



**FACULDADE UNIFAMETRO MARACANAÚ  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FRANCISCO ANTONIO RODRIGUES DA SILVA COSTA**

**A IMPORTÂNCIA DOS ANALISADORES INDUSTRIAIS NO PROCESSO DE  
VALORIZAÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO: UM  
ESTUDO JUNTO A EMPRESA GNR FORTALEZA**

**MARACANAÚ  
2021**

FRANCISCO ANTONIO RODRIGUES DA SILVA COSTA

A IMPORTÂNCIA DOS ANALISADORES INDUSTRIAIS NO PROCESSO DE  
VALORIZAÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO: UM  
ESTUDO JUNTO A EMPRESA GNR FORTALEZA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia de  
Produção do Centro Universitário Fametro  
– Unifametro, como requisito para a  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Produção.

**Orientador:** Prof. Me. Francisco Hedler  
Barreto de Lima Morais

MARACANAÚ  
2021

---

C837i

Costa, Francisco Antonio Rodrigues da Silva.

A importância dos analisadores industriais no processo de valorização do biogás proveniente de aterro sanitário: um estudo junto a empresa GNR Fortaleza. / Francisco Antonio Rodrigues da Silva Costa. – Fortaleza, 2021.

64 f.; 30 cm.

Monografia - Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Unifametro, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Me. Francisco Hedler Barreto de Lima Moraes.

1. Energia renovável – Biometano. 2. Analisadores industriais. 3. Biogás – Aterros sanitários.  
I. Título.

---

CDD 658.5

FRANCISCO ANTONIO RODRIGUES DA SILVA COSTA

A IMPORTÂNCIA DOS ANALISADORES INDUSTRIAIS NO PROCESSO DE  
VALORIZAÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO: UM  
ESTUDO JUNTO A EMPRESA GNR FORTALEZA

Esta monografia apresentada no dia 02 de dezembro de 2021 ao Curso de Graduação de Bacharelado em Engenharia de Produção da Faculdade Unifametro Maracanaú, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção, tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Francisco Hedler Barreto de Lima Morais  
Orientador – Faculdade Unifametro Maracanaú

---

Prof. Dr. Tulio Ítalo da Silva Oliveira  
Membro Interno - Faculdade Unifametro Maracanaú

---

Prof. Me. Francisco Wellington Martins da Silva  
Membro Externo- Universidade Federal de Uberlândia- UFU

Dedico este trabalho acadêmico a todos que contribuíram para a sua realização, em especial a Deus, à minha esposa e ao meu orientador, sem os quais eu não teria tido resultado na conclusão.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** em primeiro lugar, pela vida que Ele me concedeu.

Aos meus pais **Maria Rodrigues da Silva Costa e Francisco Antonio Carlos da Costa** que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

Aos **meus irmãos**, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

A minha esposa **Israely Lopes de Moraes**, por seu companheirismo, sua confiança, suas perspectivas, compreensão e paciência demonstrada durante todo o período de curso.

A minha filha **Laura Lopes Rodrigues**, amor da minha vida, que durante o período do curso nasceu para me dar alegria e motivar para conquistar todos os meus objetivos.

Ao Sr. **Thales Motta**, diretor da empresa GNR Fortaleza, por ter me autorizado a citar a empresa no meu trabalho.

A **todos os professores** do Curso de Engenharia de Produção, pela excelência da qualidade técnica de cada um e pelo conhecimento compartilhado durante esta longa caminhada.

Aos meus **colegas de turma**, que ao longo de todo o curso, transmitiram um sentimento de solidariedade e cooperação mútua.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

“Eu sou apenas um rapaz latino-americano Sem dinheiro no banco sem parentes importantes e vindo do interior”.

**Belchior**

## RESUMO

A busca por fontes de energias renováveis está cada vez mais presente e uma das alternativas de oferta que vem sendo desenvolvida com o propósito de diminuir a dependência do petróleo e do carvão mineral, e na busca por minimizar os impactos causados por estas fontes poluição ao meio ambiente e, que vem ganhando muita relevância é a utilização do biogás. Sob essa perspectiva esse estudo teve como objetivo geral apresentar a importância da aplicação dos analisadores industriais em uma usina de produção de biometano à partir da captação e purificação do biogás gerado pela decomposição de resíduos sólidos urbanos (RSU). A problemática da pesquisa visou responder qual a importância dos analisadores industriais no processo de valorização do biogás proveniente de aterros sanitários. A justificativa do presente estudo está pautada em razão de haver poucas pesquisas no campo, onde a abordagem tratada poderá orientar o processo no controle de valorização de biogás de outras empresas, bem como gerar conhecimento aos acadêmicos, de maneira que as dificuldades e barreiras de manter o processo estável, reconhecendo as variações determinadas pelos instrumentos de medição sejam previstas, gerenciadas, medidas e controladas. A metodologia do estudo o classifica como um estudo bibliográfico, descritivo, exploratório e qualitativo, o método de pesquisa é o indutivo, os dados são primários e secundários e o objeto de estudo os processos de funcionamento dos analisadores industriais de uma empresa de Caucaia. O resultado do trabalho demonstrou que para produzir biometano através do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos, o tratamento químico do gás deve ser constante e eficiente, ensejando para tanto, instrumentos eficazes de aferição para análise desse gás, o tratando como prioridade no processo, de maneira que seja possível ter o controle das diversas reações que se processam, como forma de manter a segurança ao cliente final e a fabricação de um gás natural renovável dentro dos padrões exigidos pela legislação.

**Palavras-chave:** Biometano. Analisadores Industriais. Biogás.



## ABSTRACT

The search for renewable energy sources is increasingly present and one of the supply alternatives that has been developed with the aim of reducing dependence on oil and coal, and in the quest to minimize the impacts caused by these sources, pollution to the environment. environment and the use of biogas is gaining importance. From this perspective, this study aimed to present the importance of applying industrial analyzers in a biomethane production plant from the capture and purification of biogas generated by the decomposition of urban solid waste (USW). The research issue aimed to answer the importance of industrial analyzers in the process of valuing biogas from landfills. The justification for this study is based on the fact that there is little research in the field, where the approach discussed can guide the process in controlling the recovery of biogas from other companies, as well as generating knowledge for academics, so that the difficulties and barriers of maintaining the stable process, recognizing the variations determined by the measuring instruments to be predicted, managed, measured and controlled. The study methodology classifies it as a bibliographic, descriptive, exploratory and qualitative study, the research method is inductive, the data are primary and secondary and the object of study is the working processes of industrial analyzers in a company in Caucaia. The result of the work showed that to produce biomethane through biogas from solid urban waste, the chemical treatment of the gas must be constant and efficient, providing for this, effective measurement instruments for the analysis of this gas, treating it as a priority in the process of so that it is possible to have control of the various reactions that take place, as a way to maintain safety for the end customer and the manufacture of a renewable natural gas within the standards required by law.

**Keywords:** Biomethane. Industrial Analyzers. Biogas.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Sistema de sucção de biogás .....	34
<b>Figura 2</b> – Sistema de remoção de gás sulfídrico ( <i>Thiopaq</i> ).....	36
<b>Figura 3</b> – Sistema de compressão e polimento do biogás .....	38
<b>Figura 4</b> – Primeira etapa de lavagem com solvente – Sistema de remoção umidade, Siloxanos e VOCs.....	41
<b>Figura 5</b> – Segunda etapa de lavagem com solvente: Sistema de remoção de CO <sub>2</sub> e umidade com Selexol a frio.....	42
<b>Figura 6</b> – Sistema de filtragem de biometano .....	43
<b>Figura 7</b> – Sistema de medição e controle e envio à CEGÁS – GNR Fortaleza .....	45
<b>Figura 8</b> – Painel de controle do sistema paques da empresa GNR Fortaleza .....	54
<b>Figura 9</b> – Exemplo configuração do menu de seleção e alarme .....	55
<b>Figura 10</b> – Reações químicas na depuração e biorreator. ....	56

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Parâmetros ideais para carga de biogás .....	47
<b>Quadro 2</b> – Parâmetros ideais para carga de biometano.....	47
<b>Quadro 3</b> – Pontos iniciais de ajuste do pH e valores de referência de alcalinidade em função à concentração de CO <sub>2</sub> na fase gasosa .....	50
<b>Quadro 4</b> – Resumo dos parâmetros de controle.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**°C** – Grau Celsius

**ABIOGÁS** – Associação Brasileira de Biogás

**ANP** – Agência Nacional do Petróleo

**ASMOC** - Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia

**bar** – Bares (unidade de medida de pressão)

**bmc** – Bilhões de metros cúbicos

**bmc/a** – Bilhões de metros cúbicos por ano

**CEGÁS** – Companhia de Gás do Ceará

**CH<sub>4</sub>** – Metano

**CLP** – Controladores Lógicos Programáveis

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono

**DME-PG** - Dimetil Éter Polietileno Glicol

**EMATER** - Empresa Brasileira de Tecnologia e Extensão Rural

**g/l** – Gramas por litro

**GEE** – Gases de Efeito Estufa

**GNC** – Gás Natural Comprimido

**GNV** – Gás Natural Veicular

**H<sub>2</sub>** – Hidrogênio

**H<sub>2</sub>S** – Sulfeto de Hidrogênio

**HC's** – Hidrocarbonetos Pesados

**INMETRO** - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

**KCL** – Cloreto de Potássio

**mbar** – milibar

**MDL** – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

**MJ/Nm<sup>3</sup>** – Megajoules por normal metro cúbico

**mol/l** – Molaridade por litro

**mS/cm** – Milionésimo de um Siemens por Centímetro

**mV** – Milivolts

**N<sub>2</sub>** – Nitrogênio

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** – Carbonato de Sódio

**NaHCO<sub>3</sub>** – Bicarbonato de Sódio

**NaOH** – hidróxido de sódio

**Nm<sup>3</sup>/h** – Normal Metro Cúbico por Hora

**OPEP** - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

**ORP** – Potencial de Óxido Redução

**PCS** – Poder Calorífico Superior

**PME** - Programa de Mobilização Energética

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos

**ppm** – Partes por milhão

**PROINFA** - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

**PSV** – Válvula de Segurança de Pressão

**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos

**S<sup>0</sup>** – Enxofre Elementar

**SDCD** - Sistemas Digitais de Controle Distribuídos

**SGN** – Substituição ao Gás Natural

**SST** – Sólidos Suspensos Totais

**SVOC's** – Compostos Orgânicos Semi-Voláteis

**VOC** – Compostos Orgânicos Voláteis

**Wobbe** – Medida do conteúdo energético de um gás

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1	Aspectos conceituais e característicos do biogás	19
2.2	Evolução histórica do biogás	21
2.3	O biogás no Brasil	22
2.4	Os analisadores como instrumentos de enriquecimento do biogás	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
3.1	Classificação do Estudo	27
3.2	Local de estudo	30
3.3	Visão básica do processo	30
3.4	Coleta de dados	31
3.5	Análises de dados	31
3.6	Etapas do Estudo de Caso	31
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>33</b>
4.1	Perfil da organização pesquisada	33
4.1.1	Sistema de alimentação de biogás	34
4.1.2	Sistema de lavagem e pré-resfriamento com água	35
4.1.3	Sistema de remoção biológica de H <sub>2</sub> S	37
4.1.4	Sistema de compressão	38
4.1.5	Sistema de remoção química de H <sub>2</sub> S	39
4.1.6	Sistema de lavagens por solvente	40
4.1.7	Sistema de filtração	42
4.1.8	Sistema de flare	45
4.2	Parâmetros ideais para a carga de biogás bruto	46
4.3	Parâmetros ideais para a carga de biometano	47
4.4	Parâmetros de controle	48
4.4.1	pH e alcalinidade	48
4.4.1.1	pH	49
4.4.1.2	Alcalinidade	49
4.4.2	Potencial Redox (ORP)	50
4.4.2.1	Potencial redox muito elevado	51
4.4.2.2	Potencial redox muito baixo	51

4.4.3 Condutividade.....	51
4.4.4 Temperatura.....	52
4.4.4.1 Controle de temperatura.....	52
4.4.5 Sólidos Suspensos Totais (SST).....	52
4.4.6 Resumo dos parâmetros de controle.....	53
<b>4.5 Controle e automação do processo.....</b>	<b>53</b>
4.5.1 Tela de sinóticos.....	53
4.5.2 Ponto de ajuste.....	54
<b>4.6 Química do processo.....</b>	<b>55</b>
4.6.1 Reações químicas do depurador (scrubber).....	57
4.6.2 Reações químicas no biorreator.....	57
<b>4.7 Parâmetros definidos após testes operacionais.....</b>	<b>58</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, países vêm sofrendo com diversas problemáticas originadas do lixo que é gerado diariamente e erroneamente descartado. Dentre esses problemas encontrados nas cidades, especialmente em grandes metrópoles, está o lixo urbano, resultado de uma sociedade que a cada dia consome mais. Se o lixo gerado por pessoas não tiver uma destinação de forma consciente, pode acarretar sérios problemas ambientais, doenças e outros congêneres.

Uma parte considerável do lixo produzido pelos excessos diários é destinada para ambientes chamados lixões, presentes em diversas cidades, figurando estes como depósitos de lixo a céu aberto, onde, surgem vários animais e insetos capazes de transmitir diversas doenças em humanos. De acordo com a forma como esse lixo é armazenado, pode causar contaminação do solo e dos lenções freáticos em função da decomposição do lixo.

Quando da decomposição do lixo, alguns subprodutos são formados, dentre eles: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Esses gases agravam o aquecimento global, como consequência da poluição atmosférica. Em termos de contaminação do solo a decomposição da matéria orgânica gera um líquido muito mal cheiroso, e contaminante chamado de *chorume* que consegue se filtrar através do solo e atingir o lençol freático, com agravamento em razão desse lixo ficar completamente descoberto, deixando catadores de lixos expostos aos mais variados contaminantes.

No Brasil, a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), determina a desativação de lixões a céu aberto. Apesar da existência da norma jurídica mencionada e sua proibição aos lixões não controlados, ainda existem diversos deles que funcionam de maneira irregular, recebendo os tais, vários materiais contaminados, com agravantes gerados pelo lixo hospitalar.

Como principal alternativa para diminuir a quantidade de lixões a céu aberto, apresentam-se os aterros sanitários que consistem em locais onde são escavados buracos no solo e este, impermeabilizado para receber os depósitos dos materiais orgânicos gerados pelo lixo, com posterior compactação, forçando a decomposição das bactérias presentes nesse local, evitando assim, a contaminação do solo e do lençol freático onde por fim, todo *chorume* gerado é encaminhado para



piscinas de tratamento de água e o gás gerado direcionado para chaminés, sendo por fim, o metano queimado em gás carbônico.

Paralelamente ao problema do lixo, a crescente busca por fontes de energia renováveis devido à alta demanda por energia, a elevação do preço dos combustíveis, a poluição ambiental e as legislações ambientais cada vez mais rigorosas, cabendo ainda mencionar o fato do petróleo e o carvão mineral serem uma principal fonte de energia, porém, não renovável, emergiram e cresceram pesquisas com vistas a descobrir fontes de energias renováveis, como forma de acompanhar o aumento do desenvolvimento econômico.

