela 2.3 - Características e composição típicas do biogás.

Parâmetro	Gás de aterros ¹	Biogás - digestão anaeróbica ²
Poder calorífico inferior (MJ/Nm ³)	16	23
Metano (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de carbono (%vol)	15-50	30-47
Nitrogênio (%vol)	5-40%	-
Ácido sulfídrico (ppm)	<100	<1000
Amônia (ppm)	5	<100

Fonte: Zanette (2009)

Para que a utilização do biogás seja tecnicamente viável é necessário que seja efetuado uma necessária a redução do H₂S, CO₂ e da umidade que podem afetar diretamente na operação e manutenção e dos equipamentos. (LEITE, 2013).

Tabela 2.4 - Comparação entre biogás purificado e outros combustíveis

Combustíveis	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Barrera (2003).

O biometano é o biogás após sua purificação, onde suas características correspondem ao gás natural (ANP nº 23/2012). Esse processo de purificação do biogás se dá através da retirada de alguns gases que estão presentes desde a formação do biogás na fase metanogênica. A purificação do biogás é um processo opcional, que vai ser exigido apenas a depender do sistema onde será utilizado.

Ao sair da fase metanogênica o biogás apresenta uma composição e características físico-químicas que pode variar dentro de determinada faixa conforme tabela 5 abaixo:

Tabela 2.5 - Técnicas de Purificação do biogás

Impureza	Descrição geral	Detalhes
Água ¹	Adsorção	Silica gel
		Peneira molecular
		Alumina
	Absorção	Etileno glicol (temperatura -6,7°C)
		Selexol
Refrigeração	Resfriamento a 2°C	
Hidrocarbonetos ¹	Adsorção	Carvão ativado
	Absorção	Óleo leve
		Etileno glicol
		Selexol (temperatura entre -6,7°C e -33,9°C)
Combinação	Refrigeração com Etileno glicol e adsorção em carvão ativado	
CO ₂ e H ₂ S ¹	Absorção	Solventes orgânicos
		Selexol
		Flúor
		Rectisol
		Soluções de sais alcalinos
		Potássio quente e potássio quente inibido
		Alcanolaminas
		Mono, di - tri - etanol amina
		Deglicolamina
		Ucarsol-CR
	Adsorção	Peneiras moleculares
Carvão ativado		
Separação por membranas	Membrana de fibra oca	
Siloxina ²	Adsorção	Carvão ativado

Fonte: Costa (2006)

Para Zanette (2009), também é requerido a sua purificação devido a sua importância nos processos industriais, a remoção dos compostos halogenados e siloxinas.

No trabalho de Velázquez et al. (2003 p.5), as impurezas mais relevantes encontradas no biogás são basicamente:

- Umidade: pode comprometer o bom funcionamento das partes internas da microturbina (bicos injetores, câmara de combustão, paletas da turbina), além de provocar o empobrecimento do Poder Calorífico do biogás;
- H₂S: também pode comprometer o bom funcionamento das partes internas dos secadores, do compressor e da microturbina, pelo efeito da corrosão causada pelo H₂S na forma gasosa ou solubilizado na água;
- Presença de ar na tubulação: causa empobrecimento do Poder Calorífico do biogás;
- CO₂: gás inerte que também causa empobrecimento do Poder Calorífico do biogás, porém, a microturbina utilizada na instalação, foi projetada para operar com níveis de CO₂, entre 30% e 50%.

Devido a este fato, não se tornou necessária a retirada deste elemento do biogás. Para a retirada da umidade presente no biogás, foram utilizados ao longo da linha, filtros coalescentes e dois secadores por refrigeração, um antes e outro após o compressor. Quanto a remoção do H₂S gasoso, foi utilizado um filtro de carvão ativado, operando pelo princípio de adsorção, enquanto que, para a remoção do H₂S solubilizado na água, foram utilizados secadores por refrigeração e filtros coalescentes. Tendo em vista que a microturbina corresponde ao equipamento de maior custo da instalação, o sistema de purificação empregado neste projeto, piloto na América Latina, foi dimensionado de forma a garantir que as características do biogás estejam dentro das especificações requeridas pela microturbina.

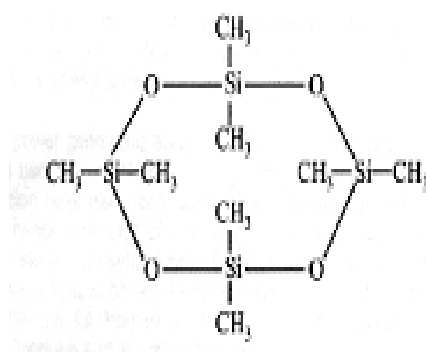
Os resultados das análises do biogás já realizadas demonstram que o sistema de purificação proposto atende as necessidades requeridas pelo equipamento de conversão, ou seja, a microturbina a biogás.

A remoção do CO₂ do biogás, quando necessária, dá-se pela adsorção física do CO₂ na água, sendo este um processo antigo que utiliza a água como adsorvente, esta pode ser regenerada por despressurização. Além disso, fabricantes de microturbinas nos EUA perceberam recentemente a presença de impurezas no biogás até então desconhecida. Trata-se da siloxina, um composto de sílica proveniente de produtos de higiene pessoal e cosméticos. Sua presença, na ordem

de ppb (partes por bilhão) acarreta, ao longo do tempo, problemas nos rotores de turbinas e motores pela formação de grãos de sílica (areia) dentro dos equipamentos devido à elevada temperatura (CAPSTONE, 2001).

Esta substância apresenta baixa solubilidade em água e se aglomera nos sólidos transferidos aos digestores das estações de tratamento de esgoto. No ambiente quente dos biodigestores, sua concentração aumenta devido à decomposição de silício e de outros polímeros que contêm esta substância, cuja fórmula estrutural é mostrada na figura 2.6.

Figura 2.6 - Fórmula Estrutural da Siloxina



Fonte: Capstone (2001).

Os fabricantes de microturbinas descobriram recentemente uma impureza desconhecida, a siloxina, um composto de sílica, provenientes de produtos de higiene pessoal e cosméticos, onde a principal consequência é formação de grãos de areia no interior dos equipamentos, reduzindo a vida útil dos equipamentos, além de promover o mau funcionamento dos geradores e turbinas à biogás. (COSTA, 2006).

Nos estudos de Simões e Farret (2006, p.215), quando a siloxina está presente no combustível injetado na Microturbina, finas partículas de sílica se formam na câmara de combustão. Essas partículas são carregadas pelos gases a velocidades elevadíssimas, através do rotor da turbina, e saem pelo recuperador e trocador de calor (quando instalados). Com o passar do tempo, essas partículas abrasivas causam erosão em algumas das superfícies metálicas com que entraram em contato. No caso das microturbinas Capstone, as bordas das pás são os componentes mais suscetíveis à corrosão. Quando a corrosão destas pás progride a

uma condição extrema, o gerador da turbina sofre severa perda de potência e o motor deve ser reformado. Em outros equipamentos geradores (motores de combustão interna e turbinas a gás) que utilizam biogás de aterro e biogás de esgoto, também foram constatados problemas relativos à deposição e erosão em decorrência da presença de sílica. Estes depósitos costumam ser encontrados na cabeça e anéis dos cilindros dos motores de combustão interna, e nos tubos do recuperador de calor das turbinas a gás. Manutenção e reforma tendem a ter custo elevado.

Também devido ao modo como é gerado, o biogás contém alto teor de umidade, sendo necessário a sua desumidificação. Qualquer resfriamento ou compressão do gás durante o processo, causa condensação da fase líquida quando o gás entra no equipamento de conversão, sendo crítica a situação ao se tratar de turbinas a gás. A remoção do condensado, seguida do aquecimento do gás, produz um gás seco. Comprimindo o gás seco, e resfriando-o em seguida, é produzida maior quantidade de condensado. O biogás pode ser tratado de forma mais econômica, quando a sua aplicação for definida conforme a tabela 2.6

Tabela 2.6 - Necessidade de purificação do biogás

Aplicação	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
Caldeiras	<1000 ppm	Não	Não
Fogões	Sim	Não	Não
Co-geração	<1000 ppm	Não	Condensação do vapor
Combustível veicular	Sim	Recomendável	Sim
Rede de gás natural	Sim	Sim	Sim

Fonte: IEA (2005).

2.7 Rotas tecnológicas para conversão do biogás

De acordo com a pesquisa de Pecora (2006) existem diversas tecnologias para a conversão de do biogás em energia elétrica, e ainda de acordo com o autor, a conversão energética é o processo de transformar um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em

energia mecânica através da combustão interna e essa energia mecânica impulsiona um gerador que a transforma em energia elétrica.

Os motores de combustão interna do tipo ciclo Otto e turbinas a gás são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

2.7.1 Microturbinas

Segundo Matos e Almeida, (2013, p. 29) “as microturbinas são pequenas turbinas a gás que utilizam combustível gasoso ou líquido para criar um fluxo de gás de alta energia que aciona um gerador elétrico.”

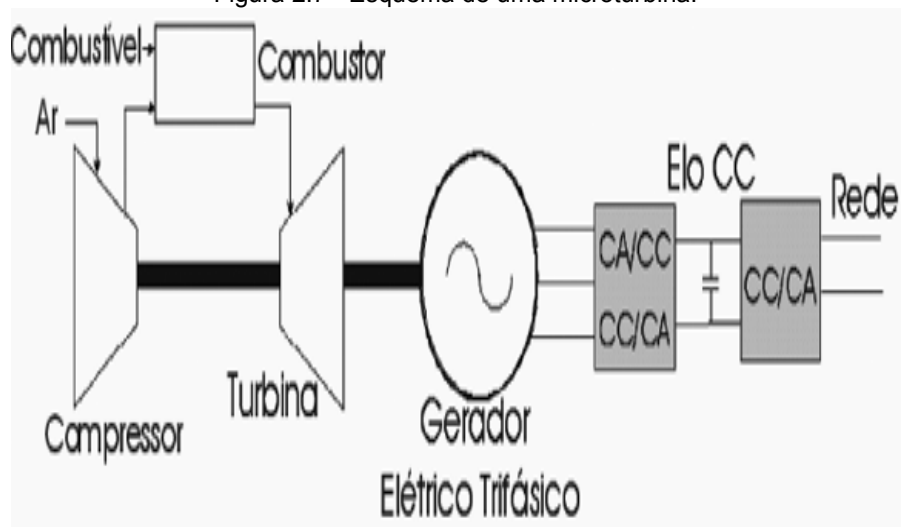
As microturbinas foram desenvolvidas pela indústria por meio de melhorias em unidades de energia auxiliares, originalmente projetadas para aeronaves e helicópteros e foram customizadas para serem utilizadas em aplicações elétricas nas instalações dos consumidores (FARRET; SIMÕES, 2006, p. 215).

