

## **XI-101 - PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS, COM APLICAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO BALDO**

**Joale de Carvalho Pereira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Pós-Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Potiguar (UNP). Mestre em Energia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheiro da CAERN-RN. Doutorando em Engenharia Elétrica na UFRN.

**Ricardo Ferreira Pinheiro<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Professor da UFRN. Doutor em Engenharia Elétrica na Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Alameda das Mansões, 218 - Candelária - Natal - RN - CEP: 59064-740 - Brasil - Tel: (84) 98723-9745 - e-mail: [joale.carvalho@gmail.com](mailto:joale.carvalho@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Campus Universitário, Centro de Tecnologia, DCA - Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59072-970 - Brasil - Tel: (84) 3215 3771 Ramal 232 - e-mail: [ricpinh@ufrnet.br](mailto:ricpinh@ufrnet.br)

### **RESUMO**

O presente trabalho foi estruturado em função da grande necessidade de inserção de fontes renováveis de geração de energia elétrica na matriz energética mundial, mais especificamente, na utilização da energia térmica disponível no biogás. Este uso, além de propiciar a geração de energia, agrega benefícios ao meio ambiente, pois, quando não aproveitado, frequentemente o biogás é lançado diretamente na atmosfera, sendo muito agressivo ao meio ambiente. Nesta proposta, o biogás é utilizado em motores de combustão interna para acionamento de geradores elétricos. Como forma de possibilitar um melhor aproveitamento da produção do biogás, foi desenvolvido um programa computacional, o SAGGAS. A partir dos dados de vazão volumétrica do biogás, suas propriedades e características técnicas da instalação, o SAGGAS simula o funcionamento do sistema de geração e determina uma combinação de geradores que possibilita maximizar a geração de energia e o retorno financeiro. O programa foi aplicado na estação de tratamento de esgotos do Baldo, situada no município do Natal/RN. Obteve-se nesta aplicação, um Valor Presente Líquido de R\$ 46.356.973,80 para o sistema de geração no decorrer de 20 anos, com um Índice de Benefício Custo de 2,85, o que mostrou a grande rentabilidade financeira do projeto, fruto de uma eficiente utilização do biogás propiciada pela metodologia do SAGGAS. Demais características do programa e do sistema dimensionado para a ETE do Baldo serão descritas no decorrer deste trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração de Energia Elétrica, Energia Renovável, Biogás, Estações de Tratamento de Esgotos, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, Geradores Elétricos.

### **INTRODUÇÃO**

A inserção de fontes renováveis na matriz energética mundial visa tanto suprir o consumo crescente, como propiciar um menor impacto ambiental, comparativamente às principais fontes utilizadas atualmente, que utilizam recursos fósseis finitos, como o carvão, o petróleo e o gás natural, ou causam grandes impactos ambientais, como é o caso das hidroelétricas. Somando-se a tudo isso, ainda se deve levar em consideração a grande emissão de dióxido de carbono que atinge a atmosfera. O Brasil, apesar de tardiamente, está percebendo a importância da geração de energia elétrica a partir de outras fontes, já que se imaginava as hidroelétricas capazes de atender todo o consumo nacional a longo prazo.

O biogás produzido em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), aterros sanitários e demais instalações semelhantes frequentemente é descartado diretamente no meio ambiente ou queimado em *flares*. Observando-se que nesta queima está sendo desperdiçado um grande poder calorífico para a geração de energia elétrica,

decidiu-se por desenvolver este trabalho visando ao aproveitamento deste potencial. A metodologia criada poderá ser aplicada a qualquer instalação que produza biogás e que se tenha o desejo de utilizá-lo para a geração de energia elétrica.