Uma das alternativas de energia que vem sendo desenvolvida com o propósito de diminuir a dependência do petróleo e do carvão mineral, e na busca por minimizar os impactos causados por estas fontes poluídas ao meio ambiente e que vem ganhando muita relevância é a utilização do biogás. Essa é uma opção renovável proveniente de aterros sanitários para gerar energia elétrica, veicular e térmica. Além disso, o estudo da geração de energia a partir do biogás permite a redução de fugas dos gases de efeito estufa (GEE) e a maximização do índice de conversão do metano, contabilizado no cálculo de emissão de créditos de carbono dentro do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). (ABREU, 2012).

Para a utilização do biogás como alternativa à produção de energia renovável e limpa foram desenvolvidos e aperfeiçoados os analisadores industriais que são instrumentos aplicados no ambiente das indústrias para medições de variáveis, exceto as fundamentais ou principais, que são temperatura, vazão, pressão e nível, e outras variáveis mecânicas, peso, deslocamento, posição e vibração, que estabelecem um conjunto de instrumentos à parte.

Os analisadores industriais são cada vez mais utilizados para controle de emissões gasosas ambientais, amostragens, segurança e otimização de processos, medição de qualidade, análises qualitativas, análises de gases de chaminés e fornos, dentre outros. (SIMÕES, 2007).

É sob a égide desse debate que surge esse trabalho de pesquisa buscando responder a seguinte problemática: Qual a importância dos analisadores industriais no processo de valorização do biogás proveniente de aterros sanitários?

O estudo tem como objetivo geral: Apresentar a importância da aplicação dos analisadores industriais em uma usina de produção de Biometano a

partir da captação e purificação do biogás gerado pela decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Os objetivos específicos da pesquisa visam:

- Apontar os sistemas que englobam as etapas de processamento de biogás de uma indústria;
- Apresentar os analisadores aplicados no processo de valorização de biogás;
- Demonstrar as reações químicas que acontecem no processo que são controlados pelos analisadores e o que deve ser feito para normalizar o processo;
- Expressar o tipo de comunicação e princípios de medição dos analisadores.

Justifica-se o presente estudo em razão de haver poucas pesquisas no campo, onde a abordagem tratada poderá orientar o processo no controle de valorização de biogás de outras indústrias, bem como gerar conhecimento aos acadêmicos, de maneira que as dificuldades e barreiras de manter o processo estável, reconhecendo as variações determinadas pelos instrumentos de medição sejam previstas, gerenciadas, medidas e controladas.

Dessa forma, comparando o processo da indústria em estudo com outras novas indústrias que forem se instalando, poderá diminuir significativamente os impactos e dificuldades que poderá ser encontrado em atividades relacionadas.

A metodologia será demonstrada no capítulo quatro desta pesquisa.

Este estudo está organizado em cinco capítulos, tratando o primeiro da introdução e de seus componentes estruturantes sendo eles a problemática, objetivo geral, objetivos específicos e justificativa; o segundo abordando o referencial teórico constando aspectos conceituais e característicos do biogás, evolução histórica do biogás, o biogás no Brasil e os analisadores como instrumentos de enriquecimento do biogás; o terceiro respondendo pela classificação do trabalho nos aspectos metodológicos; o quarto é o que cuida das análises e discussão dos resultados obtidos na coleta dos dados e; o quinto é o que traz as considerações finais a respeito da pesquisa no que tange à respostas, destaques, limitações e sugestões. Por fim o trabalho apontará as referências consultadas, além dos apêndices e anexos oportunos à fundamentação da temática.

Findos os critérios concernentes à estruturação da Introdução, o capítulo seguinte tratará da fundação teórica da monografia.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordará o a fundamentação teórica deste estudo com abordagens inerentes ao biogás e sua importância como fonte renovável de energia, levando em consideração seus processos de transformação através dos analisadores industriais no processo de valorização de Biogás proveniente de aterros sanitários.

### 2.1 Aspectos conceituais e característicos do biogás

Segundo Santos (2009), *apud*, Tolmasquim (2003, p.60), “O biogás é uma mistura gasosa formada principalmente de Gás Metano (CH<sub>4</sub>), altamente combustível e facilmente obtido pela decomposição da matéria orgânica, encontrada em lixo urbano, esterco de animais e resíduos industriais”. Para o mesmo autor, esses gases configuram-se como um dos responsáveis por problemas ambientais, como por exemplo, o aquecimento global.

Na maioria dos aterros sanitários, o gás produzido é liberado para a atmosfera, pois os aterros não apresentam sistema de captação e posterior tratamento do gás. Com a crescente busca por fontes de energia renováveis e com as legislações ambientais cada vez mais rigorosas, cresceu a busca por tecnologias de captação e purificação do Biogás produzido a partir de aterros sanitários.

As características do biogás produzido dependem de uma série de fatores, destacando-se: os tipos de resíduos depositados no aterro, o tipo de recobrimento das camadas do aterro e a quantidade de umidade presente no aterro. Esses fatores, também são determinantes na vida útil do aterro, que significa o tempo em que o aterro sanitário será capaz de produzir biogás.

Sampaio (2018, p. 15), define biogás como:

Um biocombustível proveniente de material orgânico, sendo considerada energia limpa, além de ser capaz de substituir combustível fóssil. Tem por característica ser constituído por uma mistura de gases - metano, gás carbônico, nitrogênio, hidrogênio, ácido sulfídrico entre outros.

Segundo Vieira (2002), “Conta a história que os pequenos pássaros foram os primeiros sensores adotados pelo homem para se medir a qualidade de gás num ambiente.” Quando o passarinho morre, significa que há gás naquele meio e que não existe condições de ficar no local.

Os principais países que usam biogás para produzir biometano são encontrados na Europa: Alemanha e Suécia. (SAMPAIO, 2018).

Biometano nada mais é do que biogás, proveniente de aterros ou de outras fontes, submetido a um processo chamado de valorização, por meio da qual os componentes indesejados são separados e sua composição é adaptada para os padrões estabelecidos pela legislação correspondente à aplicação a que este gás se destina. (VIEIRA, 2002).

No Brasil as resoluções de produção do biometano e que dar a especificação para injeção na rede e para uso como Gás Natural Comprimido (GNC) são dadas por meio das Resoluções da Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 08/2015 e nº 685/2017, sendo estas recentes no Brasil.

Existem basicamente três aplicações finais de biometano: eles podem ser usados diretamente para geração de energia, pode ser utilizado como combustível para veículos, na forma de Gás Natural Veicular (GNV), ou pode ser fornecido à rede de gás em substituição ao gás natural (SGN). De acordo com a abiogás, o potencial técnico para produção de biometano no Brasil seria suficiente para produzir cerca de 43 bmc/a. Este potencial é maior que o consumo atual de gás do país que está no patamar de 26,3 bmc em 2020. (ALMEIDA, 2021).

Para transformar o biogás em biometano, esse gás deve passar por duas etapas: uma primeira etapa de limpeza, onde água,  $H_2S$  e partículas sólidas são removidos, e um segundo estágio denominado estágio de recuperação, onde o  $CO_2$  é removido do biogás, para separá-lo do metano.

Com composição em média de 50 à 60% de metano, 30 a 40% de Gás Carbono ( $CO_2$ ) e pequenas quantidades de Nitrogênio ( $N_2$ ), hidrogênio ( $H_2$ ) e Ácido Sulfídrico ( $H_2S$ ). O biogás pode ser formado em pântanos, fundo de lagos, no rumem de animais ruminantes e em aterros sanitários. (PIÑAS, 2016).

O biogás, por sua vez, traz impactos positivos ao meio ambiente, com destaque para a mitigação de emissão de carbono da atmosfera, resultando em um balanço neutro do carbono durante o processo de produção de energia elétrica, o que contribui para a redução do efeito estufa. Isso ocorre porque todo gás carbônico produzido durante este processo é absorvido pelas plantas, que serão utilizadas novamente no processo, mantendo a concentração do gás carbônico atmosférico inalterável. (BRANCO, 2010).

Diante dessas etapas, faz-se necessário o uso de tecnologias para monitorar o processo, mantendo suas condições de operação dentro da normalidade. O controle do processo é realizado por vários instrumentos de controle de variáveis.

## **2.2 Evolução histórica do biogás**

De acordo com Soares e Silva (2010), “A decomposição de matéria orgânica e consequente geração de biogás, vem sendo estudada há vários séculos, ela tem um papel fundamental na reciclagem de nutrientes em nosso planeta”. Estudos apontam que a evolução do biogás deu início em meados de 1600, quando descoberta a existência de substâncias inflamáveis de formação química desconhecida em regiões pantanosas, onde com a continuação dos estudos, foi apontado que o odor era relativo à decomposição de matéria orgânica.

No ano de 1776, após dois anos de pesquisas e experiências o físico italiano Alessandro Volta conseguiu constatar a formação química do gás inflamável alcunhado de metano. Após a identificação da composição química do gás metano, no início de 1800, Louis Pasteur foi o primeiro a descobrir a possibilidade de usar esse gás como combustível para aquecer as luminárias urbana. (TOLMASQUIM, 2003).

O biogás sempre se formou a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Desde os primórdios, isso vem acontecendo pela quebra da matéria orgânica em ambientes anóxicos no fundo do mar. (KARLLSON, 2014, p. 8).

De acordo com Karllson (2014, p. 8): “A China e a Índia foram os primeiros países a produzir biogás e a utilizá-lo como fonte de energia. A matéria-prima era oriunda de restos de comidas e dejetos em geral, sendo o biogás produzido utilizado para iluminação e cocção”.

Segundo Freitas (2019, p. 06): “Em 1857 foi construída a primeira instalação destinada a produzir e utilizar o biogás em grande escala em um hospital para portadores de hanseníase de Bombaim, na Índia. Na mesma época, na cidade de Exter, na Inglaterra, o biogás foi utilizado para iluminação pública”.

Conforme citado acima, o autor deixa claro que o biogás teve um papel muito importante para a população na época, onde a produção em grande escala foi dando oportunidade a novos negócios.

Antes dos anos de 1940, a maioria das plantas industriais eram operadas manualmente, muitos operadores eram necessários para manter o controle das diversas variáveis nas plantas industriais, se usava apenas controladores elementares, onde na época foi muito importante para o controle de processos. (KARLLSON, 2014).

De acordo com Estéfano (2006), “Do final da era da instrumentação pneumática, que sobrevive somente nas válvulas de controle, e dos primeiros Sistemas Digitais de Controle Distribuídos (SDCD) e Controladores Lógicos Programáveis (CLP), até os analisadores de hoje, muita coisa ocorreu”.

De conformidade com Freitas (2019, p. 6): “O segundo ciclo do biogás teve início em meados de 1940, durante a II Guerra Mundial, com a escassez e dificuldade de acesso a fontes oriundas de combustíveis fósseis”. Na época, foram dedicados toda a capacidade econômica, industrial e científica a serviço da guerra, deixando a distinção de recursos civis e militares de lado. O biogás foi a alternativa usada para o aquecimento de casas, bem como, para alimentação de motores de combustão.

Devido a evolução tecnológica após a década de 40, logo a instrumentação pneumática foi substituída. A partir dos anos 50, iniciou-se estudos para que implantação dos instrumentos eletrônicos fossem iniciados. (FREITAS, 2019).

Portanto, observa-se que o uso do biogás como fonte de produção de energia não é novidade, o uso de matéria orgânica para sua obtenção é uma excelente alternativa para solucionar o tratamento de resíduos sólidos, reduzir a incidência de doenças, melhorar a qualidade de vida das pessoas, do meio ambiente, e criar novas oportunidades de trabalho.

### **2.3 O biogás no Brasil**

Segundo a BIOGÁS (2021, p. 184): “O biogás começa a ganhar impulso no Brasil a partir dos choques no preço do petróleo promovidos pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), na década de 1970”. Na época buscou-se incrementar o uso de energias alternativas, pois o país importava cerca de 80% de seu consumo interno.

Em 1977, foi criado o Projeto de Difusão do Biogás, no âmbito da Empresa Brasileira de Tecnologia e Extensão Rural (EMATER), executado no estado de São Paulo e no Distrito Federal. A ausência de mão de obra especializada dificultou o atingimento dos objetivos do programa. (KARLSSON, 2014).

No ano de 1982, afim de racionalizar a utilização da energia, diminuindo o consumo dos insumos energéticos e substituindo progressivamente os derivados de petróleo por combustíveis alternativos nacionais, o Governo Federal passou a estimular a construção de biodigestores, usando tecnologias simples e de baixo custo, com o Programa de Mobilização Energética (PME) – Decreto 87.079, de 2 de abril de 1982.

Porém, dificuldade foram encontradas para difundir o uso do biogás. A ausência de equipamentos devidamente projetados levava à adaptação de equipamentos, acarretando baixa durabilidade, baixa eficácia e custo elevado. Essas dificuldades levaram à perda de confiança nos sistemas de produção de biogás e ao progressivo abandono do uso de biodigestores. (CIBIOGÁS, 2020).

Ainda, segundo a ABIOGÁS (2021, p. 185): “O biogás voltou ao foco nos anos 1990, dessa vez impulsionado pela questão ambiental, que passou a ocupar o centro das discussões sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas decorrentes das emissões de gases de efeito estufa (GEE)”.

Segundo a Associação Brasileira de Biogás (2021, p.185) destacam:

A queima do biogás foi vista como uma forma de reduzir os GEE, por meio de projetos inseridos no chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que possibilitava a venda de créditos de carbono gerados no processo. Vale ressaltar que o biogás não necessariamente era aproveitado como fonte de energia, bastando ser queimado em um *flare*. Nesse mercado, os produtores rurais não estavam integrados ao processo, sendo apenas fornecedores da biomassa em troca de uma porcentagem da venda dos créditos. Como o processo não se sustentava economicamente, mais uma vez a biodigestão foi gradualmente abandonada.

De acordo com o supracitado, mostrou-se que havia o desperdício do biogás, pois era direcionado para a queima, ficou evidente que a queima facilitou sua aprovação e seu monitoramento, porém gerou-se um desperdício injustificável para a atividade. De um lado o único ganho que tinha era que esse gás não era jogado diretamente na atmosférica, evitando poluição, por outro lado deixava de arrecadar muito dinheiro, pois o gás que era queimado poderia aproveitá-lo como fonte de energia.



Segundo Bley. (2015, p. 142): “Bastou baixar os preços internacionais dos certificados de redução de emissões em função da crise econômica dos países compradores, para novamente o biogás desaparecer do cenário econômico”.

Na última década, o biogás tem sido utilizado como fonte de energia nacional. A expansão do biogás no Brasil veio com a implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) – Lei nº 10.438, de 26/04/2002, e Lei 10.762, de 11/11/2003. (ABIOGÁS, 2021). O objetivo dessa lei era ampliar a geração de energia elétrica por meio pequenas centrais hidrelétricas, eólica e biomassa, em conformidade a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, de acordo com as orientações do Protocolo de Kyoto.