O princípio de funcionamento básico de uma microturbina de acordo com a Figura 5, pode ser explicado conforme descrição abaixo:

Tanto microturbinas quanto turbinas a gás, operam segundo o ciclo termodinâmico conhecido como ciclo de Brayton. Neste, o ar que entra é comprimido, sendo então pressionado para dentro da câmara de combustão, onde se mistura ao combustível. Esta mistura alimenta um processo de combustão contínua. O gás quente e pressurizado proveniente do combustor se expande na turbina, transformando a energia térmica em mecânica. Estando o gerador e o compressor acoplados ao mesmo eixo que a turbina, esta rotação mecânica permite a geração de energia com tensão em alta frequência, podendo exceder 100.000 RPM (GUDA et al., 2005, p.269; BONA; RUPPERT FILHO, 2005, p. 4).

Após a etapa de geração de energia dependo da aplicação faz-se necessário a conexão de módulos conversores de corrente contínua para corrente alternada, possibilitando nessa modalidade a inserção de bancos de baterias, que em operação interligada melhora a confiabilidade da energia gerada.

Figura 2.7 - Esquema de uma microturbina.



Fonte : Enedis (2015)

Figura 2.8 - Microturbina de 30KW Capstone.



Fonte: Trevisan (2011).

Para Simões e Farret (2006, p.215), geradores com turbina a gás que variam entre 500 kW a 250 MW enquanto as microturbinas variam de potência (30 a 400 kW) e podem utilizar vários tipos de combustível como gás natural, gasolina, diesel, querosene, nafta, álcool, propano, metano e gás digestor, sendo o gás natural atualmente o combustível primário mais empregado.

De acordo com Enedis (2015, p. 2) as microturbinas apresentam as seguintes vantagens:

- Potências disponíveis: 30 kW e 60 kW. Modularmente se alcançam potências de até 1.500 kW.
- Geram energia elétrica de qualidade superior à da rede, sem harmônicas e distorções.
- Construção simples: Somente uma parte móvel.
- Não utilizam líquidos para refrigeração nem lubrificantes.
- Alta confiabilidade e praticidade, livre de manutenção.
- Em sistemas com cogeração, alcançam rendimentos energéticos de até 90%.
- Operam em Paralelo com a Rede incrementando a capacidade instalada de distribuição como gerador de base, "peak-shaving, ou em Geração Isolada.
- Operação automática, controlada digitalmente e de forma remota com um PC via telefônica por modem, Modbus, etc.
- Capacidade para operar um gás utilizando baixo conteúdo de metano: CH₄ > 35%. Sem afetações na sua eficiência.

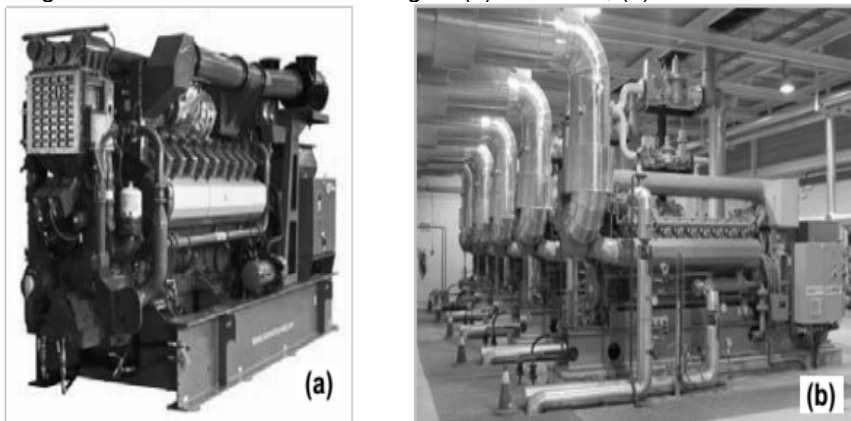
2.7.2 Grupo Geradores – MCI

Os motores de combustão Interna são máquinas que através do consumo da energia química presente no combustível, gera energia mecânica capaz de realizar movimento. O motor de ciclo Otto típico é o motor quatro tempos, ou seja, no seu ciclo completo os pistões desenvolvem quatro tempos, dois próximos à cabeça do cilindro e dois afastados da cabeça do cilindro. Os motores a dois tempos, combinam em dois movimentos as funções de quatro tempos, porém possuem eficiência e potência inferior aos quatro tempos.

Representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade contínua, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária. (SALOMON, 2007, p. 55).

Na Figura 2.9 temos exemplos de motores de grande potência fabricados em escala comercial, sendo ambos de combustão interna movidos a biogás: (a) Série QSV91 – 1.250 a 2.000 kW - Cummins; (b) Jenbacher modelo J320 GS – 3.000 kW – General Electric. São esses equipamentos aplicações típicas usadas nas indústrias e grades centros comerciais.

Figura 2.9 - Motores movidos a biogás: (a) Cummins; (b) General Electric.



Fonte: Adaptado de Lobato (2011)

Um estudo realizado por Lombard et al. (2004, p. 12) levantou as principais características desses sistemas que estão descritos abaixo:

- São utilizados para pequenas e médias demandas elétricas, de centenas de kW até dezenas de MW.
- Podem utilizar diversos tipos de combustíveis líquidos ou gasosos tais como óleo diesel, óleo pesado, gás natural, biogás ou ainda uma mistura deles. Isso é bastante vantajoso, pois o sistema torna-se muito flexível. –
- A relação energia térmica/energia mecânica é menor que os outros acionadores primários, o que pode ser interessante para cogeração no setor terciário.
- A eficiência dos motores de combustão interna não é tão sensível às condições ambiente locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás.
- As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (start-up) é rápida.

- Além de serem apropriados para as condições de partidas e paradas diárias. - Possui alta relação potência/peso. Requerem manutenções mais frequentes. A eficiência do motor decresce drasticamente quando o teor de CH₄ é menor que 50%.

2.8 Legislação Vigente (REN 482/12)

A Resolução Normativa 482 da Aneel de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012) estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e também instituiu o método de compensação de energia elétrica. Essa resolução deve ser compreendida como um importante marco regulatório no que diz respeito ao acesso efetivo de pequenos produtores às redes de distribuição.

A resolução aponta dois grupos de produtores de energia: a microgeração distribuída, que configura produtores com potência instalada que vai até 100kW.

A segunda categoria contempla os produtores que possuem potência instalada superior a 100 kW e igual ou inferior a 1 MW. Para esses dois grupos de produtores, as fontes de energia devem ser provenientes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação em questão. O sistema de compensação de energia elétrica instituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica denominado “netmetering”, não há venda da energia produzida, e sim créditos gerados, onde o consumo a ser faturado, é a diferença entre a energia consumida e a injetada. O excedente, que não foi compensado no mês corrente, deve ser utilizado para compensar o consumo dos meses subsequentes. Os créditos devem ser utilizados dentro de um prazo máximo de 36 meses. Em Justi (2013, p. 33),

Embora não se possa comercializar esta energia elétrica, a criação dessa resolução foi um importante passo ao crescimento da GD no Brasil, já que as distribuidoras de energia elétrica foram obrigadas a criarem manuais de conexão para os produtores que desejam inserir a energia gerada na rede da distribuidora. Justi (2013, p. 33).

3 TAXONOMIA

3.1 O que é taxonomia?

Taxonomia são ferramentas de representação da filogenia entre as espécies, ou seja, ao utilizá-la, o taxonomista, baseando-se na biologia evolutiva de Darwin, infere o histórico evolutivo de determinadas espécies a partir de suas características comuns e divergentes, logo, as árvores filogenéticas são formalizações hipotéticas da relação evolutiva de espécies atuais de seres vivos, inferindo-se, então, ancestrais comuns a tais espécies. O processo de construção destas árvores aproxima-se da computação no campo da Biologia Computacional, que é a área onde se aplicam as técnicas e ferramentas da ciência da computação aos problemas da biologia. Trata-se, portanto, de uma área multidisciplinar voltada para o desenvolvimento de modelos quantitativos que possam explicar fenômenos biológicos (PINTEIRO et al., 2005).

A junção das áreas de biologia e computação fez surgir uma nova linha de pesquisa denominada de Bioinformática, tendo como objetivo a aplicação de abordagens computacionais para o desenvolvimento de ferramentas que podem analisar os dados biológicos, a utilização dessas ferramentas permite a realização de diversos estudos entre eles a construção de árvores taxonômicas, que representam a história evolutiva dos organismos nela incluídos (MATIOLI; FERNANDES, 2012).

Uma ferramenta muito usada na bioinformática são os bancos de dados. Banco de dados pode ser considerado uma coleção de dados inter-relacionados, projetados para suprir as necessidades de um grupo específico de aplicações e usuários. Um banco de dados organiza e estrutura as informações de modo a facilitar consultas, atualizações e deleções de dados (PROSDOCIMI et al 2002). Sua função é estruturar e organizar as informações de forma que facilite consultas e atualizações de dados. Um conjunto de características de uma determinada estação de tratamento de esgoto, constitui um modelo de banco de dados, onde este pode ser representado em uma árvore taxonômica, apresentando os resultados de análise de forma gráfica, intuitiva e classificada.

O aplicativo descrito nesta dissertação utiliza-se dos princípios da taxonomia computacional para classificação de um conjunto de espécies, que correspondem ao conjunto de estações de tratamento consideradas na análise, sendo cada estação

portadora de um conjunto de atributos característicos próprios, que correspondem as propriedades necessárias a geração de energia a partir do material coletado pelas estações de tratamento de esgoto. As informações das estações de tratamento de esgoto de uma determinada região são processadas mediante cadastro prévio em um banco de dados .

3.2 Representação matemática das árvores taxonômicas

A definição formal de árvores taxonômicas como uma quadrupla apresentada por Vieira (1997) será utilizada para a geração da estrutura implementada para esta árvore.

Definição : Uma árvore taxonômica é uma estrutura $F = (X, Y, \Phi, \Gamma)$, onde:

- X é um conjunto finito das espécies,
- Y é um conjunto finito das características das espécies presentes em X ;
- Φ é uma relação de ordem sobre os elementos de X , tal que:
 - i. $\forall x \in X, \neg (x \Phi x)$;
 - ii. $\forall x_1, x_2 \in X$, se $x_1 \Phi x_2$, então $(x_2 \Phi x_1)$;
 - iii. $\forall x_1, x_2, x_3 \in X$, se $x_1 \Phi x_2$ e $x_2 \Phi x_3$, então $x_1 \Phi x_3$.
- $\Gamma : X \rightarrow P(Y)$. A qual é representada pelo gráfico $G = (X, \Phi)$, com cada arco $a_k = (x_i, x_j)$ de G rotulado pela sequência dos elementos do conjunto $\Sigma_k = \Gamma(x_i) - \Gamma(x_j)$.