O objetivo principal deste trabalho foi criar um programa computacional, o SAGGAS, para dimensionamento de sistemas de geração de energia elétrica a partir do biogás, aplicar a sua metodologia, detalhar os componentes do sistema de geração e realizar uma análise financeira do investimento. O SAGGAS pode ser utilizado para dimensionar um, ou um conjunto de geradores, funcionando de forma escalonada, com o intuito de maximizar o retorno financeiro obtido e a utilização do biogás. O método de escalonamento de geradores criado no SAGGAS foi desenvolvido em virtude do perfil de produção do biogás variar bastante em alguns casos. Desta forma, é necessário considerar um ou um conjunto de geradores funcionando a cada instante, de acordo com a vazão volumétrica de biogás produzida. Busca-se, desta forma, que o sistema de geração opere o maior tempo possível dentro do intervalo de produção do biogás, com a maior proximidade entre a vazão produzida e a utilizada pelos geradores.

## **CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS E DO BIODIGESTOR UASB**

O biogás é incolor, insolúvel e de baixa densidade, constituído principalmente por metano, gás carbônico e outros gases em menores concentrações. Ele é obtido através da digestão anaeróbia da matéria orgânica (FISHER et al., 1979). Este processo é realizado através de microrganismos (bactérias), que não precisam de oxigênio dissolvido na água ou no ar para sobreviver. Elas "respiram" o oxigênio que faz parte das moléculas complexas de carbono que compõem os lipídios, carboidratos e proteínas (biomassa). Quando retiram o oxigênio, rompem essas cadeias moleculares transformando-as em outras menores, como metano e gás carbônico. Para realizar a digestão anaeróbia da matéria orgânica são utilizados os equipamentos denominados biodigestores (CHERNICHARO, 2007).

O biodigestor modelo UASB é um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. Este é um equipamento difundido mundialmente, em países de clima quente, para o tratamento de esgotos domésticos em ETE's. Com retenção interna de lodo, este biodigestor de certa forma revolucionou a área de tratamento, pois passou a oferecer muitas vantagens que até então não se tinha, como o baixo custo operacional e o aproveitamento do biogás e do lodo gerados. O princípio deste equipamento se baseia no fluxo ascendente do afluente a ser tratado, o qual atravessa um leito de biomassa ativa (lodo), sendo descartado após passar por um sistema de placas defletoras colocadas no topo do biodigestor, que separa o biogás e o direciona para o coletor (HIDRATA et al., 1986).

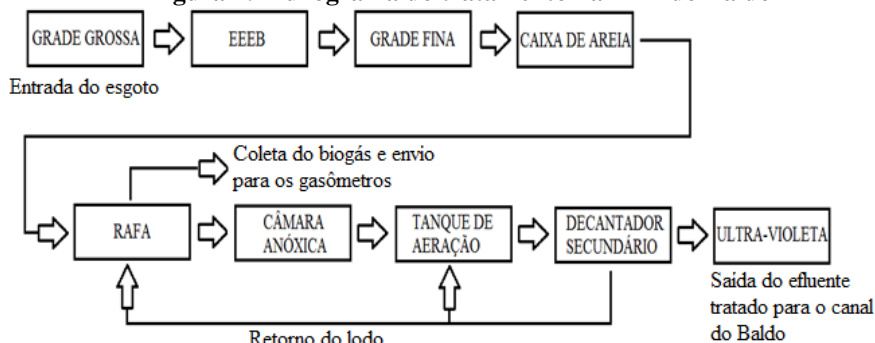
O principal componente do biogás, quando se pensa em sua utilização como combustível, é o metano. Quanto maior a sua concentração, mais puro é o biogás e maior é o seu poder calorífico (OLIVEIRA, 2005). De acordo com os resultados obtidos com a realização da análise do biogás, é determinado o seu potencial de geração e definidos os tratamentos necessários para a remoção das substâncias indesejáveis ao processo de geração de energia. Os tratamentos elementares visam à remoção do gás sulfídrico e da umidade.