Atualmente, o Brasil tem 670 usinas de biogás operantes, sendo que 80% delas geram energia elétrica e menos de 10% do potencial é destinado ao biometano e o restante é destinado à energia térmica. (CIBIOGÁS, 2021). A produção dessas usinas vem de diversos substratos que provêm de diversas fontes industriais e agropecuárias.

A despeito de suas vantagens enquanto fonte renovável de energia, o histórico de reveses do biogás no Brasil criou uma dificuldade reputacional que só foi superada recentemente, em virtude do aprimoramento tecnológico e da ampliação da capacitação técnica do setor. (GUIMARÃES, 2021).

Inicialmente, utilizavam-se biodigestores convencionais que operavam com cargas orgânicas reduzidas e não retinham grandes quantidades de biomassa. Segundo Kunz (2019, p. 42): “Os biodigestores são caracterizados pelo regime de alimentação (batelada ou contínuo), forma de alimentação (ascendente ou laminar), concentração de sólidos no reator (digestão sólida >20%, semissólida 10 a 15% e úmida)”. O grau de pureza e a concentração de metano são os principais fatores a serem considerados em termos de potencial calorífico do biogás, que varia entre 15 e 30 MJ/Nm<sup>3</sup> (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009).

É possível que o biogás venha a seguir a tendência de crescimento que se espera para os demais combustíveis gasosos. Isso porque programas como o gás de xisto, mesmo no exterior, e as ampliações de participação mercadológica do próprio gás natural no Brasil, a partir do descobrimento de jazidas como as do pé-sal, induzirão o desenvolvimento tecnológico de componentes da cadeia de produção de gases que também servirão ao biogás, o que o impulsionará.

## 2.4 Os analisadores como instrumentos de enriquecimento do biogás

Os analisadores são instrumentos aplicados em um processo industrial para medições de variáveis, exceto as fundamentais ou principais, que são temperatura, vazão, pressão e nível, e outras variáveis mecânicas, peso, deslocamento, posição e vibração, que estabelecem um conjunto de instrumentos à parte. Para Cohn (2006, p.3): “Considera os analisadores como sendo instrumentos que medem essencialmente as propriedades ou características dos produtos, ao contrário das condições às quais eles estão submetidos”.

Praticamente todos os analisadores de processo, ou contínuos, resultam da evolução de analisadores de laboratório. Os analisadores de laboratório diferentemente dos analisadores em linha, podem requerer calibração frequente, tem grande versatilidade, onde boa parte são manipulados por pessoal especializado, em ambiente adequado. Conforme Cohn (2006, p.3): “As amostras fornecidas ao analisador são discretas, coletadas no campo junto às unidades de processo e levadas ao laboratório”.

Com isso, nota-se que para um processo onde tenha a necessidade de controle de segurança onde as variações dos elementos a serem analisados são constantes, os analisadores de laboratório não são os ideais, porém devem ser trabalhados em paralelo.

Segundo Cohn (2006, p.3): “Em contraposição, os analisadores em linha são dedicados à análise quantitativa de um ou de alguns componentes determinados e operam juntos ou muito próximos a unidade que fornecerá a amostra”. Conforme Cohn (2006), os analisadores em linha são robustos para operação não assistida em condições de campo, com pouca intervenção humana, podem ter função meramente supervisória, ou podem fechar malhas de controle. Para os analisadores de processo a análise qualitativa é praticamente desnecessária, pois o operador deve conhecer o processo e tomar decisões de acordo com os valores indicados em supervisório.

Os analisadores são construídos, geralmente, de modo a receberem uma amostra dentro de certas condições padronizadas de pressão, temperatura, umidade, poeira e corrosividade. (SIMÕES, 2007, p.7).

Através destas condições, se faz necessário um sistema de amostragem, para tratamento da amostra e proteção do elemento sensor, pois boa parte destes, são muito sensíveis a estas características do processo.

Segundo Simões (2007, p.9): “O sistema de amostragem é constituído por um conjunto de equipamentos de funcionamento automático que visam ao fornecimento contínuo da amostra a ser analisada em condições físicas e químicas compatíveis com sensor dos instrumentos analíticos”.

Simões (2007, p.9), faz o seguinte destaque quanto a função do sistema de amostragem:

O sistema de amostragem, de acordo com o tipo de processo, pode desempenhar as seguintes funções: Captação da amostra. Transporte da amostra. Condicionamento da amostra. Descarte/ reprocesso da amostra. Admissão de padrões. Coleta de amostra para comparação. Não existe um sistema de amostragem padrão que possa ser utilizado indistintamente para qualquer aplicação. Na realidade, o que existe é uma grande diversidade de sistemas de amostragem adequados aos inúmeros processos e tipos de analisadores .

Consoante Cohn (2006, p.5): “A crescente importância atribuída aos analisadores nos últimos anos deve-se à necessidade de se manter a competitividade pela otimização e de zelar pelo meio ambiente e pela segurança”.

Por tanto, a instrumentação analítica vem ganhando espaço nas indústrias que querem manter os seus processos confiáveis, onde o investimento realizado valerá muito a pena, desde que o instrumento seja dimensionado de maneira correta de acordo com as características para instalação no processo.

Assim como todo equipamento e materiais de automação, a aplicação de analisadores deve cumprir os objetivos dimensionados no projeto para justificar o investimento e custos de manutenção para garantir o funcionamento correto do equipamento e a sua confiabilidade de medição, pois do contrário é prejuízo, perda de tempo e produto fora da especificação.

Assim sendo, a instrumentação analítica contribui bastante para empresas que querem ter total controle do seu processo na produção de biometano e cada vez mais novas tecnologias surgem para atender tais necessidades dessas empresas. Com isso, várias situações emergenciais de processos são evitadas, mantendo empresas sempre competitivas no mercado, agregando valor e entregando produtos de qualidade aos clientes.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é, Segundo Cristiano e César (2013, p. 14): “A Metodologia, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e/ou questões de investigação”. Diante disso, percebe-se que metodologia consiste em estudar, compreender e avaliar vários métodos para elaboração de uma pesquisa científica, a fim de estimular os pesquisadores para que busquem respostas as suas dúvidas.

Para compreender as características da pesquisa científica, deve-se primeiramente entender o que vem a ser ciência. Segundo Ferrari (1974), “ciência é todo um conjunto de atitudes e de atividades racionais, dirigida ao sistemático conhecimento com objetivo limitado, capaz de ser submetido à verificação”.

Ferrari (1974) ainda afirma que, “ciência é todo um conjunto de atitudes e de atividades racionais, dirigida ao sistemático conhecimento com objetivo limitado, capaz de ser submetido à verificação”.

Assim, este capítulo abordará a metodologia deste estudo contemplando em sua estrutura a Classificação e o Local do Estudo, a Coleta de dados da pesquisa e sua respectiva análise de dados, por fim as Etapas do Estudo de Caso.

#### 3.1 Classificação do Estudo

A classificação do estudo científico depende da perspectiva que se pretende abordar, sendo possível tipificá-lo quanto aos objetivos, quanto à forma de abordagem, quanto ao objeto, quanto à forma de abordagem, quanto aos tipos de dados, etc.

Quanto aos objetivos as pesquisas são classificadas em: exploratórias, descritivas e explicativas. (CAJUEIRO, 2013).

A pesquisa descritiva para Cristiano e César (2013, p. 52) é: “Quando o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. Visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis”. A técnica utilizada para esse tipo de pesquisa envolve coleta de dados padronizados, que podem ser em forma de questionário e observação sistemática.

Os mesmos autores afirmam que: “Incluem-se, entre as pesquisas descritivas, a maioria daquelas desenvolvidas nas ciências humanas e sociais, como as pesquisas de opinião, mercadológicas, os levantamentos socioeconômicos e psicossociais”. (CRISTIANO; CÉSAR, 2013, p. 52).

As pesquisas descritivas são, juntamente com as pesquisas exploratórias, as que habitualmente realizam os pesquisadores sociais preocupados com a atuação prática. Em sua forma mais simples, as pesquisas descritivas aproximam-se das exploratórias, quando proporcionam uma nova visão do problema. (CRISTIANO, CÉSAR, 2013), o que remete este estudo para enquadramento em tais classificações.

Quando o aspecto da classificação é objeto a pesquisa científica pode ser do tipo bibliográfica, de laboratório e de campo. (BOAVENTURA, 2004).

Sob essa visão essa pesquisa tem aspectos característicos identificados como bibliográficos com fundamentos no que rezam Kauark, Manhães e Medeiros (2010, p.29), segundo os quais “Quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e, atualmente, material disponibilizado na Internet”.

Para Prodanov e Freitas (2005, p. 39), pesquisa bibliográfica contribuirá para:

Obter informações sobre a situação atual do tema ou problema pesquisado. Conhecer publicações existentes sobre o tema e os aspectos que já foram abordados. Verificar as opiniões similares e diferentes a respeito do tema ou de aspectos relacionados ao tema ou ao problema de pesquisa.

Ainda nessa linha de raciocínio, Marconi e Lakatos (2003, p. 158): entendem que “A pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema”.

As classificações de pesquisas científicas quanto à abordagem são do tipo quantitativas e qualitativas.

Nas pesquisas quantitativas, as categorias são frequentemente estabelecidas a priori, o que simplifica sobremaneira o trabalho analítico. Já nas pesquisas qualitativas, o conjunto inicial de categorias, em geral, é reexaminado e modificado sucessivamente, com vistas a obter ideais mais abrangentes e significativos. (CRISTIANO, CÉSAR, 2013). Esse estudo é do tipo qualitativo.

Os dados desta pesquisa são tipo primários e secundários, tendo em vista o que defende os estudiosos sobre o assunto.

Os dados primários são informações levantadas por meio de questionários e entrevistas a fim de obter respostas sobre determinado assunto ou problema de uma pesquisa. Recebem essa designação por se tratarem de informações em “primeira-mão”, ou seja, por não se encontrarem registrados em nenhum outro documento. (CRISTIANO, CÉSAR, 2013).

Já dados secundários, aqueles já disponíveis, acessíveis mediante pesquisa bibliográfica e/ou documental. Cumpre ressaltar que essa expressão não tem caráter pejorativo, apenas indica que são dados disponíveis e que não foram coletados especificamente para o nosso trabalho em particular. (CRISTIANO, CÉSAR, 2013).

Esse trabalho monográfico utilizou de dados secundários para fundamentação do referencial teórico e da metodologia e de dados primários para dar sustentação à análise e discussão dos resultados.

Os métodos de pesquisa podem ser num estudo científico do tipo indutivo e dedutivo.

Consoante Marconi e Lakatos (2003, p. 106): o “Método indutivo - cuja aproximação dos fenômenos caminha geralmente para planos cada vez mais abrangentes, indo das constatações mais particulares às leis e teorias (conexão ascendente)”. Essa definição faz-se referência ao método de abordagem que se caracteriza por uma abordagem ampla dos fenômenos da natureza e da sociedade.

Já o método dedutivo para Marconi e Lakatos (2003, p. 106): “Que, partindo das teorias e leis, na maioria das vezes prediz a ocorrência dos fenômenos particulares (conexão descendente)”.

Esse estudo é de método indutivo, pois em certa medida pretende passar a ideia do pesquisador ao seu leitor.

O instrumento deste trabalho de pesquisa é o estudo de caso que possui uma metodologia de pesquisa classificada como aplicada, na qual se busca a serventia prática de conhecimentos para a solução de problemas sociais. (BOAVENTURA, 2004).

Segundo Cristiano e César (2013, p. 52): “O estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo

ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa”.

Cristiano e César (2013) afirmam que estudo de caso: É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, entendido como uma categoria de investigação que tem como objeto o estudo de uma unidade de forma aprofundada, podendo tratar-se de um sujeito, de um grupo de pessoas, de uma comunidade etc.

### **3.2 Local do Estudo**

O ambiente escolhido para aplicação Estudo de Caso relativo ao uso prático de analisadores industriais no processo de valorização de Biogás proveniente de aterros sanitários foi a Empresa GNR FORTALEZA, localizada no município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza (CE), que tem por objetivo a produção de Biometano, combustível renovável e intercambiável ao gás natural, a partir da captação e purificação do biogás gerado pela decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC).

A organização tem capacidade de processamento de até 100 mil m<sup>3</sup> de Biometano por dia, cerca de 36,5 milhões de m<sup>3</sup> por ano e minimização de lançamento de CO<sub>2</sub> lançadas na atmosfera anualmente, ajudando a minimizar a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para as futuras gerações.

### **3.3 Visão básica do processo**

O biogás bruto é gerado naturalmente pela decomposição da fração orgânica dos resíduos depositados no aterro sanitário existente. A composição média esperada, em base volumétrica, consiste em aproximadamente 55% CH<sub>4</sub>, 43,5 % CO<sub>2</sub>, 1,3 % N<sub>2</sub>, 0,2 % O<sub>2</sub>, 850 ppm de H<sub>2</sub>S, saturado com água.

A coleta de gás começa nos poços de extração do maciço do aterro sanitário, onde o biogás é extraído da massa de resíduos. A extração dos poços é composta por tubos plásticos devidamente perfurados, rodeados por pedra ou material granulado que são instalados através de perfurações na massa de resíduos ou mais abaixo da superfície do local de captação no aterro sanitário. Acima da superfície da massa de resíduos, o cabeçote de extração possui uma válvula para permitir a regulação de vácuo e de amostragem do biogás. A orientação

desses poços pode ser vertical ou horizontal, e a decisão de usar poços verticais e ou horizontais dependerá de fatores específicos do local do projeto de biogás.

O soprador (*blower*) e o queimador (*flare*) são partes fundamentais de um sistema de coleta de biogás. O *blower* fornece o vácuo necessário para succionar (coletar) o biogás da massa de resíduos. Ele também fornece a pressão necessária para empurrar biogás para o sistema de purificação ou para o *flare*, conforme a gestão da qualidade da planta.

O biogás bruto passa primeiramente num separador de condensado antes do soprador, sendo então comprimido para descarga na saída do soprador. Prevê-se sistema composto de sopradores centrífugos.

Em operação normal, o biogás bruto é conduzido do sistema de sopradores para o sistema de purificação. Nesse caso o sistema de queima opera em modo de espera. Em caso de emergência, manutenção ou gás fora de especificação, o biogás bruto é direcionado do sistema de sopradores para o sistema de queima (*flare*).

O sistema de purificação (*upgrading*) do biogás tem como função remover impurezas e separar o CH<sub>4</sub> da corrente de biogás com o objetivo de produzir um gás combustível que atenda aos padrões de qualidade estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

### **3.4 Coleta de dados**

Os dados desse trabalho foram coletados em livros, trabalhos acadêmicos, sites da internet e outros instrumentos semelhantes para a fundamentação do referencial teórico e da metodologia, sendo considerados dados secundários e os dados para o estudo de caso foram coletados primariamente junto à organização usada no referido estudo.

### **3.5 Análises de dados**

Os dados coletados nesse estudo, serão tabulados e os seus resultados evidenciados em capítulo próprio com considerações cabível respaldadas pelas disposições instituídas no manual da organização pesquisada.