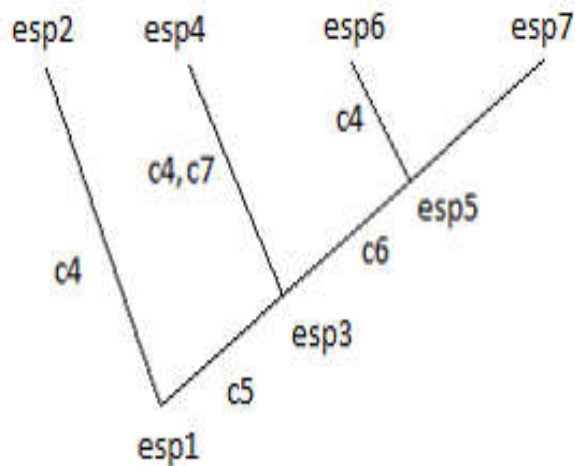
Como exemplo de uso dessa formalização, temos uma árvore taxonômica $F = (X, Y, \Phi, \Gamma)$, onde:

- $X = \{\text{esp1}, \text{esp2}, \text{esp3}, \text{esp4}, \text{esp5}, \text{esp6}, \text{esp7}\}$;
- $Y = \{c1, c2, c3, c4, c5, c6, c7\}$;
- esp1 gerou esp2;
- esp1 gerou esp3;
- esp3 gerou esp4;
- esp3 gerou esp5;
- esp5 gerou esp6;
- esp5 gerou esp7;
- $\Gamma(\text{esp1}) = \{c1, c2, c3\}$;
- $\Gamma(\text{esp2}) = \{c4, c2, c3\}$;

- $\Gamma(\text{esp3}) = \{c1, c5, c3\}$;
- $\Gamma(\text{esp4}) = \{c4, c7, c3\}$;
- $\Gamma(\text{esp5}) = \{c1, c5, c6\}$;
- $\Gamma(\text{esp6}) = \{c4, c5, c6\}$;
- $\Gamma(\text{esp7}) = \{c1, c5, c6\}$;

Essa árvore pode ser representada pelo gráfico da figura 3.1.

Figura 3.1 - Representação de uma Árvore Filogenética



Fonte: VIEIRA, 1997.

3.3 Matriz característica

As informações sobre a classificação das características apresentadas podem ser representadas em uma matriz característica. Uma matriz característica é uma versão simplificada da matriz polarizada (ABE,1991) que relaciona cada espécie do conjunto X às características pertencentes ao conjunto Y.

De acordo com Vieira (1997) obtenção da matriz característica a partir de uma matriz polarizada é dada da seguinte forma:

1. Dada uma matriz polarizada verifique se todas as transformações polarizadas estão decompostas. Caso negativo decomponha as transformações.

2. Constrói-se uma matriz com n linha e m colunas, onde n é o tamanho do conjunto X+1 e m é o tamanho do conjunto Y+1.
3. Coloque o nome das espécies presentes no conjunto X nas células da primeira coluna, deixando a primeira célula em branco.
4. Coloque o nome das características presentes no conjunto Y nas células da primeira linha, deixando a primeira célula em branco.
5. Preencha as células (i,j), com $2 \leq i \leq n$ e com $2 \leq j \leq m$, com os valores "0" e "1" como eles aparecem na matriz polarizada = Por exemplo, dada a matriz polarizada da Tabela 3.1, contendo as características característica $\theta, \omega, \varepsilon, \rho, \tau, \kappa, \pi, \alpha, \beta, \sigma$ e δ e o conjunto de espécies {A, B, C, D}, que possuem as seguintes séries de transformação polarizadas:
 - i. $\theta \rightarrow \omega$ (lê-se θ gerou ω);
 - ii. $\delta \rightarrow \varepsilon$ (lê-se δ gerou ε);
 - iii. $\rho \rightarrow \tau$ (lê-se ρ gerou τ);
 - iv. $\alpha \rightarrow \beta$ (lê-se α gerou β);
 - v. $\kappa \rightarrow \pi$ (lê-se κ gerou π e σ).

Com a espécie esp_1 apresentando as características, δ, ρ, α e κ , a espécie esp_2 apresentando as características $\omega, \delta, \rho, \alpha$ e κ , a espécie esp_3 apresentando as características $\omega, \varepsilon, \tau, \alpha$ e π e a espécie esp_4 apresentando as características $\omega, \varepsilon, \tau, \beta$ e σ .

Tabela 3.1 - Matriz polarizada sem decomposição

TP	$\theta \rightarrow \omega$	$\delta \rightarrow \varepsilon$	$\rho \rightarrow \tau$	$\alpha \rightarrow \beta$	$\kappa \rightarrow \pi$ $\rightarrow \sigma$
A	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0
C	1	1	1	0	1
D	1	1	1	1	2

Fonte : vieira (1997)

Como a matriz polarizada acima não está decomposta, é necessário primeiro decompô-la para depois gerar a matriz característica. A matriz polarizada decomposta está ilustrada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Matriz polarizada decomposta

TP	$\theta \rightarrow \omega$	$\delta \rightarrow \varepsilon$	$\rho \rightarrow \tau$	$\alpha \rightarrow \beta$	$\kappa \rightarrow \pi$ \searrow σ	
Decomposição	$\theta \rightarrow \omega$	$\delta \rightarrow \varepsilon$	$\rho \rightarrow \tau$	$\alpha \rightarrow \beta$	$\kappa \rightarrow \pi$	$\kappa \rightarrow \sigma$
<i>A</i>	0	0	0	0	0	0
<i>B</i>	1	0	0	0	0	0
<i>C</i>	1	1	1	0	1	0
<i>D</i>	1	1	1	1	0	1

Fonte : Vieira (1997)

A matriz característica abaixo correspondente a matriz polarizada da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Matriz característica

	1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	0	0	0	0	0	0
<i>B</i>	1	0	0	0	0	0
<i>C</i>	1	1	1	0	1	0
<i>D</i>	1	1	1	1	0	1

Fonte : Vieira (1997)

3.4 Algoritmos para construção de taxonomia

Um algoritmo pode ser definido como uma sequência de ações encadeadas e lógicas que descrevem como um determinado problema pode ser resolvido. Cada algoritmo é estruturado em funções lógicas matemáticas, onde cada etapa de um problema pode ser modelado matematicamente e representado em vários formatos de visualização.

Nesse trabalho os algoritmos utilizados são construídos com auxílio de plataforma computacional Java. Para execução de tarefas específicas de classificação taxonômica de uma estação de tratamento de esgoto, os algoritmos aqui descritos são explicados nas seções seguintes.

A taxonomia, teve seu desenvolvimento a partir da classificação biológica das espécies, representados pela árvore filogenética que, de acordo com Prado (2001), desta necessidade surgiu, então, uma representação em árvore que exhibe o histórico evolutivo de um conjunto de espécies ou populações. Representações deste tipo são conhecidas como árvores de espécies ou árvores de populações, e são um tipo de árvore filogenética que representa a evolução das espécies de uma maneira exata, ou seja, como a evolução realmente ocorreu. Logo surgiram técnicas para a construção dessas árvores.

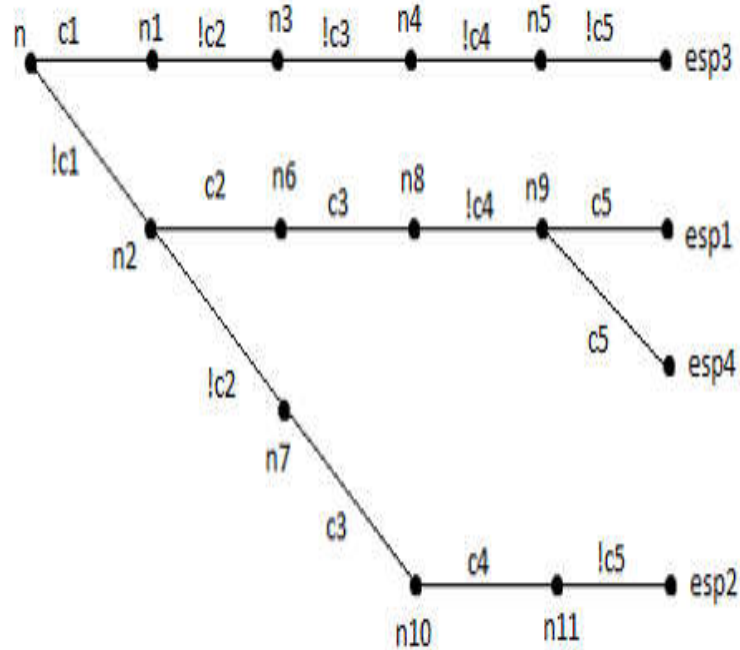
Estes elementos formam a essência da evolução e, uma vez que estes quatro processos estejam atuando na natureza ou em um computador, a evolução é o resultado inevitável, segundo Atmar (1994). Então o uso da filogenia em forma de árvores, para representar um conjunto de atributos de uma determinada espécie pode ser estendido para uma aplicação mais ampla, independente de similaridade biológica, o que nesse caso, é adequado o termo árvore “taxonômica.”

E com base nesse princípio através de aplicação computacional a partir de um algoritmo é possível projetar árvores taxonômicas com características comuns e específicas. Sendo que esse conjunto de dados, isto é, suas características, sejam estabelecidos de forma classificada, onde é visualizado as características que uma determinada ramificação possa apresentar em maiores ou menores intensidades. Dessa forma as características comuns são apenas diferidas pela importância numérica a ela atribuída ou calculada.

3.4.1 Algoritmo da Exclusão e Inclusão

Um dos algoritmos utilizados na aplicação desenvolvida para a construção das árvores taxonômicas baseia-se neste conceito de inclusão e exclusão, operando sobre para cada característica de Y, gerando um nó, separando os nós que contém dos que não contém aquela característica em nós filhos deste nó e reexecutando este passo sobre todos os subgrupos de X contidos nos nós filhos deste nó até que todas as características tenham sido visitadas, construindo, assim, a árvore final diretamente. Sua execução é detalhada na figura 3.4. (VIEIRA, p. 15 1997).

Figura 3.2 - Representação do Algoritmo da Exclusão e Inclusão



Fonte: Fonseca (2014).

3.4.2 O Algoritmo das Médias (UPGMA)

O algoritmo das médias é um algoritmo de construção da árvore taxonômica de um conjunto de espécies que recebe a matriz distância dessas espécies e devolve uma das árvores filogenéticas possíveis para essas espécies. Note que os ramos da árvore construída por esse algoritmo, não contém rótulos. A seguir serão apresentados os passos deste algoritmo (Meidanis, 1995).

1º passo - Tome o par de espécies com menor distância entre si e agrupe-os numa super-espécie. Este par de espécies terá um ancestral comum direto (Fig. 3.3a B e A, 3.3b C e S₁ e 3.3c D e S₂);

2º passo - Recalcule a distância de cada uma das demais espécies S_i para a super-espécie recém criado como sendo a média das distâncias de S_i para cada uma das espécies que constituem a super-espécie (Tabelas 3.4 e 3.5);

3º passo - Repita os passos 1 e 2 enquanto houver dois ou mais (super-) espécies não visitadas.

Tabela 3.4 - Matriz distância obtida a partir dos dados da Tabela 3.3 considerando que as espécies A e B tem a super-espécie S1 como ancestral direto.