Como a produção do biogás geralmente não ocorre de maneira uniforme e constante, um armazenamento mínimo é necessário, principalmente, para dar estabilidade ao sistema de geração. Desta forma, é permitida uma autonomia mínima de funcionamento aos geradores quando a vazão volumétrica de produção estiver abaixo do valor mínimo necessário, assim como, armazenamento do excesso de biogás produzido, que não pode ser aproveitado pelos geradores, para posterior utilização, diminuindo as perdas

## **PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ETE DO BALDO**

A ETE do Baldo é a maior estação de tratamento de esgoto sanitário do Rio grande do Norte, recebendo e tratando cerca de 30% de todo o esgoto produzido na cidade do Natal. O sistema de tratamento existente é composto pelo tratamento preliminar, tratamento primário, secundário e terciário. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma simplificado, desde a entrada do afluente até a saída do efluente tratado.

**Figura 1: Fluxograma do tratamento na ETE do Baldo**



Fonte: Elaboração própria.

O efluente é encaminhado para oito UASB's, que removem cerca de 65% da carga orgânica. O lodo que retorna do decantador secundário para os UASB's, sob o ponto de vista do tratamento, visa diminuir a quantidade final de lodo a ser descartado. Porém, esta é uma grande vantagem do projeto da ETE do Baldo no que tange à produção de biogás, haja vista que a DQO do lodo é em torno de 5000 mg/L, enquanto a do esgoto bruto é de 500 mg/L. Como a produção de biogás está diretamente relacionada com a DQO do afluente, este lodo vindo do decantador secundário proporciona um grande aumento na produção de biogás (CAERN, 2018)..

A subestação da ETE do Baldo é composta por dois transformadores, um de 1500 kVA e outro de 750 kVA. Cada transformador possui um circuito secundário exclusivo, não havendo comunicação entre as cargas que cada um alimenta.

## DESCRIÇÃO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

O SAGGAS é programa computacional desenvolvido para a simulação de sistemas de geração de energia a partir do biogás, de acordo com o método de escalonamento de geradores. A partir dos dados de produção e das características do biogás e da instalação, o programa dimensiona os geradores, obtém o valor possível de energia a ser gerada, os custos associados e realiza a análise financeira para o período estipulado.

Para a análise financeira do investimento, o SAGGAS utiliza o valor presente líquido (VPL) do investimento. Seu principal atrativo é a facilidade de compreensão e desenvolvimento da análise, que consiste basicamente em concentrar todas as receitas e despesas presentes no fluxo de caixa no período zero, fazendo uso da taxa mínima de atratividade (TMA). Dessa forma, a escolha dos geradores a serem instalados, como partes constituintes do sistema de geração, é realizada de forma a maximizar o VPL no decorrer do tempo considerado. Os custos de investimento inicial, manutenção, reposição de equipamentos, vida útil dos equipamentos, taxas financeiras e outros fatores inerentes ao sistema são importantes na definição do resultado (BRASIL, 2008).

Com a execução do algoritmo de dimensionamento do programa, é obtida a melhor combinação de geradores, visando a maximização do VPL. A energia horária gerada é obtida em função da vazão consumida por este(s) gerador(es). O programa permite dimensionar um, ou um grupo de geradores. No caso de ser necessária a utilização de apenas um gerador, não é empregada a metodologia de escalonamento, sendo realizada a escolha do gerador que apresente o maior VPL para os dados informados. Para a otimização, com redução do tempo de processamento e esforço computacional, da escolha dos geradores, é utilizada a metodologia do Algoritmo Genético.

O SAGGAS possui dez telas de interface para a entrada de dados e visualização dos resultados pelo usuário, que são as seguintes:

- Tela inicial;
- Telas de entradas de dados:
  - Produção de biogás;
  - Análise do biogás;
  - Cadastro dos geradores;

- Custos, taxas e tarifas;
- Características da instalação;
- Tela de Dimensionamento dos geradores;
- Telas de saída de dados:
  - Potencial de geração;
  - Payback e VPL acumulado;
  - Perfil de utilização do biogás;

## DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DA ETE DO BALDO

Para demonstrar a aplicação da metodologia desenvolvida na simulação do funcionamento de sistemas de geração a partir do biogás e dimensionamento da potência e quantidade de geradores, foi dimensionado um sistema de geração para a ETE do Baldo.