### 3.6 Etapas do Estudo de Caso

O estudo leva em conta as seguintes etapas organizadas em sistemas:

- Sistema de Alimentação de Biogás;
- Sistema de Pré-Resfriamento;
- Sistema de Remoção de H<sub>2</sub>S;
- Sistema de Compressão;
- Sistema de Polimento;
- Sistema de Purificação;
- Sistema de Filtração;
- Sistema de *Flare*;
- Sistemas Auxiliares.

Logo, as etapas de cada sistemas envolvidos na purificação de biogás podem ser definidos como uma sucessão de operações unitárias que visam a eliminar gases ácidos e contaminantes do biogás bruto. Trata-se de operações unitárias convencionais, à exceção do sistema de remoção biológica de H<sub>2</sub>S, *Thiopaq*. As demais são: a lavagem por água, lavagem por solvente, dessulfurização por reação química com metais ferrosos, adsorção por carvão ativo e filtração coalescente.

Assim sendo, cada sistema trata da planta de purificação de biogás do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC), desde o recebimento de biogás bruto na planta até a transferência de custódia para a CEGÁS, visando basicamente a injeção em gasoduto.

Desta forma, finaliza-se a metodologia e por conseguinte, cada sistema mencionado será definido no capítulo seguinte de acordo com suas características, elementos que compõem cada estágio e importância para o processo de valorização de biogás.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem a finalidade de demonstrar como são desenvolvidos na prática os sistemas de funcionamento dos analisadores como instrumentos de enriquecimento do biogás.

Por oportuno, julga-se necessário traçar o perfil da organização objeto deste estudo de caso.

### 4.1 Perfil da organização pesquisada

A GNR Fortaleza se destaca como a primeira usina de tratamento do biogás do Norte e Nordeste. O empreendimento é uma parceria entre a Marquise Ambiental e a Ecometano. Localizada no Aterro Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC), a planta possui um sofisticado sistema de tratamento de gás natural renovável e já atingiu a capacidade de produção de 90 mil m<sup>3</sup> de biometano por dia, tornando-se a segunda maior unidade do gênero do País e deve suprir cerca de 20% da necessidade de gás para as residências, para o comércio e para as indústrias do Ceará. (MARQUISE AMBIENTAL, 2021).

O equipamento possui autorização da ANP para injetar na rede de distribuição da concessionária CEGÁS. Além disso, com instalação da GNR Fortaleza, é possível evitar a emissão de metano, que é 25 vezes mais nocivo como gás de efeito estufa ante o CO<sub>2</sub> beneficiando, dessa forma, o meio ambiente e as gerações futuras. (MARQUISE AMBIENTAL, 2021).

A unidade GNR Fortaleza tem por objetivo a produção de Biometano, combustível renovável e intercambiável ao gás natural, a partir da captação e purificação do biogás gerado pela decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC) - CE.

A unidade irá produzir até 100 mil m<sup>3</sup> de Biometano por dia, cerca de 36,5 milhões de m<sup>3</sup> por ano. Além disso, evitará que toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> sejam lançadas na atmosfera anualmente, ajudando a minimizar a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo positivamente para as futuras gerações.

Neste estudo serão descritos os sistemas de Captação de Biogás e Distribuição de Biogás (Gasoduto).

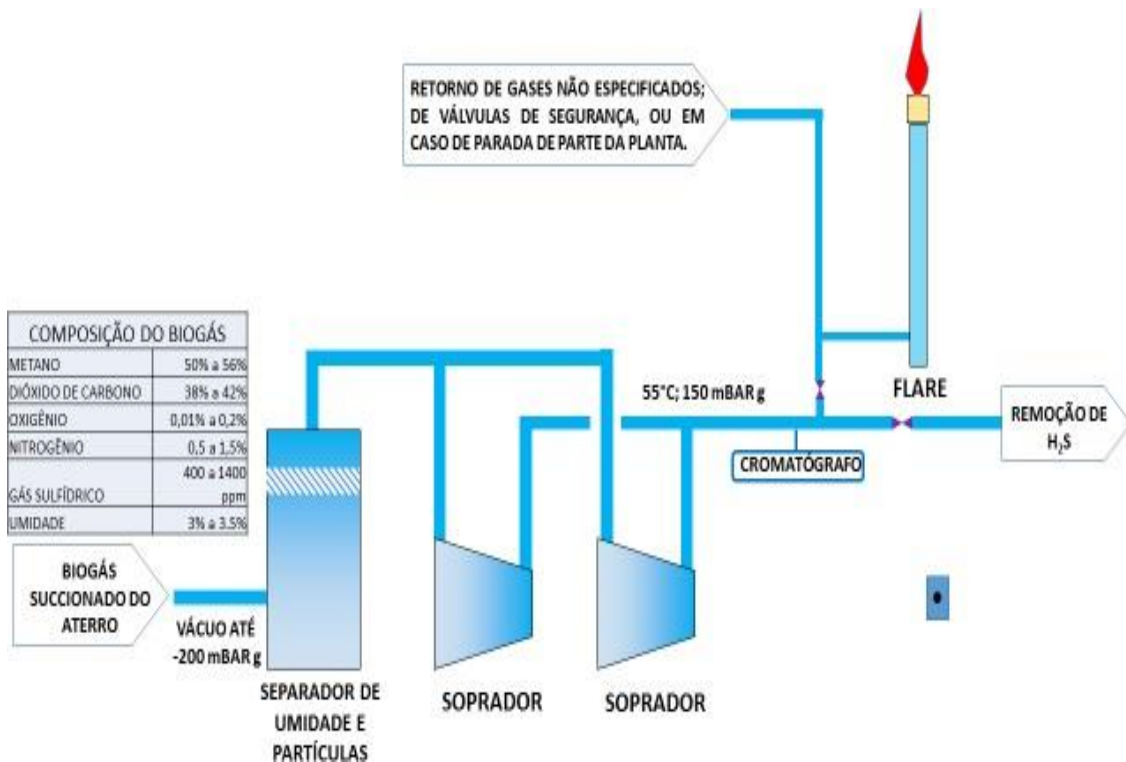
A planta de Processamento de Biogás engloba os seguintes sistemas:

- Sistema de Alimentação de Biogás;
- Sistema de Pré Resfriamento;
- Sistema de Remoção de H<sub>2</sub>S;
- Sistema de Compressão;
- Sistema de Polimento;
- Sistema de Purificação;
- Sistema de Filtração;
- Sistema de *Flare*;
- Sistemas Auxiliares.

#### 4.1.1 Sistema de alimentação de biogás

A Figura 1 evidencia como ocorre o fluxo do sistema de sucção do biogás.

**Figura 1** – Sistema de sucção de biogás.



Fonte: GNR Fortaleza (2021).

Pelo que evidencia a Figura 1, após a captação, o biogás bruto é direcionado para a seção de alimentação. Nesta seção, o biogás entra no vaso separador de umidade e em seguida é encaminhado para os sopradores de biogás.

O separador de umidade é construído em aço inox e tem por finalidade remover a umidade do biogás, além de funcionar como um vaso pulmão evitando que flutuações no sistema de captação prejudiquem a operação da planta. No topo do vaso separador é instalado um *Demister*, que tem por objetivo a retenção de partículas sólidas e umidade, evitando o arraste de partículas indesejáveis na corrente de biogás.

A seguir, o biogás é succionado pelos sopradores, que podem encaminhar o biogás para Seção de Purificação ou para o *Flare* se não for possível atender os requisitos normativos.

Os sopradores de biogás são do tipo centrífugo, com vazão de 5.365 Nm<sup>3</sup>/h cada um. A pressão de sucção dos sopradores é controlada através da variação na velocidade de rotação por meio de variadores de frequência.

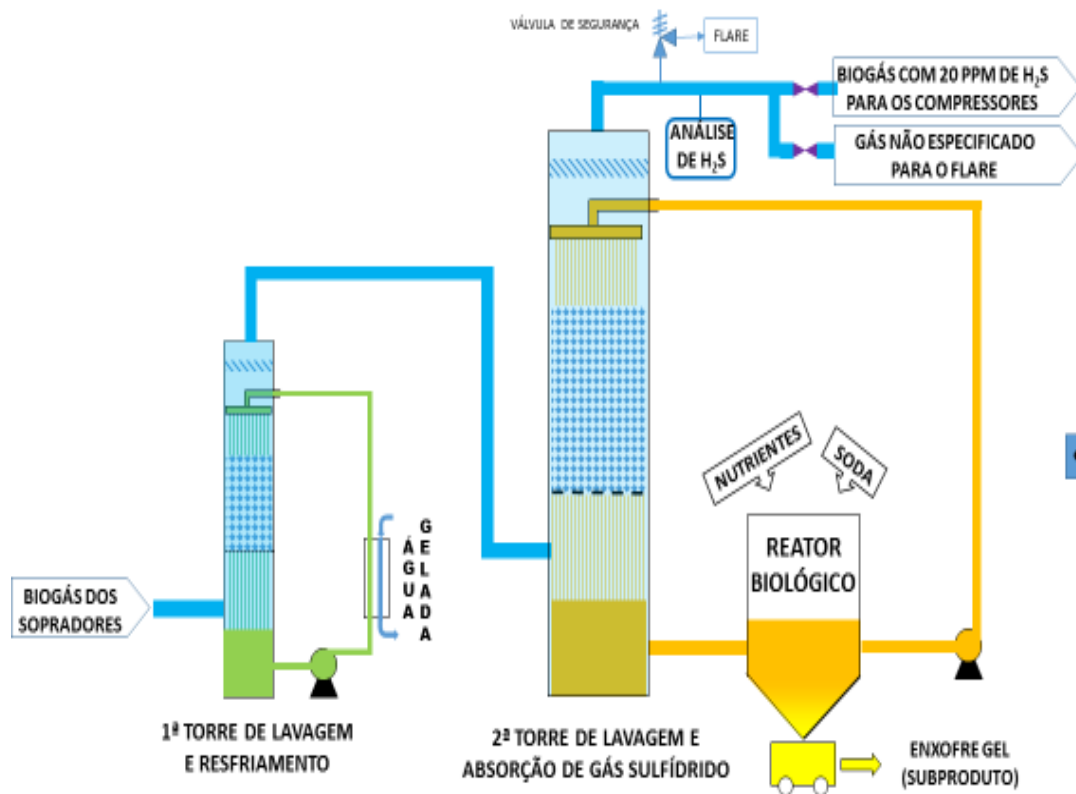
Para efeito de controle operacional da unidade, é feita a medição de pressão e temperatura na entrada e na saída dos dois sopradores, medição da vazão de biogás alimentado ao processo, além da análise online do biogás proveniente do aterro a cada 6,34 min. por um dos canais de amostragem de um cromatógrafo da ABB, modelo PGC 1000, onde são analisados os seguintes constituintes e grandezas:

- Hidrocarbonetos de C1 a C6+;
- Hidrogênio;
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>);
- Oxigênio (O<sub>2</sub>);
- Nitrogênio (N<sub>2</sub>);
- Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- Massa Específica do Gás;
- PCS;
- Wobbe.

#### 4.1.2 Sistema de lavagem e pré-resfriamento com água

Em se tratando da lavagem pré-resfriamento para remoção de gás sulfídrico, o processo está sintetizado na Figura 2, abaixo exposta.

**Figura 2** – Sistema de remoção de gás sulfídrico (*Thiopaq*).



Fonte: GNR Fortaleza (2021).

De acordo com a figura 2, após os sopradores, o biogás é encaminhado para a seção de resfriamento por lavagem com água. Essa seção é constituída basicamente pela torre de lavagem para resfriamento, pelas bombas de recirculação de água de lavagem e pelo resfriador de água de lavagem. O objetivo principal do sistema de pré-resfriamento é reduzir a temperatura do biogás de 60 °C para 35 °C, antes de ser encaminhado para a seção de dessulfurização. No entanto, o sistema também promove uma primeira lavagem do biogás bruto.

Na torre de lavagem para resfriamento, onde a corrente de biogás é resfriada por uma contracorrente de água fria, ocorre também absorção de pequenas quantidades dos contaminantes por esta água de lavagem.

A torre é construída em fibra de vidro e possui recheio plástico do tipo *Pall Ring* (anéis plásticos com diâmetro de 1½”) para aumentar o contato gás-líquido. Na entrada de água de lavagem, é instalado um tubo alimentador e um distribuidor de líquido para garantir a distribuição homogênea de líquido pela coluna. No topo da coluna é instalado um *demister*, do tipo placas sobrepostas, com o objetivo de reter sólidos e minimizar o arraste indesejado na corrente de biogás resfriado.

Essa lavagem tem como principal objetivo o resfriamento do gás e serve, também, para a remoção de gases ácidos ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ) e contaminantes mais pesados, tais como metais pesados, siloxanos e alguns Compostos Orgânicos Voláteis (VOC).

#### 4.1.3 Sistema de remoção biológica de $\text{H}_2\text{S}$

Após a seção de lavagem para resfriamento a corrente de biogás resfriada para  $35\text{ }^\circ\text{C}$  é encaminhada para a seção de remoção de  $\text{H}_2\text{S}$ . Esta etapa consiste na absorção contínua do  $\text{H}_2\text{S}$  da corrente de biogás. O gás entra na torre de lavagem e absorção onde é lavado em contracorrente com uma solução alcalina (Hidróxido de sódio –  $\text{NaOH}$  – 50%), bombeada através das bombas de recirculação, desde o reator biológico até a torre de lavagem e absorção.

Para garantir a maior contato na absorção, a torre é recheada com elementos de plástico (anéis tipo *pall* com diâmetro de  $1\frac{1}{2}$ " ). No topo da torre é instalado um *demister* com placas sobrepostas para reter sólidos e minimizar o arraste de partículas indesejadas na corrente de biogás.

Desta lavagem, tem-se uma corrente gasosa, com menos de 25 ppm de  $\text{H}_2\text{S}$ , saindo do lavador de gases e seguindo para os sistemas de compressão e polimento, onde uma corrente líquida, no fundo do lavador, rica em sulfeto de hidrogênio, segue para o reator biológico, para regeneração e remoção do enxofre.

A torre de biogás se conecta ao reator biológico, através de vaso comunicante, onde microrganismos chamados *Thiobacillus* convertem o sulfeto de hidrogênio absorvido da corrente de biogás em enxofre elementar, regenerando, ao mesmo tempo a solução alcalina, que é retornada pelas bombas de recirculação para reutilização na torre de lavagem e absorção de biogás.