	S ₁	C	D
S ₁	0	2,5	5,5
C	2,5	0	3
D	5,5	3	0

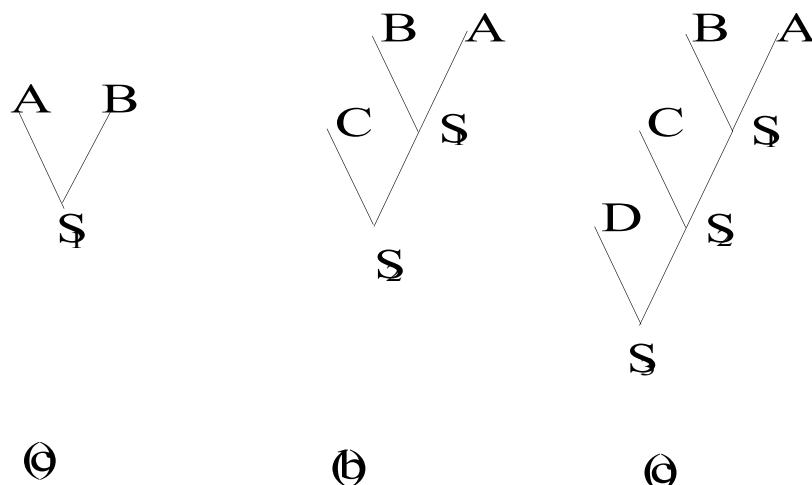
Fonte: Vieira (1997).

Tabela 3.5 - Matriz distância obtida a partir dos dados da Tabela 3.4 considerando que as espécies S1 e C tem a super-espécie S2 como ancestral direto

	S ₂	D
S ₂	0	4,25
D	4,25	0

Fonte: Vieira (1997)

Figura 3.3 - Árvore filogenética construída pelo primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) execução do 1o passo do algoritmo das médias para as espécies da Tabela 3.5.



Fonte: Vieira (1997)

3.4.3 Algoritmo de Wagner

O algoritmo de Wagner, é um algoritmo de construção da árvore filogenética de um conjunto de espécies, que recebe a matriz característica dessas espécies e devolve uma das árvores filogenéticas possíveis para essas espécies. A seguir serão apresentados os passos desse algoritmo (AMORIM, 1994; WILEY, 1990).

1º passo - Especifique a espécie raiz;

2º passo - Construa a matriz distância para as espécies da matriz característica fornecida;

3º passo - Selecione a espécie que tiver a menor distância para a espécie raiz. Esta será a atual espécie selecionada;

4º passo - Crie um ramo ligando a atual espécie selecionada a espécie raiz com comprimento igual à distância entre essas duas espécies;

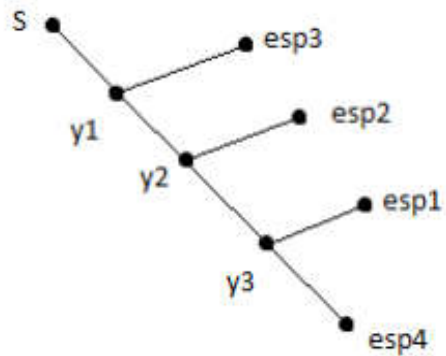
A ideia central é construir uma árvore posicionando cada nova espécie baseado na distância entre ela e todas as outras espécies já presentes na árvore. Existem diversos métodos de construção de árvores de Wagner (FARRIS, 1970). No método utilizado para o atual propósito, infere-se uma espécie ancestral a todas as outras espécies de acordo com o estudo de suas características, inferindo a precedência e o histórico evolutivo entre as características. Durante o processo, outras espécies ancestrais hipotéticas são criadas para determinar a filogenia. Para o contexto atual, utiliza-se como espécie ancestral S (sendo S , um vetor nulo, com características fora dos parâmetros normais, considerando todas as células com valor 0), que pode ser considerado como uma espécie que não possuía nenhuma das características em Y e que evoluiu para as espécies com estas características sem a necessidade de uma pré-análise mais profunda sobre a relação entre as características.

Tabela 3.6 - Representação Matricial do Algoritmo de Wagner

C	esp_1	esp_2	esp_3	esp_4	S
c_1	0	0	1	0	0
c_2	1	0	0	1	0
c_3	1	1	0	1	0
c_4	0	1	0	0	0
c_5	1	0	0	1	0

Fonte: Vieira (1997).

Figura 3.4 - Representação gráfica do Algoritmo de Wagner .



Fonte: Vieira (1997).

4 MATERIAL E MÉTODOS

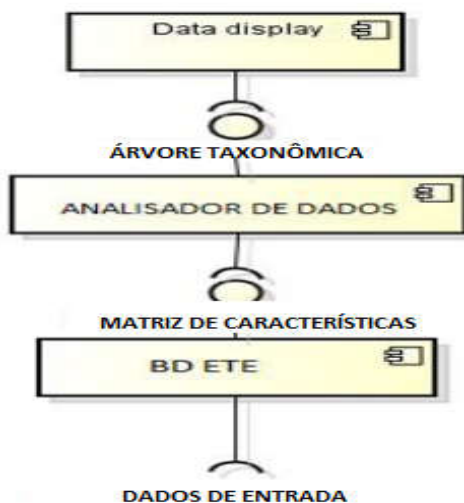
4.1 Ferramentas utilizadas

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizada a linguagem orientada a objeto Java, com o Java Development Kit 7 da Oracle (JDK7). A modelagem do software foi feita no programa de construção de diagramas Astah, versão Professional. O ambiente de desenvolvimento foi o Eclipse IDE versão Kepler. Para a comunicação com o banco de dados no formato Microsoft Access, foi utilizada uma API de terceiros, o Jackcess (jackcess.sourceforge.net), que é uma ferramenta que fornece a conectividade com esse tipo de banco de dados. Já para a exibição dos gráficos, foi utilizada a API javax.swing, nativa do JDK7, que permite a manipulação de gráficos bidimensionais em Java.

4.2 Arquitetura do software

O sistema apresenta uma arquitetura baseada em componentes dispostos em três camadas: conexão com o banco de dados, modelagem e construção da árvore filogenética seguindo o diagrama especificado. A seguir será explicado cada etapa de software:

Figura 4.1 – Arquitetura do software proposto



Fonte: Elaboração própria (2015).

4.2.1 Entrada de dados

A partir dos dados coletados na ETE, uma matriz de características é montada fim de ser fornecida como entrada para o algoritmo de construção da visualização em árvore taxonômica. Este processo ocorre representando cada componente como um vetor (uma linha) na matriz e cada célula do vetor representa o estado de uma característica (bom = 1, ruim = 0). Para a valoração dos vetores de característica dos componentes, executa-se uma análise sobre todos os dados de cada característica a fim de descobrir qual os seus valores máximos e mínimos. Considera-se, então, que os valores mais próximos às extremidades são piores do que os valores mais centrais, por estarem operando dentro dos limites de operação dos componentes.

Assim, cria-se uma escala de valores onde os valores próximos aos valores mínimos e máximos são considerados ruins e os valores mais centrais são considerados bons. Há portanto, ao se carregar um banco de dados, um trabalho de limpeza de dados, inserindo e corrigindo valores em campos onde eles estão equivocados, pois estes podem gerar erros na análise estatística que montará a matriz de características do biogás de uma determinada ETE que será enviada para análise. Esta correção faz-se necessária por serem comuns erros de leituras neste tipo de ambiente. Se determinadas linhas possuem valores em falta, os valores substitutos são inseridos utilizando predições simples considerando como dado inexistente. Caso hajam valores negativos, estes são convertidos para positivos, pois o sinal apenas indica a entrada ou saída daquele valor naquela variável. Se os valores estão fora do intervalo possível de máximo e mínimo para aquele parâmetro, estes valores são substituídos pelos valores máximos e mínimos respectivamente.

4.2.2 Seleção de dados de entrada

A execução do sistema apresenta ao usuário uma tela (fig. 9), contendo uma lista de escolha do algoritmo a ser utilizado na geração da árvore taxonômica, um botão para inicializar a execução do algoritmo escolhido e dois botões de “+” e “-“. Os botões de “+” e “-“ são utilizados para que o usuário possa diminuir ou aumentar o número de espécies correspondentes as linhas e características correspondendo as colunas. Após a escolha e o preenchimento dos dados da matriz característica o

usuário deverá clicar no botão “Gerar”, para que o sistema capture as informações contidas na tela e processe a construção da árvore

Figura 4.2 – Tela de entrada – seleção do algoritmo

The screenshot shows a software window with a green title bar. On the left, a dropdown menu is open, showing the following options: Binaria (selected), Multivalorada, Wagner, Media, and Binaria. To the right of the menu is a 'Gerar' button. Below the menu is a '+' button. At the bottom, there is a 4x5 grid of buttons containing the following values:

0	0	1	0	1
1	0	0	1	0

Fonte: Elaboração própria (2015).

Figura 4.3 – Qualificação básica de características

The screenshot shows a software window with a green title bar. On the left, a dropdown menu is open, showing the option: Binaria. To the right of the menu is a 'Gerar' button. Below the menu is a '-' button and a '+' button. At the bottom, there is a 4x5 grid of buttons containing the following values:

-	1	0	0	0	1
+	0	1	0	0	1
	0	0	1	0	1
	1	0	0	1	0

Fonte: Elaboração própria (2015).

A tela de entrada é composta por um botão de opção do tipo de tabela taxonômica (fig. 9), um botão que permite a inserção de colunas e linhas para a quantificação de espécie e suas respectivas características a partir de dados das estações de tratamentos de esgotos. A caixa de seleção (fig. 10), “Binaria” permite ao usuário definir qual o algoritmo de montagem da árvore identificando pontos de

estações no formato “0” ou “1”, que corresponde a presença positiva ou negada de determinadas características; essa árvore taxonômica é útil para uma abordagem preliminar, onde pode-se classificar um grupo de estações de tratamento que dispõe de certas características que podem ser apresentadas nos campos desta caixa os modos de exibição providos pelos algoritmos, seguidos dos nomes dos algoritmos, que são Explícito (Inclusão e Exclusão), Agrupamento (UPGMA) e Escala (Wagner), conforme explicado na seção 3.3. A tela de entrada requisita as informações das tabelas do banco de dados das ETEs conforme Tabela 8, que correspondem as ETEs a serem analisadas, o nome das colunas de cada tabela, que correspondem quais componentes do biogás por ETEs serão analisados. O usuário, então deve inserir os dados e o software classificará (fig. 11) qual ou quais ETEs, apresentam melhores condições para a geração de energia elétrica, para situações onde houver similaridade quanto aos resultados, será priorizada a ETE que estiver em melhores condições de conexão à rede de energia elétrica da concessionária.

Finalmente, o botão Gerar (fig. 10) envia as entradas aos outros componentes a fim de gerar a visualização da árvore taxonômica. Além disso, a janela do usuário é alterada para a visualização da árvore no momento em que o algoritmo termina sua execução. Este botão apenas ficará ativo caso as entradas estejam corretas e o programa esteja pronto para executar.

Os dados selecionados na Tabela 8, apenas indicam os principais parâmetros configuráveis no software, sendo essa proposta configurada de acordo com a modelagem descrita por Zanette (2009).