A partir das características inseridas no programa, que dizem respeito à produção do biogás, sua composição, características da instalação e do sistema de geração, foi obtida uma combinação de geradores para a composição do sistema de geração conforme apresentado na tabela 1.

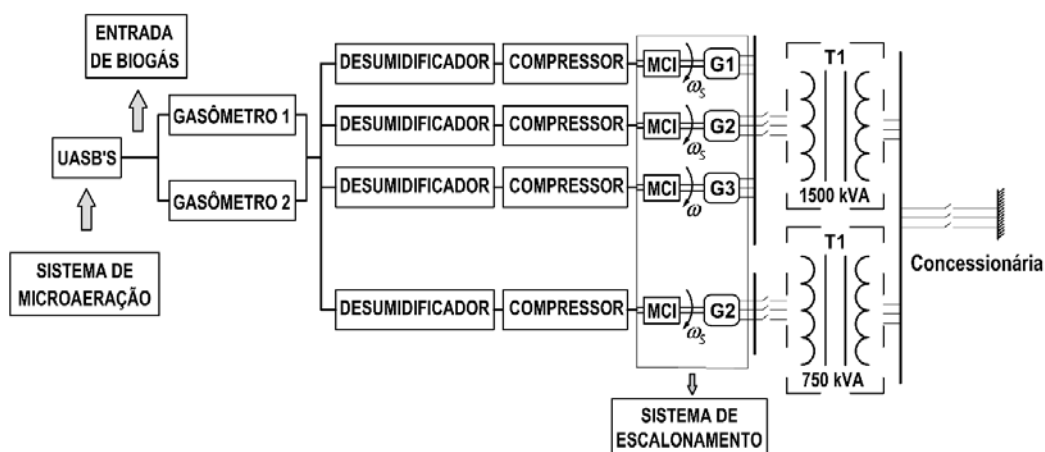
**Tabela 1: Valores obtidos pelo SAGGAS para os geradores na ETE do Baldo**

| Gerador                   | G1       | G2       | G3       | G4       |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Tipo                      | Síncrono | Síncrono | Síncrono | Síncrono |
| Transformador associado   | T1       | T1       | T1       | T2       |
| Vazão (m <sup>3</sup> /h) | 149,73   | 249,54   | 349,36   | 299,45   |
| S (kVA)                   | 300,00   | 500,00   | 700,00   | 600,00   |

Fonte: Elaboração própria.

O diagrama esquemático do sistema de geração obtido para a ETE do Baldo é apresentado na Figura 2, no qual podem ser observados os componentes de maior relevância.

**Figura 2: Diagrama esquemático do sistema de geração proposto para a ETE do Baldo.**



Fonte: Elaboração própria.

O período de simulação utilizado para a execução do programa corresponde aos dados de produção de biogás entre 27/05/2012 e 22/09/2012. Os valores obtidos para o volume total de biogás utilizado pelo sistema de geração, percentual de uso do biogás e energia gerada, podem ser observados na Tabela 2. Observa-se que, com a metodologia de escalonamento empregada, conseguiu-se utilizar um percentual de 67,42 % do total de biogás produzido nos UASB's. O volume diário que não é utilizado segue para a queima nos *flares*, podendo ser aproveitados para outros fins.

**Tabela 2 – Dados de simulação da geração de energia e utilização do biogás obtidos para a ETE do Baldo**

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| Volume de biogás utilizado (m³) | 2.388.784,53 |
| Percentual de uso do biogás (%) | 67,42        |
| Total de energia gerada (kW/h)  | 4.319.635,75 |

Fonte: Elaboração própria.