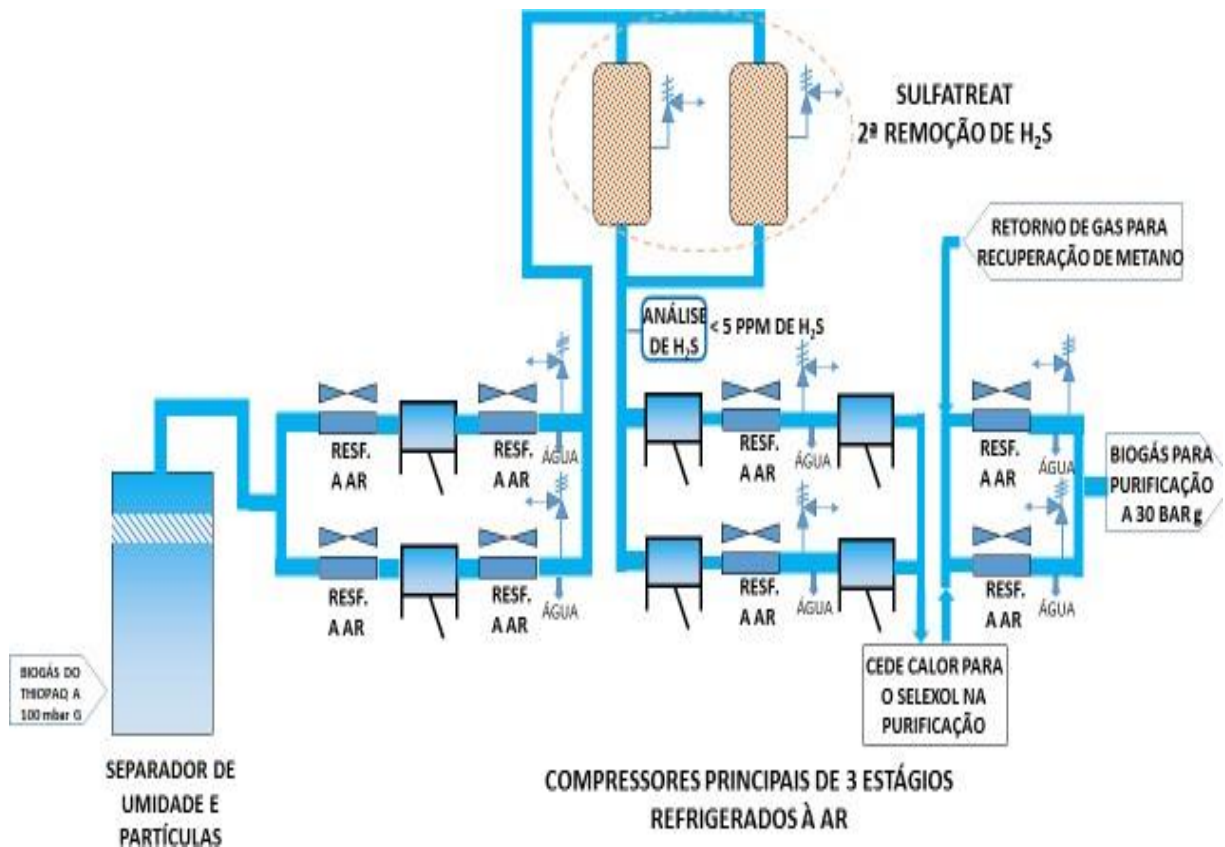
Esse processo tem como função primordial a remoção de sulfeto de hidrogênio. Porém, devido ao alto teor de salinidade e alto pH, elimina grande parte das bactérias que podem estar presentes no Biogás constituindo-se, portanto, em barreira para remoção de  $\text{H}_2\text{S}$  e de bactérias.

O controle da eficiência operacional do sistema é feito pela análise do teor de  $\text{H}_2\text{S}$  na saída da torre de lavagem, através de um analisador online, com célula eletroquímica, fornecido pela ASELCO. Esta medição é comparada com o teor de  $\text{H}_2\text{S}$  medido pelo cromatógrafo que analisa o biogás na entrada do processo.

#### 4.1.4 Sistema de compressão

Em se tratando da compressão e polimento do biogás para aumento da pressão do gás e remoção de gás sulfídrico proveniente do processo anterior, o processo está sintetizado na Figura 3, abaixo exposta.

**Figura 3** – Sistema de compressão e polimento do biogás.



Fonte: GNR Fortaleza (2021).

De acordo com a Figura 3, após o sistema de remoção de H<sub>2</sub>S, o biogás com teor de H<sub>2</sub>S inferior a 25 ppm e livre de impurezas segue para a seção de compressão que tem por finalidade comprimir o gás de aproximadamente 100 mbar até 30 bar, (condição necessária para posterior purificação pelo sistema de lavagem com solvente para conversão do biogás em biometano).

O sistema de compressão é composto por dois compressores alternativos de três estágios, resfriados a ar e com vazão de 3.750 Nm<sup>3</sup>/h cada um. Os compressores possuem variadores de frequência e operam em paralelo de forma a atingir a vazão total de 7.500 Nm<sup>3</sup>/h.

O biogás proveniente do sistema de remoção de H<sub>2</sub>S é encaminhado ao primeiro estágio de compressão. No primeiro estágio de compressão o biogás é comprimido de 100 mbar para 2,8 bar.

Após o primeiro estágio, o gás é encaminhado para o sistema de polimento, que tem por objetivo reduzir a concentração de H<sub>2</sub>S de 25 ppm para no máximo 5 ppm.

Seguidamente o sistema de polimento, o gás com teor máximo de 5 ppm de H<sub>2</sub>S entra no segundo estágio de compressão onde é novamente comprimido de 2,5 bar para 9,8 bar. Em seguida vai para o terceiro e último estágio de compressão onde sua pressão será elevada de 9,6 bar para 30 bar.

Depois desse último estágio de compressão, o gás é encaminhado para o sistema de lavagens por solvente.

Como pode ser observado, na saída de cada estágio, a pressão é elevada, e pela lei dos gases, sua temperatura também é elevada, alcançando valores na faixa de 130 °C a 150 °C. Portanto tem-se uma segunda barreira para bactérias, devido às temperaturas e às pressões do processo.

Importante salientar que nessa fase, grande parte da umidade do biogás é eliminada neste processo de compressão, uma vez que ao se comprimir o gás e resfriá-lo, a umidade é condensada na forma de água e drenada nos vasos separadores. Então, temos também uma remoção parcial da umidade presente no biogás.

#### 4.1.5 Sistema de remoção química de H<sub>2</sub>S

Após o primeiro estágio de compressão, o biogás com aproximadamente 2,8 bar é encaminhado para o sistema de polimento, que tem por objetivo reduzir a concentração de H<sub>2</sub>S para valores compatíveis com os padrões normativos. Este sistema é constituído por dois vasos com recheio de *Sulfatreat* (óxido de ferro), que operam em paralelo. Nessa fase, o biogás entra em contato com o *Sulfatreat* o que garante a remoção com profundidade de H<sub>2</sub>S reduzindo seu teor para no máximo 5 ppm.

A seguir, o biogás é direcionado ao segundo e terceiro estágios de compressão e para as duas etapas de lavagens pelo solvente absorvedor de gases ácidos e contaminantes, o Dimetil Éter Polietileno Glicol (DME-PG).



Esse processo (químico) tem como objetivo principal a remoção de sulfeto de hidrogênio, constituindo-se, portanto, na segunda barreira para a remoção do contaminante.

Saliente-se que o controle deste procedimento é realizado por meio de análise de H<sub>2</sub>S pelo mesmo analisador da ASELCO instalado na saída da torre de lavagem para remoção de H<sub>2</sub>S. Dessa maneira, uma vez por mês é realizada a análise de H<sub>2</sub>S na saída do referido sistema, através de uma tomada de amostra ali instalada.

A análise do gás tratado, deve apresentar um teor de 0 ppm (zero ppm) de H<sub>2</sub>S. Porém, ao apresentar um teor de 1 ppm, a frequência desta análise deve passar a ser realizada semanalmente. Quando o teor alcançar 5 ppm a mídia dos vasos deste sistema terá que ser trocada.

#### 4.1.6 Sistema de lavagens por solvente

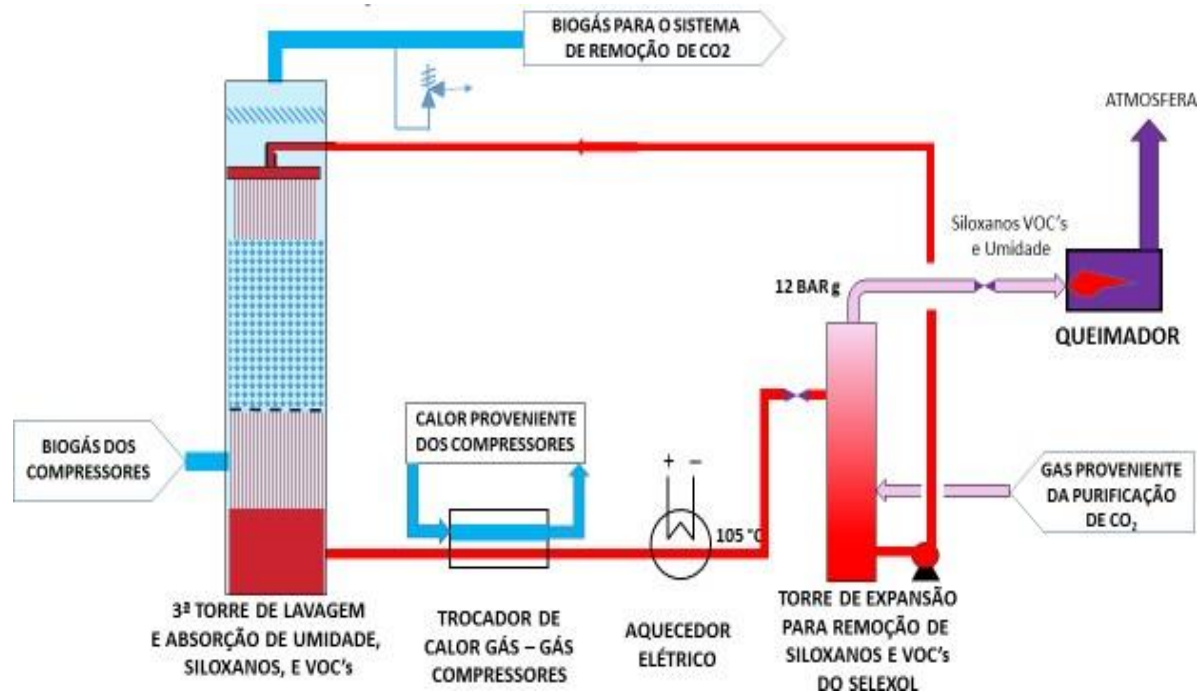
Inicialmente nessa etapa, a purificação do biogás para conversão em biometano é feita em duas etapas, dando-se ambas através de lavagem pelo solvente dimetil éter polietileno glicol (DME-PG), denominado comercialmente de selexol (Dow Química) ou genosorb (Clariant), com alta afinidade a gases ácidos, siloxanos, que são, basicamente, compostos orgânicos semi voláteis e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's).

Dessa maneira, a lavagem acontece sob determinadas condições de temperatura e pressão, que absorve os siloxinos, VOC's e CO<sub>2</sub> presentes na corrente de biogás e, em seguida o solvente rico em CO<sub>2</sub> é regenerado em uma torre *Stripper*, separando o selexol do CO<sub>2</sub>.

As características desta primeira etapa resumem-se no fato de que essa remoção dos contaminantes acontece sempre com uma lavagem processada em alta temperatura, onde são removidos apenas os siloxinos e compostos orgânicos voláteis (VOC's) e a segunda etapa acontece com uma lavagem em baixa temperatura, onde é removido o CO<sub>2</sub>, que consoante ao supracitado serão abordadas a seguir.

## 1ª etapa de lavagem

**Figura 4** – Primeira etapa de lavagem com solvente – Sistema de remoção umidade, Siloxanos e VOCs.



Fonte: GNR Fortaleza

Na primeira etapa ocorre o pré-tratamento: o solvente DME-PG está sob uma alta temperatura (em torno dos 50 °C). O objetivo desta etapa é remover contaminantes como metais pesados, siloxanos, VOC's (Compostos Orgânicos Voláteis), HC's superiores (hidrocarbonetos pesados) e umidade da corrente de biogás para manter estes componentes fora do sistema principal (segunda etapa), bem como para regenerar o solvente de pré-tratamento.

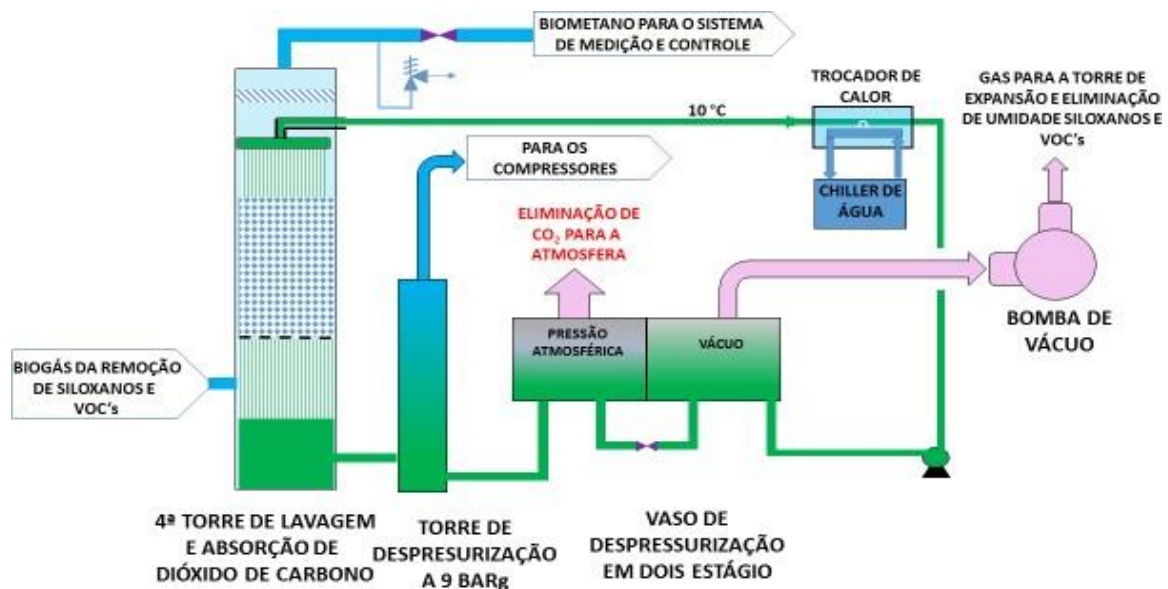
O biogás comprimido entra na torre de absorção (terceira etapa) onde o DME-PG em contracorrente remove Siloxanos, VOC's e HC's pesados do biogás. Por outro lado, o solvente, agora "rico" nos componentes retirados do biogás é direcionado aos aquecedores e torre de expansão (*stripping*), onde estes contaminantes serão liberados (arrastados) por uma corrente de CO<sub>2</sub> e direcionados ao queimador. O solvente purificado que sai do fundo da torre de expansão passa, então, através de um resfriador a ar e, em seguida, é bombeado de volta para o topo da Torre de Absorção, reiniciando o ciclo de purificação.

A corrente de biogás, que sai do topo da torre de absorção é direcionada para a segunda etapa do processo de lavagem pelo mesmo solvente, mas a baixa temperatura.

A função primordial dessa lavagem por solvente a quente é a remoção de contaminantes, tais como os metais pesados VOC's, siloxanos e outros SVOC's. No entanto, ele também é muito eficiente para a remoção de água, pois o DME-PG é um desidratante muito forte, constituindo-se, portanto, na principal barreira para remoção de contaminantes e umidade.