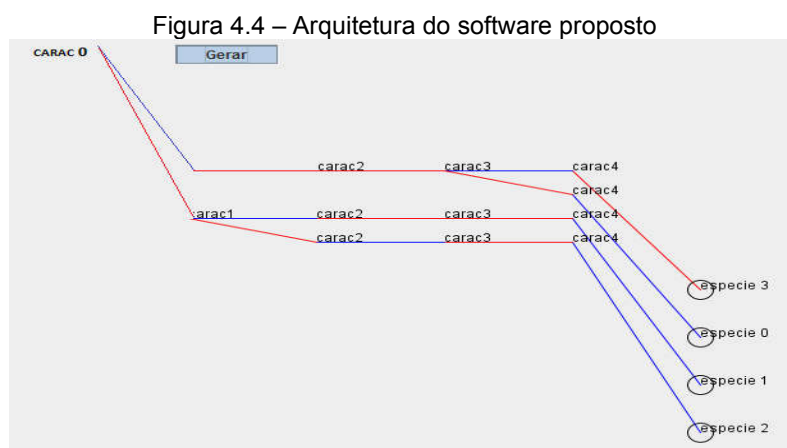
Tabela 4.1 – Dados selecionados por Estação

Características	Fórmula	Referência
Reator UASB	UASB	Existe S/N
Vazão/dia	m ³	>> 1
Metano	CH ₄	> 35%
Ácido sulfídrico	H ₂ S	<1000 ppm
Hidrogênio	H ₂	-
Nitrogênio	N ₂	-
Oxigênio	O ₂	-
Amônia	NH ₃	-
Monóxido de carbono	CO	-
Siloxanos	(CH ₃) ₃ Si-OH	-

Fonte: Elaboração própria (2015).

4.2.3 Saída

Ao requisitar o desenho da árvore, através do botão “gerar” o sistema faz análise dos dados e estes são enviados ao componente de visualização com os dados estruturados na forma de árvore. Deve-se, então, posicionar os nós na tela e desenhar as arestas de forma a facilitar a compreensão do estado do sistema ao usuário. Para isto, cada tipo de árvore exibe um tipo diferente de visualização, de cada algoritmo. Para exemplificar a saída do software, foi utilizado um exemplo das estações 1,2,3,4,5 e 6 da base de dados quantificados (Tabela 8), aplicando a regra de classificação dos valores obtidos nesta tabela obtemos a situação hipotética para valores superiores aos da referência, portanto o caso 1, é uma simulação de aplicação do software onde em tabela classificada se obtém as condições ótimas para o biogás. A figura 4.4, apresenta uma taxonomia proposta pelo aplicativo.



Fonte: Elaboração própria

Na saída gráfica, as cores podem ser interpretadas de acordo com a tabela 4.2 abaixo :

Tabela 4.2 – Cores da saída taxonômica

Cores	Significação
Verde	+
Verde claro	
Azul escuro	
Azul claro	
Laranja	-
Vermelho	

Fonte: Elaboração própria (2015).

A sequência apresentada obedece a ordenação prioritária onde os primeiros caracteres verde, verde claro e azul claro, indicam as melhores condições processadas no algoritmo taxonômico, indo do melhor (+), representado pela linha de cor verde, para a pior condição (-), na cor vermelha, que indica inclusive a ausência de valor nos parâmetros de referência. A saída com linha preta, não estabelece classificação taxonômica prioritária pela cor, devido a neutralidade imposta pelo código em situações em que a cor não é significativa. As estações de tratamento estão codificadas como “espécie”, e as suas características grafadas como “carac”.

4.2.4 Seleção de Dados para análise

Nessa simulação, é inserido os dados da Tabela 4.1 no software e através do algoritmo é feito a análise onde é classificado os resultados. Para os parâmetros pesquisados temos que para cada parâmetro este pode representar um conjunto de informações gráficas em tabela taxonômica em função de sua importância.

- Reator Uasb: a referência “sim” significa que é possível captar o biogás de maneira prática, pois esse tipo de reator permite sua captação pelos mecanismos construtivos que já estão disponíveis no sistema de tratamento.
- Vazão: Os valores mínimos são suficientes para gerar energia elétrica para uso interno na estação. Quando a valores superiores indicam a possibilidade de quantificar o biogás gerado na estação e com os valores já aferidos pelo medido de vazão do biogás.
- Metano: uma concentração inferior a 35% pode apresentar um investimento considerável em inoculação e purificação desse biogás, então é considerado melhor para patamares superiores a 35%;
- Ácido Sulfídrico: os valores inferiores a menores que 1000 ppm (partes por milhão), indicam que sob essa concentração este parâmetro não requer qualquer tratamento de purificação, pode-se utilizar o biogás com essa concentração em microturbinas e ou grupo geradores de combustão interna. Valores superiores comprometem a estrutura

interna dos motores e geradores, assim como também todo o sistema de tubulação, devido a ação corrosiva do ácido sulfídrico.

4.3 Simulação de casos com uso do aplicativo

Em um ambiente simulado, o nível atribuído ao grau de pureza, é fator determinante para nortear o comportamento da rota tecnológica que irá beneficiar o biogás, quanto ao rendimento e a eficiência da conversão e os custos envolvidos para possível tratamento. A vazão do biogás gerado em m^3 / h , é suficiente para estimar a conversão de potência elétrica (KW/h) gerada na ETE. O H_2S , apenas indica a presença de uma variável fundamental, que poderá ser acompanhada de outras para fins de especificação e dimensionamento dos motores e tubulações com tratamentos anticorrosivos, sendo este fator de grande importância para entender os possíveis custos de materiais da planta. O conjunto desses dados compilados em um algoritmo taxonômico poderá prevê as características relevantes de uma ETE, frente a um processo de tomada de decisão por parte dos investidores em saneamento básico, com fins energéticos.

Os modelos de simulação são alimentados por situações previsíveis e catalogadas de acordo com as características de cada estação de tratamento. As características¹ de 1 a 4, estão representando o tipo de reator, a vazão do biogás, a concentração do metano e a do ácido sulfídrico. E essas características objetivo reduzir incertezas, quanto ao real potencial de uma ETE, servindo de base para a tomada de decisões.

Foram considerados situações hipotéticas, com características específicas para cada estação. Sendo que cada caso enumerado mostra as características gerais das ETEs, ainda que essas informações apenas sinalizam a existência de informações dos parâmetros selecionados. No primeiro nível de análise o aplicativo dispõe de uma tabela binária conforme a figura 4.5, onde a existência de uma informação poderá configurável e na saída obter as características e estações já implementadas, elegendo ou não as estações para o nível de futura produtora de

¹ As características referenciadas são visualizadas no software como: “carac0, carac1..., caracn”

energia elétrica por biogás, com total facilidade de interpretação dos resultados como mostra a figura 4.6.

Figura 4.5 – Entrada de dados configurável

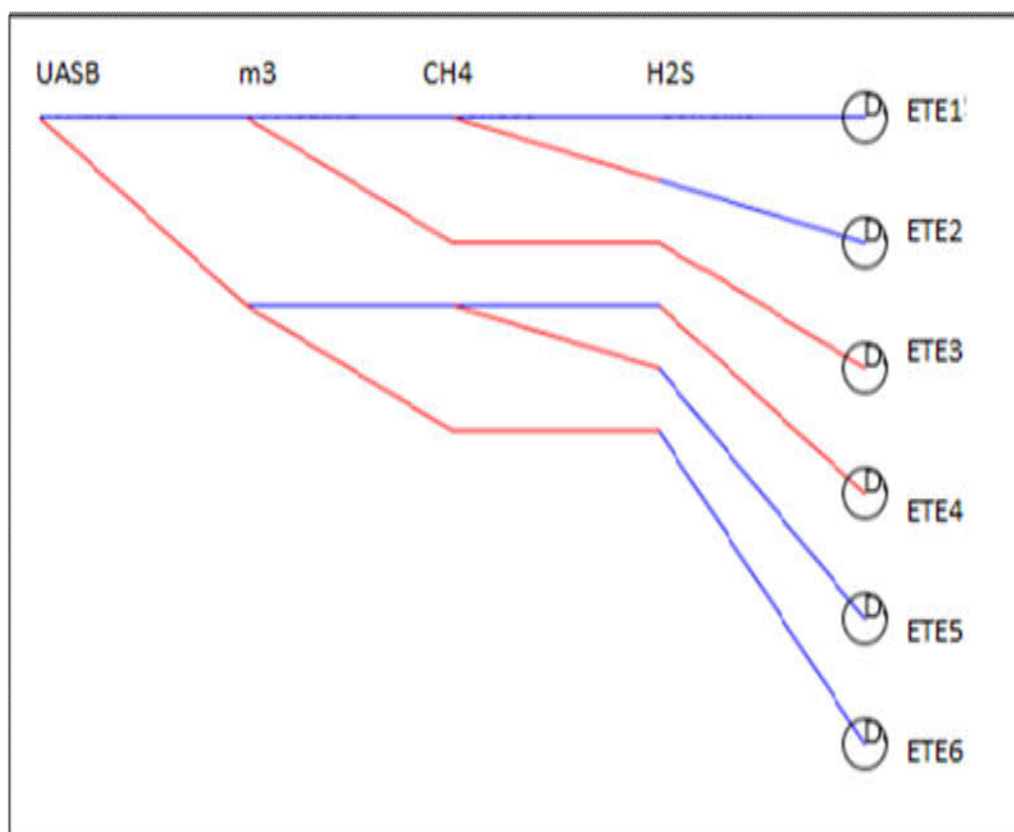
	UASB	VAZÃO	CH4	H2S
ETE	4	2	1	1
.	4	1	1	1
.	4	2	1	3
.	4	4	2	1
.	4	4	3	2
ETE	4	3	4	4

Fonte: Elaboração própria (2015).

Na figura 4.5, a saída proposta mostra-se codificada, sendo está configurada para interpretação de acordo com a figura 12 abaixo, que representa as características configuradas e suas respectivas unidades geradoras, que são as estações ou “ETEs”.

Em todos os casos analisados a árvore taxonômica e a tela de entradas não foram configurados, essa opção de configuração está sofrendo alterações no código para adequação gráfica nos futuros projetos.

Figura 4.6 – Saída taxonômica configurável na árvore



Fonte: Elaboração própria (2015).

4.4 Caso 1 – Geração de EE com parâmetros ótimos

A concepção ótima está em função dos dados de volume de biogás gerado, grau de pureza do biogás, e a tecnologia de tratamento adotada em determinada estação de tratamento, se estes estiverem com seus valores iguais ou acima dos padrões mínimos.

De acordo com a árvore taxonômica gerada para o caso 1, em uma situação hipotética, todos os dados analisados encontram-se com valores maiores que o mínimo adequado. Isso para configurar a homogeneidade de um bloco de parâmetros analisados.

Nessa condição os parâmetros indicam quais valores estão iguais ou acima dos referenciados que estão na Tabela 4.1 e inseridos no software. A resposta através da árvore taxonômica tiveram resultados divergentes, para uma mesma

proposta, isso indicou que a configuração de programação algorítmica pode ser adequada para uma determinada situação e inadequada para outra.