Os custos considerados para a implantação deste sistema de geração constam na tabela 3, considerando-se um período de utilização de 20 anos.

**Tabela 3 – Tabela de custos para o sistema de geração da ETE do Baldo.**

|  | Custo unitário (R\$) | Durabilidade (anos) |
|--|----------------------|---------------------|
| Gerador 1                              | 360.000,00           | 20,00               |
| Gerador 2                              | 550.000,00           | 20,00               |
| Gerador 3                              | 770.000,00           | 20,00               |
| Gerador 4                              | 660.000,00           | 20,00               |
| Demanda                                | 190.714,50           | 1,00                |
| Mão de obra e acessórios               | 505.500,00           | 20,00               |
| Manutenção                             | 701.390,28           | 1,00                |
| Análise do biogás                      | 3.000,00             | 1,00                |
| Desumidificadores                      | 200.000,00           | 20,00               |
| Sistema supervisor                     | 250.000,00           | 20,00               |
| Sistema de remoção do H <sub>2</sub> S | 500.000,00           | 20,00               |
| Gasômetros                             | 40.000,00            | 10,00               |

Fonte: Elaboração própria.

Com a realização da análise financeira, pode-se observar na tabela 4 o *payback* obtido através da análise do VPL acumulado da aplicação no decorrer dos 20 anos de funcionamento do sistema.

**Tabela 4 – VPL acumulado no decorrer de 20 anos**

| Ano | VPL acumulado (R\$) |
|-----|---------------------|
| 0   | -3.835.500,00       |
| 1   | -558.685,08         |
| 2   | 2.777.838,93        |
| 3   | 6.008.124,09        |
| 4   | 9.134.212,40        |
| 5   | 12.158.093,19       |
| 6   | 15.081.704,26       |
| 7   | 17.906.933,02       |
| 8   | 20.635.617,50       |
| 9   | 23.269.547,48       |
| 10  | 25.764.578,52       |
| 11  | 28.214.180,84       |
| 12  | 30.574.118,49       |
| 13  | 32.845.998,17       |
| 14  | 35.031.383,23       |
| 15  | 37.131.794,56       |
| 16  | 39.148.711,47       |
| 17  | 41.083.572,56       |
| 18  | 42.937.776,60       |
| 19  | 44.712.683,30       |
| 20  | 46.356.973,80       |

Fonte: Elaboração própria.

O VPL (lucro) e o Índice de Benefício Custo (IBC) encontrados para o sistema de geração durante os 20 anos de funcionamento são apresentados na tabela 5.

**Tabela 5 – VPL e IBC obtidos**

|           |               |
|-----------|---------------|
| VPL (R\$) | 46.356.973,80 |
| IBC       | 2,85          |

Fonte: Elaboração própria.

## CONCLUSÃO

A partir do programa computacional desenvolvido (SAGGAS) é possível aplicar a metodologia de escalonamento de geradores. Esta metodologia otimiza a geração de energia elétrica a partir do biogás, através do aumento do volume de biogás utilizado pelos geradores e da maximização do VPL. Pode-se concluir, a partir dos dados obtidos, que a metodologia de escalonamento é eficiente para sistemas que possuem produção de biogás com perfil variável, como é o caso da ETE do Baldo. Porém, o método do SAGGAS também pode ser utilizado em outros tipos de instalação, mesmo aquelas que possuam uma vazão de produção de biogás constante, neste caso, o(s) gerador(es) serão dimensionados sem utilizar o critério de escalonamento.