## 2º etapa de lavagem

**Figura 5** – Segunda etapa de lavagem com solvente: Sistema de remoção de CO<sub>2</sub> e umidade com Selexol a frio.



Fonte: GNR Fortaleza

O objetivo desta etapa do processo é remover o CO<sub>2</sub> da corrente de biogás de entrada de modo a satisfazer as especificações do biometano.

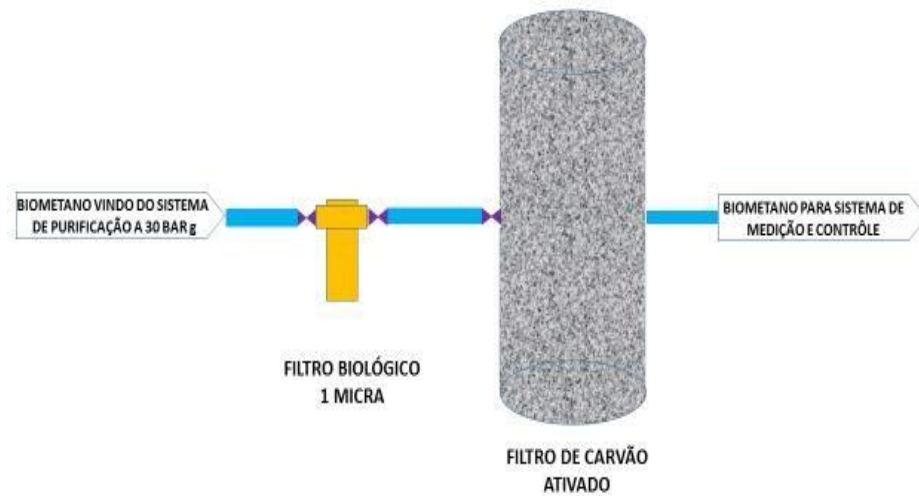
Nesta etapa ocorre a remoção dos gases ácidos (principalmente, CO<sub>2</sub>), sendo que o solvente, DME-PG, está à baixa temperatura (em torno de 5 °C).

A função primordial dessa lavagem por solvente a frio é a remoção gases ácidos, principalmente CO<sub>2</sub> pois, aqui a concentração de H<sub>2</sub>S já é extremamente baixa por causa das etapas anteriores de dessulfurizações biológica e química.

### 4.1.7 Sistema de filtração

Em se tratando da filtração do biometano como garantia de remoção de todos os contaminantes, o processo está sintetizado na Figura 6, abaixo exposta.

**Figura 6** – Sistema de filtragem de biometano



Fonte: GNR Fortaleza

De acordo com a figura 6, o biogás que sai do topo da Torre de Absorção (primeira etapa) é resfriado e, em seguida, entra na torre de Absorção principal, onde o DME-PG promove a remoção do CO<sub>2</sub>. A corrente que sai do topo da torre, agora já está na forma de biometano, depois de passar através do coletor de solvente (*demister*, instalado num vaso separador), para capturar qualquer solvente arrastado. A partir deste ponto, o biometano será encaminhado para a seção de filtragem (por carvão ativo e filtro coalescente de um micra), antes de ser transferido para custódia da concessionária.

Neste ponto são feitas ambas as análises: a análise em linha do biometano produzido e também do biogás proveniente do aterro a cada 6,34 min. por cromatógrafo da ABB, modelo PGC 1000. São analisados os mesmos constituintes e grandezas para o biogás no início do processo, a saber:

- Hidrocarbonetos de C1 a C6+;
- Hidrogênio;
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>);
- Oxigênio (O<sub>2</sub>);
- Nitrogênio (N<sub>2</sub>);
- Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- Massa Específica do Gás;
- PCS;
- Índice de Wobbe.

Caso uma dessas variáveis não esteja de acordo com as especificações da ANP o biogás é desviado totalmente para o *Flare* fechando automaticamente a válvula On/Off de fornecimento de produto para o cliente. Vale ressaltar que o cliente possui um cromatógrafo do mesmo tipo (ABB, modelo 8206), que analisa os seguintes constituintes e Grandezas:

- Hidrocarbonetos de C1 a C4+;
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) + Nitrogênio (N<sub>2</sub>);
- Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- Massa Específica do Gás;
- PCS;
- Índice de Wobbe.

Passando para a custódia da concessionária (CEGÁS), além do cromatógrafo similar ao da GNR-Fortaleza, a concessionária possui mais dois medidores online: um oxímetro e um medidor de umidade.

Da mesma forma, caso umas das variáveis ultrapasse os limites estabelecidos pela ANP, é fechada automaticamente outra válvula On/Off na entrada do sistema de medição, logo após o limite de bateria do cliente e, assim, mais uma vez todo o biometano será descartado para o *Flare*.

Todas essas informações, vazão de biometano, pressão, e qualidade do produto são trocadas entre as duas partes, isto é, a concessionária recebe todos os dados de qualidade da GNR, assim como eles enviam para a GNR todos os dados obtidos por eles.

Para atender aos requisitos estabelecidos pela Resolução ANP nº 685 de 29 de junho de 2017, com o que estabelece o sistema de barreira redundante, foi necessário a instalação de sistema de filtragem através de carvão ativo para siloxanos e VOC's, bem como filtro para microrganismos.

O objetivo da instalação do sistema de carvão ativado é a constituição de uma barreira extra para a remoção dos Siloxanos e VOC's. Já a instalação do filtro coalescente tem por objetivo a constituição de barreira adicional visando à retenção de microrganismos eventualmente presente, embora a possibilidade de presença deles seja improvável, pois, primeiramente, o próprio meio, rico em metano, é ambiente impróprio para crescimento de microrganismos, e o próprio tratamento envolve sequência de operações unitárias extremamente agressivas para as células:

lavagem a quente e depois a frio por solvente. Além disso, as sequencias de compressões e descompressões tendem ao rompimento dessas células. Portanto, esses sistemas de filtragem funcionam como uma barreira secundária, garantindo a especificação do biometano produzido.

Após a filtragem é feita a coleta de amostra do biometano para enviar aos laboratórios credenciados e acreditados pelo INMETRO para a realização das seguintes análises:

- Siloxanos; VOC's e SVOC's; Metais Pesados; e Mercúrio.

Esta coleta de amostra é realizada uma vez por mês, caso os resultados estejam abaixo de 75% dos valores limite estabelecidos pela ANP. Caso um dos resultados ultrapasse os 75%, porém abaixo dos 100% do limite estabelecido, a coleta passará a ser semanal, para avaliação da variável que ficou entre os limites de 75% e 100%. Caso o valor de uma das variáveis alcance o valor de 100% do limite estabelecido, o fornecimento será automaticamente interrompido. Os resultados da qualidade do biometano são repassados mensalmente à ANP.

#### 4.1.8 Sistema de flare

Em se tratando da queima do gás em situações adversas o processo está sintetizado na Figura 7, abaixo exposta.

**Figura 7** – Sistema de medição e controle e envio à CEGÁS – GNR Fortaleza



Fonte: GNR Fortaleza (2021).

De conformidade com a Figura 7, o Sistema de *flare* tem por objetivo queimar o biogás captado, caso o mesmo não possa ser direcionado para processamento, bem como outras correntes purificadas em determinadas condições operacionais.

A distribuição do biogás bruto para ser queimado no sistema de *flare* ou para ser processado na planta é controlada por meio da válvula de controle localizada na descarga dos sopradores.

A válvula recebe sinal elétrico do transmissor de pressão e atua de forma a manter a pressão constante e direcionar o biogás para *flare* ou purificação, conforme necessidade.

Dentre do que foi exposto até então, existem as seguintes possibilidades de operação de queima de biogás determinadas pela operação, através de válvulas automáticas:

- Todo o biogás é direcionado para o *flare*;
- Todo o biogás é direcionado para a purificação;
- Parte do biogás é direcionada para o *flare* e parte para a planta.

Importante ressaltar que o *flare* também é responsável por:

- Além de queimar biogás, o *flare* recebe todas as correntes de válvulas de alívio de segurança (tipo PSV), instaladas na planta;

O *flare* também queima o biometano processado em duas situações:

- Biometano que não esteja nas especificações da ANP;
- Biometano que esteja dentro das especificações da ANP, mas cujo volume produzido pela planta seja superior ao consumido pela concessionária naquele momento.

Diante do exposto, o objetivo de cada sistema que faz parte do processo até então percorrido, representa o que acontece na operação de todo o procedimento relativo à valorização do biogás.

## **4.2 Parâmetros ideais para a carga de biogás bruto**

As características esperadas da carga (biogás bruto) são as seguintes e estão expostas no Quadro 1:

**Quadro 1 – Parâmetros ideais para carga de biogás**

<b>DATA DA AMOSTRAGEM</b>	<b>23/09/2021</b>	<b>23/09/2021</b>	<b>24/09/2021</b>	<b>06/10/2021</b>	<b>06/10/2021</b>
<b>AMOSTRA</b>	08:20	09:25	10:40	10:30	12:30
O <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	0,60	0,83	0,82	0,641	0,588
N <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	2,76	3,74	3,48	1,699	1,640
CH <sub>4</sub> (%Mol/Mol)	56,36	55,39	59,19	62,467	62,039
CO <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	40,28	40,04	39,52	35,194	35,733

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2021)

De acordo com o Quadro 1, essas análises jugam-se necessárias para determinar a concentração média da composição do biogás que está apresentada no quadro 1, onde obtêm-se valores dentro da Resolução ANP nº 685 de 29 de junho de 2017. Esse é um fator determinante para que se tenha uma produção de biometano com qualidade, bem como para um bom tratamento do biogás para retiradas dos excessos de contaminantes.

A composição exata de biogás será diferente para cada situação. Biogás é potencialmente inflamável, sufocante, tóxico e/ou explosivo porque contém metano e sulfeto de hidrogênio.

As análises foram realizadas por um analisador de extração de gases de aterro portátil da GEOTECH, modelo GEM5000.

### 4.3 Parâmetros ideais para a carga de biometano

As características esperadas da carga biometano são as seguintes e estão expostas no Quadro 2.

**Quadro 2 – Parâmetros ideais para carga de biometano**

<b>DATA DA AMOSTRAGEM</b>	<b>23/09/2021</b>	<b>06/10/2021</b>	<b>06/10/2021</b>
<b>AMOSTRA</b>	18:00	9:45	15:50
O <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	0,601	0,693	1,289
N <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	2,269	2,436	2,821
CH <sub>4</sub> (%Mol/Mol)	94,966	94,615	93,819
CO <sub>2</sub> (%Mol/Mol)	2,164	2,256	2,070

**Fonte:** Elaborada pelo autor (2021)



De acordo com o Quadro 2, a concentração média da composição do biometano apresentada na Quadro 2, após passar por todo o processo de valorização, obtêm-se valores dentro da Resolução ANP nº 685 de 29 de junho de 2017 que estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado dentro do território nacional.

Para essa análise, os dados foram coletados pelo software PCCU32 do cromatógrafo da ABB, modelo PGC 1000 instalado em linha.

#### **4.4 Parâmetros de controle**

Os parâmetros de controle do processo de valorização de biogás da organização objetiva a garantia da qualidade e segurança na produção do biometano, que visa a organizar a gestão e os passos de decisão de qualidade e segurança. Esse controle de qualidade e segurança do processo consiste em um conjunto de procedimentos documentados e de controles automáticos com intertravamentos baseados em *Programmable Logical Control System (PLC)*. A base da decisão consiste principalmente nas especificações legais estabelecidas conforme Resolução ANP nº 685 de 29 de junho de 2017.

Desta maneira, os principais controles serão abordados a seguir, direcionando-se com as suas características e definições de acordo com a importância para o processo, em concordância com seus principais elementos a serem analisados.

##### **4.4.1 pH e alcalinidade**

Essas análises são de suma importância para o processo, que acontece no tanque do biorreator, onde tem a presença das bactérias que fazem o trabalho de remoção do H<sub>2</sub>S, pois garante que as bactérias presentes no biorreator possam realizar o seu trabalho de remoção do H<sub>2</sub>S com eficiência.

Portanto, a seguir será esclarecido como acontece esse controle e sua importância para o processo.

#### 4.4.1.1 pH

O pH do fluido de processo determina a alcalinidade e a capacidade de absorção da  $H_2S$ . O pH é continuamente monitorado e, se necessário, ajustado com soda cáustica (NaOH). O controlador ajusta o pH uma faixa de valores:

- pH medido menor que o limite inferior do ponto de ajuste: Soda cáustica é continuamente adicionada;
- pH medido está entre o limite superior e inferior do ajuste: Soda cáustica é continuamente adicionada em ciclos de pulso/pausa. A quantidade adicionada depende da carga nominal de  $H_2S$  e a concentração de  $CO_2$  presente no biogás. Foi determinado em testes pulso/pausa máximo de 600 segundos (1 pulso: 50 segundos de dosagem de soda cáustica e uma pausa de 600 segundos.);
- pH medido maior que o limite superior do ponto de ajuste: Interrupção na adição de soda cáustica.

Os pontos de ajuste de pH foram configurados durante a operação normal. Foi visto que se a remoção de sulfeto está insuficiente no reator, aumenta 0,1 unidade de pH o ponto de ajuste inferior.

Durante os testes com uma verificação de pH manualmente, o valor medido é na maioria das vezes maior que o pH no reator. Isso ocorre devido a fuga de  $CO_2$ . A confiabilidade da medição manual do pH pode ser aumentada, minimizando o contato com o ar externo e medindo o pH no fluido durante amostragem.

#### 4.4.1.2 Alcalinidade

Alcalinidade é a capacidade tampão de amortecer mudanças no pH. Para o processo onde foi realizado os estudos, o sistema tampão mais importante é o carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) / bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3$ ). A alcalinidade (em mol/l) na fase aquosa é determinada por titulação.

Para alcalinidade ideal do processo ver Quadro 4.

- Concentração de  $NaHCO_3$  abaixo de 0,3 mol/l - Absorção insuficiente de  $H_2S$ ;

- Concentração de  $\text{NaHCO}_3$  acima de 1,1 mol/l - Aumento do consumo de soda cáustica.

O valor de referência para um bom desempenho depende da concentração de  $\text{CO}_2$  a ser tratada. Os valores de referência são descritos no Quadro 3

**Quadro 3** – Pontos iniciais de ajuste do pH e valores de referência de alcalinidade em função à concentração de  $\text{CO}_2$  na fase gasosa.

Concentração de $\text{CO}_2$ (v %)	Limite inferior do ponto de ajuste de pH (=)	Limite superior do ponto de ajuste de pH (=)	Valores de referência de alcalinidade (mol/l)
0 – 20	8,5	8,8	0,4
20 – 30	8,3	8,5	0,6
30 – 40	8,0	8,3	0,8

Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

De acordo com o que evidencia o Quadro 3, são apresentados os valores limites inferior e superior de ajustes de pH de conformidade com a concentração do volume dado em porcentagem de  $\text{CO}_2$  presente no biorreator, levando em consideração os valores de referência de alcalinidade que é evidenciado em análise de laboratório.