Tabela 4.3 – Dados quantificados com parâmetros ótimos

Referência	1/0	> 1 m3	> 35 %	< 1000
	Reator UASB	Vazão/dia	Metano	Ácido Sulfídrico
ETE1	1	1,7	38	970
ETE2	1	1,4	38	895
ETE3	1	1,8	38	697
ETE4	1	2	40	859
ETE5	1	2	42	743
ETE6	1	1,93	55	453

Fonte: Elaboração própria (2015).

Tabela 4.4 – Tabela Binária para do caso 1

Referência	1/0	> 1 m3	> 35 %	< 1000
	Reator UASB	Vazão/dia	Metano	Ácido Sulfídrico
ETE1	1	1	1	1
ETE2	1	1	1	1
ETE3	1	1	1	1
ETE4	1	1	1	1
ETE5	1	1	1	1
ETE6	1	1	1	1

Fonte: Elaboração própria (2015).

4.5 Caso 2 – Geração de EE com parametrização híbrida

A concepção híbrida condiciona os valores dos parâmetros informado pelos fabricantes de equipamentos geradores de equipamentos e também em função capacidade da estação em produção mínima de biogás, onde esses parâmetros ora estão dentro dos padrões ótimos, ora estão abaixo.

De acordo com a árvore taxonômica gerada para o caso 2, em uma situação hipotética, todos os dados analisados encontram-se com valores iguais, maiores e ou abaixo do mínimo adequado. Isso para configurar a heterogenia de um bloco de parâmetros analisados.

Nessa condição os parâmetros indicam quais valores estão referenciados na Tabela 4.1 e inseridos no software. Os testes, tiveram resultados significativos, para uma mesma proposta, tal que a configuração de programação algorítmica pode ser

adequada para determinada situação proposta para o caso 2, conforme as Tabelas 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5 – Tabela de dados com parâmetros híbridos

Referência	1/0	> 1 m3	> 35 %	< 1000
ESP/CARAC	Reator UASB	Vazão/dia	Metano	Ácido Sulfídrico
ETE1	1	0,76	32	1045
ETE2	0	0,43	22	1221
ETE3	1	0,97	14	1432
ETE4	0	0,2	17	1976
ETE5	1	0,1	13	1421
ETE6	0	0,99	31	2341

Fonte: Elaboração própria (2015).

Tabela 4.6 – Tabela Binária para do caso 2

Referência	1/0	> 1 m3	> 35 %	< 1000
ESP/CARAC	Reator UASB	Vazão/dia	Metano	Ácido Sulfídrico
ETE1	1	1	0	1
ETE2	0	0	0	0
ETE3	1	0	0	0
ETE4	0	1	0	0
ETE5	1	1	0	0
ETE6	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria (2015).

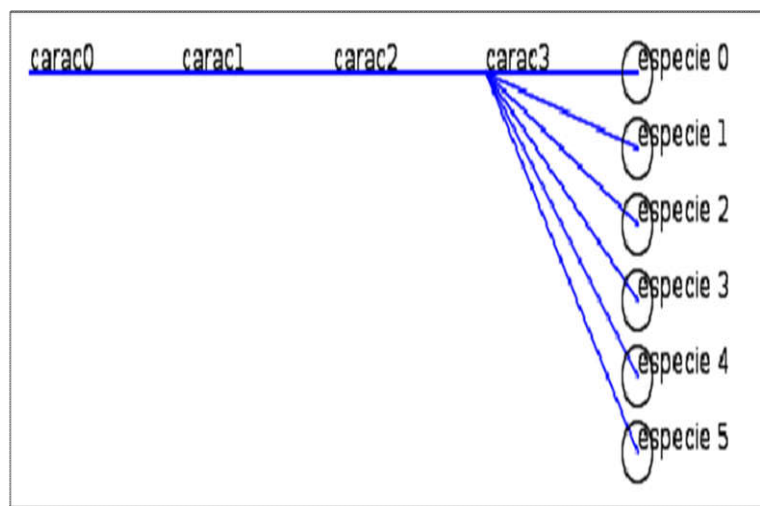
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo destina-se a apresentação dos resultados obtidos a partir da modelagem proposta no capítulo anterior. Esses resultados foram construídos nos modelos de simulação estão conforme descritos no item 4.2.4 e visualizado na figura 4.5.

5.1 Caso 1 – Árvore Binária

O algoritmo da exclusão, ao processar os dados de saída não diferenciou os resultados, pois os dados da estação no padrão “ótimo” estão no mesmo patamar. Esse resultado conforme a figura 5.1, sugere que todas as estações analisadas se configuram como elegíveis para uma próxima análise ou também quais são as estações que tem possibilidade de quantificação dos parâmetros, ou se estes são iguais ou melhores que os valores referenciados na Tabela 4.1, este resultado apenas indicaria que todas estão aptas para futuros empreendimentos de geração de energia elétrica. A saída de dados, no caso representado pela tabela binária, é de grande importância para uma avaliação prévia de um bloco heterogêneo de estações, onde não seja possível quantificar os valores dos parâmetros pré-estabelecidos da tabela 4.6. A tabela, é a forma convertida para binária em relação aos parâmetros ótimos da tabela 4.3.

Figura 5.1 - Árvore taxonômica da tabela binaria para o caso 1



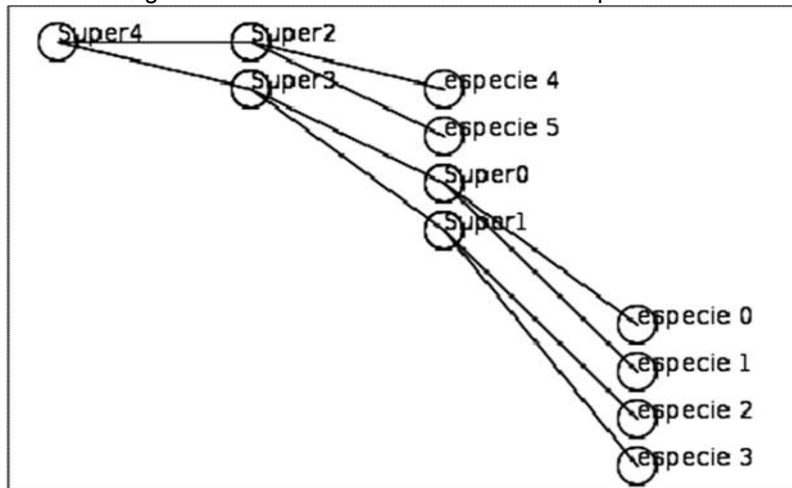
Fonte: Elaboração própria (2015).

5.2 Caso 1 –Árvore das médias

Na condição ótima, a árvore taxonômica proposta pelo algoritmo das médias conforme figura 5.2, mostra-se através da formação de pares com a inclusão de uma super. espécie, suposto ancestral comum das espécies que compõem o par. Logo este algoritmo tende a gerar árvores taxonômicas binárias. Essas árvores são claramente indicadas para qualquer valor de dados observados e gera uma árvore com número de níveis igual ao número de espécie ao observadas dividido por 2.

As espécies “4” e “5”, estão melhores classificadas. Nesse algoritmo não apresenta quais características estão em evidência. Logo o resultado mostrado na figura 5.2 não condiz para o caso proposto, por isso a arvore proposta pelo algoritmo das médias não é aplicável para o modelo “ótimo”.

Figura 5.2 - Árvore taxonômica de Médias para o caso 1



Fonte: Elaboração própria (2015).

5.3 Caso 1 – Árvore de Wagner

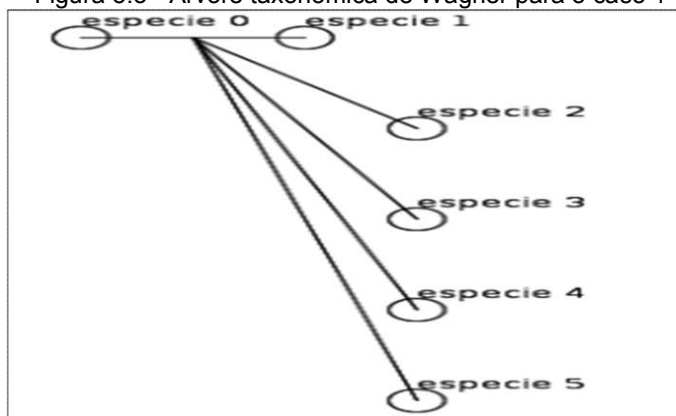
O algoritmo de Wagner, na sua representação gráfica de arvore taxonômica, mostrada na figura 5.3 que essa concepção de visualização pode ser útil em situações em que a distância entre as características sejam determinantes, tal princípio, no entanto é grandemente usado no estudo da filogenia, onde é possível mensurar a qualidades e comparar com os ancestrais. No caso em estudo, é bem mais criterioso não distinguir se tais características têm similaridade em comparação

ao ancestral comum. Por exemplo: Não é possível estabelecer similaridade com uma ETE que possui reatores *Uasb* com a concentração de H₂S (ácido sulfídrico na composição da biomassa existente). Se fosse possível, o algoritmo estabeleceria uma comparação de semelhanças fenotípicas relacionadas ao reator *Uasb* e a concentração de H₂S.

As espécies “0” e “1”, são geradas em todas as situações e representam as estações de tratamento. A espécie “2” é eleita como a melhor por apresentar a menor distância entre as espécies “0” e “1”. Nas espécies “4” e “5” indicam que suas características estão com uma distância muito maior que as demais, sendo então estas espécies rejeitadas.

Porém para um trabalho de seleção com dados homogêneos não é interessante sua representação como principal elemento para a tomada de decisões, isso deve-se a sua principal estrutura de compilação de dados, visto que os dados são compilados por distâncias de características e proximidade. Na análise de uma estação de tratamento esses dados não são semelhantes e representam grandezas absolutas. Para o caso 1, todos os parâmetros estão iguais em valor numérico e com suas significações diferenciadas e no caso ótimo, o algoritmo de Wagner compilou de forma a diferenci-los, não preservando a unicidade da parametrização unipolar².

Figura 5.3 - Árvore taxonômica de Wagner para o caso 1



Fonte: Elaboração própria (2015).

² Unipolar, parâmetro que no modelo “ótimo” atribui-se valor “1”. Devido a similaridade numérica no padrão ótimo, o código binário (‘0’ ou ‘1’, ruim e ótimo respectivamente) considera que as espécies “0” e “1” são responsáveis pelas demais características, o que não é verdadeiro.