A aplicação do SAGGAS na ETE do Baldo mostrou ser viável a implantação do sistema de geração, obtendo-se um lucro (VPL) de R\$ 46.356.973,80 e um IBC de 2,85 para um período de 20 anos de funcionamento do sistema. Conseguiu-se obter um percentual de 67,42% de utilização do biogás produzido na ETE, gerando uma média de 1.088.983,80 kW/h de energia por mês. Estes resultados permitem concluir que o retorno financeiro é muito satisfatório, sendo o investimento inicial pago já no decorrer do segundo ano de operação do sistema. A energia gerada é suficiente para atender a todo o consumo de energia da ETE do Baldo, e o restante, sendo injetado na rede da distribuidora, pode ser utilizado para o abatimento de faturas em outros locais.

Em suma, observa-se que este trabalho apresentou um método diferente para o dimensionamento de sistemas de geração de energia a partir do biogás, através do escalonamento de geradores. Esta metodologia permite otimizar o volume de biogás utilizado pelo sistema de geração e maximizar o lucro obtido (VPL), através da escolha da melhor combinação para os geradores que virão a compor o sistema de geração. Este método foi concretizado no SAGGAS, um programa computacional que dimensiona os geradores e simula o funcionamento do sistema, apresentando o total de energia passível de ser gerada e a viabilidade econômico-financeira do investimento. Espera-se que este método empregado no SAGGAS possa contribuir futuramente para o incentivo ao uso do biogás como uma fonte renovável de geração de energia elétrica, trazendo benefícios às empresas, à sociedade e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS – ABNT. NBR 15213: Gás natural e outros combustíveis gasosos - Cálculo do poder calorífico, densidade absoluta, densidade relativa e índice de Wobbe a partir da composição. Rio de Janeiro, 2008.
2. ABIOGÁS – Associação Brasileira de Biogás e Biometano. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/producao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 25/07/2018.
3. BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. Editora Ícone, São Paulo, 2ª Ed., 2003.
4. CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/fontes?\\_afzLoop=536710192977525&\\_adf.ctrl-state=3k0thiohl\\_1#!%40%40%3F\\_afzLoop%3D536710192977525%26\\_adf.ctrl-state%3D3k0thiohl\\_5](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=536710192977525&_adf.ctrl-state=3k0thiohl_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D536710192977525%26_adf.ctrl-state%3D3k0thiohl_5)>. Acesso em: 04 out. 2017.
5. CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Disponível em <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC00000000017758.PDF>> Acesso em 25/07/2018.
6. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v.5, 2007, 377p.



7. CIBIOGÁS.Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás. Disponível em <<https://cibiogas.org/biogas>>Acesso em 13 dezembro de 2017.
8. FISHER, J.R.; IANNOTTI, E.L; PORTER, J.H; GARCIA, A. Producing methane gas from swine manure in a pilot-size digester. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 22, n.2, 1979. p 4-370.
9. HIDRATA, Y.S; CRAVEIRO, A.M; SOARES, H.M. Aplicação de reatores de fluxo ascendente com leito de lodo (RAFA) no tratamento de efluentes líquidos e produção de energia. In: Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia, Anais I. Brasília, 1986.
10. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. Secretariado pra América Latina e Caribe, São Paulo, SP, 2009, 80p.
11. LAMO, P.; DIAS, N. Reatores anaeróbios de leito expandido para o tratamento de efluentes das indústrias de bebidas. DEDINI Indústria de Base. Campinas. 2000.
12. NETO, C.F. et al. Correlação entre a formação de biogás, volume de esgoto afluente e remoção de dco numa ete em escala real. ABES. 2013.
13. OLIVEIRA, L. R. P. Biodigestor. Seminários técnicos de suinocultura. Goiânia, 2005.
14. PIRES, N. J. Biogás – O aproveitamento dos resíduos orgânicos. Disponível em: <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm>. Acesso em: 07/10/2017.
15. PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, 2017. 164p.
16. WEREKO-BROBBY, C. Y; HAGEN, E.B. Biomass Conversion and Technology. Editora John Wiley & Sons. p. 2-224. New York, 2000.
17. ZACHOW, C. R. Biogás. DeTec – Departamento de Tecnologia, UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2000, 12p.