#### 4.4.2 Potencial Redox (ORP)

O potencial redox ou ORP (mV) é a medida da quantidade de sulfeto dissolvido e oxigênio no biorreator e determina a quantidade de ar necessária no processo. As condições ideais para oxidação biológica do sulfeto são apresentadas no Quadro 4.

Nesta perspectiva, se o potencial redox vier a cair, o ponto de ajuste será aumentado e mais ar é introduzido no biorreator. Se o potencial redox sobe para cima do ponto de ajuste, a entrada de ar é reduzida. O ponto de ajuste específico depende do eletrodo usado, composição da solução diluída/concentrada, pH, etc..

#### 4.4.2.1 Potencial redox muito elevado

Durante os estudos foi visto que se o potencial redox tiver elevado provavelmente é causado pela introdução de muito ar no biorreator. Diante disto sulfeto e/ou enxofre elementar é então convertido em sulfato, o que provoca aumento do consumo de soda cáustica (NaOH).

#### 4.4.2.2 Potencial redox muito baixo

Durante os estudos foi visto que se o potencial redox tiver baixo provavelmente é causado por escassez de ar em relação a concentração de sulfeto no biorreator. Desta forma o sulfeto é insuficientemente convertido em enxofre, resultando em aumento da concentração do sulfeto na água de processo. Isso pode produzir odor e resultar em menores taxas de remoção de H<sub>2</sub>S no depurador para fora do biogás e/ou redução da biomassa ativa (Solução diluída se torna esverdeada, devido a formação de polissulfetos).

#### 4.4.3 Condutividade

A condutividade (em mS/cm) é a medida da concentração de sal presente no fluido de processo (neste caso concentração de Na<sup>+</sup>). Quanto maior a condutividade, maior a concentração de Na<sup>+</sup>. O valor ideal para oxidação biológica de sulfeto é apresentado no Quadro 4.

Como resultado da adição de soda cáustica (controle de pH), a condutividade da água de processo aumentará ao longo do tempo. Condutividade muito elevada pode, eventualmente, inibir a atividade da biomassa ou mesmo fazer com que ela morra, e deve, portanto, ser prevenida.

A condutividade é controlada utilizando água make-up suplementar. Se a condutividade medida é elevada ou igual ao limite superior do ponto de ajuste, então utiliza-se suplementarmente água *make-up*. A adição de água *make-up* é interrompida quando a condutividade está inferior ou igual ao limite inferior do ponto de ajuste.

#### 4.4.4 Temperatura

A temperatura do ar ambiente tem efeito importante na taxa de crescimento e na atividade de produção de enxofre da bactéria no biorreator, diante disso o controle da temperatura no biorreator demonstra ser de suma importância, pois para as análises realizadas pelos instrumentos de medição, pode ser levado em consideração que é uma das variáveis que se julga como importante para ser monitorada em conjunto com os analisadores.

##### 4.4.4.1 Controle de temperatura

A temperatura do biorreator é controlada por meio de trocador de calor E601 na solução diluída da bomba de água de aspersão (PU-8502), sendo influenciada pelos seguintes fatores: Temperatura ambiente, temperatura do biogás e carga de H<sub>2</sub>S.

Essa temperatura pode variar entre 20 °C e 40 °C.

- Temperatura muito alta (> 42 °C): Inibição irreversível das bactérias;
- Temperatura muito baixa (< 20 °C): Diminuição da atividade das bactérias.

Os valores normais de temperatura de trabalho para o processo em questão são de 35 °C à 39 °C.

##### 4.4.5 Sólidos Suspensos Totais (SST)

O somatório da quantidade de enxofre elementar e biomassa é expressa em concentração de SST. Para o processo como fonte de estudo, para operar em condição ótima é importante que:

- A concentração SST no biorreator estar entre 5 e 15 g/l;
- A concentração de SST no decantador estar entre 50 à 70 g/l.

A sedimentabilidade da água de processo do biorreator é regularmente determinada pelo teste *Imhoff* (Análise de Concentração de Sólidos Sedimentáveis). O SST é medido pelo método gravimétrico. Quando a instalação opera estável, o valor de equilíbrio estará entre os valores de SST produzidos e removidos.

#### 4.4.6 Resumo dos parâmetros de controle

Os parâmetros gerais estão resumidos no Quadro 4.

**Quadro 4** –Resumo dos parâmetros de controle

Condições do processo		Muito baixo	Baixo	Ótimo	Alto	Muito alto
pH	(=)	7,0	7,8	8,0 - 8,3	9,0	10
Alcalinidade	mol/l	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
Redox	mV	< -400	-350	(-330 / -270)	-250	>100
Condutividade	mS/cm	40	45	65	80	90
Temperatura	°C	15	20	30	40	42
SST biorreator	g/l	3	5	10	20	40
Imhoff	ml/l	5	10	30 - 70	100	150

Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Os parâmetros de controle do processo estão resumidos no Quadro 4, onde compreende os valores ideais sendo julgados pelas condições do processo. Esses valores são programados junto ao PLC e procedimentos internos da organização para monitorar quando as condições do processo estão boas ou não conforme legendas apresentadas na primeira linha do Quadro 4.

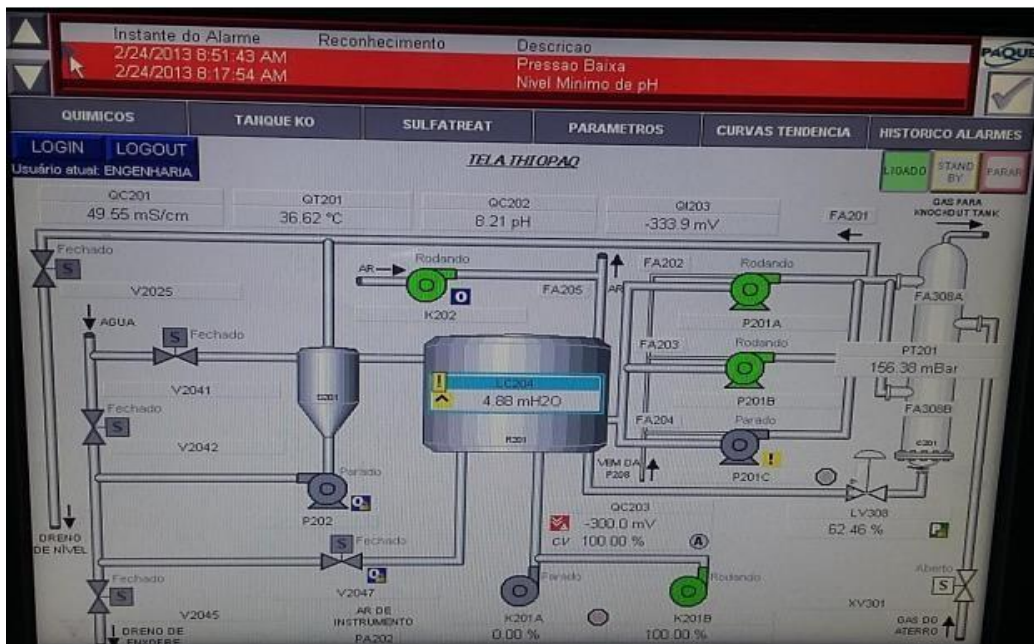
#### 4.5 Controle e automação do processo

O processo é acompanhado de um sistema operacional como padrão, sendo constituído de um PLC "*Compact Logix*" e HMI "*Panel view plus*" integrado em um painel. Além disso, cada consumidor de eletricidade (por exemplo, bomba, compressor) está equipado com seu próprio interruptor de isolamento. O processo é controlado, como bombas e pontos de ajuste, através do display do painel.

##### 4.5.1 Tela de sinóticos

A Figura 8 apresenta o painel de monitoramento e controle dos sistemas de operação da organização.

**Figura 8** – Painel de controle do sistema paques da empresa GNR Fortaleza.



Fonte: GNR Fortaleza (2021)

A Figura 8 mostra o “*Panel view*” de controle e operação do processo. Exemplificando a sua funcionalidade, temos o seguinte:

Ao pressionar o botão (Ligado), o processo de limpeza de gás é ligada. O equipamento ligado aparecerá no painel com a cor verde. Ao pressionar o botão (Parar), o processo de limpeza de gás é desligada e o equipamento será representado na tela com a cor cinza. No caso do botão (*Stand-by*), ao ser pressionado, a processo permanece em modo stand-by que significa que todos os equipamentos consumidores de energia elétrica podem ser desligados sem bloqueio do programa.

Nessa mesma tela, pode-se ajustar os valores de alarmes de equipamentos, tendo como exemplo os analisadores de pH, redox e condutividade, que será apresentado no próximo tópico.

#### 4.5.2 Ponto de ajuste

A Figura 9, apresenta uma tela para configuração dos parâmetros do processo, podendo ser realizado pelo operador da usina, ajustando os valores de set point, valores de alarmes de segurança, dentre outras configurações.

**Figura 9** – Exemplo configuração do menu de seleção e alarme



Fonte: GNR Fortaleza (2021)

Ao pressionar em algum medidor, o menu será aberto com os respectivos pontos de ajuste associados (Figura 9). Neste menu, os pontos de ajuste e os alarmes acionados são ajustados. Para alterar o parâmetro desejado, a tela deve estar em (*Operator mode*). Depois que o parâmetro for alterado, pressione o botão (*Computer*) para retornar ao controle automático.

Os alarmes são acionados sempre que o valor medido excede os limites que foram configurados. Todos os pontos de ajuste de alarmes podem ser livremente alterados. O processo desliga-se assim que o alarme alto for detectado, assim garantindo a segurança do processo.

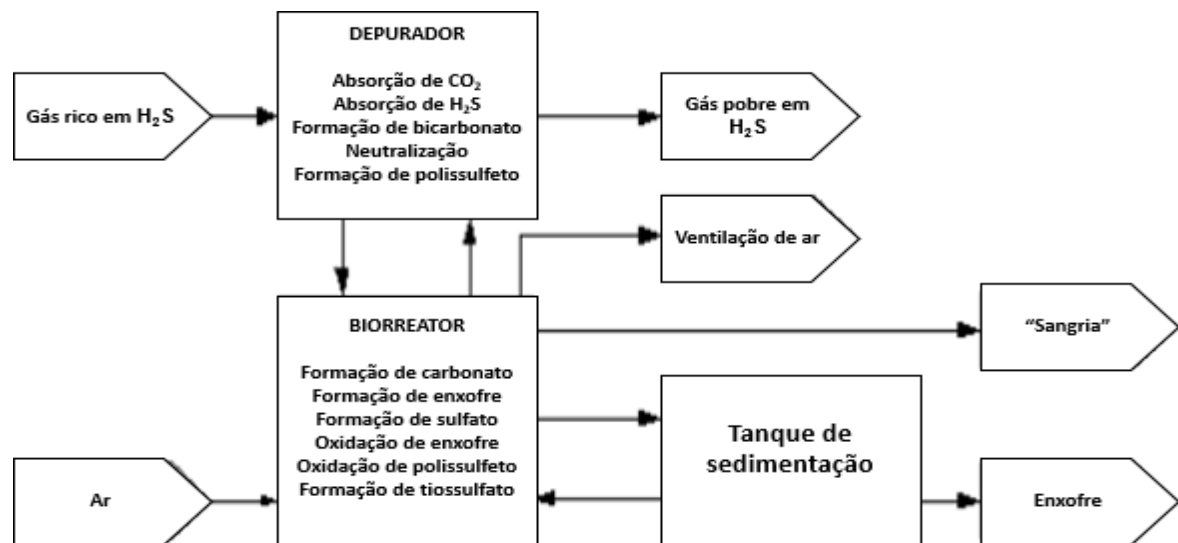
Outro ponto de suma importância é que esta tela também contém uma lista de “histórico de eventos” da qual é mostrado as falhas no próprio sistema operacional, como perda de comunicação entre o PLC e o painel de operação.

#### 4.6 Química do processo

As seguintes reações podem ocorrer no depurador (*scrubber*), assim, julga-se necessário o controle constante do processo de valorização de biogás, mantendo a segurança, confiabilidade e qualidade na produção de biometano.



**Figura 10** – Reações químicas na depuração e biorreator



**Fonte:** Paques (2017, p. 12)

A Figura 10 representa o fluxograma das principais reações químicas do processo do depurador e biorreator. O biogás carregado rico em  $H_2S$  ao entrar no depurador é lavado em contrafluxo com uma água de lavagem que é uma mistura de uma base sólida dissolvida em água que sai do biorreator e é aspergida na parte superior do depurador. Com isso, o  $H_2S$  passa da fase gasosa para a fase líquida sendo direcionado para o biorreator, o que acidifica a água de processo, saindo do depurador um gás pobre em  $H_2S$ .

No biorreator, o sulfeto é convertido biologicamente em enxofre elementar ( $S^0$ ) na presença de ar. Esta oxidação biológica do sulfeto aumenta a alcalinidade da água de processo (solução diluída).

Assim, o enxofre formado é parcialmente reciclado como solução diluída para um tanque de sedimentação (decantador de enxofre), onde o enxofre coletado deixa o sistema na forma de lodo concentrado. A água de processo “purificada” (baixo teor de enxofre na solução diluída) flui por gravidade de volta ao biorreator. Uma pequena quantidade da solução diluída deixa a instalação como “sangria” para controlar a salinidade.

Portanto, a seguir, será apresentado as definições das reações químicas em cada estágio conforme mostra a Figura 10.

#### 4.6.1 Reações químicas do depurador (*scrubber*)

Conforme a Figura 10, no depurador,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$  passam da fase gasosa para fase fluida. A concentração de enxofre na fase fluida (solução diluída) é muito baixa devido à alta de atividade biológica. (O sulfeto reage para  $\text{S}^\circ$ ). Com isso, gera um gradiente de concentração entre a fase líquida e gasosa, por conseguinte, alta remoção de  $\text{H}_2\text{S}$  da fase gasosa para a fase líquida por absorção.

Durante o processo em condições normais, algum polissulfetos sempre é formado no depurador. Contudo, quando a água de lavagem contendo polissulfetos chega ao biorreator, os polissulfetos são convertidos biologicamente em enxofre elementar.

#### 4.6.2 Reações químicas no biorreator

O sulfeto absorvido é convertido biologicamente no biorreator para enxofre elementar ( $\text{S}^\circ$ ).

Conforme Figura 10, este processo é determinado pelo potencial redox controlado pela relação sulfeto/oxigênio. A quantidade mínima de oxigênio força a biomassa a consumir o oxigênio disponível da maneira mais eficiente para conversão (e desintoxicação) do sulfeto. Isso significa que uma elevada relação sulfeto/oxigênio permite a formação de enxofre (demanda de  $\frac{1}{2}$  mol  $\text{O}_2$ ) sobre sulfato (demanda de 2 mols  $\text{O}_2$ )

A quantidade necessária de oxigênio é estequiometricamente dependente da carga de enxofre. Quando mais  $\text{H}_2\text{S}$  é lavado, mais oxigênio é demandado, e vice-versa. O biorreator é direcionado automaticamente para um potencial redox constante através da adição controlada de ar.