5.4 Caso 1 – Árvore Multivalorada

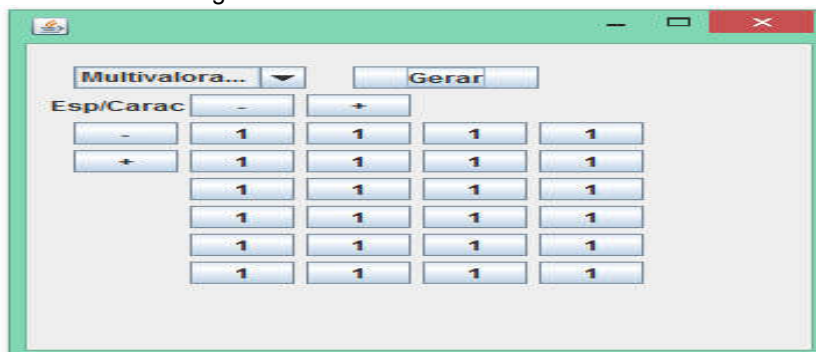
O algoritmo proposto para a saída Multivalorada assemelha-se a uma configuração binária com valores iguais a “1” (um), sinalizando a melhor proposta de parâmetros e também representa as características de uma estação com distanciamento fixo, em que as distancias sejam. Logo de acordo com a árvore da figura 5.4, mostra que esse algoritmo não se aplica ao caso proposto para uma classificação e identificação gráfica precisa e verdadeira de uma estação com potencial de geração de energia elétrica, pois apresenta uma visualização incompatível com as grandezas mensuradas no experimento. A semelhança na árvore proposta na figura 5.4 e 5.5 com a 5.1 deve-se ao uso do padrão unipolar comum a ambos.

Figura 5.4 - Árvore Multivalorada caso 1



Fonte: Elaboração própria (2015).

Figura 5.5 - Árvore Multivalorada caso 1

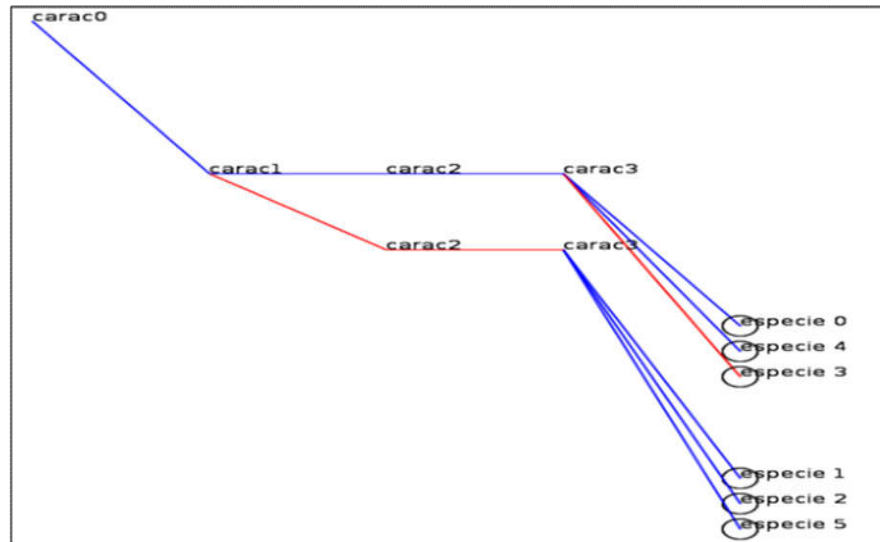


Fonte: Elaboração própria (2015).

5.5 Caso 2 – Árvore Binária

A tabela 4.6, é a forma convertida dos parâmetros híbridos da tabela 4.5. O gráfico da árvore binária apresenta a espécie “0”, com todos os parâmetros possíveis nos patamares aceitáveis (a tabela binária identifica que todos são mensuráveis, não importando seus valores). As espécies 1, 2 e 5 estão no mesmo nível de prioridade uma vez que as características 1 e 2 não estão quantificados, apresentando nível “0” ou “inexistente”. Logo as espécies (ou estações de tratamento correspondentes) elegíveis são a “0” (zero) e “4” (quatro).

Figura 5.6 - Árvore Binária caso 2

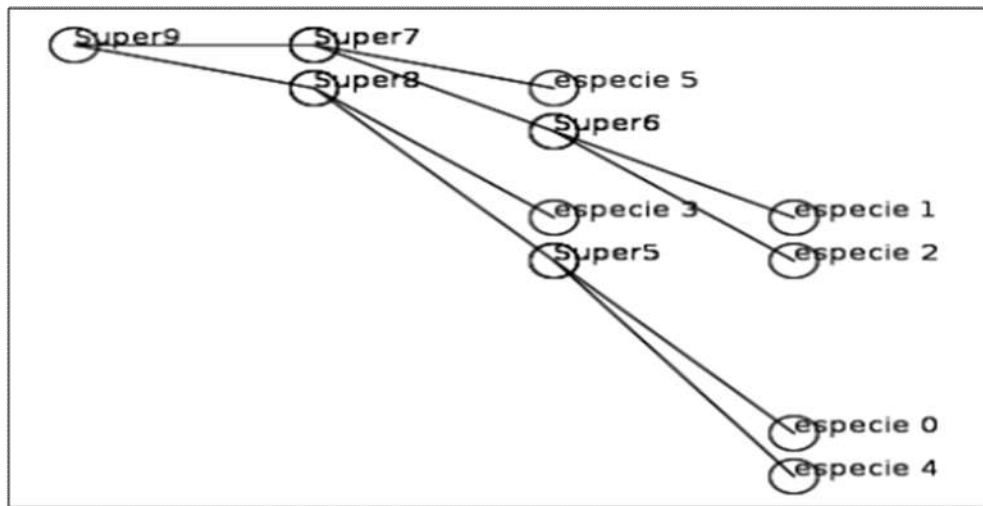


Fonte: Elaboração própria (2015).

5.6 Caso 2 – Árvore das médias

Conforme figura 5.7. Para um resultado verdadeiro a “superespécie” deve ser expurgada e efetuado a leitura no sentido vertical de cima para baixo, onde a espécie, e suas características não ficam expressas apenas indica qual espécie ou ETE está em melhores condições. Na árvore mostrada na figura 5.7, a espécie “5” e “3” estão melhores classificadas, embora não seja visível na árvore gerada por este algoritmo as características responsáveis por este resultado.

Figura 5.7 - Árvore taxonômica e tabela de Média caso 1

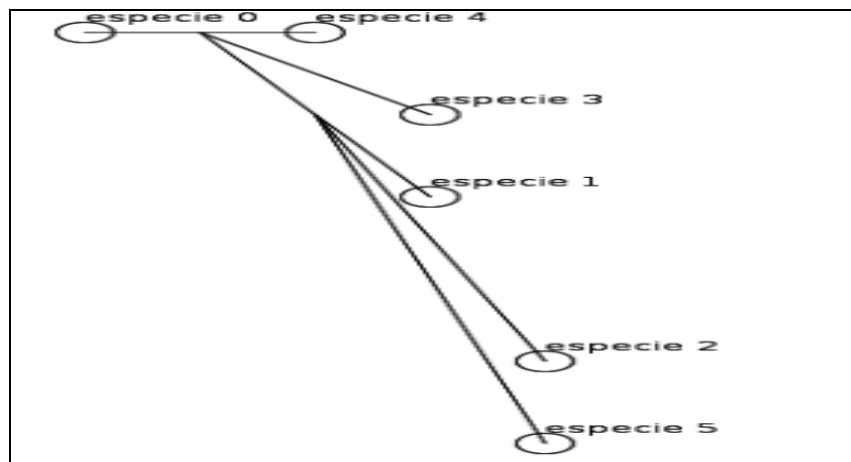


Fonte: Elaboração própria (2015).

5.7 Caso 2 – Árvore de Wagner

O algoritmo de Wagner, na sua representação gráfica de árvore taxonômica, mostra que as espécies “0” e “4” (ETE1 e ETE5) estão no topo das prioritárias mostrando-se empatadas, na sequência vem as espécies 3,1,2 e 5. (ETE4, ETE3, ETE2 e ETE1).

Figura 5.8 - Árvore taxonômica de Wagner para o caso 2



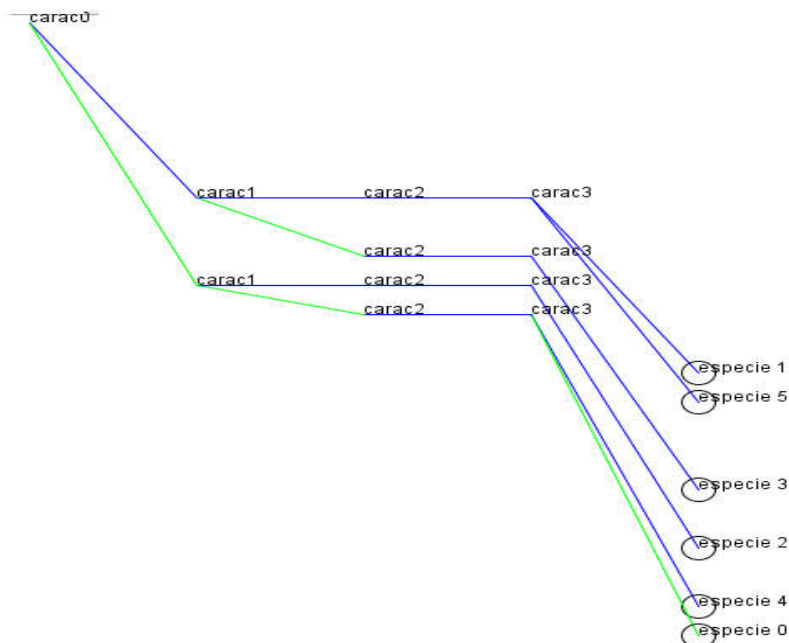
Fonte: Elaboração própria (2015).

5.8 Caso 2 - Árvore Multivalorada

O algoritmo proposto para a saída Multivalorada, representa as características de uma estação com distanciamento fixo, como a distância está fora da faixa compilada no software, a saída apresenta as espécies 1, 2 e 3 com as melhores condições. A tabela de dados inserida foi a correspondente binária, mostrada na tabela 4.7. Diante dessa limitação de valores, que no caso abaixo mostrado na figura 5.9, mostra que esse algoritmo não se aplica ao caso proposto para uma classificação e identificação gráfica mais precisa de uma estação com potencial de geração de energia elétrica.

Abaixo conforme figura 5.10 a entrada dos dados para o padrão “multivalorada” pode ser construída a partir da tabela binária conforme tabela 4.5 e também como tabela convertida em função dos parâmetros conforma já visto na secção 4.

Figura 5.9 - Árvore Multivalorada caso 2



Fonte: Elaboração própria (2015).

Figura 5.10 - Interface para Multivalorada Binária - Caso 2

The interface consists of a window with a green border. At the top left is a small icon. To its right are standard window controls: a minus sign, a maximize button, and a red close button with a white 'X'. Below these controls, there is a dropdown menu labeled 'Multivalora...' with a downward arrow. To the right of the dropdown is a button labeled 'Gerar'. Below the dropdown and button are two buttons labeled '-' and '+', with the label 'Esp/Carac' to their left. Below these are two rows of buttons. The first row has buttons labeled '1', '1', '1', and '1'. The second row has buttons labeled '1', '0', '0', and '1'. Below these are four more rows of buttons, each with four buttons labeled '1', '0', '0', and '1'.