Durante a absorção estável de  $\text{H}_2\text{S}$  no depurador e a formação biológica de  $\text{S}^\circ$  no biorreator, o consumo global de soda cáustica está em equilíbrio. O consumo de soda cáustica é determinado até o ponto que sulfeto e enxofre elementar são mais oxidados em sulfato.

O enxofre formado é separado no decantador. Uma quantidade (pequena) de lodo de enxofre é reciclada de volta para a solução diluída do processo, onde atua como material transportador para a biomassa.

#### 4.7 Parâmetros definidos após testes operacionais

Após vários testes realizados no processo juntamente com os operadores, ficou definido os parâmetros de controle do processo conforme (apêndice A), tomando algumas ações que são de muita importância para garantir a operação com segurança e qualidade.

Mediante o exposto, foi definido registro dos dados dos processos, tais como medições e consumo de produtos químicos em planilha elaborada pela própria operação da usina, definido manter regularmente um checklist para rastreio do estoque de produtos químicos, planos de manutenção para os analisadores de controle de processos, peças sobressalentes, bem como o estado de manutenção da instalação, além dos listados abaixo:

- Comparar a leitura de pH dos sensores com o medidor de pH calibrado (diariamente) do laboratório. Se duas medições tiverem diferença de mais que 0,4 unidades, o eletrodo na instalação deve ser recalibrado, e se necessário substituído;
- Verificar o nível da solução de KCl nos recipientes do eletrólito da unidade de medição de pH e redox. Recarregar, se necessário;
- Comparar a leitura de condutividade do sensor de processo com o medidor de laboratório;
- Limpar os eletrodos de medição de pH, redox, condutividade e verificar a instrumentação do processo, seguindo as instruções do fornecedor;
- Realizar calibração semanalmente do cromatógrafo de análise de biogás e biometano, com gás padrão de acordo com os valores de zero e span do instrumento de medição;
- Realizar análise de SST, alcalinidade e imhoff para certificar a eficiência do trabalho das bactérias para remoção do H<sub>2</sub>S.

Dessa forma, o estudo demonstrou-se através do exposto que para manter a análise do processo confiável é necessário seguir tais orientações para que o processo de valorização de biogás aconteça conforme pede as resoluções e as características de cada processo, assim, as respostas para o objetivo, problemáticas e principais destaques serão abordadas no capítulo seguinte.

Finalizada a exposição das análises e discussão dos resultados, o capítulo seguinte abordará as Considerações Finais pertinentes à pesquisa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a utilização do biogás como alternativa à produção de energia renovável e limpa foram desenvolvidos e aperfeiçoados os analisadores industriais que são instrumentos aplicados no ambiente das indústrias para medições de variáveis, exceto as fundamentais ou principais, que são temperatura, vazão, pressão e nível, e outras variáveis mecânicas, peso, deslocamento, posição e vibração, que estabelecem um conjunto de instrumentos à parte.

Nessa perspectiva este estudo foi formulado com base no seguinte objetivo geral: Apresentar a importância da aplicação dos analisadores industriais em uma usina de produção de Biometano a partir da captação e purificação do biogás gerado pela decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

O objetivo traçado teve o seu alcance visto que diante do exposto, através de experiências reais foi possível criar parâmetros definidos após testes e vivências operacionais, onde servirá como base para que outras empresas do mesmo ramo de atividades venham adotar ações que são de suma importância para garantir uma operação estável com segurança e qualidade. Vale ressaltar que o que foi abordado de solução de problemas são baseados no atual conhecimento. Eles podem, portanto, mudar à medida que se aprende mais do processo. Além disso, depende das circunstâncias típicas do local e/ou de casos especiais de biogás.

Além disso, procedimentos de trabalhos poderão ser criados conforme várias informações que foram supracitadas no capítulo 4 levando em consideração as consequências que a falta de controle dessas variáveis pode causar no processo, onde na falta desses procedimentos pode levar a situações perigosas.

A pesquisa visou encontrar resposta para a problemática: qual a importância dos analisadores industriais no processo de valorização do biogás proveniente de aterros sanitários? Em face disso foram evidenciados os parâmetros ideais de trabalho para controle de pH, redox, alcalinidade, condutividade, sólidos suspensos e temperatura, além do gerenciamento de outras variáveis da mesma malha de controle operacional para uma melhor eficiência no controle do processo.

O estudo apresentou como destaque que perturbações do processo podem influenciar os parâmetros mencionados no capítulo 4, causando redução na atividade da biomassa. Em circunstâncias extremas, a biomassa irá se deteriorar.

Para restaurar a atividade, é necessário descobrir e solucionar a causa da queda da atividade biológica.

Por oportuno, para que se tenha controle dessas perturbações a instrumentação deve ser mantida e calibrada de acordo com os procedimentos da empresa como fonte de pesquisa. A manutenção inadequada ou incorreta pode levar a desvios não controlados nas condições do processo, como pH, redox, temperatura ou condutividade. O controle inadequado dessas condições devido a instrumentos fora de calibração resultará em diminuição da atividade da biomassa.

Além disso, os valores de alarme e pontos de ajuste devem estar em condições adequadas para que não possa comprometer a biomassa.

O resultado do trabalho demonstrou que para produzir biometano através do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos, o tratamento químico do gás deve ser constante e eficiente, ensejando para tanto, instrumentos eficazes de aferição para análise desse gás, o tratando como prioridade no processo, de maneira que seja possível ter o controle das diversas reações que se processam, como forma de manter a segurança ao cliente final e a fabricação de um gás natural renovável dentro dos padrões exigidos pela legislação.

O estudo foi limitado por não ter recursos suficientes para buscar mais informações para que o trabalho pudesse ter mais dados, principalmente porque a empresa como fonte de estudo é a única no Brasil que trabalha com a valorização de biogás e que, injetando o biometano em tubulação pública.

Sugere-se como pesquisas futuras, ampliar esta abordagem trazendo à discussão pauta relacionada a aparelhamento de laboratório atrelado a instrumentação analítica de processo, pontuando as suas principais limitações e associando os resultados das pesquisas pontuando as diferenças entre cada uma.

## REFERÊNCIAS

ABREU , F. V. **Potencial Energético do Biogás de Aterros Sanitários no Brasil. Potencial Energético do Biogás de Aterros Sanitários no Brasil**, São Luiz, 31 jul. 2012. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, p. 1-9.

ALMEIDA, Edimar de Almeida. **O potencial do biometano no contexto de abertura do mercado de gás: A introdução da concorrência e a liberalização do mercado final de gás criam oportunidades de novos negócios para o biometano além da autoprodução ou da venda para as distribuidoras**. 471. ed. Rio de Janeiro: Brasil Energia, 15 maio 2021. Disponível em: <https://editorabrasilenergia.com.br/o-potencial-do-biometano-no-contexto-de-abertura-do-mercado-brasileiro-de-gas/>. Acesso em: 21 set. 2021.

BATALHA, Elisa. **Lixões tempo esgotado: Encerrado o prazo legal para destinação adequada do lixo, construção de aterros sanitários segue lenta e municípios negociam para escapar das multas. Nem tão raras: Doenças que atingem número restrito de pessoas se impõem, em conjunto, como problema de saúde pública**. Rio de Janeiro, ed. 149, p. 1-36, 2015. Disponível em: <https://radis.ensp.fiocruz.br/index.php/todas-as-edicoes/149/>. Acesso em: 21 set. 2021.

**Biogás: Evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil**. BNDES: [s. n.], ano 2021, v. 27, pt. 177-216, n. 53, 2021.  
BLEY, Cícero. **Biogás: A Energia Invisível**. 2ª. ed. aum. CIBiogás: CIBiogás, 2015. 231 p. v. 2. ISBN 978-85-67785-04-2.

CAJUEIRO, Roberta Lima Pimentel. **Manual para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos: guia prático do estudante**. Rio de Janeiro: Saraiva, 2013.

COHN, P. E. **Analísadores Industriais: No processo, na área de utilidades, na supervisão da emissão de poluentes e na segurança**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2006. 06-1928 p. ISBN 85-7193-147-X.

FREITAS, L. H. **Biogás: Potencial teórico proveniente da digestão anaeróbica dos resíduos sólidos orgânicos da CEASA-RN**. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Gestão Ambiental) - Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

KARLSSON, Tommy. **Biogás I**. Lajeado: Univates, 2014. 69 p. ISBN 978-85-8167-073-7.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: Um guia prático**. 1ª. ed. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88 p.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 91-1926 p. ISBN 85-224-3397-6.

PAQUES, A. Y. A. **Manual de operação e manutenção: THIOPAQ**. 1. ed. São Paulo: Paques Brasil Sistemas de Tratamento de Efluentes Ltda, 2017. 47 p.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: <[www.feevale.br/editora](http://www.feevale.br/editora)> Inclui bibliografia p. ISBN 978-85-7717-158-3.

SAMPAIO, F. S. O. **Avaliação de unidade de processamento e produção do biometano a partir do biogás de aterro de resíduos sólidos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2018.

SANTOS, D. S. **Viabilidade do aproveitamento do lixo urbano da cidade de Maceió como alternativa energética**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade de Alagoas, 2009.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.  
SIMÕES, P. A. P. **Instrumentação Analítica**. São Paulo: Escola SENAI Antônio Souza Noschese, 2007. 188 p.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. **Evolução Histórica do Uso de Biogás Como Combustível. Evolução Histórica do Uso de Biogás Como Combustível**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá, ano 2010, p. 1-6, 2010.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

VIEIRA, Sérgio. **Segredos da instrumentação analítica: Mercado, tecnologia e aplicação. Controle e instrumentação**, São Paulo, ano 2002, n. 147, 1 out. 2002. Controle e Instrumentação, p. 31-38.

## APÊNDICE – PARÂMETROS E OBSERVAÇÕES PARA CONTROLE DO PROCESSO EM CASO DE VARIAÇÕES FORA DO ESPECIFICADO

		PARÂMETROS E OBSERVAÇÕES		SETEMBRO	PÁGINA
				2021	01 de 01
<b>PARÂMETROS</b>					
REDOX	ALARMES	HH = + 100,00	FAZ CONTROLE DO PID DOS SOPRADORES K-901 A e B		
		H = - 200,00	SE > QUE -300,00mV (ACIMA DO"SP") = AUMENTA O AR DO SOPRADOR		
		L = - 350,00	SE < QUE -270,00mV (ABAIXO DO "SP") = DIMINUI O AR DO SOPRADOR		
		LL = - 400,00	SET POINT "SP" ATUAL = - 290,00mV		
	OBSERVAÇÕES				
<p>CHECAR A PRESSÃO DE AR NA SAÍDA DO SOPRADOR, QUE DEVE ESTAR NA FAIXA DE 0,50 % NO "OT" DO QIC-3 03 -- CASO ESTEJA FORA DESSE "RANGE" (MAIS ALTO) -- PROCEDER COM A VERIFICAÇÃO DA EXISTÊNCIA DE ALGUMA OBSTRUÇÃO NA LINHA E ENTRAR COM ÁGUA NA LINHA DE ALIMENTAÇÃO -- MELHOR FORMA ENTRAR COM UMA MAGUERA E DESOBSTRUIR</p>					
ALCALINIDADE	BAIXO = 0,6 mol/L	ALTO = 0,9 mol/L	ÓTIMO = 0,8 mol/L		
	OBSERVAÇÕES:				
<p>QUANDO A ALCALINIDADE ESTÁ MUITO BAIXA, A COLORAÇÃO PRÓXIMA AO VERDE E A DECANTABILIDADE DO LODO NÃO ESTÁ IDEAL -- AÇÕES = SUBIR 10seg NA DOSAGEM DE NaOH (SODA CÁUSTICA) -- ADICIONAR NUTRIENTE de 3 e m 3 LITROS -- ADICIONAR BICARBONATO 80kg/m<sup>3</sup> do REATOR</p>					
CONDUTIVIDADE	ALARMES		OBSERVAÇÕES		
	HH =	100,00mS/cm <sup>2</sup>			
	H =	80,00mS/cm <sup>2</sup>	ABRE H2O (ÁGUA) ATÉ BAIXAR 2mS/cm <sup>2</sup> e CHEGAR EM 78,00mS/cm <sup>2</sup>		
	L =	45,00mS/cm <sup>2</sup>	INICIA A DOSAGEM DE NaOH ATÉ ALCANÇAR 47,00mS/cm <sup>2</sup>		
	LL =	40,00mS/cm <sup>2</sup>	VERIFICAR ENTENDIMENTO DO ESCRITO COM A COORDENAÇÃO		
TEMPERATURA	ALARMES		OBSERVAÇÕES		
	HH =	42°C	<p>GARANTIR TEMPERATURA DE 35°C QUE É A IDEAL PARA O PROCESSO NÃO PERMITIR QUE ALCANCE TEMPERATURA DE 40°C</p>		
	H =	40°C			
	L =	25°C			
	LL =	20°C			
ALARMES		OBSERVAÇÕES			
REATOR NÍVEL	HH =	5,6 mH2O			
	H =	4,7 mH2O	INICIA DRENAGEM ATÉ ALCANÇAR 4,6 mH2O DE NÍVEL		
	L =	4,2 mH2O	INICIA ABASTECIMENTO DE H2O ATÉ ALCANÇAR 4,3 mH2O DE NÍVEL		
	LL =	3,9 mH2O			
	OBSERVAÇÕES				
<p>MANTER PRESSÃO DE 2,6 bar NO RECALQUE E DIFERENÇA DE 1 bar NA SUÇÃO (SELAGEM) LIMPAR LINHA DA BOMBA -- ABRIR VÁLVULA DE INOX NA LINHA DO SOPRADOR -- VERIFICAR D</p>					
OBSERVAÇÕES					
BOMBA DRENO P.302	201 SEGUNDOS LIGADA / 609 SEGUNDOS DESLIGADA -- (500L/h)				
BOMBA ANTIESPUMANTE P.305	5 SEGUNDOS LIGADA / 600 SEGUNDOS DESLIGADA				
BOMBA NUTRIENTE P.303	7 SEGUNDOS LIGADA / 600 SEGUNDOS DESLIGADA -- (10L/h Qhb) 18 MINUTOS				
FLASH H2O	10 SEGUNDOS LIGADO / 600 SEGUNDOS DESLIGADO				
OBSERVAÇÕES FINAIS					



## ANEXO – TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL PARA USO DE INFORMAÇÕES EMPRESARIAIS



### TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Eu, **Thales Motta**, abaixo assinado, responsável pela **GNR Fortaleza Valorização de Biogás LTDA - CNPJ 20.287.659/0001-88**, autorizo a realização do estudo TCC de Graduação, a ser conduzido pelo pesquisador **Francisco Antonio Rodrigues da Silva Costa**. Fui informado, pelo responsável do estudo, sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas na instituição a qual represento. Esta instituição está ciente de suas responsabilidades como instituição co-participante do presente projeto de pesquisa e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, declaro que as informações disponibilizadas pela empresa podem ser publicadas sem restrição.

*Caucaia, 16, 11, 21*

 **GNR FORTALEZA**  
Thales R. Motta Jr.  
CPF 220.811.285-15  
DIRETOR  
Assinatura do representante da empresa com carimbo