Fonte: Elaboração própria (2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Discussões sobre os resultados

Os algoritmos que apresentaram melhores resultados ficaram disponíveis na tabela binária, por exibir uma tela mais objetiva e com facilidade na sua interpretação. Os demais apresentaram uma dificuldade maior de compreensão dos resultados, onde estes não foram completos em sua visualização, justificando um trabalho futuro de aprimoramento principalmente devido à inclusão de espécies ancestrais na árvore como foi o caso do algoritmo das médias e de Wagner, que os nós conectados a um ancestral possuem alguma relação de dependência entre si, o que não é necessariamente verdade. Portanto, estas visualizações necessitam de mais tempo para serem entendidas que a anterior. Outro problema é a distribuição das qualidades das características no algoritmo de Wagner, que classifica uma determinada estação sem identificar qual característica foi responsável, gerando uma árvore com estações distribuídas desordenadamente.

A tabela binária é grande utilidade para um estudo inicial que classifica uma estação segundo a existência de uma informação ou não. Também para indicar os parâmetros que estão dentro do patamar “ótimo” como “1”, e os que estão fora desse patamar como “0” (zero).

6.2 Trabalhos futuros

Este trabalho continuará no sentido de aprimorar o melhor algoritmo que possibilite melhores visualizações, observando a diferença que, além de classificar as características configuráveis de uma determinada estação e além disso a princípio, propõem-se como trabalhos seguintes a este um mais profundo estudo sobre árvores filogenéticas, com o foco em descobrir outras maneiras de representar os dados que vão identificar as estações e suas respectivas características com a finalidade de servir de auxílio para a tomada de decisões pela classe investidora em aproveitamento energético do biogás gerado nas estações de tratamento de esgoto utilizando os conceitos de classificação em filogenia.

E neste contexto seria investigar uma maneira de relacionar os dados de entrada com os parâmetros na tabela multivalorada.

Alguma maior atenção também deve ser dada futuramente ao tratamento dos dados antes da execução, principalmente para gerar visualizações com informações obtidas nas análises físico-químicas.

O software também apresenta a característica de informar graficamente ao usuário qual característica físico-químicas do biogás apresenta-se com ou sem informação especificada, informando assim, mais intuitivamente os dados importantes que se faz necessário.

REFERÊNCIAS

ATMAR, W. Notes on the simulation of evolution. IEEE Trans. **Neural Networks NN-5:130-47**. **Bäck, T.**; Fogel, D. B. & Michalewicz, Z. 1997. Handbook of Evolutionary Computation. Inst., 1994

ABE J. M., PAPAVERO N. **Teoria Intuitiva dos Conjuntos**. São Paulo: Editora Makron Books, 1991.

AMORIM D.S., **Elementos Básicos de Sistemática Filogenética**. São Paulo. Sociedade Brasileira de Entomologia, 1994.

ANEEL, **Resoluções Normativas**, referências disponíveis na internet, biblioteca virtual, item pesquisa resoluções normativas. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 maio 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, **Atlas de Energia Renovável Parte II**. 2009. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas.pdf>. Acesso em: 31 maio 2015.

ANP. Agencia Nacional do Petróleo. **Resolução ANP nº 23, de 6.7.2010**, DOU7.7.2010. Gás Natural e Biocombustíveis. 2010.

BONA, F.S.D.; RUPPERT FILHO, E.. As Microturbinas e a Geração Distribuída. In: Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 5, 2004, Campinas. **AGRENER GD 2004 - 5o. Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída**. Campinas: NIPE - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Unicamp, 2004.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia prático do biogás**. 2013a. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, **RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**.

BRASIL. **Lei Federal Nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Brasília, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO BÁSICO. **Esgotos sanitário abastecimento d'água: Planejamento geral, Maceió-AL**.v. 3. Recife, 1971

BRENNEISEN, P. J. **Desempenho de motogerador de ciclo diesel operando com gás de gaseificação/diesel ou biogás/diesel**. 2013. 41 f. Dissertação (Mestrado em Energia na agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

CAPSTONE, Authorized Service Provider Training Manual Capstone Turbine Corporation, 2001.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Apostilas do curso de Tecnologia de Controle de Poluição por Material Particulado**. São Paulo, 2010. 25 p.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

COMPANHIA DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA E SANEAMENTO DO ESTADO DE ALAGOAS. **Sistema de abastecimento d'água Riacho da Aviação**, Maceió –AL. Maceió: CASAL, 2010.

COSTA, D. F. da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 37 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ENEDIS. **Manual técnico da microturbina**. Disponível em: <<http://biogas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/27/2014/01/enedis.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2015.

ENERGY. 1. ed. New York, USA: **Wesley-IEEE Press**, 2006. v. 1. 504 p.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015: Relatório de Síntese, ano base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 274p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 30 abr. 2015

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto** - Estudo de caso. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FARRET, Felix A.; SIMÕES, M. Godoy. Integration of alternatives sources of energy. In: _____. **Integration of Alternative Sources of Energy**, 2009. p. 301-332, 2009.

FARRIS J. S. **Conjectures and Refutations**. Cladistics, v.1995, p. 105-118, 1995.

FERNANDES, F. M. C. & MATIOLI. Noções de filogenética molecular. São Paulo. **Depto. de Biologia, Instituto de Biociências, USP**. v.63, n.1/2, p.37-38, jan. /dez. 2001.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização do biogás de aterro sanitário para Geração de energia elétrica e iluminação a gás**: Estudo de caso. 146 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2007.

FONSECA, S.D. **Aplicação de árvores filogenéticas para a classificação do estado dos componentes da rede elétrica**. 2014. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em ciência da computação) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

FRANÇA JUNIOR, Antônio Tavares de. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto**. 2008. 148 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, São Paulo, 2008.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 3ed.rev. Brasília: FUNASA, 2004a.

GALLINA, T. Fet al. **Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás das estações de tratamento de esgoto de Florianópolis**. 2013. Disponível em: <https://repositório.ufsc.br>. Acesso em: 11 maio. 2015.

GUDA, S. R.; WANG, C.; NEHRIR, M. H. A Simulink-Based Microturbine Model for Distributed Generation Studies. In: ANNUAL NORTH AMERICAN POWER SYMPOSIUM, PROCEEDINGS OF THE ANNUAL NORTH AMERICAN POWER SYMPOSIUM, 37., **Anais ...** 2005. p. 269 - 274

HAANDEL, V. LETTINGA. **Tratamento anaeróbio de esgotos - Um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande. 1994. 240 p. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>> Acesso: 20 maio 2015.

IEA BIOENERGY, 2005. **Biogas production and utilisation**. IEA Bioenergy. Disponível em: <www.ieabioenergy.com> Acesso em maio 2015.

JUSTI, J. **Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia elétrica em estações de tratamento de esgoto urbanas após a implantação da REN 482/2012**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul., 2013.

LEITE, S. H. P. C. **Aproveitamento energético de resíduos de esgotamento sanitário**. Guaratinguetá. 2013. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação engenharia mecânica) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/119604>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

LEMONS, M. V. D. **Uso eficiente de biogás de esgoto em motores geradores**. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:<http://prh.mecanica.ufrj.br/index_arquivos/alunos/Marcus.Lemos.GRA.2013.pdf>. Acesso em: 11 maio. 2015.

LETTINGA, G.; VAN HAANDEL, A. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

LOBATO, L.C. S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico**. Tese (Doutorado. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais UFMG.2011.

LOMBARD, X., KHAIRALLAH, P. **Return of Experience for Microturbines Running on Landfill Gas // waste water gas in Europe**, VERDESIS, Belgium. BIOTURBINE Project Workshop. 2004.

MACEDO, L. V. de (Coord.). **Manual para aproveitamento do biogás**: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

MACEIÓ. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Documento de Informações Básicas para a reelaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Maceió**. Produto 5, v. 2, digital, 2005.

MACEIÓ . Prefeitura Municipal. **Base cartográfica do município de Maceió**. 2009.

MATOS, B. K.; ALMEIDA, M. DE S. S. **Desenvolvimento da modelagem dinâmica de uma microturbina para a sua utilização na geração distribuída: análise em uma planta piloto**. 2012. 135 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia industrial elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

MATIOLI, SR.; FERNANDES, FMC. Biologia molecular e evolução. In: **Biologia molecular e evolução**. Holos/Sociedade Brasileira de Genética, 2012.

MEIDANIS, J. e SETUBAL, J. **Multiple Alignment of Biological Sequences with Gap Flexibility**". **Second South American Workshop on String Processing**, Chile, pp. 138-153, April 1995.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno de Saneamento Ambiental.v.5**.Brasília: MCIDADES, 2004c.

NUVOLARI, A, et al. **Esgoto sanitário. Coleta, transporte tratamento e reuso**. São Paulo, Brasil: Editorial Edgard Blücher Ltda., p. 520, 2003.

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

PESSOA, Matheus de Oliveira. **Avaliação da produção de biogás a partir de efluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco. Recife.2013.

PINTO, Jorge Francisco da Cunha. **Epidemiologia molecular do vírus da imunodeficiência humana do tipo I: métodos de inferência filogenética**. 2004.

PNSB.**Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.Pdf>. Acesso em: 04 mar. 2015.

PINTEIRO, L. C.; VIANA, G. V. R.; GOMES, F. A. C.; VIANA, N. G. Técnicas Algorítmicas para Construção de Árvores Filogenéticas. **Revista Científica da Faculdade Lourenço Filho**, v. 4, n. 1, 2005.

- PRADO, OCLAIR GALLACINI. **Computação Evolutiva Empregada na Reconstrução de Árvores Filogenéticas**. 2001. 13 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.
- PROBIOGÁS. **Tecnologias da digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: Substratos, Digestores e Uso de Biogás**. Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás. 2014.
- PROSDOCIMI F. et al. **Bioinformática: Manual do usuário**. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento. Brasília, n. 29. p. 12-25, 2001.
- SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. Tese. 219 f. (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, 2007. Disponível: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/biogas/files/2014/01/salomon.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2015.
- SILVA, JDS. **Urbanização e saúde em Maceió-AL: o caso dos Bairros Vergel do Lago, Jacintinho e Benedito Bentes**. 2011.132 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2011.
- TREVISAN, A.S. **Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão**. 116 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- VELÁZQUEZ, S. M. S. G. et al. **Sistema de Purificação de Biogás de Esgoto para utilização em Microturbinas**. Centro, v. 84, n. 2, p. 05, 2003. Disponível em: <<http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/RNCSEP%20B-166.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2015.
- VIEIRA, R. V. **Sistema Neurosimbólico para Construção de Árvores Filogenéticas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- VON SPERLING, M. **Características das águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.
- WAEKENS, B. E. STERNAD. W. Potencial de otimização da produção de biogás gerado por uma digestão anaeróbia em ETEs. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**. Vol. 4, No. 1, 65 - 75, 2011, v. 4, n. 1, p. 65–75. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/26013>>. Acesso em: 28 abr. 2015.
- WILEY E.O., SIEGEL-CAUSEY D., BROOKS D.R., FUNK V.A., The Compleat Cladist: **A Primer of Phylogenetic Procedures**. Publicação especial nº 19 da University of Kansas Museum of Natural History, 1991.
- ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em

engenharia ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau, 2003.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético.). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2015.